

EXPERIMENTOS EN BIOLOGÍA EVOLUTIVA: ¿QUÉ TIENEN ELLOS QUE LOS OTROS NO TENGAN?*

Gustavo Caponi**

RESUMEN

Asumiendo y profundizando la distinción entre Biología Funcional y Biología Evolutiva conforme ha sido propuesta por Ernst Mayr y François Jacob, comparamos la naturaleza de los procedimientos experimentales que se realizan en uno y otro dominio de las ciencias de la vida. En vistas a esto, introducimos ciertas precisiones sobre las nociones de *observación* y *experimento* e intentamos elucidar los presupuestos sobre los que se apoya la experimentación en biología funcional. A continuación, presentamos los fundamentos y las particularidades de los procedimientos experimentales desarrollados en el contexto de ese capítulo de la biología evolutiva que es la genética de poblaciones, y analizamos las peculiaridades de las variables sobre la que estos se ejercen. Esto nos permite mostrar la diferencia radical que existe entre operar sobre variables poblacionales y operar sobre variables fisiológicas.

Palabras claves: Biología funcional, biología evolutiva, experimentos fisiológicos, experimentos poblacionales, Filosofía de la Biología.

EXPERIMENTS IN EVOLUTIVE BIOLOGY WHAT DO THEY HAVE THAT OTHERS MISS?

In this article we compare the nature of the experimental procedures that are carried out in different areas of biology. This is done by accepting and deepening the distinction between *Functional* and *Evolutionary Biology* as it is argued for by Ernst Mayr and François Jacob. Keeping this in mind, we introduce some remarks on the notions of *observation* and *experiment* and

* Este artículo guarda una estrecha continuidad con trabajos que hemos publicado en los números 12 y 14 de *Episteme* (Caponi, 2001a y 2002a). Como, pese a ello, lo hemos redactado de forma tal que pueda ser leído como un escrito independientemente, nos vimos obligados a reiterar el tratamiento de algunos de los temas analizados en esos otros artículos.

** Professor adjunto do Departamento de Filosofia da Universidade Federal de Santa Catarina; pesquisador do CNPq. *E-mail:* caponi@cfh.ufsc.br.

try to clear up the presuppositions on the basis of which experimentation in *Functional Biology* rest. In the wake of it, we show the foundations and the main aspects of those experimental procedures that are developed in the context of that chapter of *Evolutive Biology* called *Genetics of Populations* and analyze the peculiarities of the variables by which those experiments are carried out. This allows us to show the radical difference between working on population and physiological variables.

Key words: Functional biology, evolutive biology, physiological experiments, populational experiments, Philosophy of Biology.

PRESENTACIÓN

La biología evolutiva no es en su mayor parte, lo sabemos, una ciencia de laboratorio. A diferencia de lo que ocurre con la fisiología, con la biología del desarrollo y con la biología molecular, capítulos todos ellos de la biología funcional, la biología evolutiva sólo puede recurrir a procedimientos experimentales de un modo restringido y en contextos muy específicos. Con todo, esos experimentos existen y poseen peculiaridades que, distinguiéndolos de aquellos que ocurren en otras áreas de la biología, pueden también permitirnos entender las diferencias que existen entre esos dominios de investigación y la biología evolutiva.

No cabe negar, claro, cierta solidaridad profunda entre la biología evolutiva y la biología de los naturalistas: Darwin y sus seguidores inmediatos fueron naturalistas; y hay razones epistemológicas de peso para que esto haya sido así. Tampoco puede pasarse por alto el hecho de que la biología funcional haya sido, fundamentalmente, una biología de laboratorio. Y es en el contexto de ese cuadro de situación que deben entenderse las reticencias y resistencias que el modo darwinista de pensar siempre despertó entre los biólogos funcionales (Caponi, 2001a, p.27 y ss.). Pero, una cosa es reconocer esa innegable y relevante vinculación entre, por un lado, la tradición experimental y la biología funcional y, por otro lado, entre la tradición naturalista y la biología evolutiva; y otra cosa totalmente diferente es desconsiderar que, en este último dominio, sea posible y pertinente la aplicación, aún con ciertas limitaciones, de procedimientos experimentales.

De hecho, una comparación entre aquellos procedimientos experimentales disponibles en biología funcional y aquellos otros a los cuales se apela en algunos campos de biología evolutiva, sobretudo en el campo de la genética de poblaciones, puede servirnos para profundizar y precisar el contraste entre

ambos dominios disciplinares propuesto por Ernst Mayr y subscripto por François Jacob. Así, en lugar de limitarnos a reconocer, como estos autores de hecho hacen, que la biología evolutiva, aún siendo preponderantemente una ciencia observacional, ha podido, aquí y allá, de un modo más o menos fragmentario o riguroso, apelar a procedimientos experimentales, analizaremos esos procedimientos, y las variables sobre las que los mismos operan, para ver qué es lo que los diferencia de aquellos que pueden ser seguidos por un fisiólogo, un embriólogo o un biólogo molecular.

Estamos absolutamente persuadidos de que ese expediente nos permitirá encontrar una pauta para trazar con mayor nitidez la línea demarcatoria que separa esos dos grandes dominios de la investigación biológica que son la biología funcional y la biología evolutiva. Demarcación que jamás debe solaparse, como en algunos momentos Mayr y Jacob parecen hacerlo, con la demarcación entre biología experimental y biología observacional.

LAS DOS BIOLOGÍAS

Muchos autores han llamado la atención sobre los contrastes existentes entre la biología experimental de los laboratorios, la biología de Claude Bernard y de André Lwoff, por ejemplo, y la biología observacional de campo; es decir: la biología de los naturalistas como Darwin y Niko Tinbergen (cfr. Allen, 1979; Araujo, 2001; Ricqlès, 1996; Magnus, 2000; Hagen, 1999). Otros, mientras tanto, se han demorado en las diferencias que existen entre un enfoque reduccionista de los fenómenos vivientes y un enfoque que, usando una expresión de G. Gaylord Simpson (1974, p.42), podría ser tal vez caracterizado como ‘composicionista’ (por ejemplo: Pichot, 1987; Morange, 2002).

Un tercer grupo, a su vez, ha subrayado la oposición y complementación entre preguntas relativas a *cómo* los fenómenos biológicos ocurren y preguntas relativas al *por qué* de los mismos (Por Ej.: Brandon, 1990, p.167; Sober, 1993b, p.8); y, entre ellos, hay quienes supieron señalar la vinculación existente entre esa distinción entre el *cómo* y el *por qué* de lo viviente y la distinción entre las *causas próximas* y las *causas remotas* de los fenómenos biológicos (Por Ej.: Nesse & Williams, 1996, p.7; Brewer, 1994, p.29). Pero han sido François Jacob (1973) y, sobre todo, Ernst Mayr (1988) quienes han mostrado la posibilidad y la relevancia histórico-epistemológica de articular, hasta cierto punto, estas distinciones insertándolas en el marco de una contraposición más general entre dos vastos dominios de indagación científica que, aceptando la terminología usada por este último autor, podemos llamar de *biología funcional* y *biología evolutiva*.

La primera sería aquella biología que, siguiendo procedimientos experimentales semejantes a los de la química y la física, se ocupa del estudio de las causas próximas que, actuando a nivel del organismo individual, nos explican cómo los fenómenos vitales se encadenan e integran en la constitución de esas estructuras. La segunda, mientras tanto, sería esa otra biología ocupada en indagar, recurriendo, básica pero no exclusivamente, a evidencia observacional, a métodos comparativos y a inferencias históricas, las causas remotas que, actuando a nivel de las poblaciones, nos explicarían por qué cada una de estas evolucionan o evolucionaron en el modo en qué efectivamente lo hacen y lo hicieron.

Así, en su *Lógica de lo Viviente*, Jacob (1973, p.14) alude a las dos actitudes metodológicas que, en su opinión, dan lugar a esos dos dominios fundamentales de la biología contemporánea. Una sería esa actitud integrista o evolucionista que, viendo al organismo como miembro de una población, da lugar a una biología interesada en describir y explicar las relaciones que los seres vivos mantienen entre sí y con su medio; la otra, en cambio, sería esa actitud *atomista o reduccionista* que, aún considerando al organismo como un todo individualizado, da lugar a una biología de causas inmediatas cuya meta es explicar los fenómenos vitales en términos de la interacción causal de elementos tales como órganos, tejidos, reacciones químicas y estructuras moleculares. En otros términos: la primera sería la actitud que da lugar a la biología evolutiva y la segunda sería la actitud que da lugar a la biología funcional.

Cada una de estas biologías, continúa Jacob (1973, p.16), “aspira a instaurar un orden en el mundo viviente”. En el caso de la primera, “se trata del orden por el qué se ligan los seres, se establecen las filiaciones, se diseñan las especies”; se trata, en suma, de un orden inter-orgánico. En el caso de la segunda, en cambio, se trata de un orden intra-orgánico que atañe a las estructuras, funciones y actividades por medio de las cuales se integra y se constituye el viviente individual. Puede decirse, entonces, que si una “considera a los seres vivos como elementos de un vasto sistema que engloba toda la tierra”; la otra “se interesa por el sistema que forma cada ser vivo”(Jacob, 1973, p.16). Por eso, mientras en este último caso, el biólogo analiza, normalmente, “un único individuo, un único órgano, una única célula, una única parte de la célula”(Mayr, 1998a, p.89); en el caso de la biología evolutiva o integrista, el organismo debe ser siempre considerado en función de sus relaciones con el medio y con los otros organismos (Jacob, 1973, p.14).

Pero, en nuestra opinión, el modo más adecuado de entender la diferencia que existe entre estos dos dominios de investigación es ensayar una contraposición entre los dos diferentes tipos de preguntas que, según Mayr y Jacob, los biólogos pueden plantearse en relación a cualquier fenómeno

biológico. Así, si pensamos en una estructura tan simple o elemental cómo una secuencia de ADN, llamémosla ‘gen’, cuya ocurrencia se verifique en el genoma de alguna cepa de bacterias, veremos que la misma puede suscitar dos líneas diferentes, aunque complementarias, de interrogación.

Una primera línea de interrogación podría ser aquella que suscita la pregunta por el expresión funcional de esa secuencia: querremos saber cual es la proteína codificada por ese gen; y, si damos con una respuesta para esta pregunta, podremos ir un poco más lejos y preguntarnos por cual es el *papel causal o función* que esa proteína tiene en el funcionamiento de cada uno de tales organismos. Si tenemos éxito en nuestro trabajo sabremos cómo es que ese gen y la proteína por él codificada intervienen y se integran en la trama de *causas próximas* que materializan la *autopoiesis* celular.

