

¿ARTIFICIO O NATURALEZA? LOS EXPERIMENTOS EN LA HISTORIA DE LA BIOLOGIA

(Nature or artifice? Experiments in the history of biology)

María Jesús SANTESMASES*

* Unidad de Políticas Comparadas, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Alfonso XII 18, 28014 Madrid.

BIBLID [0495-4548 (2002) 17: 44; p. 265-289]

RESUMEN: Estudiaremos las ciencias biológicas del siglo XX en tanto ciencias experimentales, reconstruyendo históricamente los usos de los experimentos. Empleando conceptos como artificial, natural, invención, se mostrará cuánto del pensamiento biológico actual se ha construido en base a la invención de diferentes tipos de experimentos, instrumentos, técnicas, sistemas experimentales, e ideas acerca del funcionamiento de la naturaleza. Sugeriremos que la frontera que pueda separar lo natural de la artificial ya ha sido traspasada. La intervención humana en los fenómenos naturales a través de experimentos reproducibles inspira una imagen del conocimiento biológico actual como una permanente invención de la naturaleza.

Descriptores: práctica experimental, historia de la biología, artificial vs. natural.

ABSTRACT: *We study twentieth-century biological sciences as experimental sciences by historically reconstructing the uses of experiments. Concepts like artificial, natural, and inventions, are handled so as to show how much current biological thought has been constructed on the basis of the invention of different kinds of experiments, instruments, and technical devices, experimental systems, and ideas concerning the functioning of nature. It is suggested that the frontier that may separate the natural from the artificial has already been crossed. Human intervention in the natural phenomena through reproducible experiments hints to a view of current biological knowledge as a permanent invention of nature.*

Keywords: *experimental practice, history of biology, artificial vs. natural.*

SUMARIO

1. ¿Artificios biológicos?
 2. La máquina animal
 3. Conclusiones
- Bibliografía

A la memoria de Lily E. Kay

Las ciencias experimentales, y el concepto mismo de ciencia como conocimiento experto en torno al cual se articula la sociedad contemporánea,

THEORIA - Segunda Época
Vol. 17/2, 2002, 265-289

surgió de la idea genial de la experimentación, de probar en seres vivos, animales o plantas, de probar con fenómenos filosófico-naturales, modificarlos, hacerlos reproducibles. Esa capacidad de reproducirse los mismos resultados una y otra vez en el laboratorio hizo a esos resultados ciertos, verdaderos descriptores del funcionamiento de lo real. El experimento llegó a ser algo tan natural como la vida y el comportamiento habitual de los seres vivos y de sus rarezas. Lo experimentado en una mesa de sala por especialistas, gentes dedicadas a la filosofía natural, se hacía verdad en cuanto se producía, se describía, se publicaba en las *Philosophical Transactions* sancionado por su secretario y por los distinguidos miembros de una sociedad que empezó a repartir reconocimiento y a hacer política científica mucho antes que los gobiernos, que las monarquías o que los estados. Era cierto si se reproducía. Y para reproducirlo había que inventar mecanismos, sistemas, aparatos; los fenómenos que todo ellos recreaban una y otra vez a la vista de la persona que los realizaba se erigieron en verdades sobre lo que había fuera de ellos. Se interpretaba que lo real era aquella reproducción. Para ello se inventaron los aparatos y los sistemas experimentales. Se recluyó a los seres vivos en medios artificiales -distintos de aquellos en los que nacieron y solían crecer- para estudiarlos mejor, con más eficacia. Se miró a través de las lentes de aumento cuidadosamente pulidas, y cuando no daban resultados muy claros, cuando no permitían observar limpiamente lo que se colocaba entre los vidrios, se decía que era porque se producían *aberraciones*.

Todo el sistema de producción de conocimiento científico está basado en esa capacidad eficaz de producir fenómenos ante y por la persona experimentadora (juez y parte del fenómeno natural producido por ella misma), que interviene (Hacking 1983) en el proceso de producción de fenómenos al inventar maneras (técnicas) para poderlo estudiar y describir. Ese estudio y las descripciones que lo acompañaban hicieron real el resultado de la experimentación. Pero, ¿se trataba de fenómenos naturales? ¿Qué era la naturaleza entonces? ¿Era cosa del campo y de los seres que lo habitaban, o más bien se refería, y hasta se refiere permanentemente, a lo que se decía de aquellos seres y fenómenos observado en una mesa de disección? Puede entenderse así la sugerencia de Carolyn Merchant, cuando denomina muerte de la naturaleza al origen de la experimentación en plena primera *revolución científica*.

En el caso de la biología, hay múltiples ejemplos que muestran que la vida del laboratorio ha inventado procesos que han llevado a descripciones consideradas fiables, aceptadas muy mayoritariamente por toda aquella

persona con formación superior, sobre el mundo natural. Pero los experimentos en biología, desde el siglo XIX hasta la actualidad, muestran más bien un conjunto de dispositivos, mecanismos, sistemas de métodos que mezclan sustancias con máquinas, seres vivos producidos por cría selectiva con ideas sobre las maneras en que se heredan los caracteres de madres y padres a hijos e hijas (en el caso de especies sexuadas).

¿Qué ha hecho de los resultados del laboratorio descripciones aceptadas sobre el funcionamiento del mundo natural? ¿Qué hizo posible la aceptación de un fenómeno creado en una sala cerrada como un fenómeno natural, si estaba tan lejos, o tan aislado, el fenómeno en cuestión, del medio que hasta entonces lo había producido? Cuando la vida misma, un ser, una oveja, una célula, un polímero biológico, se ha producido en un laboratorio o en una industria, lo menos que puede afirmarse es que el contenido mismo de la palabra naturaleza ha cambiado sustancialmente. Natural y artificial intercambian significados a lo largo de la historia de eso que se denomina ciencia.

Utilizar la historia de la biología a través de un repaso de algunos de los instrumentos usados para describir y explicar el fenómenos de la vida es un medio posible para comprender de qué forma los inventos (técnicas) se mezclaron de tal modo con la reproducción de fenómenos (naturaleza) que terminaron por confundirse. Y en ese lugar de generación del pensamiento contemporáneo que es el laboratorio se diseñaron esas mezclas posibles. Y ese juego de caballeros (Shapin 1994) se hizo verdad e impregnó a las sociedades en las que se realizaba con la misma intensidad con la que la sociedad impregnaba con sus valores esas vistosas experiencias filosófico-naturales, luego físicas, más tarde fisiológicas, posteriormente bioquímicas y hoy genético-moleculares.

La misma presentación que se trata de hacer aquí sobre la historia del conocimiento biológico como una sucesión de artificios inventados al calor, o al frío, de las salas de experimentación lleva toda la carga de la sociedad que las produce. Parece ser una revuelta contra un mundo, un conjunto de sociedades de características variadas que aparentemente comparten esa aceptación ciega de las *verdades de la ciencia*. Esas verdades han llegado a alcanzar un valor alto (y no sólo en la Bolsa) y amplio, han legitimado y siguen legitimando decisiones políticas en un tiempo, el nuestro, en el que la sociedad y sus autoridades se articulan en torno a la ciencia y a los datos sobre el mundo que la comunidad científica transmite como fiables.

Junto a una mayor esperanza de vida en la ciudadanía occidental más desarrollada, éxitos de la higiene y de la salud públicas y de la medicina,

de los transportes y de las telecomunicaciones, algunas técnicas y los conocimientos científicos en los que se basaban han devenido catástrofes, muertes masivas de seres humanos, de animales y de plantas, contaminaciones de cualesquiera capas de gases que cubren el planeta, han convertido en carnívoros a los rumiantes, han generado uso abusivo de antibióticos y hormonas, han producido vida en un tubo de ensayo junto a multitudes de pobres sin hogar, han generado una respuesta crítica sobre la verdad y la naturaleza y han cuestionado el conocimiento experto, su supuesta objetividad y su aparente neutralidad.

