



# Conocimiento práctico, historia, filosofía y enseñanza de la biología: el caso de la herencia biológica

- Practical knowledge, history, philosophy and biology teaching: the case of biological heredity
- Conhecimento prático, história, filosofia e ensino de biologia: o caso da herança biológica

## Resumen

En el artículo se enfatiza que el conocimiento práctico es relevante en la ciencia y en su enseñanza. En primer lugar se expone, a partir de la reflexión filosófica, en qué sentido el conocimiento científico no solamente ha de entenderse como teórico, sino que este también es de naturaleza práctica. Posteriormente se ilustra a través de la indagación histórica cómo se han implementado diferentes prácticas para abordar un ámbito de investigación científica. En particular, se describen que han sido implementadas a lo largo de la historia en la configuración de la herencia biológica como un problema científico. Dichas prácticas son las siguientes: las históricas o narrativas (representadas principalmente por la construcción de historias clínicas y pedigrís); las experimentales (especialmente hibridaciones de plantas); las estadísticas (fundamentalmente en lo que atañe a algunas técnicas como la regresión y la reversión, así como a la realización de argumentos probabilistas); las geométricas (como las que están implicadas en la elaboración de cuadros de Punnett y mapas cromosómicos); las matemáticas (concretamente las que usan el álgebra combinatoria para determinar ciertas características de la progenie); las de modelización (por ejemplo las que conllevan la construcción de modelos como el del ADN y el del operón *Lac*); y las de laboratorio (específicamente las que están implicadas en la cría, mantenimiento y cruzamiento de distintas cepas de mutantes de la mosca de la fruta *D. melanogaster*). Así las cosas, finalmente se sugiere en qué medida ese tipo de saber práctico podría devenir en contenidos procedimentales para la enseñanza de la biología, especialmente en los procesos de formación de profesores de esta ciencia. A modo de conclusión, se plantea la necesidad de seguir avanzando en el establecimiento de relaciones entre historia, filosofía y didáctica de las ciencias, en donde el centro de la reflexión este en comprender y valorar la naturaleza práctica del conocimiento biológico, y repensar la importancia de los contenidos procedimentales en la enseñanza de este saber científico.

Julio Alejandro Castro Moreno<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Profesor del Departamento de Biología, Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá. Doctorando en Filosofía de la Ciencia, Universidad Nacional Autónoma de México. [jcastro@pedagogica.edu.co](mailto:jcastro@pedagogica.edu.co) y [alecasmor@yahoo.es](mailto:alecasmor@yahoo.es)

## Palabras claves:

prácticas científicas, conocimiento práctico, herencia biológica, contenidos procedimentales para la enseñanza de la biología.

Artículo recibido el 06-07-2012  
y aprobado el 07-10-2013

## Abstract

This paper remarks that practical knowledge is relevant to science and science's teaching. First, it is said that scientific knowledge is to be understood not only as theoretical but it is also practical in nature. Second, the authors present several types of scientific practices that have been implemented through history to the configuration of heredity as a scientific problem. These practices are: historical or narrative (represented mainly by the construction of medical records and pedigrees); experimental (especially plant hybridization); statistical (mainly in regard to some techniques such as regression and reversion, as well as elaboration of probabilistic arguments); geometric (such as those involved in the development of Punnett squares and chromosome maps); modeling (for example those involving the construction of models such as the DNA and the *Lac* operon); and laboratory practices (which are specifically involved in maintenance and breeding of various mutant strains of the fruit fly *D. melanogaster*). In this way, it is suggested to ask: to what extent this kind of knowledge could become procedure contents for teaching biology, especially in teacher training processes of this science? In conclusion, we propose that it is necessary to establish relations between history, philosophy and science education, where the focus of reflection is to understand and appreciate the practical nature of biological knowledge, and highlight the importance of procedural content in teaching this scientific knowledge.

### Keywords:

scientific practices,  
practical knowledge,  
biological heredity,  
procedural contents  
for biology teaching.

## Resumo

Neste artigo se enfatiza que o conhecimento prático é relevante na ciência e em seu ensino. Primeiramente se expõe, a partir da reflexão filosófica, em que sentido o conhecimento científico é para ser entendido não somente como teórico, mas que ele também é de natureza prática. Posteriormente se ilustra por meio da investigação histórica como diferentes práticas têm sido implementadas para atender o âmbito da investigação científica. Em particular, se descrevem diversas práticas científicas que têm sido implementadas ao longo da história na configuração da herança biológica como um problema científico. As referidas práticas são as seguintes: as históricas ou narrativas (representadas principalmente pela construção de histórias clínicas e linhagens); as experimentais (especialmente hibridações de plantas); as estatísticas (principalmente no que concerne a algumas técnicas como a regressão e a reversão, bem como à concretização de argumentos probabilistas); as geométricas (como as que estão envolvidas na elaboração de quadros de Punnett e mapas cromossômicos); as matemáticas (concretamente as que usam álgebra combinatória para determinar certas características da progênie); as de modelação (por exemplo, as que conduzem à construção de modelos como o de ADN e o do Operon Lac); e as de laboratório (especificamente as que estão envolvidas na criação, manutenção e cruzamento de diferentes estirpes de mutantes da mosca da fruta *D. Melanogaster*). Assim, finalmente se sugere em que medida esse tipo de saber prático poderia devir em conteúdos procedimentais para o ensino de biologia, especialmente nos processos de formação de professores desta ciência. Em conclusão, se apresenta a necessidade de seguir avançando no estabelecimento de relações entre história, filosofia e didática das ciências, onde o centro da reflexão esteja em compreender e valorizar a natureza prática do conhecimento biológico e pensar la importância dos conteúdos procedimentais no ensino deste saber científico.

## Palavras-chave:

Práticas científicas, conhecimento prático, herança biológica, conteúdos procedimentais para o ensino de biologia.

## Introducción

Si la ciencia ejerce en la actualidad una influencia tan profunda sobre la vida social, de la que ha modificado hasta los sistemas de valores, no es solo por causa de las nuevas representaciones que propone de la realidad. Es también, y sobre todo, porque ha producido un conjunto de prácticas, técnicas y máquinas que transforman los modos de vida.

François Jacob. *El ratón, la mosca y el hombre*.

Este trabajo pone en cuestión varios presupuestos que han orientado la enseñanza de la biología durante largo tiempo. Uno de ellos es el hecho argumentado por autores como Ernst Mayr (1995, 2006) acerca de que la biología se puede dividir básicamente en dos grandes ramas: evolutiva (o histórica) y funcional (o experimental). Brevemente, la primera se caracteriza por hacer uso de narraciones históricas, con las cuales da cuenta de las causas remotas que explican hechos del pasado lejano, mientras que la segunda se centra en elaborar experimentos mediante los que hace patente las causas próximas que, a su vez, permiten explicar los “mecanismos” implicados en procesos de corta duración.

El segundo presupuesto con el que entraré en conflicto es el hecho de asumir el conocimiento científico como exclusivamente teórico. En ese sentido, parte de mi argumento consiste en poner en la mesa de discusión que el saber científico también es, en gran medida, saber práctico, saber-hacer o saber-cómo. Para ello acudiré a varias propuestas que recientemente se han planteado en la filosofía de la ciencia (y otras disciplinas), en donde se ha argumentado a favor de tomarse en serio la importancia de las prácticas científicas como un tema relevante para la indagación epistemológica sobre la ciencia.

El tercer y último presupuesto, íntimamente relacionado con el anterior, es el que asume que los contenidos de enseñanza de la biología son, en especial, de orden teórico y conceptual. Veremos que a partir de los cuestionamientos que se esgrimirán en contra de los presupuestos previos, y las alternativas que se plantearán al respecto, resultará imprescindible poner el acento en los contenidos procedimentales<sup>1</sup>, si queremos fundamentar una didáctica de la biología que esté más acorde con la naturaleza de la ciencia de lo viviente.

Así, la tesis que defenderé en este artículo es que el conocimiento científico también ha de asumirse como conocimiento práctico; es más, argumentaré que sin el saber práctico –mediante el cual intervenimos en el mundo e interactuamos con él– no sería posible ninguna teoría o concepto. Por otra parte, haré ver que dicho saber implica una diversidad exuberante de formas específicas mediante las cuales realizamos investigaciones científicas. Lo anterior conlleva a que en la

<sup>1</sup> Ciertamente los contenidos actitudinales y valorativos son de suma importancia, pero ese será un tema que no abordaremos aquí.

didáctica de la biología se deba hacer hincapié en los contenidos procedimentales, pues estos nos permiten comprender de una mejor manera no solo cómo se *hace* biología, sino cómo se *aprende* y se *enseña* esta ciencia. Para tal fin, ejemplificaré con algunos episodios históricos las maneras como diferentes científicos, en distintas épocas y contextos, han desplegado una diversidad de prácticas para dar cuenta del problema de la herencia biológica. Sin duda, lo discutido acá aplicará para los demás ámbitos disciplinares de la biología, pero he decidido, por falta de espacio, ilustrar mi propuesta con este único ejemplo.