Pero supongamos que, una vez establecida tanto la función del gen, cuanto la función de “su proteína”, verificamos no sólo que el mismo presenta una alta tasa de mutación y que esas mutaciones pueden abortar la división celular impidiendo la reproducción de nuestras bacterias; sino que también verificamos que esa función es cumplida en otra cepa de bacterias de la cual nuestra cepa deriva, pero que se desarrolla en un hábitat diferente, por un gen muy semejante, pero ligeramente distinto, que no presenta ese riesgo de mutación: ¿No querríamos saber, en ese caso, el *por qué* de esa diferencia? ¿No querríamos saber *por qué* lo que se puede hacer sin correr cierto riesgo es hecho corriéndolo?

Ingresaríamos así en el estudio de las causas remotas, y lo haríamos formulando preguntas para las que no se carece de posibles respuestas. La teoría de la selección natural lleva a los biólogos a pensar que, bajo el despiadado imperio de la lucha por la existencia, no hay riesgo que se contraiga si el hecho de contraerlo no comporta alguna ventaja o no es el costo residual de haber contraído tal ventaja (Cronin, 1991, p.67); y, a partir de ahí, pueden surgir diferentes hipótesis testables. Algunas podrían apuntar, si fuese el caso, que ese gen realiza esa función a un costo energético menor que su variante más segura y que ese es todo el costo que, por su metabolismo o por los recursos disponibles en su ambiente, nuestra bacteria puede sostener.

Esa misma hipótesis, a su vez, puede tener una variante que no aluda a los recursos actualmente disponibles sino a los recursos disponibles en un hábitat primitivo que habría moldeado el metabolismo de nuestras bacterias. Otras conjeturas, sin embargo, pueden referirse a las ventajas selectivas que comportaría una alta tasa de variabilidad en bacterias condenadas a proliferar en ambientes cambiantes, aún cuando esa variabilidad suponga también la posibilidad de mutaciones letales.

En efecto, para irritación de los detractores de la fértil e inagotable imaginación darwinista, podríamos seguir elucubrando hipótesis que luego, claro, deberían ser testadas. Lo que importa ahora, sin embargo, no es discutir las dificultades y las consecuencias de esos posibles tests de las narraciones adaptacionistas, sino percibir las diferencias que existen entre las preguntas que tales historias responden y las preguntas a las que responderían los análisis funcionales del gen como los referidos en primer lugar.

O como lo explica Ernst Mayr:

Una cierta molécula tiene un papel funcional en un organismo. ¿Cómo desempeña esa función, cómo interactúa con otras moléculas, cual es su papel en el equilibrio energético de la célula etc.?...Estas preguntas representan un estudio de las causas próximas. Pero, si nos preguntamos por qué la célula contiene esa molécula, qué papel desempeñó en la historia de la vida, cómo puede haber cambiado durante la evolución, en qué y por qué difiere de moléculas homologas en otros organismos, y preguntas similares, estamos tratando con causas últimas. Mayr (1998b, p.136).

Podemos decir, por eso, que mientras las *causas próximas*, que actúan en el plano molecular, explican cómo se realiza o decodifica el programa contenido en el DNA; las *causas remotas*, que actúan en el plano poblacional, nos explican por qué el programa genético que habrá de realizarse en cada organismo individual acabó siendo del modo en que efectivamente es (Mayr: 1988, p.27; 1998b, p.137). Lo importante aquí, sin embargo, es no perder de vista que esta dualidad no sólo alcanza a fenómenos que tengan directamente que ver con la estructura molecular de los organismos: la misma puede también ser apuntada en el estudio de fenómenos biológicos mucho más complejos.

Un caso posible sería el análisis de un padrón comportamental característico de alguna especie. Así el comportamiento de ciertas aves insectívoras de zonas templadas que, en otoño, migran a regiones tropicales o subtropicales puede ser explicado como consecuencia de un proceso evolutivo de millares o millones de años vinculado con la disponibilidad de alimentos (Mayr, 1998a, p.88); y la reconstrucción de esos factores históricos nos revelará las causas remotas del ciclo migratorio de esa especie: su por qué. Pero si queremos saber cómo, por la mediación de que dispositivo, cada ejemplar de una especie de ave migratoria, sabe cuando comenzar su jornada y cómo orientarla, deberemos realizar un estudio neurofisiológico de las causas próximas de esa conducta (Mayr, 1998b, p. 136).

CUESTIÓN DE ESCALA

Siendo este último ejemplo el que mejor puede servirnos para ilustrar un primer conjunto de razones que, según Mayr y Jacob, llevan a que esa diferencia en el tipo de preguntas que formulamos en relación a lo viviente este también asociada a una diferencia en las estrategias metodológicas que, en general, cabe seguir en el estudio de uno u otro tipo de causación. La referencia a procesos que pudieron afectar a poblaciones enteras de aves a lo largo de miles de años sirve para entender por qué las indagaciones de los biólogos evolutivos suscitan hipótesis cuyos tests pueden escapar al ámbito de la investigación experimental y nos exigen el uso de las inferencias comparativas propias de los naturalistas.

Los fenómenos estudiados por la biología evolutiva tienen que ver, fundamentalmente, con cambios en la constitución de las poblaciones que se registran en la sucesión de diferentes generaciones. Así, a la obvia complicación que puede significar el estudio en situaciones de aislamiento experimental de interacciones presa-predador como las que pueden existir entre poblaciones significativamente grandes de animales como cebras y leones; debemos agregar el hecho de que cualquier efecto relevante sólo podría ser registrado después de varias temporadas de reproducción y cría en ambas manadas.

Para Jacob y Mayr, en definitiva, la principal razón de que los procedimientos experimentales tengan una aplicación generalizada en biología funcional y sólo muy limitada en historia natural es obvia, trivial y, por lo menos a primera vista, desprovista de interés epistemológico; se trata de una cuestión práctica: los fenómenos estudiados por la biología evolutiva suelen ser de una magnitud y suelen abarcar períodos de tiempo tan grandes que escapan a los límites de cualquier laboratorio realmente existente. Los fenómenos que estudia la biología funcional ocurren, por el contrario, en el plano del organismo individual y a lo largo de su ciclo vital. Estudiar experimentalmente la fisiología de un elefante puede ser un poco engorroso; pero estudiar en laboratorio presiones selectivas que puedan actuar sobre poblaciones de elefantes sería mucho peor.

Ambos tipos de fenómenos, es cierto, son muy complejos, son la resultante de una cantidad de factores muy grande entre los cuales, a su vez, se establece una intrincada red de interacciones. La vasta gama de factores ecológicos que resultan en una presión selectiva, no es mayor ni más compleja que la multiplicidad de interacciones moleculares que pueden estar por tras de cualquier fenómeno embriológico; pero, en este último caso, parece más fácil someter esa complejidad al orden y a la simplificación del análisis experimental que en el caso de un fenómeno evolutivo.

Como lo explica Mayr (1998b, p.86): “las causas próximas ocurren aquí y ahora, en un momento concreto, en una fase concreta del ciclo celular de un individuo, durante la vida de un individuo”; siendo que, tanto por ese carácter actual como por el hecho de que sus efectos se registren en el plano del organismo individual, el tipo de factor que se apunta como causa del fenómeno a explicar se presta a un tipo de manejo semejante al que se opera en los campos de la química y de la física experimental.

Por eso, la principal técnica de la que se vale el biólogo que estudia causas próximas es el experimento (Mayr, 1998a, p.47; Roger, 1983, p.141) y, es por eso que, en este sentido limitado, puede decirse que su estrategia de investigación es la misma que la del químico y la del físico experimental (Mayr:1988, p.52; 1998a, p.89). “Repitiendo los experimentos, precisando cada parámetro” y “variando sus condiciones”, el biólogo funcional consigue “dominar el sistema” constituido por cada parte del organismo y, así, “eliminar sus variables” (Jacob, 1973, p.15).

No suele ocurrir lo mismo, sin embargo, con el estudio de las *causas remotas*. Estas no sólo pueden haber “actuado durante largos períodos, y más concretamente en el pasado evolutivo de la especie”(Mayr, 1998b, p.137); sino que también presentan la peculiaridad de que sus efectos se registran a nivel poblacional y no individual (Mayr, 1998a, p.88; Jacob, 1973, p.186). De ese modo, preguntas como “¿por qué los animales del desierto suelen tener la misma coloración que el substrato?” o “¿por qué las aves insectívoras de zonas templadas migran en otoño a regiones subtropicales o tropicales?”(Mayr, 1998b, p.133) deben ser respondidas en función de factores y procesos evolutivos que, por sus dimensiones poblacionales y por estar a menudo ausentes en el presente, no pueden, por lo general, ser investigados con métodos experimentales (Mayr, 1998b, p.86).

En estos casos, como recién dijimos, el estudio de los seres vivos difícilmente puede prescindir esos procedimientos comparativos que pueden ser caracterizados como formas de observación controlada (Mayr, 1998a, p.48). Así, mientras “la experimentación suele facilitar la determinación de las causas próximas”(Mayr, 1998b, p.137); las causas remotas se prestan más fácilmente, aunque no exclusivamente, a un estudio pautado por procedimientos metodológicos semejantes a los que ya Cuvier (cfr.1992[1812], p.97) aplicaba a la historia natural (Mayr: 1998a, p.48;1998b, p. 90). Siendo esa misma combinación de procedimientos descriptivos y comparativos la que suministra la base empírica de ese largo argumento que Darwin presenta en *El origen de las especies*. “Para Darwin como para Cuvier”, nos dice Jacob (1973, p.201), “la naturaleza experimentaba para el naturalista”.

OBSERVACIÓN Y EXPERIMENTACIÓN

Implicítamente, Jacob y Mayr comparten una concepción relativamente estrecha de lo que cabe considerar un procedimiento experimental. Para ellos, puede tratarse tanto del test de una hipótesis, cuanto de una operación de medida o de la obtención de un dato respecto del modo de comportarse de algún aspecto de la realidad. En el primer caso hablaremos de un experimento en el sentido más estricto de la palabra; y, en el segundo caso, tal vez prefiramos hablar de un simple ‘procedimiento experimental’ (cfr. Brandon, 1996, p.150). Pero, en todos los casos, esos procedimientos podrán ser considerados ‘experimentales’ y no puramente ‘observacionales’, en la medida en que los mismos supongan la manipulación de algunas variables y sean realizados bajo lo que suele caracterizarse como ‘condiciones de aislamiento’.