Las reflexiones sobre las bases mismas de ese sistema de producción artificial de verdades están contribuyendo, por su parte, a cambiar otra vez el significado de las palabras -resultaría aún más *artificial* tratar de *inventar* otras-. No puede descartarse que el análisis mismo del sistema de producción de conocimiento científico no sea un artificio más. Pero es probable que simplemente se trate de un resquicio restante después de tanta aceptación de las demostraciones, una reflexión adicional a tantas previas sobre el significado de términos tales como naturaleza, invención, artificio, producción, y que elimina otros, tales como *descubrimiento*, que acarrea una carga cuasi religiosa de verdad revelada, o, por lo mismo, del de *verdad*.

La filosofía de la ciencia tradicional no puede servir de mucha ayuda, cuando aún sobrevive a sus cenizas la distinción de Reichenbach sobre contexto de justificación y contexto de descubrimiento. Se han inventado métodos de análisis que suponen que lo real y lo ficticio se confunden, y el repaso a una historia de los experimentos contribuye eficazmente al mantenimiento de esa suposición. Ese repaso sólo puede ser parcial y no sólo por razones de espacio, sino por una suposición modesta sobre imposibilidad de saberlo todo sobre la historia. Hay algunas sugerencias estimulantes en algunos estudios de especialistas, y algunos sucesos más recientes y más conocidos que pueden contribuir a hacer comprensible una visión del mundo en el que no puede distinguirse lo real de lo inventado, pues la frontera se atravesó de una vez para siempre desde el origen mismo de la experimentación y desde entonces aparecieron nuevas fronteras -entre disciplinas, entre especies- que también se han atravesado.

1. *¿Artifícios biológicos?*

Aunque el estudio de la historia de la ciencia a través de sus instrumentos y experimentos está cobrando auge, hace ya varias décadas que se ocupan de ello algunas gentes expertas, como nos lo recuerda Holmes (1992). En el

caso de la biología, él mismo ha hecho un detallado trabajo investigador basado en cuadernos de laboratorio y en el estudio minucioso de las prácticas experimentales desde Justus von Liebig hasta Hans Krebs pasando por Claude Bernard. El plan, considerado programa de un conjunto de historiadores de la ciencia, consiste en sumergir las prácticas experimentales en sus contextos históricos (sociales, culturales, políticos, económicos). Algunos resultados han sido calificados de ingeniosos, pero no han logrado que goce de completa aceptación el que la ciencia sea un conjunto de creencias construidas y aceptadas en contextos concretos y diseminadas en forma de conocimiento fiable por los mecanismos que el sistema de producción de conocimiento creó para sí.

En lo que atañe a la biología experimental, le pasa a su historia algo similar a lo que ocurre a la disciplina que estudia: como esa biología es posterior a la física -denominada durante siglos filosofía natural-, así la historia de la biología sucede a la de la física. A rastras de otra disciplina, ha adoptado sus métodos, se ha inspirado en sus programas. La biología experimental manejó el microscopio usado por Robert Hooke en el siglo XVII, un instrumento óptico de éxito duradero en la exploración del mundo natural; dos siglos después aplicó la corriente eléctrica de Volta para excitar músculos y nervios, y diseñó instrumentos para, como se hacía con las magnitudes físicas o filosófico-naturales, medir los fenómenos, su intensidad, su duración, su calor, su forma. Ya en el siglo XX, tras la Segunda Guerra Mundial, las así llamadas ciencias de la vida aprovecharon todos los instrumentos que la física de altas energías había generado: aparatos de difracción de rayos X fotografiaron la estructura de las macromoléculas biológicas y combinados con ordenadores cada vez más potentes y rápidos, *desvelaron* la estructura -la forma- de las macromoléculas biológicas (proteínas, ácidos nucleicos, hidratos de carbono); los isótopos radiactivos de algunos elementos obtenidos por fisión se introdujeron por síntesis química en moléculas de gran tamaño y con los contadores de centelleo complejas reacciones bioquímicas pudieron seguirse en el tubo de ensayo comprobándose las transformaciones que aquella molécula provista de marcaje isotópico sufría a lo largo de la experimentación.

La biología experimental debe pues a la filosofía natural primero y a la física después algo que la hizo realmente *científica*: los instrumentos, los métodos, los dispositivos que hicieron de ella una *ciencia experimental*. Son precisamente los estudios sobre los instrumentos usados a lo largo de la historia de la biología los que permiten ofrecer con claridad algunas de las interdependencias que se establecen entre el conocimiento sobre las

ciencias de la vida y los modos de estudiarlas. Resultan difícilmente comprensibles sin la física, sin el maquinismo industrial y sus mecanismos de alimentación directa y retroalimentación y regulación, sin las teorías de la información y control desarrolladas en los calculadores automáticos en plena Segunda Guerra Mundial, sin las opiniones públicas que generó el desarrollo técnico desde las sucesivas revoluciones científicas, técnicas, industriales. Pero a su vez los experimentos y los programas investigadores de los que formaban parte generaron pensamiento biológico: el ser vivo como máquina, como sistema de respuestas físico-químicas, como determinado por sus genes. De manera que los tres ladrillos de los que habla Galison (1987), instrumentos, teorías y experimentos, poseen una cierta autonomía (no son completamente dependientes entre sí, ni los experimentos dependen de las teorías necesariamente), lo que para la propia comunidad experimentadora resulta obvio:

La actividad diaria de constructores de instrumentos y de experimentalistas y sus perspectivas de la disciplina a menudo difieren bastante entre sí y de la de los colegas teóricos del piso de arriba (Galison 1987, p. 209).

Es la vida propia de los experimentos (Hacking 1983) en ciencias de la vida la paradoja que rige el análisis de una historia de la biología que repasara la historia de sus instrumentos y sus sistemas experimentales. Puede añadirse a Hacking que se trata de una vida propia contextualizada y limitada, formada en momentos y lugares concretos, cuando estuvieron disponibles algunas técnicas, dispositivos o productos, que permitieron diseñar aparatos y sistemas experimentales nuevos.

Un repaso a los instrumentos y a los experimentos en biología sólo puede ser parcial: hay ya extensa y detallada bibliografía sobre ello. Aprovecho esta ocasión para repasar algunos aspectos de las experimentaciones en morfología, fisiología, bioquímica y biología molecular. Todos ellos muestran una cierta dependencia de la física, que es instrumental -usan sus instrumentos o se inspiran en ellos- y de pensamiento -reducir el fenómeno de la vida a magnitudes físicas, luego también se incluiría a la química-. Y muestran otro aspecto interesante: los experimentos en biología consisten en utilizar material procedente de los seres vivos para crear fenómenos que conducen a conocimiento aceptado como fiable sobre el mundo natural, sin importar que haya sido adquirido por métodos ciertamente artificiales. La barrera de lo natural se atravesó de una vez y para siempre con el origen de la experimentación, que se parecía y sigue pareciéndose a la alquimia y a la magia, en cuanto artificio fenomenal, como algunos historiadores han

recordado. Al mismo tiempo, la naturaleza completa de la vida, sus organismos enteros, ha sido sometida a pruebas superadas con éxito: la vida tal como solemos y solía conocerse a través de las manifestaciones de los animales, las plantas y los microorganismos que la poseen, ha aceptado en su propia naturaleza nuevos productos, de efectos calificados de mágicos por los que los observaron por primera vez.

Acaso ninguno de esos *prodigios* pueda compararse con el de ver descender la fiebre y remitir los más graves síntomas de una septicemia, como la estafilocócica, que era inexorablemente mortal, a las pocas horas de empezar las inyecciones de la Penicilina. Los que hemos visto surgir todo esto del caos del dolor invencible, no nos podemos quejar ni maldecir nuestros tiempos (Gregorio Marañón 1945; énfasis mío).

Las ciencias biológicas, antes llamadas naturales y hoy incluidas bajo el título más amplio de ciencias de la vida, tuvieron en la observación uno de los primeros, y duraderos, modos de conocimiento sobre lo que se sigue denominando el mundo natural. La morfología, la forma de los seres vivos en los distintos estados de su desarrollo, proporcionó un conjunto de información sobre ese mundo natural que resultaría finalmente complementaria con la experimentación con seres vivos, con algunas de sus partes manejadas intactas y finalmente con el uso de extractos homogéneos de esos órganos y de microorganismos, para terminar por ofrecer un cuerpo de conocimiento coherente en el que la forma y la función podrían explicarse entre sí.