En este momento es preciso hacer unas aclaraciones. En primer lugar, este escrito está dirigido a los profesores de biología en formación o en ejercicio y, por otro lado, con mi propuesta pretendo establecer diversas relaciones entre la historia, la filosofía y la didáctica de la biología. En cuanto a la dimensión histórica, esta desempeñará un rol central en enseñarnos las diversas maneras en que los científicos investigan, mediante prácticas concretas, algunos aspectos del mundo (como el problema de la herencia). En lo que atañe a la dimensión filosófica (sobre todo epistemológica), esta cobrará relevancia en las discusiones en torno a lo que entendemos por conocimiento científico. Finalmente, la dimensión didáctica será esencial cuando abordemos las diferentes implicaciones que tiene la discusión previa en la enseñanza de la biología.

He dividido este artículo en tres apartados. En el primero abordo el tema de en qué medida el conocimiento científico no solamente ha de entenderse como teórico, sino que este también es práctico. En el segundo hago una exposición de algunas prácticas científicas que han sido relevantes, en la historia de la ciencia, para la configuración del problema de la herencia biológica. Finalmente, en el tercero

sugiero algunas propuestas acerca de cómo ese tipo de saber práctico puede ser transformado didácticamente en contenidos procedimentales para la enseñanza de la biología.

## Prácticas científicas y conocimiento práctico

En determinadas perspectivas filosóficas de la ciencia es común asumir algunas dicotomías como, por ejemplo, teoría vs práctica; conocimiento vs. procedimientos; productos vs. procesos; fines vs. medios; racionalidad vs. acción. Como veremos, si argumentamos que las prácticas científicas no solamente son estrategias para producir conocimiento, sino que ellas devienen conocimiento en sí mismas, entonces estas dicotomías no son el caso. Un primer aspecto para lograr ese cometido es comprometernos con la idea de que la ciencia es ante todo una actividad y no simplemente el producto de una actividad.

Aunque hay muchas formas de sustentar que la ciencia es actividad, en este escrito nos comprometeremos con dos de ellas: las prácticas científicas y los estilos de razonamiento científico. A estos últimos he de volver luego. También vale la pena señalar que hay diversas maneras de asumir lo que es una práctica científica y aquí no me detendré a explorarlas, por lo que acudiré a unas pocas propuestas que se han elaborado en las últimas décadas. *Grosso modo*, podríamos decir que una práctica científica es cualquier tipo de acción que emprenden los científicos en cuanto científicos<sup>2</sup> para abordar (y para

2 Desde luego que los científicos en cuanto científicos, llevan a cabo una infinidad de acciones, como, por ejemplo, elaborar proyectos de investigación en aras de conseguir financiación económica, o escribir artículos (u otro tipo de trabajos), asistir a encuentros, dar charlas o conceder entrevistas acerca de sus hallazgos, y un largo etcétera. No obstante, aquí acotaremos esas actividades a las que se limitan a los tipos de prácticas que describiremos detalladamente más adelante.

plantear e incluso resolver) los problemas que les interesan. Sin embargo, dichas prácticas tienen ciertos rasgos que es bueno explicitar. Como lo plantea Martínez (2008):

[...] una práctica [científica] consiste en el alineamiento de diferentes tipos de recursos en un patrón de actividad estable con una cierta estructura normativa que tiene la capacidad de propagarse como una relativa unidad a través de diferentes grupos de agentes. La estructura normativa en cuestión integra valores de diferente naturaleza —morales y epistémicos entre otros—, mediante el despliegue de normas y estándares propios de una práctica o compartidos por toda una tradición (p. 160).

Dentro de las características de las prácticas que me interesa resaltar, entonces, están las siguientes: estas tienen un devenir histórico; corporizan conocimiento como el que está implicado en el aprendizaje de habilidades que permitan ejecutar las acciones en cuestión; muchas veces precisan de recursos materiales especializados como instrumentos o aparatos de laboratorio; y están reguladas por valores y normas de diferente tipo. Dado que estas cualidades están estrechamente relacionadas, en lo que sigue no aludiré a ellas en el orden en el que las acabo de enumerar.

Así las cosas, las prácticas son estrategias puntuales para intervenir científicamente en el mundo y, a veces, para transformarlo, materialmente hablando. En tal sentido, las prácticas requieren en muchas oportunidades de la cultura material (Pickering, 1992). Por ejemplo, con un telescopio o un microscopio podemos acceder visualmente a objetos o fenómenos que no podemos percibir a simple vista, pero con otros instrumentos y técnicas, como algunos de los que se han desarrollado en la ingeniería genética, es posible “crear” organismos o procesos que no existen o no ocurren de manera natural.

Sin embargo, no siempre una práctica necesita de recursos tecnológicos tan sofisticados, ya que en ocasiones basta con implementos tan sencillos como el papel y el lápiz. Como quedará claro más adelante, algunas prácticas, como las que denomino *narrativas*, requieren de una libreta (u otro medio) y algo con qué escribir para consignar la información pertinente, con el fin de elaborar una narración plausible del fenómeno o hecho que se quiere explicar. Otro tipo de prácticas, como las matemáticas y estadísticas, precisan de insumos similares, aunque sus finalidades son claramente diferentes. Con el ejemplo de la herencia que elaboraré en el siguiente apartado, estas ideas serán mejor comprendidas.

En cualquier caso, independientemente de la complejidad de la cultura material que sea indispensable para desplegar una práctica, siempre hay un conjunto de normas, estándares<sup>3</sup> y valores<sup>4</sup> mediante el cual podemos determi-

3 De acuerdo con Martínez (2003), la distinción, que no es tajante, entre normas y estándares, es que las primeras están corporizadas en relaciones sociales y los segundos en artefactos tecnológicos.

4 En consonancia con lo señalado en la nota 3, a pesar de que reconozco la importancia de la dimensión

nar si estamos llevando a cabo una acción adecuadamente. En suma, esta es la dimensión normativa de las prácticas, la cual es entendida por Rouse (2008) en los siguientes términos:

[Podemos decir que algunos] sujetos comparten una práctica, si se considera que sus acciones responden de forma apropiada a normas de prácticas correctas o incorrectas. No todos los practicantes ejecutan las mismas acciones o presuponen creencias idénticas, pero están sujetos a sanciones por acciones o creencias que son inapropiadas o, en general, incorrectas. Por supuesto, no todas las impropiedades son *de hecho* corregidas o penalizadas. Así que las diferentes respuestas que significarían no enmendar alguna ejecución son en sí mismas prácticas normativas. Siempre es posible que tales cadenas de propiedades terminen en algún tipo de regularidad objetivamente reconocible (p. 21).

De este modo, y por poner un ejemplo, sabemos que estamos haciendo buen uso del microscopio en parte por cómo se comporta el instrumento cuando intervenimos en él (nos cercioramos de que no tiene partes averiadas o atoradas), pero también, y especialmente, por cómo somos corregidos o aprobados por una persona que es *experta* en el uso de dicho aparato. En este orden de ideas, no solo es importante el saber teórico que logramos a través de la manipulación adecuada del microscopio, ni el que está implicado en su correcto funcionamiento (como el saber propio de la óptica o la mecánica), sino ante todo el saber práctico que solo se consigue a través de la práctica misma. Aunque hay manuales, y muy buenos, acerca de cómo hacer buen uso

del microscopio, estos no son suficientes para aprender a maniobrarlo: hay que interactuar con uno de estos equipos.

Esta situación nos ayuda a poner de presente un hecho relevante de las prácticas científicas: en gran medida, el conocimiento que ellas contribuyen a elaborar es tácito; sabemos cómo hacer funcionar un microscopio, pero no podemos explicitar todo lo que sabemos al respecto, de ahí que no baste con un manual para aprender este tipo de práctica<sup>5</sup>. Pero esta no es la única cualidad del saber práctico: este es irreductiblemente social (Martínez, 2003), en la medida en que, como lo evidenciábamos en la cita de Rouse, no todos los practicantes poseen las mismas creencias o ejecutan las mismas acciones. Esto es a lo que Hutchins denomina la *cognición socialmente distribuida*<sup>6</sup>. La idea de fondo es que para llevar a cabo tareas complejas, como navegar un barco o tripular un avión, se requiere del concurso de distintos agentes, cada uno de los cuales pone en acción habilidades diferentes pero complementarias. Y qué decir de las tareas complejas que caracterizan a la ciencia. En suma, la ciencia es una actividad o conjunto de actividades que son desarrolladas por diferentes tipos de personas, las cuales poseen un saber práctico (y teórico) que no necesariamente es equiparable al de otras personas, pero que ha de ser compatible con algunos de esos saberes en aras de realizar acciones complejas.