Respecto de lo primero, podemos atribuir a estos autores la noción de manipulación experimental propuesta por Brandon (1996, p. 150): si la magnitud o el fenómeno que estudiamos es considerado como resultante de cierto número de variables, cualquier cambio o control voluntario que hagamos sobre el valor de alguna de ellas será una manipulación experimental. Respecto de lo segundo, podemos decir que las condiciones bajo las cuales realizamos un procedimiento de observación, sea o no experimental, están satisfactoriamente *aisladas* en la medida en que, dado nuestro conocimiento de ciertos factores que pueden perturbar o interferir en el desarrollo de ese procedimiento de una forma relevante, somos capaces de neutralizar o moderar, por artificios técnicos, esa perturbación o interferencia (cfr. Cupani, 2002, p.131).

El primer requisito es, con todo, el más relevante y significativo que el segundo; y es el que, con toda justicia, ha sido clásicamente presentado como aquel que nos permite trazar una diferencia nítida entre experimentación y observación. O como nos lo explicaba Claude Bernard:

Se da el nombre de ‘observador’ a aquel que aplica procedimientos de investigación, simples o complejos, al estudio de fenómenos que él no varía y que, por consiguiente, él compila tal como la naturaleza se los ofrece. Se da el nombre de ‘experimentador’ a aquel que emplea procedimientos de investigación, simples o complejos, para variar o modificar, con un objetivo cualquiera, los fenómenos naturales haciéndolos aparecer en circunstancias o en condiciones en las cuales la naturaleza no se los presenta. Bernard (1984 [1865], p. 44-45)

Un observador puede constatar una diferencia en el color y la acidez de la orina de un conejo y un perro; y puede incluso constatar, en reiteradas

oportunidades, que esa diferencia tiende a desaparecer en la medida en que el conejo pase algunas horas sin comer. Por su parte, para estar seguro de esa constatación y para permitirse establecer un vínculo causal entre el ayuno y las características de la orina del conejo, el experimentador someterá a este animal a una alternancia de ayunos e ingestas para verificar si, por ese expediente, puede o no modificar deliberadamente las características de la orina que están siendo analizadas (Bernard, 1984 [1865], p.216-217).

Sin embargo, este modo de presentar la diferencia entre observación y experimentación puede inducirnos a cometer dos errores bastante comunes. Uno, el más obvio, es el de pensar que la clave de la cuestión estaría en el carácter puramente receptivo y ocasional de la observación. El otro, un poco más difícil de evitar, es el de homologar observación a una simple contemplación que, por definición, excluiría, cualquier procedimiento, intervención, o recurso técnico por parte del observador.

En contra de lo primero, no sólo sabemos que la observación científica es metódica y ordenada; sino que también ya sabemos que la misma exige una activa búsqueda de lo que debemos y queremos observar. El naturalista sale a explorar y capturar, literalmente, al mundo en sus redes (cfr. Bates, 1990, p.277). Pero, en contra de lo segundo también es oportuno recordar que la observación es una realización práctica (Chalmers, 1994, p.67). Algo que, como Popper (1974, p.308) gustaba de decir, *se hace* y no algo que *se tiene*. Como se tiene, sí, una percepción o una sensación cualquiera; y, en general, esa realización, ese procedimiento, no dispensa recursos técnicos que lo tornan más seguro, cognitivamente más confiable o, simplemente, viable (Hacking, 1996, p.196).

Eso Alan Chalmers (1994, p.73 y ss.) lo mostró muy bien en relación a las observaciones – nadie las llamaría *experimentos* – que Galileo realizó con la ayuda del telescopio; y eso es lo que también Dudley Shapere (1982) nos permitió ver al analizar como, en física, los límites de lo observable dependen de los límites y la confiabilidad que le adjudicamos a los instrumentos de observación con que contamos en cada momento de la evolución de una determinada disciplina.

Aunque, claro, lo más importante en su argumentación era mostrarnos que esos instrumentos no son simples amplificadores del ojo humano sino aparatos capaces de interactuar de una forma físicamente inteligible y controlable con los fenómenos a ser registrados; de forma tal que, a partir del comportamiento de esos aparatos, podamos inferir el estado de la variable o fenómeno en estudio. En ese sentido, una observación sería, en el caso de la física por lo menos, el registro que un fenómeno físico produce en uno de esos aparatos o instrumentos en los cuales nuestras teorías nos llevan a confiar.

Así, un aumento de temperatura puede considerarse un fenómeno observable, no porque podamos sentir que algo está más caliente; sino porque esa alteración puede registrarse en un aparato, llamado termómetro, cuyo modo de comportarse frente a un cambio térmico presumimos entender. Toda observación, nos permite decir Shapere, supone algún tipo de interacción con aquello que se observa; aunque no por eso se transforma en un experimento.

Pero, en lo que atañe a los temas que aquí nos interesan quien mejor trató la cuestión fue Ian Hacking (1996, p.218 y ss.) cuando, analizando el funcionamiento de los microscopios, nos permitió ver que toda observación supone una intervención en el dominio de lo observado. Una intervención que es real, empírica, técnica y no meramente conceptual o hermenéutica como aquella sobre la cual los pensadores de la observación teórico-dependiente les gusta tanto insistir. Sin embargo, esa intervención, que es real, que puede implicar una violenta modificación de algún aspecto o parte de nuestro objeto de estudio, no tiene por qué ser definida como ‘experimental’.

La misma no procura ninguna modificación de ciertas variables independientes para ver el modo en que esa modificación incide en las variables dependientes; sino que simplemente se orienta a tornar observables fenómenos que, sin su mediación, serían inobservables o inaccesibles. Que toda observación suponga una intervención no significa que no quepa mantener la diferencia entre observación y experimento. Las intervenciones experimentales son diferentes de las observacionales. Es necesario, por eso, no perder de vista la diferencia que existe entre las técnicas que usamos para poder observar o registrar un fenómeno y las técnicas que usamos para manipularlo experimentalmente.

Tal el caso obvio, como apunta Brandon (1996, 149), de una vivisección: la misma constituye una violenta intervención en un organismo; pero no por eso la consideramos un procedimiento experimental: sigue siendo una técnica de observación. Y algo semejante puede decirse de las técnicas electroforéticas que se utilizan para estimar la variabilidad genética de las poblaciones naturales (Ayala, 1979, p.19): se trata de sofisticados procedimientos de laboratorio que incluyen un tratamiento físico y químico de ciertas muestras de tejido particularmente acondicionadas; pero que, en definitiva, “no hacen más” que mostrarnos lo que de hecho ocurre en la naturaleza.

Como afirma Brandon (1996, p.151), “la electroforesis en gel no es manipulativa”, en el sentido que aquí damos a la expresión, porque “no altera ni controla ninguna variable funcionalmente relacionada con aquello que está siendo medido”; y algo semejante puede decirse de las celebres experiencias de Kettlewell (1956) sobre el melanismo industrial de la *Biston Betularia*: las mismas, aunque el propio Brandon (1999) lo pasa por alto, son ejemplos muy

claros de cómo ciertas intervenciones efectivas en los fenómenos naturales, que realizamos para obtener información empírica, no tienen porque ser consideradas genuinos experimentos.

En efecto, introducir artificios como la marcación de especímenes para registrar lo que de hecho ocurre en la naturaleza – es decir: saber si el color de ciertas mariposas posee o no valor adaptativo en cuanto que recurso mimético – e incluso la suelta y recaptura de ejemplares marcados, no constituyen procedimientos experimentales porque no implican, en contra de lo que David Rudge (1999, p.26) sugiere, ninguna manipulación de las variables cuya incidencia en la mortalidad diferencial de mariposas se esta queriendo confirmar o medir: la presión selectiva ejercida por ciertos predadores y la ventaja que el color de los árboles podría implicar para un fenotipo o para otro.

Esto es valido, en general, para todos los procedimientos de marca-captura-suelta-recaptura característicos de las investigaciones ecológicas (cfr. Gouyon *et al.*, 1997, p.126). Los mismos son recursos técnicos que usamos para saber lo que de hecho ocurre con la pretensión de que los mismos no interfieran en el curso de los fenómenos que queremos estudiar. Los procedimientos de Kettlewell, en este sentido, no son muy diferentes de aquellos en los cuales se captura, por ejemplo, un espécimen de un ave migratoria y se le coloca un aparato que, según se piensa, no interferirá en ningún aspecto de su existencia, pero, sin embargo, permitirá monitorear su trayectoria una vez que la liberemos.

Puede ser, es cierto, que, en algunos casos, tanto aquel que aplica la técnica de marca-captura-suelta-recaptura como aquel apela a la radiotelemetría para seguir un ave migratoria, no se den cuenta que, de hecho, sus procedimientos acaban interfiriendo en los fenómenos que quieren estudiar; pero no por eso diremos que estamos ante procedimiento experimental: diremos, mejor, que se realizó un procedimiento de observación inadecuado. Hay manipulación experimental, insistamos, sólo cuando modificamos, voluntariamente y controladamente, las variables cuyo efecto o influencia sobre otra variable queremos conocer o medir (Brandon, 1996, p.151); en caso contrario sólo estamos ante recursos técnicos que usamos para perfeccionar o tornar más confiables nuestras observaciones.

Por otra parte, que Kettlewell haya realizado sus observaciones en diferentes circunstancias – es decir: en diferentes regiones donde los troncos de los árboles tenían diferentes colores – no cambia muchas las cosas (Rudge, 1999, p.26). El método comparativo, la observación controlada que los naturalistas siempre han sabido utilizar, no consiste en otra cosa: observar fenómenos semejantes que ocurren en condiciones diferentes que no somos nosotros los que las producimos sino la propia naturaleza. Es ella la que, fatigando

los límites de lo biológicamente posible, va cambiando y combinando las condiciones en las que ocurren los fenómenos vivientes. De forma tal que, analizando esa trama de combinaciones, el naturalista puede establecer el modo, la magnitud y la intensidad con la cual un factor incide sobre otro.