"Llegó primero la palabra [biología] y se necesitó un siglo de actividad incesante para crear una ciencia floreciente", según lo formuló Coleman (1971). Estos primeros trabajos propiamente biológicos, ya muestran una característica esencial de la experimentación biológica. Los seres vivos o sus partes no solo se observan completos; se trocean, se separan los órganos, que se diseccionan y se observan también, por medio del instrumento fisiológico humano más usado -el ojo- y por medio de uno de los más antiguos instrumentos de observación destinado a ampliar la visión del ojo.

Merced a las ayudas de tales *instrumentos y métodos artificiales*, en cierta medida se pueden reparar los prejuicios e imperfecciones que la humanidad ha cargado sobre sí por negligencia e intemperancia (Hooke 1995, p. 57; edición de Solís).

La materia se alteraba y "mejoraba" para hacer de ella algo observable al microscopio.

Dividido el ser vivo en sus partes, observadas las propiedades de esas partes, y teñidas (es decir, sometidas a procesos de coloración que incluyen reacciones de oxidación-reducción, y por lo tanto modificación sustancial

de sus componentes químicos, aunque la composición no importara entonces como sí importaba la forma), el ser vivo de la especie que fuera ya no era un ser vivo completo sujeto a observación simple. Un paso desde la historia natural hacia la "observación y la experimentación [como] únicas fuentes de nuestro conocimiento de la vida", según el fisiólogo inglés William Lawrence (citado por Coleman 1971).

Los sistemas experimentales que se han diseñado y descrito desde el surgir de la morfología hasta los más recientes trabajos de la ingeniería genética se caracterizan precisamente por la ausencia en ellos del mundo natural que supuestamente pretenden describir, analizar y del que ofrecen conocimiento fiable y reproducible. La paulatina supresión de la frontera entre lo natural y lo artificial no ha puesto en cuestión el valor de los conocimientos aportados (sobre esta distinción, además de Merchant 1980; Kay 1996).

Como lo formuló Hacking (1983) para la física, los experimentos consisten en "crear fenómenos que no existían previamente (...) No es que los experimentos se repitan, sino que van mejorando hasta que pueden generarse regularmente". Se trata de *intervenir* en el mundo natural y así crear un conjunto de paraísos artificiales en los que la recreación de fenómenos se califica de *natural* y así se acepta. Se producen así espacios de *representación* de lo natural (Rheinberger 1997).

La fisiología, término que solía poseer el mismo significado que biología durante el siglo XIX, ilustra bien el asunto de la creación de fenómenos. En el caso de la electrofisiología, para el conocimiento sobre el proceso del funcionamiento muscular y de los nervios se considera que "el mejor de todos los excitantes artificiales es el eléctrico (...) En efecto, la corriente eléctrica recorre instantáneamente el músculo entero" (Höber 1933). En este texto de *Fisiología Humana* (segunda edición española traducida de la sexta alemana) se recomienda el uso del "aparato de inducción de [Emil] Du Bois-Reymond". El antecedente a los experimentos de Du Bois-Reymond están en los descritos por Carlo Matteuci en 1844 sobre las corrientes eléctricas originadas en el tejido muscular. Pero lo más característico de la experimentación neurofisiológica por el uso de corrientes eléctricas *artificiales* es precisamente la aplicación de técnicas físicas al estudio de la biología (Lenoir 1986).

2. La máquina animal

Emil Du Bois-Reymond, como Carl Ludwig, Hermann von Helmholtz y Ernst Brücke han sido denominados el grupo de los reduccionistas alema-

nes de mediados del siglo XIX (Coleman 1971). Hablaban de una fisiología construida "sobre bases fisicoquímicas" y de "darle igual rango científico que a la física". Estaban contribuyendo a hacer de la fisiología una disciplina independiente que adquiriría protagonismo tanto intelectual como profesional, que contribuiría al pensamiento científico y lograría su propio espacio académico. Empezó a hablarse de "una medicina científica", basada en el estudio de la fisiología, que contribuiría a evitar dos peligros principales en la formación de médicos: "la rutina inconsciente y la especulación arbitraria". La experiencia en el *método científico*, es decir, en la experimentación fisiológica, "prepararía la mente del médico para su actitud ante el enfermo". En ese programa las vivisecciones eran primordiales, según Carl Ludwig en una carta a Du Bois-Reymond (1857), porque los médicos "desean ver sangre: tienen que acostumbrarse para ser eficientes en su profesión como destructores de ángeles" (citado por Pauli 1987). La intención de Ludwig de reducir los actos fisiológicos del ser vivo como la digestión, la respiración y la conducción nerviosa a física y a química influyeron intensamente en investigaciones posteriores. Se trataba de analizar el organismo sano en sus partes morfológica y química y determinar la relación entre las partes que daba lugar a una función normal. El ser vivo era concebido como una máquina, la máquina animal, cuyas partes actúan interconectadas, interdependientes.

Los experimentos electrofisiológicos de von Helmholtz se comprenden en este contexto de pensamiento científico que él mismo contribuyó a crear, inspirado por el primer volumen de Du Bois Reymond sobre "la electricidad animal" (Olesko y Holmes 1993). Las experimentaciones trataban de mostrar el carácter físico -en este caso eléctrico- de las conducciones nerviosas. Así lo expresó uno de sus maestros, Johannes Müller en 1849:

Y aquellos que pueden contribuir más al progreso de la fisiología son los que provistos del conocimiento de campos orgánicos accesible sólo a médicos y fisiólogos, han adquirido una formación igualmente fundamental en física y son capaces de aplicar los métodos y los medios de la física en experimentos certeros.

La certeza consistía en medir con exactitud la velocidad de los fenómenos, el tiempo en el que se producían y su intensidad. Una contribución desde las ciencias de la vida al "invento de la exactitud". Era la física la que hacía de la fisiología una ciencia exacta, medible, experimental. Eran los experimentos de medir los que hacían verdaderos, reales, los fenómenos que la electricidad producía en nervios y músculos: lo que Coleman (1971)

ha llamado "la opción física" de la fisiología, pues al declarar a la fuerza como explicación en biología, estaban adoptando, como había hecho Justus von Liebig, el lenguaje de los filósofos naturales.

El significado de la aplicación de los métodos de la física al estudio de las ciencias de la vida era precisamente el carácter científico de esos estudios, en forma de experimentos. Y aunque los instrumentos fueran imperfectos en el sentido de insuficientemente precisos para medir, por ejemplo, el tiempo de la contracción muscular o nerviosa, eran *científicos*. No se trataba de experimentos de demostración, no se pensaba en una exposición pública de las verdades que la teoría científica de la fisiología quería probar; se trataba de que la experimentación proporcionaba información sobre el mundo animal, su funcionamiento, la descripción del sistema que constituía la máquina animal. La concepción maquinista iba acompañada de instrumentos diseñados por los propios experimentadores para detectar el modo en que los fenómenos que provocaban en el músculo y en los nervios pudieran ser certeramente detectados. La máquina que eran los órganos animales respondía *automática y regularmente*, en experimentos *reproducibles*, a impulsos *artificiales* generados por aparatos diseñados para tales fines.

Para socializar, para orientar, para crear una profesión, y crear sus prácticas y [también] los elementos de exclusión. Los iniciados aprendían a usar esos instrumentos y accedían a la profesión. Aquellos que no los usaban estaban fuera de la profesión y fuera de ella permanecían.

Con los instrumentos, la producción de conocimiento se tornó industrial en plena era del maquinismo industrial, y a través de la expansión del uso de esos instrumentos que los reduccionistas alemanes habían diseñado a otros países y a otros laboratorios (Mendelsohn 1992). El organismo y el instrumento intercambiaban sus funciones, el organismo era una máquina y el instrumento era como un organismo, una fuente de conocimiento (y de profesionalización, añade siempre Mendelsohn) en sí mismo. Cuantificación y replicación se tornaron aspectos críticos. El propio Claude Bernard sugería sistemas de regulación comparables a las máquinas, que gobernaban el organismo como un todo. Los instrumentos resultaron de la adaptación de aquellos diseñados para lo que hoy se denominan ciencias físicas, y pudo registrarse la contracción muscular o la transmisión nerviosa en gráficos similares a los que representaban las corrientes eléctricas.