Vemos de esta manera que la dimensión normativa de la ciencia es totalmente indisociable de la dimensión cognitiva (entre otras cosas porque ambas son inexorablemente sociales). Como se ha mencionado, lo que cuenta como conocimiento incide en lo que vale como ra-

valorativa en la ciencia y en su enseñanza, este es un tema que no abordaré en el presente artículo.

5 Sobre la importancia del conocimiento implícito en prácticas cf. Martínez (2003) y King (2008).

6 Este tema está desarrollado en Martínez (2003)

cionalidad y viceversa. Aquí entendemos la cognición práctica como el tipo de saber que nos permite intervenir en el mundo, y la racionalidad como el cúmulo de normas y estándares que nos permiten dar cuenta de si hemos realizado las acciones de intervención adecuadamente o no. En tal sentido, como la ciencia también es saber hacer y este está regulado por una racionalidad práctica, entonces las prácticas científicas también son objeto de estudio de la epistemología de la ciencia (Martínez, 2011 y Martínez y Huang, 2011).

Asimismo, vemos cómo se desvanecen las otras dicotomías a las que aludía arriba: 1) las prácticas no solo son procesos, también son productos, como las técnicas que están implicadas en el buen uso de un instrumento; 2) las prácticas no son lo opuesto a conocimiento, sino que estas también son, con todo derecho, conocimiento científico; 3) las prácticas son acción regulada por un tipo distintivo de normas de racionalidad; 4) las prácticas no han de reducirse a simples medios para lograr fines (como establecer qué teorías están mejor sustentadas empíricamente), pues estas son fines en sí mismas. Hay, sin embargo, un rasgo de las prácticas al que no he aludido y que es muy relevante para el tema que nos ocupa: su historicidad.

Por supuesto que al afirmar que las prácticas son procesos nos estamos refiriendo, así sea de manera implícita, al hecho de que estas son históricas, pero hay un sentido de *históricas* que me interesa enfatizar: las prácticas pueden desplegarse a través de grandes periodos como patrones de acción de un modo más o menos inalterado o que sufre cambios paulatinos, no abruptos. Aunque hay diferentes formas de explicar la historicidad de las prácticas, en este escrito he optado por entenderlas como haciendo parte de diferentes estilos de razonamiento científico<sup>7</sup>. Esto, además, me permite sistematizar las prácticas en formas más generales de llevar a cabo la empresa científica, lo cual nos faculta para organizar una diversidad exuberante de patrones de acción en una lista acotada de modos de emprender las actividades características de la ciencia.

La noción de estilos de razonamiento científico ha sido propuesta y desarrollada por el filósofo Ian Hacking por cerca de tres décadas<sup>8</sup>, a partir del proyecto original de estilos de pensamiento del historiador A.C. Crombie. Este último planteó la existencia de seis estilos:

- El método de postulaciones y derivación de consecuencias en matemáticas (estilo matemático).

7 En Castro (2011) se explican los rasgos distintivos de los estilos de razonamiento y sus posibles usos en la didáctica de la biología. Por lo tanto, en lo que sigue retomaré algunos puntos discutidos en ese trabajo.

8 El lector interesado puede consultar los diferentes textos de las lecciones que Hacking impartió sobre estilos de razonamiento en el Collège de France, entre 2001 y 2006, en la siguiente dirección: [http://www.college-de-france.fr/site/historique/ian\\_hacking.htm](http://www.college-de-france.fr/site/historique/ian_hacking.htm). También puede consultarse la amplia bibliografía sobre el tema referenciada en Castro (2011). Por otra parte, cabe señalar que Hacking entiende el razonamiento como la interacción entre el pensar y el hacer, lo cual es coherente con la idea de práctica científica que se defiende en este artículo.

- La exploración y la medida experimental de relaciones observables más complejas (estilo experimental).
- La construcción hipotética de modelos analógicos (estilo de la modelización hipotética).
- La puesta en orden de lo diverso por la comparación y la taxonomía (estilo taxonómico).
- El análisis estadístico de regularidades dentro de las poblaciones y el cálculo de probabilidades (estilo estadístico).
- La derivación histórica del desarrollo genético (estilo histórico-genético)<sup>9</sup>.

Cabe señalar que Hacking añadió a esta lista el *estilo de laboratorio*<sup>10</sup>. Una de sus características fundamentales es que se basa en la creación de fenómenos<sup>11</sup> a partir de la construcción de instrumentos, actividad que se lleva a cabo en el espacio *hermético* del laboratorio. Así entonces, una diferencia fundamental entre el estilo experimental y el de laboratorio es que en el primero se pueden usar instrumentos en el interior del laboratorio, como ocurre con el microscopio óptico, pero con esas actividades no se crean fenómenos. El estilo experimental se fundamenta en mediciones y observaciones, pero no se transforma el mundo con él (al menos no significativamente), lo que sí ocurre con el estilo de laboratorio.

Por otro lado, vale la pena decir que cada estilo está conformado por dos elementos principales: los objetos que introduce y los métodos específicos mediante los que trae a la existen-

cia nuevas entidades científicas<sup>12</sup>. Además, es preciso mencionar que todos los estilos (o la mayoría) se conjugan en diferentes investigaciones científicas, pues estos son compatibles y complementarios. Ellos no han de confundirse con ciencias o disciplinas particulares, sino que son parte constitutiva de estas. Debido a que mi discusión está centrada en prácticas, pero que he acudido a la noción de estilos de razonamiento para sistematizar la abrumadora diversidad de prácticas que existe, me referiré a las prácticas a partir de los estilos de los que forman parte: matemáticas y geométricas, experimentales, de modelización, taxonómicas, estadísticas y probabilistas, históricas (o histórico-narrativas) o, simplemente, narrativas) y de laboratorio.

Veamos brevemente con un ejemplo cómo esas prácticas (y estilos) intervienen en una ciencia en particular como la química: las prácticas matemáticas son relevantes en lo que atañe al planteamiento de algunos algoritmos y fórmulas o en el establecimiento de geometrías moleculares y ángulos de enlace; las experimentales cumplen un rol en las mediciones de volúmenes, masas y densidades; las de modelización son fundamentales en la construcción de modelos atómicos y moleculares; las taxonómicas son imprescindibles en la clasificación de los elementos en la tabla periódica; las estadísticas son inherentes a los cálculos estequiométricos; y las históricas desempeñan un papel importante en la determinación de velocidades de reacción o en los procesos de descomposición radiactiva.

Llegados a este punto, vale la pena que nos adentremos en el ejemplo de qué prácticas han sido desplegadas en algunos contextos de la investigación sobre la herencia biológica.

9 Tomo esta lista con base en lo planteado por Hacking (2009).

10 Una explicación detallada de este estilo se halla en el tercer capítulo de Hacking (2009).

11 El ejemplo favorito de Hacking es el láser, pero en el ámbito de la biología él ha aludido a los organismos genéticamente modificados.

12 Aquí haré énfasis en los métodos, mientras que dejaré de lado las cuestiones netamente ontológicas, aunque en ocasiones aluda a ellas.

## Conocimiento práctico en la biología: el caso de la herencia

Como primera medida debo aclarar por qué me refiero a la herencia biológica y no a la genética. Ello se debe, como quedará claro en este apartado, a que la genética es solo una forma de acercarse al problema de la herencia que si bien ha devenido hegemónica, su institucionalización no hubiese sido posible sin las teorías, compromisos ontológicos, técnicas y prácticas provenientes de diferentes tradiciones. Sin embargo, en este escrito no pretendo mostrar este hecho sino centrarme en analizar algunas prácticas científicas que han contribuido, a lo largo de la historia, a configurar y redefinir este importante ámbito biológico. Por otro lado, es preciso decir que aunque usaré una estrategia más o menos cronológica, haré énfasis en las algunas novedades procedimentales que se han introducido en el abordaje del problema de la herencia.