Son esos “experimentos de la naturaleza” los que, aún hoy, como Mayr (1998a, p.48) apunta, constituyen el principal recurso metodológico con el que se cuenta en el estudio de las causas remotas de los fenómenos biológicos; y el hecho de que Kettlewell haya recurrido a ellos no le quita validez a sus conclusiones. No debe subestimarse jamás el rigor al que puede accederse en el dominio de la observación controlada. En lo que atañe a este punto, como nos dice Mayr (1998a, p.48), “la diferencia entre los métodos experimental y comparativo no es tan grande como podría parecer a primera vista”. Este último puede ser tan científico como el primero; y lo mismo puede decirse en relación de los resultados que con el se evalúen y validen.

Es cierto que la observación controlada, a diferencia de la experimentación, no requiere la reproducción a voluntad de los fenómenos en estudio o la manipulación concreta de variables; pero se asemeja a ella en otros aspectos más relevantes a la hora de evaluar el rigor o la científicidad de las investigaciones o de las conclusiones que en ella se basen. La observación controlada supone, en efecto, dos momentos fundamentales: el primero de ellos consiste en la búsqueda deliberada, y no en la producción, de situaciones diferentes en las cuales un fenómeno se manifiesta regularmente – en modos idénticos o variados – o se manifiesta en algunos casos pero no en otros; y el segundo de tales momentos es “el ulterior examen de ciertos factores destacados en estas ocasiones con el fin de discernir si las variaciones de esos factores se relacionan con diferencias en los fenómenos” (Nagel, 1978, p.409).

Obviamente, que ciertos factores, y no otros, sean apuntados como relevantes para explicar las diferentes variaciones de un fenómeno, es algo que depende de un marco teórico que, por lo menos en parte, es siempre rectificable; y lo mismo ocurre con las situaciones que elegimos como términos de comparación: algunos podrán discutir la relevancia y la pertinencia de la comparación. Pero esta es una dificultad, si se quiere usar la palabra, que también se presenta en la investigación experimental.

Un experimento se monta siempre en virtud de un marco teórico, más o menos explícito, que determina, tanto la índole de las variables que se hará intervenir, controlar y observar, cuanto el tipo de interacción a las cuales se las habrá de someter. La teoría puede o no *impregnar* nuestras percepciones, esa es una cuestión psicológica; pero, lo que sí es seguro es que las teorías guían nuestras observaciones o experimentos como un mapa nos orienta en un viaje o un plano pauta la construcción de una casa.

Será siempre el propio devenir de la investigación el que dirá si nuestras estrategias de observación fueron acertadas o satisfactorias. Pero, en la medida en que ellas hallan sido adecuadas y nuestros registros de las variaciones, y de sus putativos efectos, lo suficientemente cuidadosos; “desde el punto de vista del papel lógico que tienen los datos empíricos en la investigación”(Nagel, 1978, p.409), carece de importancia si las variaciones registradas en los supuestos factores determinantes de los cambios observados en el fenómeno en estudio, fueron introducidas por el propio investigador o fueron producidas por la naturaleza.

Con todo, respecto del tema que aquí estamos discutiendo, la distinción entre método experimental y método comparativo continúa siendo significativa. Aún en la forma más simple de experimentación, aquella basada en la constitución simultanea de una población o muestra experimental y de una población o muestra control; nuestro procedimiento se distingue claramente del caso en el cual tentamos determinar la eficacia causal de una variable X sobre una variable Y comparando dos situaciones semejantes, pero no idénticas, que nos son dadas por la propia naturaleza independientemente de nuestra intervención.

En este último caso, se trata de la existencia de una situación A y una situación B que, hasta donde sabemos, se asemejan respecto de todas las variables intervinientes que, según nuestro conocimiento previo son significativas; pero, justamente, difieren por el hecho de que X está presente en una y ausente en otra o, en todo caso, su incidencia en un caso es significativamente mayor que en el otro. En el primer caso, mientras tanto, se trata de constitución de una población o muestra a la cual se mantiene bajo ciertas condiciones predefinidas y se la somete a una determinada intervención; comprándose los efectos de esa intervención con lo que ocurre en otra muestra, a la que también se mantiene bajo ciertas condiciones previamente estipuladas pero sobre la cual no se realiza la intervención en cuestión o se la realiza en una intensidad o frecuencia menor.

No es, sin embargo, por el hecho de haber sido forzosamente efectuadas fuera del laboratorio, en un espacio abierto y sin límites físicos definidos, que las experiencias de Kettlewell que no configuran genuinos experimentos. En la discusión de este caso, pero también en la de cualquier otro caso en donde esté en tela de juicio el carácter experimental u observacional de una experiencia, el requisito de aislamiento no sólo es menos significativo que el de manipulación, sino que, al final de cuentas, acaba siendo menos estrecho de lo que Mayr y Jacob parecen pensar.

Es que el requisito de aislamiento no exige ningún tipo de clausura o confinamiento en particular. Las condiciones de aislamiento serán consideradas

o no satisfactorias siempre en función del experimento a realizar y, como ya dijimos, en virtud de nuestro conocimiento sobre la naturaleza de las posibles perturbaciones que pueden afectar su desarrollo y su resultado. Y esto puede notarse mejor si, en lugar de analizar experimentos de laboratorio típicos de la biología funcional, nos aventuramos, otra vez, en el análisis de observaciones y experimentos extra-muros típicos de lo que Mayr entiende por biología evolutiva. Un caso podría darse en las investigaciones sobre el control biológico de plagas: un capítulo de lo que, en la perspectiva de Mayr, deberíamos considerar como biología evolutiva aplicada.

Queremos testar la eficacia de una especie particular de pájaros como recurso para proteger un determinado tipo de cultivo frente al ataque de una recurrente plaga de orugas; y para ello apelamos al simple expediente de crear dos lotes de ese cultivo bajo condiciones prácticamente idénticas de temperatura, humedad, suelo y, también, de exposición a los agentes biológicos típicos de la región. Pero claro: estimulamos que un grupo de esos pájaros colonicen uno de esos cultivos, mientras, por el recurso a un emisor de señales acústicas muy específicas, procuramos que los mismos – y no cualquier otra especie típica de la región – se mantengan alejados del segundo cultivo.

Así, si nuestro espantapájaros electrónico funciona correctamente, y si las contingencias ambientales realmente se mantienen aproximadamente similares y dentro de los límites normales y esperados; entonces, podremos decir que, pese al hecho de que ambos cultivos estuvieron expuestos a todas las contingencias climáticas y biológicas habituales, nuestro experimento se realizó bajo condiciones satisfactorias de aislamiento. La diferencia entre ambos cultivos en lo relativo al accionar de la plaga podrá, de ese modo, ser considerada como una evidencia significativa en lo atañe a la eficacia de esos pájaros como agentes de control biológico.

Hasta los – se diría – “rudimentarios” experimentos de campo realizados por algunos etólogos pueden considerarse satisfactorios en lo que dice a este requisito. Tal el caso, incluso, de aquellos realizados por Niko Tinbergen para testar sus hipótesis sobre el valor adaptativo de un comportamiento observado en las gaviotas reidoras. En época de cría, esta especie, sometida al mismo régimen de escasez que impera en toda la naturaleza, invierte sistemáticamente parte de su energía y se descuida momentáneamente de la alimentación de sus polluelos, para, poco después de la eclosión de estos, retirar las cáscaras rotas de los huevos y alejarlas del nido; y, según Tinbergen se permitió conjeturar, este gasto de recursos podía explicarse suponiendo que el llamativo color blanco del interior de la cáscara era capaz de atraer a los depredadores hasta los polluelos o hasta los restantes huevos en incubación (Slater, 1988, p.152-153).

Otras hipótesis podrían apuntar a las presiones selectivas implicadas en el hecho de que esas cáscaras pueden lastimar a los polluelos o en la posibilidad de que los restos de líquidos sobrantes en las mismas pudiesen servir como medio de cultivo para bacterias. Pero para testar su propia hipótesis, Tinbergen construyó, en aquellas mismas playas, una gran cantidad de nidos artificiales con huevos de gaviota, algunos con cáscaras rotas y otros sin ellas; y, al revisar los nidos después de un tiempo, constató que los que tenían restos de cáscaras habían sido más asiduamente visitados por predadores que los otros y, consecuentemente, habían perdido más huevos que aquellos que estaban limpios (Slater, 1988, p.152-153). La acción de los predadores, se podía entonces inferir, era una presión selectiva favorable a la retirada de las cáscaras.

Es cierto que Tinbergen no testó las otras hipótesis; y es cierto también que un resultado favorable a alguna de ellas podría obligarnos a pensar “en otras *justificaciones* [el itálico es nuestro] distintas de la expuestas” (Slater, 1988, p.153). Pero lo que aquí realmente nos importa es no pasar por alto que, para los fines cognitivos perseguidos por Tinbergen, el experimento fue desarrollado en condiciones que excluían interferencias relevantes. En la medida en que no existía evidencia de que, en aquellos días, un bromista o un predador diferente de los habituales pudiese verse atraído por los nidos artificiales, cabe decir que, hasta donde sabemos, los experimentos no fueron perturbados por ningún factor significativo.

Pero, además de ser relativamente flexible, el requisito de aislamiento es, como decíamos antes, menos significativo de lo que podría parecer para definir lo que es un experimento. Confinar un organismo dentro de un laboratorio o aún dentro de un tubo de ensayo, si se trata de un cultivo de microorganismos, para observar, incluso con un microscopio, su comportamiento o su ciclo vital, sin buscar modificar o estipular voluntariamente el estado de variables que pueden modificar esos procesos, no es algo que configure, estrictamente hablando, un experimento.

Tal el caso, por ejemplo, de la experiencia sobre las preferencias alimentares de una especie de insecto que un entomólogo puede realizar colocando un grupo de estos en una jaula donde hay bandadas de dos o más especies de otros insectos que son sus posibles presas. Ahí, lo que el entomólogo está intentando no es más que determinar lo que de hecho en la naturaleza ocurre; y esa observación sólo se transformaría en experimento si algunas de las condiciones fuesen voluntariamente transformadas para ver el efecto que esa alteración tiene sobre el comportamiento alimentario del predador.

Podemos hablar de observaciones hechas bajo condiciones de aislamiento cuando, artificialmente, apartamos un fenómeno de ciertos factores que, pensamos, podrían interferir en su desarrollo normal o natural. Pero sólo

hablaremos de experimento cuando deliberadamente modifiquemos algunas de esas condiciones para ver el efecto que esa modificación pueda tener o dejar de tener sobre cierto aspecto de ese comportamiento o de ese ciclo vital que estamos observando. Ni el naturalista de campo está excluido de la experimentación, como lo vimos en el ejemplo de Tinbergen; ni el biólogo de laboratorio deja de hacer, en algunas oportunidades, *meras observaciones*.