Cuando ya no queda espacio para las revoluciones, y cuando el rastro de Thomas Kuhn se deja sentir no tanto en teorías sobre revoluciones y cam-

bios de paradigmas cuanto en la necesidad de contextualizar la producción de conocimientos y técnicas, al examinar los lenguajes y las ideas de los tiempos en los que se produjeron se percibe una permanencia secular de ese pensamiento de los experimentadores fisiólogos alemanes de mediados del siglo XIX, en el que la física y sus métodos hacían científica la medicina y permitían construir la fisiología experimental. La experimentación fue la que desarrolló la disciplina de la fisiología, y contribuyó a ello no sólo con aportaciones al conocimiento fisiológico sino, lo que llegó a tener más influencia, o influencia comparable, con la creación de escuelas de investigación. La introducción de la experimentación fisiológica en Cambridge por Michael Foster a lo largo del último tercio del siglo XIX a través de sus trabajos y los de sus colaboradores sobre la naturaleza del latido del corazón, que estudiaron en caracoles y ranas, permitió a la fisiología inglesa, entonces de muy escasas contribuciones en unos años de claro protagonismo alemán, despegar y hacer de Cambridge un lugar central para la formación en fisiología experimental. Con Foster la escuela de fisiología de Cambridge logró número creciente de estudiantes a los que formaban en prácticas experimentales. Foster contribuyó así a superar el atraso británico en esa área y a hacer de Inglaterra un país protagonista en el desarrollo de la fisiología desde finales del siglo XIX, para a principios del siglo localizarse entre sus discípulos a los más influyentes investigadores dedicados a la fisiología en el mundo occidental (Geison 1978).

Los principios mecanicistas guiaron a Jacques Loeb (1858-1924) cuando extendió al estudio del comportamiento animal el método experimental. En el caso de Loeb, sin embargo, puede decirse que teorizó a partir de sus experimentos sobre tropismo en animales. Interpretó que si las larvas de insecto trepaban en busca de luz aun en presencia de alimento era porque "los insectos carecen de voluntad"; incapaces de tomar decisiones, sólo responden mecánicamente a un conjunto de estímulos, una respuesta fisico-química fuera del control de la voluntad: eran máquinas fotomecánicas esclavizadas por la luz. De ahí extrajo generalizaciones deterministas sobre el comportamiento animal, el comportamiento humano en sociedad, la ética y la moralidad (Pauli 1987). El sueño materialista y mecanicista de la fisiología alemana dio así un paso más a través de la capacidad conclusiva de uno de sus discípulos más famosos y celebrados en los Estados Unidos, a donde Loeb se trasladó desde Alemania y donde obtuvo sus más distinguidos reconocimientos. Las pautas de conducta eran instintivas, respuestas fisico-químicas sobre las que el ser vivo carecía de control.

En las condiciones en las que Loeb realizó los experimentos, las larvas de mariposa *Porthesia chrysorrhoea* trepaban por el interior del tubo de ensayo hasta los lugares de mayor luz, ignorando la presencia de alimento (en este caso, de una rama cubierta de brotes) aunque, una vez sobre los brotes, no podía alejárselas de ellos por efecto de la luz. Y esto le llevaba a interpretar la historia natural en esos términos: las larvas salen de sus nidos cuando llega el buen tiempo,

el heliotropismo positivo [la tendencia hacia al luz] y el geotropismo negativo [la tendencia a orientarse contra la gravedad, es decir, a ascender] las hacen deslizarse hasta la parte superior de las ramas y la irritabilidad de contacto [al producirse fricción entre la superficie y la larva misma] las mantiene sobre los brotes al extremo de las ramas (Loeb, citado por Pauli 1987, traducción propia).

Desde el mecanicismo, Loeb se introdujo en el determinismo: la naturaleza de los seres vivos, su composición físico-química, les hacía ser y comportarse como solían. Sus observaciones y experimentaciones con insectos apoyaban sus tesis, sin que pueda decirse que éstas fueran previas, si no más bien fruto de su formación y pericia experimental y de su interés por ahondar en los principios mecanicistas de algunos de sus maestros alemanes.

La química fisiológica vino a complementar y a completar esas visiones mecanicistas y reduccionistas que habían emprendido los científicos alemanes a mediados del siglo XIX. La experimentación, creación de fenómenos utilizando técnicas físicas y sustancias químicas aisladas, usando términos que procedían de la termodinámica -calor, energía- articularon el pensamiento biológico de los practicantes de la bioquímica. Lavoisier había propuesto con sus experimentos de combustión que los animales formaban ácido carbónico y agua a partir de hidrógeno y carbón y que ese proceso mantenía su calor, que conectaba con el trabajo mecánico que realizaba el animal. También en la descripción de los experimentos de Hermann von Helmholtz se mencionaba que los procesos biológicos en el interior de los seres vivos tenían lugar en forma de sucesión de cambios químicos, como sugirió Justus von Liebig (Holmes 1989). Kohler (1971) ha situado en el aislamiento de la enzima denominada entonces zimasa por Edward Buchner en 1897 el origen de la bioquímica enzimática. En los experimentos descritos por Buchner se rompía la célula moliéndola con arena, a continuación se exprimía a partir de la mezcla el jugo celular por medio de una presa hidráulica y en ese jugo se encontraban gran número de enzimas, denominados intracelulares. De entre ellos, la zimasa y su actividad fermentadora centraron la atención del pensamiento biológico pues

sugería que no era necesario el protoplasma completo de la célula para que se produjera la fermentación sino uno solo de sus enzimas; es decir, era posible la fermentación fuera de la célula. Aislada del medio protoplasmático celular, la zimasa podía fermentar el azúcar para producir alcohol, y este proceso ha sido utilizado por el discurso a favor del desarrollo de la biotecnología como uno de los más antiguos procesos biotecnológicos. En ello consiste precisamente la *naturaleza* de ese proceso.

La generación de procesos biológicos *en el tubo de ensayo*, logros celebradísimos de la biología moderna y contemporánea, ha proporcionado conocimiento sobre los componentes celulares y sus funciones, generalmente fuera de la célula. De hecho, cuando se ha tratado de reproducir las condiciones intracelulares para estudiar esos fenómenos como si estuvieran aún formando parte del protoplasma celular de procedencia, se han encontrado algunas discrepancias. Como lo recordó Canguilhem (1966, citado por Löwy y Gaudillière 1998):

No debemos olvidar que el propio laboratorio constituye un nuevo medio en el cual ciertamente la vida establece normas cuya extrapolación no deja de ser un riesgo cuando se modifican las condiciones a las que esas normas se refieren. En el caso del animal y del hombre el medio del laboratorio es uno de entre los posibles, (...) para el ser vivo los aparatos y los productos son objetos entre los que se mueve como en un mundo inusual.

Canguilhem añade que los modos de vida del laboratorio llevan consigo una relación específica con el lugar y el momento en el que el experimento se produce.

La capacidad de aislar fenómenos y reproducirlos y detectarlos por instrumentos que medían magnitudes físicas, como intensidad de absorción de luz, de calor, emisión de electricidad se ha considerado modo científico de acceder a la información sobre el funcionamiento del mundo natural. La pericia afinada del correspondiente experimentador es la base del conocimiento biológico, aunque los detalles experimentales estén recogidos en la letra pequeña de las publicaciones científicas de todo tipo, dentro del correspondiente apartado de "materiales y métodos" (Rheinberger). Puede que ese hecho de figurar en un cuerpo sensiblemente menor que el del texto que explica e interpreta los fenómenos haya contribuido a colocar a los experimentos hasta hace pocos años fuera del foco principal de los análisis históricos y filosóficos de la producción de conocimiento, inmersos en la vida del laboratorio que produce los experimentos, inventa los instrumentos y legitima la profesionalización de las distintas ciencias experimentales.