Como ha sido ampliamente argumentado por López-Beltrán (1992 y 2004), la explicación de la herencia biológica empezó siendo una explicación de la herencia humana, en especial en lo tocante a la transmisión de enfermedades mentales al interior de ciertas familias o linajes más amplios. En particular, como apunta este autor, en las primeras décadas del siglo XIX algunos miembros de la comunidad alienista (psiquiatra) francesa empezaron a cuestionarse sobre las causas subyacentes a la herencia de dicho tipo de dolencias. Fue en este contexto que se pasó del uso del adjetivo *hereditario* o *enfermedad hereditaria* al sustantivo *herencia* (*hérédité* en francés) o *herencia de las enfermedades*. Ello fue posible, fundamentalmente, gracias al interés que en los alienistas despertó este tema, lo cual se tradujo en una gran cantidad de tesis y disertaciones con las que se pretendía abordar tal problema.

Sin embargo, el hecho de la herencia solamente se pudo establecer debido a que los alienistas se basaron en la elaboración, recolección y archivo de una cantidad enorme de historias médicas, las cuales entiendo como prácticas histórico-narrativas. Este tipo de registro, nacido en la tradición hipocrática, permitió hacer evidentes los vínculos genealógicos entre las personas que padecían cierta clase de enfermedades. Dado que las historias clínicas son ante todo *biográficas*, era preciso concatenar varias de ellas en una historia más global que diera cuenta de las ocurrencias de tal dolencia en el seno de una familia. Una estrategia más útil para poder hacer lo anterior era establecer pedigríes que permitieran poner en evidencia dichos nexos causales. Cabe señalar que los pedigríes han sido utilizados desde hace varias centurias como una forma de determinar herencias de títulos o propiedades, pero también en el contexto de la crianza de animales, para establecer la pureza de linajes. Ya bien avanzado en siglo XIX, estos fueron relevantes en el contexto médico humano.

Retornemos el papel de las historias médicas en la comunidad alienista. Como lo anota López-Beltrán, se puede considerar a la obra del médico francés

Prosper Lucas (1805-1885) como el punto más significativo del uso del método histórico para configurar el problema de la herencia. En particular, cabe resaltar los dos volúmenes que Lucas publicó entre 1847 y 1850, y que tituló *Traité Philosophique et Physiologique de l'Hérédité Naturelle*. De especial interés es el primero de esos volúmenes, en donde Lucas acudió a centenares de historias médicas, a partir de las cuales dejó fuera de toda duda la heredabilidad de algunas enfermedades mentales.

Quizá uno de los primeros autores que quiso indagar sobre el problema de la herencia en otros ámbitos fue Charles Darwin (1809-1882) quien, no sobra decirlo, basó, al menos en parte, sus investigaciones sobre el asunto en la obra de Lucas<sup>13</sup>. Pero tampoco está de más decir que Darwin no utilizó las mismas estrategias que el autor francés, sino que desplegó otro tipo de prácticas, tal y como las describe en su texto *The Variation of Animals and Plants under Domestication*<sup>14</sup>. Dentro de esas prácticas podemos destacar dos: probabilistas y experimentales. En cuanto a las primeras, traigo a colación el siguiente ejemplo<sup>15</sup>: Darwin se interesó por un rasgo que había sido reportado por diferentes autores desde el siglo XVIII, en el que algunos miembros de la familia británica Lambert presentaban en su piel estructuras anormales semejantes a púas, por lo que se les conoció como *hombres puercoespín*. La apelación a lo probabilístico consiste en que debido a los reportes históricos, esa condición no era para nada común en los humanos,

pero sí había llegado a ser frecuente dentro de los miembros de una misma familia, por lo que esa cualidad no podría ocurrir por simple casualidad. Este argumento fue reforzado por Darwin (citado por López-Beltrán, 2007) de la siguiente manera:

Si la presencia del mismo carácter extraño en el hijo y en el padre no puede ser atribuida a que ambos han estado expuestos a las mismas condiciones inusuales, entonces vale la pena considerar el siguiente problema, ya que muestra que el resultado no puede deberse, como algunos autores lo han supuesto, a una mera coincidencia, sino que ha de ser resultado de que los miembros de la misma familia heredan algo en común en su constitución. Demos por bueno que, en una población grande, una determinada afección ocurre en promedio de uno en un millón, de modo que la probabilidad *a priori* de que un individuo tomado al azar se vea afectado por ella es de uno en un millón. Asumamos que la población suma sesenta millones, y que está compuesta, supondremos, por diez millones de familias, cada una de las cuales tiene seis miembros. A partir de estos datos, el profesor Stokes ha calculado por mí que las probabilidades no serán menores de 8333 millones a 1 de que en los diez millones de familias no habrá ni siquiera una sola familia en la cual uno de los padres y dos de los hijos se vean afectados (p. 203).

En lo que respecta a las prácticas experimentales que Darwin desplegó para dar cuenta del problema de la herencia, cabe señalar que estas fueron, sobre todo, hibridaciones de plantas, experiencias que fundamentó en el saber ancestral de algunos horticultores. En concreto, en la primera edición de la obra mencionada, Darwin reportó los resultados obtenidos en la hibridación de plantas “boca

13 Las conexiones entre las obras de Darwin y Lucas se explican en detalle en Noguera y Ruiz (2009).

14 Cuya primera edición fue publicada en 1868 y la segunda en 1872. En particular, en la primera versión, Darwin cita 21 veces la obra de Lucas y dice que escribió ese libro con varios propósitos, pero el más importante era “aprender algo acerca de las leyes de la herencia” (citado por Noguera y Ruiz, 2009, p. 698).

15 Que tomo de López-Beltrán (2007, p. 198).

de dragón" (*Antirrhinum majus*). Él cruzó plantas de flores pelóricas<sup>16</sup> con plantas de flores normales, y encontró que toda la descendencia tenía la característica normal, no importaba si el polen procedía de plantas de una u otra variedad. Luego permitió que los descendientes de este cruzamiento se reprodujeran libremente obteniendo los siguientes resultados: de 127 plantas 88 eran normales o comunes, 2 tenían una condición intermedia entre pelórica y normal, y 37 eran claramente pelóricas, revirtiendo a las características de sus abuelos, pero que no estaban presentes en los padres<sup>17</sup>. Darwin leyó esos resultados a partir de su hipótesis de la pangénesis, por lo que asumió la existencia de gémulas latentes (partículas hereditarias que no se expresan en una generación pero pueden hacerlo posteriormente) y prepotentes (que tienden a expresarse en cualquier generación).

No me detendré a exponer la hipótesis de la pangénesis<sup>18</sup>, pero sí vale la pena señalar que esta fue un punto de partida para que Francis Galton (1822-1911) estableciera, en la última mitad del siglo XIX, la primera explicación estadística de la herencia, para lo cual ideó una serie de técnicas estadísticas. No obstante, cabe aclarar que antes de que Galton se adentrara en dichas técnicas, estaba empeñado en proponer una explicación fisiológica del asunto basada en la transmisión de gémulas. Esta empresa no dio resultados positivos cuando intentó poner a prueba, experimentalmente hablando, la hipótesis de la pangénesis. Específicamente, Galton asumió que las gémulas transitaban por fluidos como la sangre y que a través de ella se desplazaban desde las diferentes partes del cuerpo a las gónadas, pasando así a la progenie. En tal sentido decidió tomar dos variedades de conejos, de pelaje común y gris-plateado, y transfundirles la sangre (de una variedad a otra), en espera de que una vez que se reprodujera cada variedad por separado nacieran gazapos *mestizos*, lo cual nunca ocurrió.

Decepcionado de la pangénesis, desde un punto de vista fisiológico, Galton decidió emprender otro tipo de investigaciones donde no importaba tanto qué era lo que se transmitía, sino cómo se podía modelar estadísticamente este proceso que entendió como algo análogo a una serie de sorteos consistentes en sacar al azar balotas de una urna, en donde las gémulas que pasarían a la siguiente generación estarían representadas por las balotas que aleatoriamente se escogerían en dichos sorteos (Porter, 2005, p. 37). Así las cosas, Galton afirmó: "la teoría de la pangénesis parece mostrar que un hombre es completamente constituido por sus peculiaridades y las de sus ancestros [ésta] expone todas las influencias que actúan sobre la herencia en una forma que es apropiada para el enfoque del análisis matemático" (citado por Bulmer, 2003, pp. 210-211)<sup>19</sup>. Fue así como en diferentes libros y artículos planteó y perfeccionó esencialmente

---

16 Zigomórficas, o sea que tienen un solo plano de simetría, como ocurre con las flores de la fabáceas.

17 De acuerdo con los datos reportados por Bizzo y El-Hani (2009).

18 Al respecto cf. Winther (2000).

19 La traducción de esta y todas las citas provenientes del inglés son responsabilidad del autor del presente artículo.

algunas técnicas y coeficientes (como el de la regresión) y una ley (la ley de la herencia ancestral).