En este caso, la jaula, el acuario, el invernadero, el cultivo experimental, el tubo de ensayo, o cualquier otro artificio con el que se puedan aislar los procesos biológicos, le servirán como simples recursos para tornar visible aquello que ocurre en la naturaleza pero que, por alguna razón, ella no nos permite ver con claridad: el laboratorio se transforma en una ventana a la naturaleza. El experimento, en cambio, es otra cosa: es producir y variar condiciones para determinar el efecto que ese cambio produce sobre ciertos fenómenos cuyo ‘determinismo’, diría Claude Bernard, queremos conocer: es *torcerle la cola al león* para ver cómo la intensidad de nuestra maniobra incide en la intensidad de su rugido o de su zarpazo.

LAS EXIGENCIAS DEL DETERMINISMO BERNARDIANO

Pero claro, citar los modestos procedimientos experimentales de un etólogo o, incluso los más vastos –pero, a primera vista, igualmente precarios– tests de *enemigos naturales* que pueden desarrollarse en el dominio de investigaciones sobre el control biológico de plagas (cfr. Samways, 1990, p.45), no parece ser otra cosa que un argumento a favor del contraste entre el carácter *eminente* experimental de la biología funcional y el carácter *básicamente* observacional de la biología evolutiva propuesto por Mayr y Jacob.

Después de todo, y como lo dijimos poco más arriba, estos autores no niegan la posibilidad de que puedan existir experimentos en biología evolutiva; afirman, simplemente, que en ese dominio la experimentación es más difícil y menos rigurosa que en biología funcional. En este caso, nos dicen, se pueden realizar experimentos y observaciones “con el ideal de pureza y certeza que representan las experiencias de la física y la química” (Jacob, 1973, p.15); en biología evolutiva, en cambio, no sería posible tanto rigor ni tanta exactitud. En este último dominio disciplinar predomina, parece reconocer Mayr (1998a, p.90), un enfoque *cualitativo* que nos aleja de la exactitud matemática que puede alcanzarse en la biología funcional.

Es que, más allá de la noción de experimento que acabamos de analizar: aquella basada en las ideas de *manipulación* y *aislamiento*; Mayr y Jacob también parecen suponer que la biología funcional puede cumplir mejor que la

biología evolutiva con otra dupla de exigencias que también inciden en los alcances y las aplicaciones que los procedimientos experimentales pueden tener lugar en uno y otro dominio de investigación. Nos referimos, concretamente, a dos exigencias propias de lo que cabe llamar *determinismo bernardiano*: una es la idea de que un conocimiento experimental sólo es completo cuando podemos expresarlo en términos de una relación matemática constante entre dos variables; la otra es la expectativa de que esas variables puedan ser descriptas en términos físico-químicos.

Así, en lo atinente al primero de estos dos nuevos requisitos, podemos recordar que, según leemos en la *Introduction a l'Étude de la Médecine Expérimentale*, “el fin en la experimentación es el mismo en el estudio de los fenómenos de los cuerpos vivos que en el estudio de los fenómenos de los cuerpos inorgánicos”: en uno y otro caso, la meta y el límite de las investigaciones “consiste en hallar las relaciones que unen al fenómeno con la *causa inmediata*, o, expresándolo de un modo diferente, consiste en definir las condiciones necesarias a la aparición del fenómeno”(Bernard, 1984[1865], p. 106).

Pero para Claude Bernard era claro que ese vínculo causal sólo podía entenderse en virtud de una ley; y, por lo tanto, para llegar a conocerlo era menester superar la mera constatación de una sucesión de acontecimientos e intentar el establecimiento de una correlación constante entre ambos (cfr. Caponi, 2001b, p.377). Por eso, nos decía este autor, “toda la filosofía natural se resume en esto: *conocer la ley de los fenómenos*” (Bernard, 1984 [1865], p.93); siendo ese “el objetivo en el que se detiene toda ciencia” (Bernard, 1984 [1865], p.108).

La ley natural, decía Bernard, “nos da la relación numérica del efecto con su causa, y ese es el objetivo en el que se detiene la ciencia” (1984 [1865], p.108). “La ley de los fenómenos”, debemos entonces concluir, “no es otra cosa que esa relación establecida numéricamente que nos permite prever la relación de la causa con el efecto en todos los casos dados”(Bernard, 1984 [1865], p.128). Así, desde esta perspectiva, las leyes naturales pueden ser pensadas como simples correlaciones constantes entre variables particulares como lo son aquellas que pueden existir entre la cantidad que se produce de cierta hormona y la intensidad de una reacción metabólica vinculada con ella. (Bernard, 1984 [1865], p.185).

Una vez que conocemos una correlación entre dos magnitudes x e y de forma tal que, controlando o graduando a x consigamos determinar o graduar el valor de y ; podemos decir que conocemos la ley que establece su vínculo causal (cfr. Caponi, 2001b, p.381). Por eso, una *ley causal* debe ser formulable como una función matemática constante, pero asimétrica, entre dos conjuntos de magnitudes [Mx y My] tal que:

1. El valor de My puede ser considerado como resultante del valor de Mx [pero no a la inversa] (cfr. Von Wright, 1993, p.118).
2. El valor de Mx pueda variar o pueda ser manipulado independientemente My pero los cambios que de ahí resulten, siempre incidan en los valores de esta última (cfr. Von Wright, 1993, p.119).

“Cuando tenemos la ley de un fenómeno” – nos dice Bernard (1984 [1865], p.108) – “no sólo conocemos absolutamente las condiciones que determinan su existencia, sino que tenemos también las relaciones que se aplican a todas sus variaciones, de forma que podemos predecir las modificaciones del fenómeno en cualquier circunstancia dada”; y es esto lo que nos permite esa manipulación matemáticamente graduada de los fenómenos que, según Bernard, Mayr y Jacob no sólo sería típica de la física experimental sino también de lo aquello que los dos últimos autores llamaban *biología funcional* y el primero llamaba *fisiología*.

Podemos decir, entonces, que según Claude Bernard toda ciencia positiva obedece a este principio metodológico fundamental que él llama de *Criterio Experimental* (Bernard, 1984 [1865], p.87) y que nosotros podemos formular así (cfr. Caponi, 2001b, p.377):

Dado el registro C de un cambio M' en una magnitud Y, se debe formular y testar un conjunto de hipótesis [coherente con el cuerpo del conocimiento aceptado] tal que contenga: (1) la descripción B de otro cambio M'' en otra magnitud X; y (2) la formulación de una relación matemática constante y asimétrica entre X e Y tal que cada valor de la segunda magnitud sea considerado como resultante del valor de la primera.

Notemos, por otra parte, que ese principio metodológico puede permitirnos llegar a una idea más exacta de la noción bernardiana de *causa inmediata* o de *condición de existencia*; que, además, es idéntica a la que encontramos en Mayr y Jacob. La misma se podría enunciar más o menos así (cfr. Caponi, 2001b, p.383):

Dados dos fenómenos [o conjuntos de fenómenos] X e Y, se puede afirmar que el primero sea causa inmediata [o la condición de existencia] del segundo; en la medida en que aceptemos:

La corrección de sendas descripciones de ambos que los presenten como valores registrados en dos diferentes conjuntos de magnitudes [Mx y My , respectivamente].

La validez de un enunciado legaliforme **L** que establezca una función constante pero asimétrica entre esas magnitudes tal que: (1) el valor de *My* puede ser considerado como resultante del valor de *Mx* [pero no a la inversa]; y (2) el valor de *Mx* pueda variar o pueda ser manipulado independientemente de *My*; pero los cambios que de ahí resulten, siempre incidan en los valores de esta última.

Existe, con todo, un tercer requisito (3.) que no puede ser obviado. Se trata de esa segunda exigencia que, según decíamos, es propia del determinismo bernardiano: el carácter físico-químico de las magnitudes en cuestión. Las causas próximas, para Bernard (1984 [1865], p.102 y ss.), pero también para Jacob y para Mayr (1998a, p.89), son siempre condiciones físicas y/o químicas cuya manipulación o producción experimental nos permite producir o variar la intensidad de efectos que también son observables y descriptibles en tanto que fenómenos físico-químicos. Es decir: registrables por instrumentos tales como termómetros, balanzas o reactivos.

Así, y como podemos leer en un manual de Biología Experimental – que, más que nada y como de costumbre, es un manual de biología funcional –, “la mayoría de los experimentos modernos en biología emplean instrumentos, herramientas o técnicas derivadas de las diversas ciencias físicas” (Norman, 1971, p.75); y eso lo confirmamos cuando leemos la lista de esas técnicas y la naturaleza de los instrumentos de los que las mismas se valen. Las más simples de esas técnicas son procesos de medida basados en recipientes volumétricos; pero enseguida pasamos a la calorimetría, la espectrofotometría, cromatografía, trazadores isotópicos, mediciones eléctricas, cristalografía, técnicas e instrumentos para la medición de intercambios gaseosos, y la ya mencionada electroforesis.

Es decir: todo un arsenal de recursos para producir y registrar datos experimentales que se basan y se legitiman en el conocimiento físico y químico que, supuestamente, tenemos de las posibles interacciones entre ciertos instrumentos y los fenómenos orgánicos que queremos estudiar. Fenómenos que, de ese modo, serán registrados, identificados y considerados en virtud de su dimensiones y propiedades físicas y químicas. Cabe decir, por eso, que ese repertorio de técnicas e instrumentos, en última instancia, sólo tiene sentido en el contexto de una estrategia de investigación cuyo supuesto fundamental es la presunción de que “no existe ningún carácter del organismo que no pueda, a fin de cuentas, ser descrito en términos de moléculas y de sus interacciones” (Jacob, 1973, p.15); y es siguiendo ese mandato reduccionista que, según Mayr (1988, p.25), se puede realizar en biología funcional “el ideal de un experimento puramente físico, o químico”. Por eso, nos dice Jacob (1973, p.15), el principal

objetivo experimental del biólogo funcional es “aislar los constituyentes de un ser vivo” encontrando las condiciones que permitan su estudio “en el tubo de ensayo”: *in vitro*; antes que *in vivo*.