Los orígenes de la biología molecular ilustran bien esas conexiones. Una de las primeras discusiones sobre qué era tal biología molecular contemplaba la posibilidad de que no fuera otra cosa que el producto de la política científica de la Fundación Rockefeller, desde los primeros años 30 y hasta el fin de la Segunda Guerra Mundial, a favor del uso de técnicas físicas para la investigación de las ciencias de la vida (Kohler 1991; Kay 1993; Abir-Am 1982). Consistió, como se comprueba tras las menciones a casos del XIX, en renovar la capacidad de experimentación que ofrecían las técnicas físicas. Los rayos X aplicados a moléculas biológicas -como se sabe, se trata de polímeros de gran tamaño- atrajeron buena parte del esfuerzo financiador de la Fundación Rockefeller. En buena parte a consecuencia de ello, la estructura de las proteínas resultó convenientemente reforzada y por extensión, el carácter explicativo de su función por medio de esas estructuras. Hasta mediados de los años 40 las proteínas eran, de entre los productos biológicos conocidos, los mejores candidatos, los más plausibles, para la composición química de los genes.

Pero el éxito en la aplicación de las técnicas físicas a las ciencias de la vida fue un programa a medio, no precisamente a corto, plazo. Max Perutz, que logró su éxito principal en la descripción de la molécula de hemoglobina en los años 60, ha contado que su primera foto de rayos X era muy bonita, pero que a la pregunta de un colega sobre qué significaban aquellos puntos sobre la placa tuvo que responder que no tenía ni idea. Hasta que Estados Unidos entró en la II Guerra Mundial, la Fundación Rockefeller fue una de las que más esfuerzo financiero dedicó a la promoción de las ciencias de la vida en Estados Unidos y en Europa.

Lily Kay (1993) ha añadido un argumento que puede considerarse esencial para comprender el apoyo de la FR a las ciencias de la vida, o *ciencias del hombre* (sic), como entonces se denominaron. Se trataba de una herencia que tanto el presidente de la FR, Max Mason, como el director de la División de Ciencias Naturales, Warren Weaver, habían recibido de las políticas previas de la fundación, en marcha desde las dos primeras décadas del siglo. El control social era de extraordinario interés para los financiadores privados como los Rockefeller y los Carnegie. El petróleo de la Standard Oil de los Rockefeller y la metalúrgica US Steel de los Carnegie habían contribuido a hacer de Estados Unidos una potencia industrial que además produjo una creciente inmigración de procedencia variada. Ese rápido desarrollo económico e industrial había generado pobreza enorme entre las clases más desfavorecidas, enfermedades y delincuencia, problemas sociales todos ellos que ambas familias, desde sus instituciones filan-

tropicas creadas en la segunda década del siglo XX, intentaban resolver con ayudas a la psicología, a las oficinas de la llamada ingeniería social y durante algunos años a la eugenesia, o selección de los más *dotados*. Los esfuerzos eugenésicos estaban liderados por Charles Davenport, vocal en EEUU de las ideas del famoso inventor de la eugenesia en Inglaterra Francis Galton (Álvarez 1985; Kevles 1985). Las así llamadas ciencias del *hombre*, por su importancia social, debían ser promovidas a través de estudios y de acciones sociales. Tras la caída de la bolsa de 1929, la Fundación Rockefeller volvió la vista con más intensidad a las ciencias biológicas. El progreso de la física, que se había apoyado en Europa y América junto a los proyectos sociales, se consideró el centro de todas las críticas en plena crisis económica: había traído estos desastres y había que volverse hacia las ciencias de la vida, a las ciencias puras, sin preocuparse de su posible aplicación. Esa pureza legitimaba las inversiones de la FR en tiempos de crisis, y la relacionaban con la vida (Kay 1993).

Los trabajos sobre proteínas habían recibido ayudas de la Fundación Rockefeller desde los años 20. El mecanicismo defendido por Loeb se ajustaba al programa para la biología, sus trabajos sobre comportamiento mecánico, personalidad y socialización adquirían un carácter científico: la ideología científica se asentaba en el pensamiento social y se ajustaba a los intereses de las organizaciones filantrópicas por el control social. Loeb prosiguió sus investigaciones en el campo de las proteínas. Estudió las características de sus disoluciones, describió sus reacciones frente a ácidos y frente a bases. La gelatina, cuyas disoluciones estudió en un tiempo de prevalencia de la teoría del coloide, fue descrita por Loeb como un electrolito anfótero (podía comportarse como ácido o como base según las condiciones de la disolución) de composición definida. Estableció que las proteínas eran compuestos químicos macromoleculares (Servos 1990, y Pauli 1987), si bien nunca logró aislar ninguna, ni establecer estructuras y composición de ninguna de ellas. En medio del debate sobre la teoría del coloide, ambas aproximaciones, los estudios sobre proteínas y aquellos otros sobre disoluciones coloidales, resultarían apoyadas.

La química de coloides se había desarrollado a partir de 1861 con la formulación de la teoría de los coloides por Thomas Graham en Inglaterra para dar cuenta de un tipo de sustancias de apariencia no cristalina y que una vez disueltas no atravesaban membranas que, como es el caso de la membrana celular, se sabía que eran habitualmente permeables a soluciones salinas. Hasta los años 20 se consideró que los coloides explicaban la naturaleza de la vida celular. En esa década se desató la polémica sobre la fia-

bilidad de una teoría que supuestamente estaba sujeta a leyes físicas especiales, y su aceptación cayó (Florkin 1972; Servos 1990). Sin embargo, su relación con la química de proteínas tuvo consecuencias directas en el desarrollo de las investigaciones sobre éstas; algunas de las más relevantes condujeron en la Universidad de Upsala (Suecia) al diseño de la ultracentrífuga por Theodor Svedberg en la segunda década del siglo, cuando estudiaba las propiedades fisico-químicas de los coloides que formaban las proteínas, y a la invención del aparato de electroforesis por su discípulo, Arne Tiselius, a finales de los años 30 (Elzen 1986; Kay 1988). Ambas son actualmente técnicas de uso cotidiano en los laboratorios dedicados a la biomedicina. La ultracentrífuga y el aparato de electroforesis fueron inventados al amparo de una teoría que finalmente no prevaleció. Svedberg y Tiselius, el primero maestro del segundo, recibieron su parte de ayudas en forma de subvenciones de la Fundación Rockefeller. Ambos fueron premiados por el Nobel de química, en 1926 y 1948 respectivamente. Esas técnicas son producto precisamente de la incertidumbre sobre la composición química de los coloides y sobre las propiedades de un conjunto de compuestos que presentaban esa forma: las proteínas. Los instrumentos empezaron a ser premiados con el Nobel, la letra pequeña de la ciencia logró en ocasiones saltar al primer plano del reconocimiento científico. Esas divergencias entre instrumentos y teorías reflejan la relativa independencia mutua de la que habla Galison. Los instrumentos producto de la teoría del coloide adquirieron vida propia, permanecieron en los laboratorios cuando la teoría del coloide ya no se aceptaba y se adaptaron fácilmente a nuevas ideas sobre la vida celular.

A partir de mediados de la década de 1940 se diseminaron los datos extraídos de las experimentaciones con distintos tipos de neumococos realizadas por Oswald Avery, Colin MacLeod y M. McCarty. En 1944 publicaron un trabajo en el que mostraban que el "principio transformador" de una especie de neumococo en otra infecciosa era el ácido desoxirribonucleico, ADN. El origen del trabajo era exclusivamente médico, lo que añade a la historia de la experimentación biológica un factor adicional -que se ha mencionado muy rápidamente más arriba- que la caracteriza y le da forma: su relación con la aplicación médica, en el tratamiento y en la cura de algunas enfermedades. En el caso de Avery, la neumonía fue el problema médico que se le asignó cuando entró a formar parte del personal investigador del Instituto Rockefeller (Nueva York) en 1913 (Amsterdamska 1993). Avery debía desarrollar un suero terapéutico para esa enfermedad infecciosa. Sus trabajos sobre los distintos tipos de neumococos

y su localización le llevaron a interesarse por la caracterización de las diferencias entre los tipos. Unos tenían cápsula compuesta de un polisacárido (hidrato de carbono) y otros carecían de ella. No fue hasta 1944 cuando llegó a publicarse el trabajo en el que se describía a la sal sódica del ADN como responsable de la transformación de un tipo de neumococo en otro. La preocupación por el aspecto médico había sido dejada de lado, y cuando existieron las técnicas de precipitación de proteínas y de ácidos nucleicos que les permitieron aislar tanto el enzima que fermentaba la cápsula de polisacárido de uno de los tipos como la sal sódica del *principio transformador* pudieron identificar a éste y describirlo. En la famosa y muy citada carta que Avery escribió a su hermano se pregunta:

Parece un virus, puede ser un gen (...) ¿cuál es la naturaleza química del principio transformador? (...) Hoy hace falta una buena y documentada evidencia para convencer a cualquiera de que la sal sódica del ácido desoxirribonucleico, libre de proteínas, podría estar dotada de actividad biológica y propiedades específicas, y esa es la evidencia que estamos tratando de obtener (Oswald Avery a Roy Avery 1943, citada por Amstedamska 1993).