Grosso modo, la regresión consiste en que (las medidas de) las características de la progenie de padres sobresalientes tienden a revertir al valor promedio (de la población en su conjunto). Por su parte, la ley de la herencia ancestral da cuenta de los diferentes aportes individuales que hacen los ancestros cercanos o lejanos a la generación actual. Esta ley, según Bulmer (2003, p. 240), puede ser interpretada como una fórmula para predecir el valor  $y_0$  de la descendencia, dados los valores  $y_1$  de los padres,  $y_2$  de los abuelos y así continuamente hacia el pasado remoto:  $E(y_0 | y_1, y_2, y_3, \dots) = y_1 + y_2 + y_3 + \dots$

Afirmé, párrafos atrás, que con Galton se introdujo el análisis estadístico a la biología (específicamente al problema de la herencia<sup>20</sup>), lo cual puede llevarnos a preguntar por los aportes que Gregor Mendel (1822-1884) hiciera en 1866. De acuerdo con Porter (1986, pp. 134-135), el modelo combinatorio de la transmisión hereditaria de Mendel no puede ser visto como *estadístico* en el sentido usado aquí (esto es, empleando un modo de razonamiento basado en frecuencias numéricas estables). Como es bien sabido, la novedad procedimental que introduce Mendel no es en relación a la hibridación, pues esto ya se venía haciendo en diferentes contextos y para distintos propó-

sitos<sup>21</sup>. Su originalidad consistió, como se ha insistido muchas veces, en el tratamiento matemático de los datos, lo que debe leerse como álgebra combinatoria<sup>22</sup>. No es casualidad, me parece, que en el ámbito del *redescubrimiento* de los principios de Mendel (llamados comúnmente *leyes*) esta perspectiva matemática haya adquirido un soporte *geométrico* en los cuadros que Reginald Crundall Punnett (1875-1967) y otros elaboraron a inicios del siglo XX<sup>23</sup>.

Vale la pena señalar aquí que para establecer el hecho de la herencia no es suficiente con las prácticas que he traído a colación, a pesar de que es innegable el rol fundamental desempeñado por estas. Así las cosas, unas prácticas que empezaron a cobrar relevancia para dar cuenta de este problema fueron las que se desplegaron, sobre todo en la Alemania de la segunda mitad del siglo XIX, con relación al trabajo citológico y embriológico, dominios que no eran entendidos por separado y que no se podían desligar del problema de la herencia, que en este contexto se denominó *Vererbung*<sup>24</sup>. De acuerdo con lo planteado por Churchill (1987), en la década de 1880 varios autores germanos emprendieron investigaciones citológicas sobre el concepto de *Vererbung*, en donde se compartía la idea de que debía haber cierto tipo de continuidad en alguna estructura al interior del flujo cambiante del desarrollo embrionario. Dentro de dichos autores destacan August Weismann (1834-1914), quien estableció la separación entre germen y soma (hay una línea germinal inin-

20 Vale la pena anotar que el trabajo estadístico de Galton fue un recurso fundamental para la que se conoció como la escuela Biométrica, representada por autores como el mismo Galton, Karl Pearson (1857-1936) y Walter Frank Raphael Weldon (1860-1906). Dado que en dicha escuela se entendían la evolución y la herencia en términos netamente estadísticos (aunque algunos de sus partidarios hacían trabajo de campo y experimentos), esta perspectiva, a su vez, contribuyó a que autores como Ronald Fisher (1890-1962), Sewall Wright (1889-1988) y John Burdon Sanderson Haldane (1892-1964) fundaran la genética de poblaciones a inicios de la década de 1930. Este tema está desarrollado en Provine (1971).

21 Por ejemplo, Darwin emprendió, como vimos, este tipo de práctica casi por la misma época en que lo hizo Mendel y ambos retomaron este tipo de prácticas de distintos hibridadores.

22 Cf., por ejemplo, Casanueva (2003), en especial el primer capítulo.

23 A este respecto cf. Wimsatt (2007).

24 Que significa transmisión hereditaria, es decir, la capacidad del organismo para desarrollarse a través de una secuencia regular de etapas.

terrumpida), Eduard Strasburger (1844-1912), que con sus trabajos contribuyó notablemente a comprender los procesos de división celular y fecundación, particularmente en plantas, y Oscar Hertwig (1849-1922), que publicó un artículo en 1885 en donde expresaba los avances logrados en sus ámbitos de investigación citológica: la fertilización y la embriología experimental<sup>25</sup>.

Fue en gran medida en este tipo de trabajos (citológicos y embriológicos) que las prácticas de laboratorio empezaron a cumplir un papel preponderante en los estudios sobre la herencia. Un resultado digno de mención en este contexto fue la identificación de los cromosomas como los corpúsculos responsables de transmisión hereditaria, lo que ayudó a fundamentar la *hipótesis cromosómica de la herencia*<sup>26</sup> (Martins, 1998), propuesta independientemente a principios del siglo XX por el alemán Theodor Boveri (1862-1915) y el estadounidense Walter Sutton (1877-1916). Sin duda, prácticas citológicas como la tinción, el corte y la fijación de tejidos, la calibración de microscopios, el uso del aceite de inmersión, etc., fueron de suma importancia para entender el fenómeno hereditario, pero hubo otro tipo de prácticas que contribuyeron de modo aún más significativo: las de intervención y transformación propias del estilo de laboratorio.

Este viraje empezó a ser relevante a finales del siglo XIX, en Alemania, en lo que se ha conocido como la embriología experimental o fisiológica, cuyos principales representantes son Wilhelm His (1831-1904), Wilhelm Roux (1850-1924) y Hans Driesch (1867-1941). Grosso modo, estos científicos querían establecer una nueva embriología que se apartara de las explicaciones filogenéticas propuestas por Ernst Haeckel (1834-1919)<sup>27</sup>, y que se enfocara en las causas próximas que solo se podían comprender, en su opinión, a través de los métodos de la física y la química<sup>28</sup>. A pesar de que esas prácticas (que permitían intervenir en el curso normal del desarrollo para ver qué ocurría con los embriones) resultaron una gran innovación procedimental, algunos de esos científicos, en especial Roux, propusieron, con base en ellas, teorías de orden preformacionista.

Es interesante anotar que Thomas Hunt Morgan (1866-1945) retomó mucho de las prácticas de los embriólogos germanos, pero se distanció de algunas de sus teorías a las que consideraba como simples especulaciones. En particular, Morgan estuvo entre 1894 y 1895 en la Estación Zoológica de Nápoles (Italia), donde tuvo contacto con Driesch, y con él realizó experimentos sobre el desarrollo en el *filum Ctenophora*<sup>29</sup> (Martins, 1998). Justamente, con Morgan las prácticas

25 Cabe señalar que en la década de 1870 este autor ya había realizado importantes observaciones acerca del proceso de fecundación, concretamente en los erizos de mar.

26 Un análisis sobre el papel del trabajo citológico (y las representaciones pictóricas asociadas a él) en la identificación de los cromosomas como agentes fisiológicos se encuentra en Benson (2007).

27 O sea la famosa doctrina de la *recapitulación*. Sobre el tema, cf. Gould (2010).

28 Se ve que ha existido conflictos entre las dos biología de Mayr, a las que he de regresar luego. Sobre la disputa entre *recapitulacionistas* y embriólogos experimentales, véase el texto de Gould citado en la nota previa.

29 Un *filum* exclusivamente marino que consta de muchas especies similares a las medusas.

de laboratorio asumen el papel más importante en el estudio sobre la herencia. Como lo señala Martins, este autor fue un duro crítico de la hipótesis cromosómica de la herencia y del mendelismo, doctrinas que posteriormente no solo defendió acérrimamente sino que ayudó a fundamentar fuera de toda duda. Esto solo fue posible gracias a la producción de una innumerable cantidad de mutantes de la mosca *Drosophila melanogaster*, la cual devino un organismo estándar u organismo modelo (Kohler, 1993, 1994) que, a su vez, permitió la construcción de los primeros mapas genéticos (Barahona, 2007), en las primeras décadas del siglo pasado.