Así, mientras en biología evolutiva, se puede, en cierto modo y dentro de ciertos límites, continuar operando aún con los conceptos y los métodos de la historia natural y con relativa prescindencia del saber físico y químico; en el caso de la *biología funcional* nos encontramos con un conjunto de investigaciones que, en virtud de sus propias pautas metodológicas y en función de los problemas estudiados, da lugar a un discurso sobre lo viviente que, por su contenido conceptual y por sus procedimientos experimentales, tiende a aproximarse progresivamente al discurso de la química y la física (Jacob, 1973, p.200). No serían estas quienes reducirían o absorberían a la biología funcional ampliando su área de aplicación; sino que sería la propia biología funcional la que, por su lógica inherente, tendería, activamente, a identificar su lenguaje y sus fundamentos, aunque no todas sus teoría específicas, con los lenguajes y los fundamentos de esas otras ciencias.

Lo que ni Jacob ni Mayr parecen percibir es la relativa autonomía que existe entre esas dos exigencias que convergen en lo que hemos denominado *determinismo bernardiano*. Al igual que el propio Claude Bernard, estos autores parecen pasar por alto, o no dar mucha importancia, al hecho de que *matematización de las relaciones causales* y la *fisicalización de los elementos que las componen* no son, de por sí, una única cosa. Es decir: la aproximación reduccionista, en la medida en que procura el ideal de una física de lo viviente, lleva consigo el germen de la matematización inherente a todo conocimiento físico; y es por eso que, en la práctica del fisiólogo experimental Bernard y del biólogo molecular Jacob ambas cosas de hecho coinciden. Pero, si miramos en la dirección de aquellos dominios de la biología que están más cerca de lo que fueron los trabajos científicos de Mayr; veremos que tanto la *matematización*, cuanto el rigor formal y experimental, pueden darse por fuera de una aproximación física a lo viviente. Tal es el caso, por lo menos, de la genética de poblaciones.

PARA UNA EPISTEMOLOGÍA DE LAS JAULAS DE POBLACIONES

Este dominio disciplinar, que el propio Mayr (1998b, p.137) reconoce como un capítulo de la biología evolutiva, no sólo alcanzó un nivel de formalización que puede recordar a la física; sino que es también allí en donde Dobzhansky y otros investigadores pudieron superar el hiato entre lo formal y lo empírico por una vía rigurosamente experimental (Gayon, 1992, p.379). La

afirmación de Heidegger (1975, p.77) según la cual “la ciencia es experimental sobre la base del proyecto matemático” parece encontrar aquí una segunda e inesperada ratificación: las confirmaciones empíricas más rigurosas de la teoría de la selección natural sólo fueron producidas una vez que el razonamiento matemático determinó, *a priori*, cual podía llegar a ser la naturaleza de tales confirmaciones. Moraleja kantiana: la naturaleza sólo responde con precisión cuando nuestras preguntas están precisamente formuladas; y en este caso, como en tantos otros, *precisión* significó abstracción y rigor matemático.

Como nos dice Jean Gayon (1992, p.334-335), “los temas fundamentales de la genética de poblaciones” se definieron a partir de modelos matemáticos –“herméticos a la inmensa mayoría de los biólogos” – cuyos rasgos y conflictos esenciales fueron definidos entre mediados de la década de 1920 e inicios de la década de 1930 por R.A. Fisher, J.B.S. Haldane y S.Wright. En esos modelos, “el espacio evolutivo es definido por un campo de frecuencias génicas” (Gayon, 1992, p. 335); y, en el marco de ese teatro, el drama evolutivo es representado como una secuencias de cambios en esas frecuencias (Mayr, 1998a, p.639) cuyas *causas* son factores como mutaciones, migraciones, selección natural y deriva genética.

Sin embargo, más allá de la heterogeneidad de esos factores, los efectos de los mismos pueden ser medidos y comparados en base a un lenguaje homogéneo (cfr. Sober, 1993a, p.48-51): el de las frecuencias génicas; y será ese mismo lenguaje el que permitirá cuantificar la intensidad de los factores de cambio considerándolos como perturbaciones del *Equilibrio de Hardy-Weimberg* (cfr. Gayon, 1992, p.303). O como nos lo explica Jean Gayon:

Las causas cualitativamente heterogéneas de cambio se manifiestan en un espacio paramétrico homogéneo: los factores ecológicos [selección natural], geográficos [migración], citogenéticos [mutación], etológicos [selección sexual, sistema de cruzamiento, estructura generacional] y, en fin, estocásticos [deriva genética] se expresan en efectos conmensurables, exactamente como en física fuerzas heterogéneas se expresan en el lenguaje homogéneo del movimiento local. (Gayon, 1992, p. 335)

Lo notable es que “en ese espacio paramétrico, se torna posible realizar deducciones *a priori* sobre el peso de esos factores, y sobre sus interacciones” (Gayon, 1992, p. 335); y, de se modo, la genética de poblaciones define “*a priori* un campo de posibles” (Gayon, 1992, p. 337). Es decir: la genética de poblaciones define el campo dentro del cual deberá darse todo fenómeno evolutivo posible y, al mismo tiempo, nos ofrece un lenguaje de magnitudes matemáticas que nos permitirá descripciones homogéneas y conmensurables

de todo lo que allí ocurra. Ese lenguaje matemático, diría Heidegger (1975, p.76), “abre un ámbito en el que se muestran las cosas, es decir, los hechos”.

Los modelos formales de la genética de poblaciones ponen ante nosotros “un repertorio de todos los escenarios evolutivos posibles según la hipótesis mendeliana”(Gayon, 1992, p.383); y desde esa perspectiva puede decirse que un fenómeno sólo será considerado pasible de explicación en la medida en que se recorte en el espacio virtual definido por esos modelos. La genética teórica de poblaciones puede ser así considerada como “una ciencia de las condiciones de posibilidad de la evolución bajo la hipótesis mendeliana” (Gayon, 1992, p.390). Pero, como Jean Gayon (1992, p.383) subraya, “esa es la grandeza de esta ciencia teórica, pero ese es también su límite”.

Definiendo el universo de lo evolutivamente posible, los modelos teóricos de la genética de poblaciones no pueden, por sí solos, franquear el hiato entre lo virtual y lo actual; y es en este sentido que cabe convenir con la afirmación de Lewontin (2000, p.198) según la cual la genética teórica de poblaciones no hace otra cosa que “proveer las reglas para distinguir explicaciones aceptables e inaceptables, sin referencia a ningún caso particular”. Hacer esa referencia fue asunto de la genética de poblaciones naturales, usualmente llamada de genética ecológica, y de la genética experimental de poblaciones (Gayon, 1992, p.370). Fueron estas disciplinas las que permitieron el tránsito de lo formal a lo empírico que los modelos de Fisher y Wright podían y debían necesariamente guiar pero, sin embargo, no podían ejecutar. Sin esos modelos teóricos, la genética empírica de poblaciones habría sido ciega; pero sin su trabajo los modelos habrían sido vacíos. Otra moraleja kantiana a la que el análisis de Jean Gayon (1992, p.371) nos permite acceder.

Pero, de esos dos dominios de investigación aquí sólo nos interesará el segundo. La ‘genética ecológica’, más allá del rigor del lenguaje matemático que los modelos teóricos le imponían, se valió, en general, de procedimientos observacionales – es decir: no experimentales – realizados en campo y no en el laboratorio (cfr. Gayon, 1992, p. 371 y ss.). Los trabajos de Kettlewell, a los que aquí hemos presentado como un paradigma de investigación observacional, son de hecho la piedra basal de esa disciplina (Gouyon *et al.*, 1997, p.126); y es por eso que, en relación la tópico que aquí discutimos, la misma no presenta ninguna peculiaridad dentro de esa constelación de dominios de investigación que componen el universo de la biología evolutiva.

No ocurre lo mismo, sin embargo, con la genética experimental de poblaciones que, sobre todo desde 1946 en adelante y conforme dijimos más arriba, fue desarrollada por Dobzhansky y sus seguidores (Gayon, 1992, p.383). En ese dominio la biología evolutiva exhibe, al mismo tiempo, un rigor matemático y un rigor experimental que, en cierto modo, la aproximan a la biología funcional;

y, en ese sentido, puede decirse que, en el horizonte del contraste entre ambos campos de la biología propuesto por Mayr y Jacob, la genética experimental de poblaciones aparece como una rareza.¹ Allí, la aplicación sistemática y generalizada de las *cajas o jaulas de poblaciones* que Philippe L'Héritier y Georges Teissier habían inventado en 1932 (Boessiger, 1980, p.310; Mayr, 1998a, p.640) dio lugar a experimentos que, con toda justicia, pueden ser considerados como genuinas *abstracciones materiales*. Experimentos donde, aislando, uno a uno los factores en juego, se pudo también evaluarlos y mensurarlos uno a uno (cfr. Gayon, 1992, p.379).

Estas jaulas o 'demómetros' (*démomètres*), como sus inventores también las llamaban, eran, lo sabemos, simples y relativamente módicas cajas de vidrio. En ellas una población de *Drosophila melanogaster*, para usar el ejemplo típico, podía desarrollarse y ser, tanto observada en condiciones ideales de aislamiento, cuanto sometida a diversas intervenciones experimentales. Siendo también viable la creación de diferentes poblaciones control que, aisladas en cajas semejantes, podían ser objeto de observaciones y manipulaciones análogas (cfr. Buican, 1984, p.311 y ss.).

De un modo casi trivial y ciertamente muy económico, Teissier y L'Héritier superaron el obstáculo que representaba la escala espacial y temporal de ciertos fenómenos evolutivos para el estudio laboratorial y experimental de los mismos. Dado que el tema en discusión era un problema de biología evolutiva que, por su generalidad, podía ser estudiado en cualquier tipo de organismo, o, por lo menos, en cualquier tipo de organismo de reproducción sexuada, la dificultad podía ser superada eligiendo especies cuyo tamaño permitiese el estudio de unidades poblacionales suficientemente grandes confinadas en el laboratorio y cuya velocidad de reproducción nos posibilitase seguir secuencias de generaciones en un plazo de tiempo razonablemente corto. Las moscas de la fruta, cuyo padrón de transmisión hereditaria había sido obsesivamente

¹ Por eso, la inserción de la genética de poblaciones en el contexto de la distinción entre biología funcional y biología evolutiva no es del todo obvia. Mayr (1998b, p.137), efectivamente, la considera como un capítulo, tal vez anómalo, de la biología evolutiva; pero, al hacerlo, la vincula erróneamente con la genética morgamiana de la transmisión a la que también considera parte de ese dominio disciplinar. En cambio, Jacques Roger (1983, p. 143), asumiendo la distinción entre biología funcional y biología evolutiva propuesta por Mayr, prefiere caracterizar a la genética de poblaciones y a la genética de la transmisión como siendo ambas capítulos de la biología funcional. Esta autor, al inverso de lo que ocurre con Mayr, acierta en lo que atañe a los trabajos de Morgan pero se equivoca en lo atinente a la genética de poblaciones (ver nota 5).

mapeado por Morgan, estaban predestinadas a prosperar en esas jaulas (cfr. Pichot, 1999, p.150).²

Como lo ha observado Brandon (1996, p.151): “La parte de la biología que está orientada hacia los mecanismos del cambio evolutivo, en tanto que opuesta a aquella parte que se ocupa de la historia efectiva de la evolución en el planeta, frecuentemente manipula la naturaleza para testar hipótesis”;³ y lo que las cajas de población permiten, en primer lugar, es que esos tests puedan ser hechos en condiciones de estricto aislamiento. Con todo, la simpleza técnica y la austeridad francesa del dispositivo experimental no puede hacernos perder de vista que su relevancia epistemológica va más allá de la mera resolución de un problema práctico de escala temporal o espacial.