Avery terminó por reducir el problema de la neumonía a un problema químico, de análisis y caracterización de sustancias, tras un periodo, el de entreguerras, en el que sueros y vacunas y en general la síntesis inmunoquímica estaban trasladando el problema de la inmunidad a la comprensión química de las diferencias entre inmunidades. Esas propiedades de las bacterias acabarían teniendo interés por sí mismas, alejadas del problema médico que las originó, aunque la retórica sobre su interés médico se mantuviera.

Mientras tanto, el papel principal de las proteínas, a pesar de los experimentos inconcluyentes de Loeb, resultó reforzado por las propias técnicas que la teoría del coloide había producido. La ultracentrífuga y la electroforesis no sólo eran instrumentos de medir, eran, en su capacidad medidora, y siguen siéndolo, esencialmente creadores de fenómenos. En el caso de la ultracentrífuga, comercializada a partir de mediados de los años 40, este aparato, que somete a la muestra a fuerzas muy superiores a las de la gravedad por medio de la centrifugación a alta velocidad, permite fraccionar los orgánulos celulares, separarlos y estudiar su composición. Aislados de otros componentes de la célula, orgánulos y compuestos pueden estudiarse investigando su actividad como productores y modificadores de sustancias que se añaden al tubo de ensayo que los contiene.

Un sistema experimental libre así de células fue, por este mecanismo de ultracentrifugación, diseñado en los primeros años 50 por el grupo diri-

gido por Paul Zamecnik en el Huntington Memorial Hospital de Boston. El aparato de que disponían alcanzaba más de 100.000 veces la gravedad. Combinado con una técnica precisa, puesta a punto en ese mismo laboratorio, de uso de compuestos marcados isotópicamente y detectables por contadores de centelleo, fue posible la identificación de los ácidos ribonucleicos y del mecanismo de biosíntesis de proteínas y de ácidos nucleicos (Rheinberger 1997). Los isótopos radiactivos usados en el laboratorio de Zamecnik eran un subproducto de la física de altas energías desarrollada durante la Segunda Guerra Mundial, que se pusieron a disposición de la experimentación médica -el grupo de Zamecnik comenzó sus trabajos tratando de investigar sobre el cáncer- como una física de la vida, para contribuir así a contrarrestar los efectos adversos que había generado en la opinión pública el desarrollo científico que culminó en el lanzamiento de las bombas atómicas sobre Hiroshima y Nagasaki en 1945 (Rasmussen 1997). Es una herramienta preparativa tanto como analítica, usada en todos los laboratorios dedicados a las investigaciones biológicas.

A pesar de que el trabajo de Avery, MacLeod y McCarty que identificaba al ADN como el principio transformador de un tipo de neumococo en otro fue publicado en el *Journal of Experimental Medicine* (del Instituto Rockefeller) en 1944, en algunos centros de investigación hasta la década de los 50 las proteínas se consideraron los agentes transmisores de la herencia biológica, componentes esenciales de los genes. Thomas Hunt Morgan estudió esos genes con detalle, en los laboratorios de la Universidad de Columbia primero y finalmente en el California Institute of Technology (Caltech) en la mosca de la fruta *Drosophila melanogaster*. Esta se ha convertido, a efectos de análisis de la historia y el desarrollo de la genética, en un instrumento. Fue usada por primera vez en los primeros años del siglo XX por William Castle en la Universidad de Harvard, pero sería Morgan quien la elevaría a la categoría de sistema experimental, instrumento de investigación mas que objeto de estudio, desde que en 1910 apareció en su laboratorio de Columbia un mutante de ojos blancos -la mosca silvestre (*wild type*) los tiene rojos- con el que Morgan experimentó por medio de cruces con moscas de ojos rojos (Allen 1978). Los resultados de esos cruces, basados en experimentos descritos por Mendel en vegetales, sugerían que el carácter "ojos blanco" estaba ligado al sexo (en este caso al masculino, eran los machos los que presentaban con más probabilidad ojos blancos tras los cruces). Posteriores mutantes de la mosca llevaron a sugerir que las unidades de herencia biológica estaban situadas en lugares concretos de los cromosomas, cuya forma se conocía por observación al microscopio. Suce-

sivas investigaciones con distintas generaciones de moscas de caracteres variados y sus cruces permitieron hacia 1912 a Morgan y a sus colaboradores Alfred Sturtevant y Calvin Bridge empezar a diseñar un mapa de los tres cromosomas de *Drosophila* que se conocían hasta entonces. Con ese fin y dada la variabilidad genética de esta mosca, el grupo dirigido por Morgan definió un conjunto de condiciones estándar de cultivo, y construyeron así una mosca estándar. Se trató de un trabajo largo que duró una década, a lo largo de la cual se eliminaron por cría selectiva los genes que hacían que la mosca se comportara de modo distinto al previsto por la genética mendeliana. Se *inventó* así, en palabras de Kohler (1994, cap. 3), la *Drosophila* como instrumento de investigación genética, la mosca estándar se convirtió en instrumento y en la personificación misma de la nueva citogenética. Pero no bastaba crear una mosca estándar, era necesario que otros laboratorios la aceptaran como tal referencia, como así ocurrió. Kohler ha mostrado que una de las principales características de la comunidad de genetistas de *Drosophila* es la libre circulación de mutantes, sin secretos comerciales ni monopolios sobre ellos, en los que la producción de conocimiento genético era lo principal y el reconocimiento pertenecía a quien obtuviera resultados en cada caso.

Por un proceso comparable, el ratón se convirtió en instrumento de las investigaciones sobre el cáncer, compartiendo su protagonismo instrumental con algunos tipos de células. Por el mismo mecanismo de cría selectiva, el ratón doméstico para uso investigador fue estandarizado en 1956 por los National Institutes of Health de los Estados Unidos. Desde 1910 la homogeneidad fisiológica y la pureza genética se convirtieron, paulatinamente y de modo creciente, en condiciones obligadas para el uso del ratón como modelo de laboratorio en el estudio de enfermedades. También las condiciones ambientales de cría se definieron: los ratones deben vivir en jaulas de plástico o metal entre 21 y 26 grados centígrados, sobre un lecho de serrín o virutas. La alimentación debería ser de composición conocida, libre de aditivos, estar entre los límites normales de actividad hormonal y controlados los posibles microorganismos contaminantes de esa alimentación. Las personas con acceso al laboratorio de cría debían lavarse abundantemente y vestir ropas especiales. Y después de la Segunda Guerra Mundial los ratones de laboratorio se convirtieron en instrumentos clave en la investigación biomédica. Por este medio se establecieron modelos de enfermedades en el *laboratorio*, contribuyeron a crear un espacio abierto entre el laboratorio y la clínica y conectaron prácticas entre ambos ámbitos sociales. El consumo en masa de ratones en las investigaciones sobre el cáncer es-

timuló la producción masiva y la estandarización. Sin embargo, al mismo tiempo, esa estandarización ha terminado por generar un sistema artificial que ha llegado a aumentar la distancia entre la clínica y el laboratorio. Löwy y Gaudillière consideran que los modelos de enfermedades humanas estudiados en ratón se han quedado en "dispositivos metafóricos". Estos autores asignan al ratón una función esencial en la regulación de prácticas experimentales, mientras que la relación entre la investigación sobre el cáncer *en ratones* y su clínica *en humanos* no ha llegado a establecerse sobre bases firmes.