Dicho sea de paso, con Morgan y su escuela se radicaliza, por ponerlo en esos términos, el uso de las prácticas de laboratorio en el ámbito hereditario porque crea nuevos fenómenos, es decir nuevos mutantes que en la naturaleza no podrían sobrevivir, lo que sí logran hacer en el espacio artificial del laboratorio, ya que en él se establecen nuevas reglas de supervivencia (Kohler, 1993). Por supuesto que los científicos no crean fenómenos *ex nihilo*, sino que toman de la naturaleza la *materia prima* para hacerlo. El asunto es que se producen fenómenos u organismos que no surgirían de manera natural o que no permanecerían por mucho tiempo. Por otra parte, cabe anotar que en la construcción de los mapas cromosómicos están implicados varios tipos de prácticas (además de las de laboratorio). Dado que se trata de mapas, entonces unas prácticas relevantes son las geométricas que ayudaron a ubicar los genes (representados como puntos) en un cromosoma (entendido como una línea). Pero esto fue posible gracias a la determinación de porcentajes de recombinación (con base en cruzamientos a gran escala), o sea a prácticas estadísticas, ya que así pudieron los investigadores calcular la distancia relativa (no real) entre genes ligados

(ubicados en un mismo grupo de ligamiento o cromosoma).

Además, los mapas fueron una realidad debido a que se reemplazó un sistema de clasificación típicamente cualitativo, por uno de orden cuantitativo (en el que se calcula el porcentaje de recombinación). No obstante, en ambos desempeñan un papel central las prácticas taxonómicas. Un ejemplo será de utilidad para ilustrar el sistema cualitativo de clasificación<sup>30</sup>. En cierto momento, Morgan y su grupo habían obtenido cinco mutantes de drosófila para la coloración de los ojos (rojo, blanco, rosa, bermellón y naranja). Postularon, entonces, un determinante para el color, al que denominaron *C*, y tres factores modificadores: rojo, rosa y naranja, cuya presencia denotaron con letras mayúsculas, *R*, *P*, y *O*<sup>31</sup>, y su ausencia la simbolizaron con letras minúsculas; *r*, *p* y *o*. Desde esa perspectiva, se supuso que el color silvestre (rojo) se debía a la presencia de todos los factores (*RPOC*) y que las formas mutantes aparecían por la pérdida de uno o más de ellos: rosa (*rPOC*), naranja (*rpOC*), bermellón (*RpOC*), y el blanco se debía a la ausencia del determinante del color, *C*. Algo similar se hizo para otras familias de rasgos. Sin embargo, como lo sostiene Kohler, la avalancha de nuevos mutantes hizo que este sistema cualitativo de clasificación deviniera obsoleto, y de ahí la necesidad por acudir a una perspectiva cuantitativa que llevó a la construcción de los primeros mapas cromosómicos.

Podríamos seguir alargando la historia, pero para efectos del tema que pretendo abordar en el siguiente apartado voy a mencionar, solo de paso, un tipo de práctica que empezó a adquirir un valor sin precedentes en los estudios sobre la herencia, en concreto en

30 Se toma este ejemplo de Kohler (1994, pp. 56-57).

31 Por sus iniciales en inglés: *red*, *pink* y *orange*.

el contexto de la biología molecular: la modelización. Un primer ejemplo que se nos viene a la mente es el planteamiento del modelo de la doble hélice del ADN, por parte de Francis Crick (1916-2004) y James Watson (nacido en 1928) en 1953. Pero hay otro modelo que, desde mi punto de vista, es más complejo e interesante porque relaciona varios elementos de un sistema biológico en íntima conexión con las condiciones del medio externo: la regulación genética del sistema lactosa en la bacteria *Escherichia coli*. Brevemente, François Jacob (nacido en 1920) y Jacques Monod (1910-1976) propusieron dicho modelo, a inicios de la década de 1960, con el cual explicaron cómo se regula la síntesis de las enzimas implicadas en el metabolismo de ese disacárido en esa bacteria, modelo que denominaron *operón*<sup>32</sup> y que se ha popularizado como el modelo del operón *Lac*<sup>33</sup>.

En este apartado he querido mostrar cómo los tipos de prácticas (asociados a estilos de razonamiento) descritos en la sección anterior han desempeñado diferentes roles en distintos contextos para dar cuenta del problema de la herencia. Un punto que ha estado pendiente y que amerita un comentario, así sea breve, es que con este ejemplo histórico queda en evidencia que en un campo tan específico hay diferentes maneras de hacer las cosas, lo cual es una prueba en contra de la clasificación tan estrecha de Mayr, acerca de que solo hay dos modos de emprender la indagación biológica. Hecho esto, paso a discutir las implicaciones didácticas de lo expuesto hasta ahora.

## Conocimiento práctico, naturaleza de la ciencia y enseñanza de la biología

El interés, al mostrar diversos tipos de prácticas que han intervenido en la configuración del problema de la herencia biológica a través de la historia, no es sugerir que de lo que se trata ahora es convertir todos esos procesos en contenidos para la enseñanza de la biología. El objetivo al hacer ello fue poner de presente que no hay una única manera de abordar un ámbito científico y, siendo más generales, que no existe un número reducido de llevar a cabo la investigación biológica. Este hecho, sin duda, tiene importantes implicaciones para la enseñanza de la biología, pero en lo que sigue se hace hincapié en los procesos de formación de profesores de dicha ciencia.

En primer lugar, cabe decir que de todas las prácticas enunciadas solo algunas de ellas han devenido contenidos procedimentales para la enseñanza/aprendizaje de la biología, en particular de la herencia. Por ejemplo, una discusión acerca del rol desempeñado por las historias médicas en la configuración de la herencia como problema científico está ausente de los planes de estudio

32 Véase Jacob y Monod (1961).

33 Un estudio histórico-filosófico de cómo se propuso este modelo, y una discusión a fondo de sus implicaciones didácticas se halla en Castro (2006).

en los que se enseña genética o áreas afines. No obstante, valga aclarar acá que no abogo porque se haga una mera alusión a este tipo de procedimientos sino que, en la medida de lo posible, estos se aprendan a través de la práctica en sí misma. En síntesis, mi propuesta es que en los procesos de formación de profesores de biología (y otro tipo de profesionales) algunas prácticas que han sido importantes en la historia de la biología entren a formar parte de dichos procesos como contenidos procedimentales. Digo *algunas* porque quizá no todas han permanecido como formas exitosas de llevar a cabo la investigación científica en dominios específicos, o porque algunas de ellas, debido entre otras cosas al equipamiento que precisan, dificultarían su enseñanza/aprendizaje en determinados contextos. Para ilustrar este punto pienso, por ejemplo, en algunas técnicas de la biología molecular que no en cualquier institución educativa se podrían poner en marcha debido al costo de los reactivos necesarios o a la difícil consecución de los instrumentos imprescindibles para ello<sup>34</sup>.

Pero independientemente de cuáles prácticas concretas deberían y podrían ser transformadas en contenidos de enseñanza, hay un aspecto aún más relevante de discutir en este escrito. El asunto central es que si asumimos que lo que vale la pena ser aprendido y enseñado es *conocimiento* validado por una comunidad de especialistas, entonces debemos tomarnos muy en serio la idea de que el conocimiento práctico es conocimiento científico digno de ser aprendido y enseñado al igual, o más, que el conocimiento teórico-conceptual. Como lo afirma Martínez (2001): “una ojeada a las teorías de la educación que

han sido propuestas a lo largo de la historia de la filosofía muestra que nuestro concepto de educación ha estado siempre influido por las diferentes maneras en las que entendemos qué es y qué no es conocimiento” (p. 289).

A diferencia del saber teórico, que se puede aprender leyendo libros de texto (u otros documentos) o escuchando al maestro o viendo un documental, el conocimiento práctico requiere ser practicado. Por supuesto que por aquellos medios podemos entender qué es una técnica estadística como la regresión, o en qué consiste un mapa cromosómico, o cómo se realiza una práctica de laboratorio para determinar el cariotipo de una especie, pero esto sería un tipo de saber *declarativo* sobre la práctica. Sin duda, una cosa es comprender las reglas del ajedrez y otra saber cómo jugar una partida contra un contrincante con cierto nivel de experticia. Desde luego que no tenemos que saber hacer toda práctica de la que hablamos, pero sería mejor saberlo. Como vimos en el primer apartado, el conocimiento práctico de la ciencia (y de otros ámbitos) es un conocimiento socialmente distribuido, lo que conlleva a que no todos los practicantes sepan lo mismo o sepan hacer tareas idénticas, pero hay que saber hacer alguna actividad específica allí implicada, de lo contrario no seríamos practicantes de la tarea de la que se trate.