Es que, como afirma Gayon (1992, p.383), “Las jaulas de poblaciones han sido en definitiva a la genética evolutiva lo que el plano inclinado de Galileo fue para el estudio de la caída de los cuerpos. En una jaula de población, la selección natural está ahí toda entera, como la ley de caída de los cuerpos está en el movimiento de la bola que rueda”. Pero, al igual que la caída de los cuerpos en el experimento del plano inclinado, la selección “está ahí substraída a lo que su naturaleza tiene de frívolamente autónomo e inasible” (Gayon, 1992, p.384). Allí, la materialidad siempre díscola del fenómeno natural está técnicamente sometida al rigor del formalismo matemático; y es por la mediación de tales formalismos que las condiciones iniciales de esos experimentos pueden ser consideradas como magnitudes que, articulándose en un paralelogramo de fuerzas, producen una resultante numéricamente determinable a partir de ellas.

² Es curioso que, en su relato sobre el papel de las moscas en el desarrollo de la genética, Jacob (2000) no haya considerado los experimentos hechos en genética de poblaciones. Jacob, biólogo funcional, sólo alude a los trabajos de Morgan y pasa por alto los de Dobzhansky y los de sus compatriotas Teissier y L’Héritier.

³ Esta oposición entre dos dominios de la biología evolutiva es de crucial importancia para la reflexión filosófica; porque según ese considere uno u otro de esos dos campos, nuestro análisis epistemológico de ese universo disciplinar será diferente. Si, por ejemplo, a la manera de Sober (1993a) y Michael Ruse (1979), pensamos primariamente en esa parte que estudia los mecanismos del cambio evolutivo y que cobra su mayor rigor en la genética de poblaciones teórica y empírica, tenderemos a considerar a la biología evolutiva como siendo una disciplina estructurada en base a leyes formalizadas y abierta al control experimental; y en ese caso, la biología evolutiva no nos parecerá una disciplina muy diferente de la física. Si, en cambio, a la manera de Mayr (1988), Hull (1984), y Gould (2002), pensamos básicamente en aquellas investigaciones que intentan reconstruir y comprender la senda efectivamente seguida por la evolución, nuestro análisis epistemológico privilegiará los aspectos históricos de esa disciplina y su vinculación con los procedimientos observacionales; siendo, creemos, desde esa última perspectiva desde donde podremos apreciar mejor la genuina singularidad epistemológica de ese dominio disciplinar. Hecho que no invalida, claro, la otra perspectiva.

Sin Fisher, Wright y Haldane los demómetros no hubiesen sido posibles: hubiesen sido meros corrales de vidrio y madera, aptos para criar moscas, pero en los cuales poco hubiese habido para calcular. No estamos pasando por alto la pertinente insistencia de Ian Hacking (1996, p.177 y ss.) sobre la autonomía que el desarrollo y la producción del conocimiento experimental pueden tener en relación al conocimiento teórico; lo sabemos: no siempre la experiencia está tutelada o subordinada a una teoría. Pero, por lo menos en el caso específico de los demómetros es innegable que sus inventores fueron guiados por el objetivo de crear una visibilidad afín a modelos teóricos pre-existentes (Buican, 1984, p.311; Gayon, 1992, p.380).

Es gracias al *Principio de Hardy-Weimberg*, y a todas las consecuencias que de el extrajeron los teóricos de la genética de poblaciones, que las frecuencias en que se dan los genes dentro de las poblaciones que habiten en esa cajas y la velocidad (esto es: cantidad de generaciones) en que las mismas varían, se transforman en magnitudes vinculadas, según relaciones matemáticas constantes, con el índice de eficacia biológica de cada uno de los genotipos allí presentes.

Para ilustrar lo que estamos diciendo cabría imaginarnos un ejemplo muy simple de experimento que podría ser realizado sobre una población experimental de *Drosophila melanogaster* convenientemente confinada en un demómetro. Podemos pensar, concretamente, en un experimento donde, dado el conocimiento de las proporciones de ciertos genes alelos, la alteración graduada de la ‘eficacia biológica’ [w] de las tres diferentes combinaciones genotípicas a la que los mismos dan lugar – que para fines de nuestro ejemplo vale pensar como inicialmente idénticas – nos permita calcular como será la proporción de esos alelos en la generación posterior a esa modificación.

Así, si la combinación de menor eficacia biológica es la del homocigoto recesivo, y la del heterocigoto es igual o menor a la del homocigoto dominante, sería posible incluso calcular cuantas generaciones deberán pasar para que, dada la actual diferencia en w , el alelo recesivo acabe siendo desplazado. Pudiéndose, incluso, calcular y eventualmente producir la modificación que cabría introducir en los valores de w para, de ese modo, acelerar, retrasar o, llegado un punto, revertir ese proceso con mayor o menor velocidad.

La genética teórica de poblaciones nos permite pensar los fenómenos evolutivos cómo constituyendo un sistema de magnitudes vinculadas según relaciones matemáticas constantes; y, en base a ella, la genética experimental de poblaciones nos permite manipular esas magnitudes de forma tal que las modificaciones que nosotros introducimos generen cambios controlables y calculables en otras magnitudes. Si el objetivo de toda ciencia experimental es establecer, como Claude Bernard pretendía, una correlación constante y

asimétrica entre dos magnitudes x e y de forma tal que, controlando o graduando a x consigamos determinar o graduar el valor de y ; entonces deberemos concluir que la genética de poblaciones posee un conocimiento experimental muy semejante a aquel que se puede acceder en el dominio de la biología funcional.

Parecería ser, entonces, que en por lo menos un dominio de la biología evolutiva y en lo que atañe, quizá, a aspectos muy restrictos de los fenómenos evolutivos, es posible satisfacer algo que, en cierto sentido, se asemeja a aquello que hemos denominado determinismo bernardiano. Sin embargo, y he ahí la diferencia que nos interesa mostrar, esa control experimental *matemáticamente graduado* se ejerce aquí sobre variables y magnitudes que guardan algunas diferencias significativas con aquellas sobre las que se opera en el campo de la biología funcional.

El análisis de esas diferencias, que nos ocupará en la próxima y última parte de este trabajo, nos permitirá ver que, aún con todo su rigor matemático y experimental, la genética de poblaciones lejos de poder darnos un posible pretexto para desdibujar los límites entre biología evolutiva y biología funcional, sirve para que esa frontera sea vista con mayor nitidez y sin confundirla con esa otra frontera que es la que separaría una ciencia rigurosamente experimental de una ciencia predominantemente observacional. Aunque en ocasiones la frontera entre esos dos grandes dominios de la biología haya coincidido y aún coincida con el límite entre la biología de los laboratorios y la biología de los naturalistas, la próxima sección nos dará la oportunidad – esperemos no perderla – de mostrar que estamos ante una distinción mucho más profunda, menos accidental, y epistemológicamente más relevante, que la que puede estar por tras de una mera diferencia de estilos o espacios institucionales.⁴

POBLACIONES Y ORGANISMOS

Así, si comparamos los experimentos hechos en demómetros con aquellos que son hechos en cualquier dominio de la biología funcional, veremos que una

⁴ De lo que acabamos de afirmar se deriva que, contrariamente a lo que algunos textos de Mayr (1980, p.9) pueden hacernos pensar, la nueva síntesis evolucionista de la que él, Julian Huxley, Simpson y sobre todo Dobzhansky fueron arquitectos no fue, en rigor, el producto de un tratado de paz y de cooperación entre biología funcional y biología evolutiva. Fue, en todo caso, la resultante de una convergencia, mediada y posibilitada por los desarrollos de un *darwinismo demostrado según el orden matemático*, entre la tradición de los naturalistas darwinianos y la emergencia de un nuevo tipo de biólogo: el darwinista de laboratorio; que no es lo mismo que un biólogo funcional. Entre Morgan y Dobzhansky hay diferencias epistemológicamente muy importantes (cfr. Mayr, 1973; Allen, 1979; Araujo, 2001).

primera diferencia, que no por obvia es menos importante, reside en el hecho de que los fenómenos estudiados en el primer caso sólo se registran en el plano poblacional. Una proporción entre alelos, un cambio en la frecuencia o en la eficacia biológica de algún gen, procesos migratorios o de deriva genética, etc., son todos fenómenos que, a diferencia de aquellos estudiados por la fisiología y la biología del desarrollo, sólo pueden señalarse y describirse en el marco de una población. Ninguno de ellos, y esto sí que es una *verdad de Perogrullo*, puede ser constatado en un organismo particular.

En cambio, un proceso celular, un fenómeno embriológico, una reacción hormonal o nerviosa son todas cosas que pueden ser apuntadas y estudiadas en el organismo individual; y no importa aquí si esos fenómenos son analizados en el nivel molecular o en niveles más complejos de organización. Es cierto, de todos modos, que, en algunos casos, la naturaleza del fenómeno estudiado o, en todo caso, la naturaleza de los propios organismos en cuyo seno tal fenómeno ocurriría, nos obliga a trabajar sobre grupos y no sobre individuos aislados.

Así ocurriría, por ejemplo, en un estudio sobre la absorción o liberación de una sustancia química cualquiera, por parte de algún tipo particular de bacteria. El mismo se valdría, muy posiblemente, de un cultivo de estos microorganismos y el fenómeno se analizaría no en cada bacteria individual, cosa que podría llegar a ser técnicamente imposible, sino considerando al cultivo en su totalidad como siendo un único agente químico que absorbe o libera una sustancia. La idea, sin embargo, es que cada bacteria individual produce ese fenómeno y lo que se estaría observando o midiendo sería, por lo tanto, la sumatoria de esos fenómenos individuales. Es decir: la cantidad de sustancia liberada o absorbida sería la suma de lo que cada bacteria puede, en media, absorber o liberar; y, en principio, ese proceso de absorción o liberación podría ser descrito y apuntado en cada bacteria individual.