Pero los experimentadores del cáncer y la comunidad experta en biomedicina experimental obtuvieron sus células humanas, una línea que pudiera vivir indefinidamente fuera del cuerpo de la mujer que las generó. Henrietta Lacks vivió y parió a sus cinco hijos en Baltimore y en febrero de 1951, cuando aún tres de ellos llevaban pañales -así cuenta la historia Skloot (2000)-, le fue detectado un tumor en el cuello del útero. Poco antes de aplicársele las primeras dosis de radio a su tumor, un joven residente del Hospital de la Universidad Johns Hopkins tomó una muestra, tras otra previa que había demostrado la malignidad de sus células tumorales. Aquellas células fueron cultivadas en el laboratorio de cultivo de tejidos del hospital, dirigido por George Gey. Las células de Henrietta Lacks sí que tenían esa vida propia que Hacking ha adjudicado a los experimentos, se multiplicaban como no se había visto hasta entonces, tan rápido como lo hicieron en el propio cuerpo de Lacks, que murió consumida por su cáncer en octubre de ese mismo año 1951. Fueron usadas por Gey para estudiar el virus de la polio, con cuya información Jonas Salk y sus colegas de Pittsburg crearon la vacuna y la National Foundation for Infantile Paralysis estableció las instalaciones en las que las células HeLa (así se llamaron desde que Lacks falleció) pudieran producirse en masa. Se usaron para probar la vacuna en humanos. Empaquetadas en pequeños tubos apilados en cajas provistas de espuma plástica, con detalladas instrucciones de uso sobre su alimentación y manejo, los envíos de células HeLa recorren el mundo de los laboratorios de la investigación biomédica. Se trata de células humanas, con intensa capacidad para reproducirse, que permitieron investigar sobre la leucemia, las causas del cáncer, la síntesis de proteínas, virus, los mecanismos de control genético y efectos desconocidos de fármacos y radiaciones, sin importar que procedían de una mujer negra de clase baja cuya familia seguía trabajando en plantaciones de tabaco en Virginia mucho después de la abolición de la esclavitud, y que se distribuyeron sin consentimiento de los herederos de Lacks, quienes se enteraron del uso que se ha-

bía dado a las células de su madre por casualidad. Para cuando eso ocurrió las células HeLa se habían convertido en uno de los *contestadores automáticos* de los que habla Rheinberger. Era un producto industrial de manejo estándar y respuestas siempre por venir. Aunque se trata de células con genes cancerígenos, poseen otros genes y unas características peculiares que han hecho posible su utilidad, por ejemplo, para la introducción de genes a través de virus que han permitido el estudio de la *expresión* de esos genes. Las HeLa son pues más que células cancerígenas, son células humanas con todas sus características y como tales se comportan frente a los distintos medios en los que la comunidad biomédica las sumerge. Herramientas para la investigación y objeto de ella, la información que producen, de procedencia dramática y *natural*, manejadas en medios artificiales, proporcionan información que se maneja como valiosa sobre el comportamiento celular humano.

La experimentación biomédica ha contado con numerosos apoyos técnicos, fruto de políticas científicas que se diseñaron en plena segunda Guerra Mundial y después, con la famosa *frontera sin fin* en que se convirtió a la ciencia con el informe de Vannebar Bush, uno de los antiguos directivos de la Institución Carnegie de Washington y durante la guerra responsable del esfuerzo científico y técnico de Estados Unidos. Los desarrollos tecnológicos que se habían producido al amparo de la guerra marcaron las pautas de su aplicación en las investigaciones sobre las ciencias de la vida, por medio de esas políticas que se diseminaron por Europa a través de la oficina económica del Plan Marshall, la OCEC -luego OCDE-. Las nuevas tecnologías hicieron algo más que eso, no sólo se diseminaron técnicas, instrumentos y sistemas experimentales en vías de diseño provistos de nuevos dispositivos, diseminaron su propio lenguaje. El ADN se convirtió en un idioma, y esto fue así porque la biología molecular asumió como propio el que se había creado para nombrar a los productos del cálculo automático, que produjo máquinas capaces de acumular *información* y transmitirla (Kay 2000). La investigación biomédica experimental se encontró con una visión del organismo y de las moléculas como almacenes de información y sistemas de recuperación de esa información. Gracias al desarrollo de la cibernética, de los ordenadores y de las tecnología de la información nuevas máquinas generaron nuevos lenguajes que se adaptaron al creciente conocimiento genético incluso antes de la descripción de la estructura de hélice doble de la molécula de ADN por James Watson y Francis Crick in 1953. El matemático húngaro emigrado a Estados Unidos, John von Neumann, el también matemático del Massachusetts Institute of Technology Norbert

Wiener y el fisiólogo de Harvard Claude Shannon contribuyeron a introducir el lenguaje de esas nuevas tecnologías en el vocabulario de las ciencias de la vida desde la inmediata posguerra. Von Neumann escribió un artículo en que describía a un autómatas autorreplicante, una máquina que podría construir otra igual a sí misma si disponía de instrucciones. El mecanicismo resultaba nuevamente alimentado por el desarrollo técnico y aplicado a las interpretaciones sobre los fenómenos vitales.

las máquinas, como los organismos, podían utilizar materia prima de su medio y transformarla en materia compleja y específica para construir las partes que la componían (Kay 2000).

Según el libro de Wiener, *Cibernética: control y comunicación en animales y máquinas* (1948), comunicación y control era dos caras de la misma moneda, articuladas alrededor de la noción de mensaje. Los contactos personales de von Neuman y Wiener con experimentadores de la biología y la fisiología se encargaron de adoptar tan sugerente exposición de lo que hoy ha llegado a aceptarse como el funcionamiento de los genes. Ellos llevan escrito el libro de la vida, *almacenan la información* genética que con algunas sustancias capturadas del medio le permitirían reproducirse y sintetizar otras que darían lugar al organismo completo. Francis Crick usó este lenguaje por primera vez en 1957, cuando se refirió al flujo de información genética del ADN a las proteínas (De Chadarevian 1996) y forma parte hoy del vocabulario (idioma) habitual de la biología molecular y de la genética. Fueron los instrumentos técnicos matemático-físicos los que aportaron ese lenguaje y lo convirtieron a su vez en generador de pensamiento y de nuevos experimentos.

La ingeniería genética, los experimentos de ADN recombinante, han puesto de relieve, como muchos otros episodios de la investigación biomédica, de qué manera los programas de investigación están limitados y deben su forma a las técnicas disponibles en cada momento. Una de las principales características de esas investigaciones ha sido precisamente enfatizar los fenómenos comunes a todos los organismos, en vez de en su diversidad (Hubbard 1990; Kay 1996). Tras haberse confundido durante siglos lo natural con lo artificial, y tras esa aceptación general sobre el interés de lo común a todos los organismos, los experimentos de ingeniería genética dieron otro paso esencial: se atravesó la barrera entre especies. Desde el momento en que un pedazo de ADN de un virus pudo ser introducido en un ADN de otro organismo para resultar éste último genéticamente modificado se atravesó esa frontera. Los propios virus habían atrave-

sado esas barreras previamente en las infecciones a los animales para producir enfermedades infecciosas de muy complicado tratamiento y curación las más de las veces desconocida. Como atravesadores de fronteras, los virus han resultado una de las herramientas más fructíferas y eficaces para la modificación genética de microorganismos, plantas y seres vivos en general. Finalmente, el mundo natural superaba el artificio experimental, pues los virus resultaron ser precisamente modificadores genéticos *naturales*, contra cuya naturaleza se luchaba mucho antes de utilizarlos como herramientas para provocar *artificialmente* otras modificaciones genéticas. Que un agente patógeno haya terminado por ser aceptado como vehículo de curación de enfermedades por los más reconocidos experimentadores médicos, que han ocupado portadas de publicaciones periódicas, libros y filosofías y estudios sociales de la ciencia y cuyas investigaciones han abierto un nuevo espacio de pensamiento para la ética -la bioética- no deja de presentar una cierta circularidad, cuya benignidad es el centro de uno de los debates más acalorados que ha producido la técnica biomédica en el último cuarto del siglo XX.