Asimismo, comprender qué ha resultado exitoso en la ciencia como formas correctas de emprender actividades es algo que solo podemos hacer a través de los estudios histórico-filosóficos de la ciencia, y de allí podemos basarnos para dictaminar qué es enseñable, por qué, a qué tipo de población y en qué contexto. Dichos estudios nos permiten acercarnos de una manera más interesante y compleja a la naturaleza de la ciencia que, como hemos visto es, ante todo, una naturaleza práctica.

34 Ciertamente, en el caso de prácticas que no puedan realizarse en las instituciones educativas, una estrategia oportuna serían los videos, las simulaciones en computador o la lectura de episodios históricos en los que se instituyeron y fueron importantes dichas prácticas, por ejemplo.

Pero entender en qué consiste la ciencia como actividad no significa que quienes aprenden biología (no para ser biólogos sino profesores de biología, por ejemplo) deban hacer lo mismo que han hecho los biólogos a lo largo del tiempo. Precisamente, *didactizar* un saber científico conlleva una transformación de ese saber para hacerlo enseñable y cognoscible en un nuevo entorno. Este hecho se puede ilustrar, siguiendo la línea de argumentación de la sección previa, con el ejemplo de cómo la cría, selección, cultivo y mantenimiento de mutantes de drosófila, así como los diversos cruzamientos que se pueden realizar con ellos, se han transformado en unas prácticas de enseñanza/aprendizaje a partir de lo que resultó un cúmulo de prácticas científicas exitosas.

Sin embargo, cabe precisar que no pretendo sugerir que las prácticas biológicas que se vuelven objeto de enseñanza lleguen a serlo a través de un proceso lineal de traspaso o transposición desde un contexto netamente científico a uno estrictamente educativo, entre otras cosas porque a veces no es tan fácil distinguir claramente esos dos entornos. Por el contrario, lo que afirmo es que los estudios histórico-filosóficos son excelentes guías a la hora de seleccionar qué es lo enseñable, por qué y cómo. No se trata, entonces, de reproducir todo lo que hacen los científicos, sino de tomar sus acciones como un punto importante de referencia. No podemos pretender enseñar biología si no nos tomamos en serio lo que ha significado históricamente hacer biología. Así las cosas, paso a desarrollar el ejemplo que anuncié.

Como lo señala Kohler (1993), la mosca *D. melanogaster* entró a ser un nuevo habitante del laboratorio fundamentalmente porque ya era un recurso educativo muy usado en diferentes niveles, en especial en lo que atañe al estudio de procesos de metamorfosis y algunos tropismos (como el fototropismo positivo). Vemos de este modo que no es tan fácil hacer una distinción tajante entre el contexto científico y el educativo. Además, este organismo empezó a ser importante en investigaciones de laboratorio en el tema de la evolución, no en el de la genética, ámbito en el que ha llegado a ser, quizá, el organismo modelo más representativo. Ello por varios motivos, como, por ejemplo, por la facilidad de mantener muchos individuos en un espacio reducido, por su buena capacidad de reproducirse, con un ciclo de vida corto y, sobre todo, por la cantidad de mutantes que se han generado y preservado desde 1910, año en el que se detectaron los primeros de ellos.

Las prácticas allí implicadas han devenido exitosas, en gran medida, porque las normas que las regulan han llegado a establecerse como formas de determinar si se están haciendo correctamente las cosas, lo que a su vez muchas veces precisa de instrumentos o materiales, como las moscas en sí mismas. Entre esas normas e instrumentos podemos mencionar las que están implicadas en anestesiar los individuos (con éter etílico) para poder manipularlas sin hacerles daño o para evitar que escapen. Sin embargo, si las moscas se dejan mucho tiempo bajo el efecto del éter, morirán. Pero si se dejan por un lapso corto, se recobrarán rápidamente y podrán huir. Cuánto es poco o demasiado tiempo, no es algo

que se pueda determinar fácilmente, sino que es algo que se aprende en la práctica. Otro proceso que es muy relevante en los cruces de mutantes es asegurar la virginidad de las hembras para poder realizar las hibridaciones que se han planeado. Si no se separan las hembras antes de que estén en capacidad de aparearse ya no se podrán cruzar organismos con las características deseadas.

El asunto a resaltar es que muchas de esas prácticas, normas e instrumentos han sido utilizados (y modificados a veces) en el contexto de la formación de nuevas generaciones de biólogos o profesores de biología. Un ejemplo relevante de ello es el libro que recientemente ha coordinado Matta (2010) en el que se retoman estos y otros elementos del trabajo de experimental con la drosófila, en especial para el aprendizaje de la genética a nivel universitario. En suma, este tipo de trabajos son una muestra de cómo los conocimientos prácticos producidos por la ciencia, si resultan interesantes y pertinentes, serán adaptados a un contexto de enseñanza/aprendizaje, es decir que estos son transformados didácticamente en contenidos procedimentales para la enseñanza de un campo disciplinar específico.

## Reflexiones finales

En Castro y Valbuena (2007) nos preguntamos acerca de qué debería ser enseñado de la biología y qué estrategias eran las más idóneas para hacerlo, frente a lo cual respondimos que lo enseñable habría de estar centrado en los conceptos estructurantes de dicha ciencia y cómo enseñar debería estar basado en algunas formas de proceder en biología. En ese escrito llamamos la atención acerca de que los contenidos de enseñanza no solamente han de ser entendidos como teórico-conceptuales, sino que los procedimentales también son

importantes<sup>35</sup>. No obstante, allí asumimos que los procedimientos eran medios para enseñar conceptos y no los entendimos como contenidos procedimentales en sí mismos. En este escrito he intentado ampliar ese panorama, al mostrar cómo históricamente diferentes tipos de prácticas (que corporizan normas y conocimiento, entre otros aspectos) han contribuido al establecimiento del problema de la herencia biológica, gracias a lo cual podemos hacer transformaciones didácticas que nos ayuden a proponer algunos contenidos procedimentales que nos permitirán complejizar la enseñanza de la biología.

Ciertamente, los contenidos teóricos también son muy importantes en la didáctica de la biología<sup>36</sup>, pero desafortunadamente éstos se han asumido como los más importantes o cómo lo único que realmente importa. En este artículo he querido hacer plausible que los saberes prácticos de la ciencia (y los contenidos procedimentales de la educación científica) son aún más relevantes que los saberes teóricos (y los contenidos conceptuales). De acuerdo con Martínez (2001):

es solo en un contexto de prácticas en el que podemos darle sentido y entender como conocimiento a una teoría. Las teorías no existen en ningún paraíso platónico

35 En Castro y Valbuena (2007) aludimos principalmente a los siguientes procedimientos que son importantes en la biología y en su enseñanza: la experimentación, la narración histórica, la observación del mundo viviente (por ejemplo ayudada por instrumentos como el microscopio), la modelización y el trabajo de campo. Salvo este último proceder, en este texto hemos visto cómo los demás han desempeñado un papel crucial en la configuración del problema de la herencia, pero asumo que aquél también cumple un rol central en la enseñanza de este tópico biológico. Solo a modo de comentario, vale la pena decir que los trabajos de campo igualmente han sido relevantes en el estudio de la herencia, y un ejemplo de ello son los diversos trabajos que en ese sentido emprendió Theodosius Dobzhansky en particular con poblaciones de diferentes especies del género *Drosophila*. Al respecto pueden consultarse los textos de Kohler (1994, cap. 8) y Barahona, Pinar y Ayala (2003, cap. 5).

36 Y obviamente lo son los valorativos, a los cuales no me referí en este documento.

o estructuralista, más bien deben de verse como construcciones intelectuales apoyadas en un contexto de prácticas que se estructuran en tradiciones intelectuales que tienen una historia (p. 295).

Lo anterior, como hemos visto, tiene importantes implicaciones en lo que decidimos que ha de devenir objeto de la enseñanza de la ciencia.

Por supuesto que es posible aprender una biología netamente teórica, pero esta sería una biología platónica, sin anclajes en el mundo *real* (material). Como toda ciencia, la biología implica una interacción con el mundo, y a veces su transformación, y esto solo se logra a través de prácticas científicas y las normas inherentes a ellas. La biología que vale la pena enseñar y aprender es la que nos permite actuar para comprender biológicamente el mundo del que formamos parte.

Como lo afirma Jacob en la cita que tomé como epígrafe, la ciencia, y en particular la biología, ha dejado de ser exclusivamente un modo de representar el mundo; también lo transforma, entre otras cosas porque toma cuerpo en habilidades, técnicas, instrumentos, normas, estándares, en fin, en prácticas. Por otra parte, no creo que la práctica por sí misma haga al maestro, pero él no puede prescindir de aquella, ya que solo a través de las prácticas científicas (y su historia) puede cualificar su práctica docente si quiere enseñar una naturaleza científica más acorde con las actividades que de hecho han llevado a cabo los científicos a lo largo del tiempo. Sin embargo, quedará pendiente, en lo que a mí respecta, un análisis exhaustivo de las prácticas propias de la profesión de los docentes de biología: sus normas y formas de transmitirse, propagarse y hacerse exitosas en diversos contextos, y cómo dichas prácticas están orientadas, al menos en parte, por los discursos histórico-filosóficos de la ciencia.

## Referencias bibliográficas

- Barahona, A. (2007). De los genes como unidades fisiológicas a la construcción de mapas genéticos. En: E. Suárez (comp.). México: Limusa, UNAM., pp. 283-297.
- Barahona, A.; Pinar, S. y Ayala, F. (2003). *La genética en México. Institución de una disciplina*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Benson, K. (2007). La representación de los cromosomas, de cuerpos morfológicos a agentes fisiológicos. En: E. Suárez (comp.). *Variedad infinita: ciencia y representación. Un enfoque histórico y filosófico*. México: Limusa, UNAM, pp. 261-281.
- Bizzo, N. y El-Hani, C. N. (2009). Darwin and Mendel: evolution and genetics. *Journal of Biological Education* 43 (3), 108-114.
- Bulmer, M. (2003). *Francis Galton Pioneer of Heredity and Biometry*. Baltimore y Londres: The Johns Hopkins University Press.
- Casanueva, M. (2003). *Mendeliana*. México: UAM-Iztapalapa y Miguel Ángel Porrúa.

- Castro, J.A. (2006). *Interrelaciones entre historia, epistemología y didáctica de las ciencias: el caso del modelo del operón lac en biología molecular. Un análisis de textos universitarios*. Tesis de grado, Maestría en Docencia de la Química. Mención de Honor en el IX Premio Nacional de Educación Francisca Radke, 2008. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Castro, J.A. (2011). Estilos de razonamiento científico y enseñanza de la Biología: posibles conexiones y propuestas didácticas. *Revista de Educación en Biología* 14 (2), 5-12. Disponible en: <http://revistaadbia.com.ar>
- Castro J.A. y Valbuena, E. (2007). ¿Qué Biología enseñar y cómo hacerlo? Hacia una resignificación de la Biología escolar. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, 22, 126-145. Recuperado de: <http://www.pedagogica.edu.co/revistas/ojs/index.php/TED>
- Churchill, F. (1987). From Heredity to *Vererbung*. The Transmission Problem, 1850-1915. *Isis*, 78, 337-364.
- Esteban, J.M. y Martínez, S. (comps.). (2008). *Normas y prácticas en la ciencia*. México: Instituto de Investigaciones Filosóficas, UNAM.
- Gould, S.J. (2010) [1977]. *Ontogenia y filogenia. La ley fundamental biogenética*. Barcelona: Crítica.
- Hacking, I. (2009). *Scientific Reason*. Taipei, Taiwan: Institute for Advanced Studies in Humanities and Social Sciences, National Taiwan University.
- Jacob, F. y Monod, J. (1961). Genetic regulatory mechanisms in the synthesis of proteins. *Journal of Molecular Biology*, 3, 318-356.
- King, P. (2008). De las normas implícitas en prácticas lingüísticas a las normas implícitas en prácticas epistémicas. En: J.M. Esteban y S. Martínez (comps.). *Normas y prácticas en la ciencia*. México: Instituto de Investigaciones Filosóficas. UNAM. pp. 61-79.
- Kohler, R. (1993). *Drosophila: A Life in the Laboratory*. *Journal of the History of Biology* 26 (2), 281-310.
- Kohler, R. (1994). *Lords of the Fly. Drosophila Genetics and the Experimental Life*. Chicago y Londres: The University of Chicago Press.
- López-Beltrán, C. (1992). *Human Heredity 1750-1870. The Construction of a Scientific Domain*. Ph.D. Thesis. Londres: King's College London.
- López-Beltrán, C. (2003). *Geografía de las prácticas científicas. Racionalidad, heurística y normatividad*. México: Instituto de Investigaciones Filosóficas, UNAM.
- López-Beltrán, C. (2004). In the Cradle of Heredity; French Physicians and *L'Hérédité Naturelle* in the Early 19th Century. *Journal of the History of Biology*, 37, 39-72.
- López-Beltrán, C. (2007). Narrativa, estadística y pensamiento hereditario. El soporte narrativo de las primeras estadísticas. En: E. Suárez (comp.). *Variación infinita: ciencia y representación. Un enfoque histórico y filosófico*. México: Limusa-UNAM. pp. 189-213.
- López-Beltrán, C. (2008). Un lugar para las prácticas en una filosofía de la ciencia naturalizada. En Esteban, J.M., & Martínez, S. (comps.). *Normas y prácticas de la ciencia*. México: IIF-UNAM. pp. 151-167.

- López-Beltrán, C. (2011). *La cognición corporizada en prácticas: implicaciones para la filosofía de la ciencia*. En Martínez, S., Huang, X., & Guillaumin, G. (comps.), pp. 217-234.
- Martínez, S. (2001). El papel de la historia y de las prácticas científicas en la educación. *Éndoxa: Series Filosóficas*, 14, 289-306.
- Martínez, S. (2003). *Geografía de las prácticas científicas. Racionalidad, heurística y normatividad*. México: Instituto de Investigaciones Filosóficas, UNAM.
- Martínez, S. y Huang, X. (2011). Introducción: Hacia una filosofía de la ciencia centrada en prácticas. En: S. Martínez; X. Huang, y G. Guillaumin (comps.). *Historia, prácticas y estilos en la filosofía de la ciencia. Hacia una epistemología plural*. México: UAM-Iztapalapa y Miguel Ángel Porrúa. pp. 5-63.
- Martínez, S.; Huang, X. y Guillaumin, G. (comps.). *Historia, prácticas y estilos en la filosofía de la ciencia. Hacia una epistemología plural*. México: UAM-Iztapalapa y Miguel Ángel Porrúa.
- Martins, L. (1998). Thomas Hunt Morgan e a teoria cromossômica: de crítico a defensor. *Episteme, Porto Alegre*, 14, 27-55.
- Matta, N. (ed.). (2010). *La mosca de la fruta: Drosophila melanogaster como organismo modelo en genética*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Mayr, E. (1995). *Así es la biología*. Madrid: Debate.
- Mayr, E. (2006). *Por qué es única la biología. Consideraciones sobre la autonomía de una disciplina científica*. Buenos Aires: Katz.
- Noguera, R. y Ruiz, R. (2009). Darwin and Inheritance: The Influence of Prosper Lucas. *Journal of the History of Biology*, 42, 685-714.
- Pickering, A. (1992). From Science as Knowledge to Science as Practice. En: A. Pickering (ed.). *Science as Practice and Culture* (pp. 1-26). Chicago y Londres: The University of Chicago Press.
- Porter, T. (1986). *The Rise of Statistical Thinking 1820-1900*. Princeton: Princeton University Press.
- Porter, T. (2005). The Biometric Sense of Heredity: Statistics, Pangenesis and Positivism. En: S. Müller-Wille y H.J. Rheinberger (eds.). *Conference: A Cultural History of Heredity III: 19th and Early 20th Centuries* (pp. 31-42). Berlín: Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte.
- Provine, W. (1971). *The origins of theoretical population genetics*. Chicago: University of Chicago Press.
- Rouse, J. (2008). *Dos conceptos de práctica*. En: J. Esteban y S. Martínez (comps.). *Normas y prácticas en la ciencia*. México: Instituto de Investigaciones Filosóficas, UNAM, pp. 19-34.

- Suárez, E. (comp.). (2007). *Variedad infinita: ciencia y representación. Un enfoque histórico y filosófico*. México: Limusa-UNAM.
- Wimsatt, W. (2007). La geometría analítica de la genética: estructura, función y evolución temprana de los cuadros de Punnett. En: E. Suárez (comp.). *Variedad infinita: ciencia y representación. Un enfoque histórico y filosófico*. México: Limusa-UNAM, pp. 215-260.
- Winther, R. (2000). Darwin on Variation and Heredity. *Journal of the History of Biology*, 33, 425-455.
- Wright, N. (2001). *A Life of Sir Francis Galton. From African Exploration to the Birth of Eugenics*. New York: Oxford University Press.