3. Conclusiones

Métodos físicos, artificios y supresión de fronteras han caracterizado la historia de la experimentación biológica y de las ideas sobre el funcionamiento del mundo natural. Las relaciones entre las ideas y los sistemas experimentales no son únicas, ni en un solo sentido: parecen más bien haberse moldeado y adaptado mutuamente a lo largo de siglos. Pero ha sido en el siglo XX, el siglo del gen, como lo ha denominado Evelyn F. Keller, cuando de tanto atravesarse, las fronteras entre lo natural y lo artificial por un lado, lo que se creía eran barreras entre especies por otro, y, por último, la distinción entre experimentos y conocimiento biológico parecen haberse difuminado. Lo que un repaso histórico muy parcial como el que se ha hecho aquí sugiere es que esas distinciones son un artificio más, como lo son los instrumentos y los experimentos desde los tiempos de Hooke. Y se renueva el valor de sus palabras:

(...) no sólo tenemos que luchar con la oscuridad y dificultad de las cosas sobre las que trabajamos y pensamos sino que incluso las fuerzas de nuestra mente conspiran para traicionarnos. (...) La siguiente precaución que hay que tomar por lo que atañe a los sentidos es socorrer sus debilidades con instrumentos y, por así decir, complementar con órganos artificiales los naturales (...) La ciencia de la naturaleza ha venido siendo durante mucho tiempo obra tan solo del cerebro y de la fantasía, siendo ya hora de que retorne a la sencillez y fundamentación de las observaciones de cosas materiales y obvias.

BIBLIOGRAFIA

- Abir-Am, Pnina: 1982, 'The Discourse of Physical Power and Biological Knowledge in the 1930s: A Reappraisal of the Rockefeller Foundation Policy in Molecular Biology', *Social Studies of Science* 12, 225-263. Respuestas a Abir-Am de John Fuerst, Ditta Bartels, Robert Olby and E.J. Yoxen, *Social Studies of Science* 14, 225-263.
- Allen, Garland: 1978, *Thomas Hunt Morgan, the Man and His Science*, Princeton University Press.
- Álvarez, Raquel: 1985, *Sir Francis Galton, padre de la eugenesia*, Madrid, CSIC.
- Amsterdamska, Olga: 1993, 'From Pneumonia to DNA: The research career of Oswald Avery', *Historical Studies in the Physical Sciences* 24, 1-40.
- Chadarevian, Soraya de: 1996, 'Sequences, conformation, information: biochemists and molecular biologists in the 1950s', *Journal of the History of Biology* 29, 361-386.
- Coleman, William: 1971, *Biology in the Nineteenth century*, Nueva York, John Wiley. Trad. cast. *La biología en el siglo XIX*, México, Fondo de Cultura Económica.
- Elzen, Boelie: 1986, 'Two Ultracentrifuges: A Comparative Study of Social Construction of Artefacts', *Social Studies of Science* 16, 621-662.
- Galison, Peter L.: 1987, *How experiments end*, University of Chicago Press.
- Geison, Gerald L.: 1978, *Michael Foster and the Cambridge School of Physiology. The Scientific Enterprise in Late Victorian Society*, Princeton University Press.
- Hacking, Ian: 1983, *Representar e intervenir*, México-Barcelona, Paidós, 1996. Trad. de Sergio Martínez.
- Holmes, Frederic L.: 1964, 'Introduction', in Justus von Liebig: *Animal Chemistry or Organic Chemistry in its Application to Physiology and Pathology*, Nueva York-Londres, Johnson Reprint Corp., pp. vii-cxvi.
- Holmes, Frederic L.: 1992, 'Do we understand historically how experimental knowledge is acquired?', *History of Science* 30, 119-136.
- Hooke, Robert: 1995: *Micrografía*, edición e introducción de Carlos Solís, Barcelona, Círculo de Lectores [Madrid, Alfaguara, 1989].
- Hubbard, R.: 1992, *The Politics of Women's Biology*, New Brunswick, Rutgers Univ. Press.
- Kay, Lily E.: 1988, 'Laboratory technology and biological knowledge: the Tiselius electrophoresis apparatus, 1930-1945', *History and Philosophy of Life Science* 10, 51-72.
- Kay, Lily E.: 1993, *The Molecular Vision of Life. Caltech, the Rockefeller Foundation and the New Biology*, Oxford University Press.
- Kay, Lily E.: 1996, 'Life as Technology: Representing, Intervening, and Molecularizing', in Sahotra Sarkar (ed.): *The Philosophy and History of Molecular Biology. New perspectives*, Dordrecht, Kluwer, pp. 85-103.
- Kay, Lily E.: 2000, *Who Wrote the Book of Life? A history of the genetic code*, Stanford University Press.
- Kevles, Daniel: 1985, *In the name of eugenics. Genetics and the uses of human heredity*, Berkeley, University of California Press.
- Kohler, Robert E.: 1973, 'The enzyme theory and the origin of biochemistry', *Isis* 64, 181-196.
- Kohler, Robert E.: 1982, *From medical chemistry to biochemistry. The making of a biomedical discipline*, Cambridge University Press.
- Kohler, Robert E.: 1991, *Partners in Science. Foundations and Natural Scientists 1900-1945*, University of Chicago Press.
- Kohler, Robert E.: 1994, *Lords of the Fly*, University of Chicago Press.
- Lenoir, Timothy: 1986, 'Models and instruments in the development of electrophysiology, 1845-1912', *Historical studies in the physical and biological sciences* 17, 1-54.

- Löwy, Ilana, Gaudillière, Jean-Paul: 1998, 'Disciplining Cancer: Mice and the Practice of Genetic Purity', in J.-P. Gaudillière, I. Löwy (eds.): *The invisible industrialist. Manufactures and the production of scientific knowledge*, New York, MacMillan Press-St. Martin's Press, 1998, pp. 209-249.
- Mendelsohn, Everett: 1992, 'The social locus of scientific instruments', in Robert Bud, Susan Cozzens (eds.): *Invisible connections: instruments, institutions and science*, Bellinham, Wash.: SPIE Optical Engineering Press, pp. 5-22.
- Merchant, Carolyn: 1980, *The death of Nature. Women, Ecology and the Scientific Revolution*, Nueva York, Harper & Row, 1990.
- Olenko, Kathryn M., Holmes, Frederic L.: 1993, 'Experiment, Quantification, and Discovery', in David Cahan (ed.): *Hermann von Helmholtz and the foundations of nineteenth-century science*, Berkeley, University of California Press, pp. 50-108.
- Pauli, Philip J.: 1987, *Controlling life. Jacques Loeb and the engineering ideal in biology*, Berkeley, University of California Press.
- Rasmussen, N.: 1997, 'The mid-century biophysics bubble: Hiroshima and the biological revolution in America, revisited', *History of Science* 35, 245-293.
- Rheinberger, Hans-Jörg: 1997, *Toward a history of epistemic things. Synthesizing proteins in the test tube*, Stanford University Press.
- Servos, John W.: 1990, *Physical chemistry from Ostwald to Pauling. The making of a science in America*, Princeton University Press.
- Shapin, Steven: 1994, *A social history of thruth. Civility and Science in Seventeenth Century England*, University of Chicago Press.
- Skloot, Rebecca: 2000, 'Henrietta's Dance', *Johns Hopkins Magazine*, April 2000, 16-19.

María Jesús Santesmases es científica titular interina del CSIC en la Unidad de Políticas Comparadas (Madrid). Doctora en Química, desde 1992 se dedica a los estudios sociales de la ciencias biológicas y de la política científica. Entre sus publicaciones más recientes: *Mujeres científicas españolas (1940-1979): profesionalización y modernización social* (Instituto de la Mujer, 2000), 'Severo Ochoa and the biomedical sciences in Spain under Franco' (*Isis* 91, 706-734); *Entre Cajal y Ochoa: ciencias en la España de Franco* (CSIC, 2001, en prensa).