Algo semejante podría decirse, incluso, sobre un posible estudio relativo a las malformaciones que produciría un agente físico o químico cualquiera en las larvas de ciertas moscas. Este estudio sería hecho, con toda seguridad, no ya sobre una única larva sino sobre muchas; y estas larvas podrían ser criadas en una caja cuyas características físicas podrían no ser muy diferentes a las de un demómetro. Pero, aún así, las malformaciones serían apuntadas y descriptas sobre cada larva individual o sobre cada mosca adulta. Los ensayos clínicos sobre respuestas a medicamentos, a tratamientos o a dietas entran, por lo tanto, dentro de esa categoría de experimentos fisiológicos colectivos.

Podría ocurrir, en el caso de las moscas, que no todos los individuos de la especie estudiada tengan la misma propensión a desarrollar malformaciones. Entonces, si pudiésemos mostrar que esas diferencias obedecen a factores genéticos, cabría también estudiar el impacto que esa propensión tiene en la

eficacia biológica de sus portadores; y en ese caso nuestro estudio pasaría a versar, ahora sí, sobre fenómenos poblacionales. Lo que en ese caso cambiaría, sin embargo, no es tanto la cantidad de los organismos afectados por mi estudio sino el tipo de preguntas que en un caso y otro se plantean. Se trata, por decirlo de algún modo, de una diferencia epistemológica y no de una diferencia meramente técnica o cuantitativa.

Pero, si en estos últimos casos puede resultar relativamente fácil de mostrar cual es la diferencia entre la perspectiva poblacional y la perspectiva organicista o individual; no parece ocurrir lo mismo cuando consideramos estudios sobre cruzamientos como aquellos realizados por Morgan o por el propio Mendel. Nadie, es cierto, consideraría los trabajos de estos autores como resultados de la genética de poblaciones; pero puede no ser del todo sencillo explicar cual es la diferencia que existe entre los cruzamientos entre moscas que Morgan hacía en sus botellas y los experimentos que se hacen en una jaula de poblaciones.

La semejanza entre ambos procedimientos, por el contrario, parece obvia: podría parecer que entre una botella de Morgan y una jaula de Teissier y L'Héritier no hay más que una diferencia de tamaño. De hecho, un experimento de cruzamiento entre moscas, por simple que sea, no sólo precisa de un macho y de una hembra; sino que, por lo común, sólo se podrán obtener resultados significativos en la segunda generación. Además, esos resultados sólo serán inteligibles en la medida en que se considera y se compara la totalidad de los descendientes.

Nada significaría, en un experimento sobre *drosophila*, que del apareamiento de una hembra y un macho de ojos rojos surja una hembra con ojos del mismo color, sino se sabe que, mientras todas las hembras producidas en esa misma fecundación han tenido esa característica, algunos de los machos de allí surgidos fueron de ojos blancos; y ese hecho, a su vez, se torna mucho más revelador si sabemos que ambos progenitores son el producto de un primer cruzamiento entre una hembra de ojos rojos y un macho de ojos blancos. Por fin, si cruzamos alguno de esos machos de ojos blancos de la segunda generación con hembras de la primera generación y, pese a los ojos rojos de todas estas, obtenemos una tercera generación en donde la mitad de las hembras y la mitad de los machos tienen ojos blancos, habremos obtenido un padrón de distribución de caracteres que hubiese sido imposible de registrar vinculando los individuos con sólo sus progenitores directos; es decir: sin considerar al resto de la progenie de estos y a sus propios progenitores (cfr. Ledesma Mateos, 2000, p.586).

¿No estamos aquí, entonces, también frente a fenómenos de índole poblacional? ¿No son estos también, por acaso, fenómenos que, como dijimos

más arriba, tampoco pueden ser descriptos o apuntados en el organismo individual sino que sólo se registran y producen en el plano poblacional?

Claro, una pareja de moscas y sus descendientes no constituyen en sentido estricto una población: ningún biólogo lo consideraría así y no deja de ser significativo que predicados definitorios de una población tales como densidad, razón entre sexos, tasas de nacimientos y muertes, etc., no sean relevantes para describir los *clanes* de moscas analizados por Morgan. Es innecesario decir, por otra parte, que tampoco tendría sentido apuntar o negar la ocurrencia de fenómenos migratorios o de presiones selectivas que pudiesen afectar a tales grupos. Y esto no es una cuestión empírica sino conceptual: por definición, y contrariamente a lo que ocurre con una población, el devenir de estos *clanes morganianos* nunca podría ser perturbado por un proceso migración.

Pero, a parte de esas consideraciones, de por sí reveladoras, puede apuntarse también el hecho de que los padrones de distribución de caracteres producidos por los experimentos de Morgan son indicativos de fenómenos que, lejos de ocurrir en el plano poblacional, ocurren a nivel celular. Por eso se habla, con toda justicia, de una teoría cromosómica de la herencia (cfr. Gouyon *et al.*, 1997, p.88). Los experimentos de cruzamiento acabaron siendo, al fin y al cabo, un recurso metodológico, el único disponible, para vincular caracteres hereditarios con estructuras cromosómicas específicas (Jacob, 2000, p.56).

Así, las conclusiones del celebre artículo en el cual Morgan (1910, p. 122) presenta los experimentos sobre *drosophila* que hemos referido, versan sobre las características del óvulo y del espermatozoide que habrían estado involucrados en la generación de aquel macho mutante de ojos blancos.⁵ Sólo

⁵ Se suele caracterizar a la genética de Morgan como siendo una *genética de la transmisión* (Mayr, 1998a, p.841) que, deliberadamente, deja de lado el estudio de los aspectos fisiológicos y embriológicos de la herencia. Se habla, incluso, de una *genética formal* (Pichot, 1999, p.137). Y es innegable, además, que los experimentos con *drosophila* obedecieron a la estrategia heurística de separar los problemas de la transmisión de los problemas del desarrollo (Magner, 2002, p.402). Pero, ni la adopción de esa perspectiva, ni el lenguaje fisiológicamente neutral que suele caracterizar a los escritos de Morgan pueden hacernos perder de vista que, en última instancia, sus trabajos apuntaban al develamiento de procesos celulares específicos (cfr. Jacob, 2000, p.56; Roger, 1983, p.142-143). El análisis de la reaparición y la distribución de una característica mutante después de sucesivos cruzamientos servía para detectar el fenómeno citológico que le habría dado lugar; servía, en definitiva, para determinar la *causa próxima* de una mutación. Y eso es lo que Ernst Mayr (1998b, p.137) pasa por alto cuando, aproximando a la *genética de la transmisión* de la *genética de poblaciones*, y distinguiéndola de la *genética fisiológica*, la clasifica dentro del universo de las disciplinas biológicas ocupadas con causas evolutivas remotas.

La genética de Morgan, en contra de lo que Pichot afirma (1999, p.151), fue siempre la genética de un fisiólogo o la de un embriólogo (Magner, 2002, p.402) preocupado, incluso, con las bases físicas de la herencia (Gouyon *et al.*, 1997, p.88)

el microscopio apuntado a los convenientes cromosomas gigantes de las de las glándulas salivares de la *drosophila*, y no el demómetro, podía respaldar sus conclusiones (Rostand, 1985, p.185). Fomentando o impidiendo el cruzamiento entre ciertas moscas, lo que Morgan hacia era manipular, indirectamente, fenómenos celulares; es decir: variables de tipo fisiológico que, eventualmente, podrían también llegar a ser manipuladas de forma directa operando sobre las estructuras cromosómicas allí involucradas (cfr. Jacob, 1973, p.247; Rostand, 1985, p.184).

Al fin y al cabo, es por medio de esos procedimientos que Morgan “pone en evidencia la recombinación genética por traspaso de fragmentos entre cromosomas”; “muestra que la cantidad de recombinación mide la distancia sobre el cromosoma”; e incluso “establece la distribución de los genes sobre un cromosoma” (Jacob, 2000, p.54). Nada de eso ocurre, sin embargo, con los experimentos hechos en cajas de poblaciones. Las intervenciones que allí se realizan y los resultados que allí se obtienen se inscriben siempre y necesariamente en el plano poblacional: no tendría sentido, no sería pensable, que los mismos pudiesen ser substituidos y validados por observaciones y experimentos fisiológicos.

Mientras los resultados de Morgan no podían dejar de suscitar interrogantes sobre la fisiología de los genes y sobre su naturaleza química (Jacob, 2000, p.56), no ocurrió lo mismo con los resultados de la genética experimental de poblaciones: no hay referente fisiológico posible para conceptos como *eficacia biológica* o *frecuencia génica* y, por lo tanto, no cabe una fundamentación fisiológica de los resultados que involucren esas categorías. Estos conceptos, insistimos en lo obvio, sólo pueden ser usados para describir poblaciones y sólo pueden designar variables poblacionales; jamás variables fisiológicas u orgánicas. El propio concepto de gen de la genética de poblaciones no tiene por que tener un referente fisiológico específico; y, por eso, hoy su suerte no está atada a los avatares y dificultades del concepto de gen como secuencia de ADN.

Pero, indisolublemente vinculado con la naturaleza poblacional de las variables sobre las que se opera en la genética experimental de poblaciones, está también el hecho de que esas variables no puedan ser físicas o químicamente definidas o descriptas. A diferencia de lo que ocurre con las variables fisiológicas que siempre pueden ser analizadas, por lo menos parcialmente, en términos físico-químicos – esa era, recordemos, la tercera exigencia de aquello que denominamos determinismo bernardiano –, nunca podremos encontrar predicados o magnitudes físico-químicas que realmente nos sirvan, que sean realmente relevantes, para describir fenómenos migratorios, para medir la

eficacia biológica de un alelo o para calcular la razón entre sexos en el seno de una población.

Las poblaciones y sus avatares no pueden, en definitiva, ser descriptos nunca en términos físicos o químicos, y esto nos indica que no se trata de sistemas físicos. Las poblaciones son sistemas irreductiblemente biológicos.⁶ Los organismos que la componen las poblaciones, es cierto, pueden ser considerados como sistemas complejos de moléculas sometidos a interacciones físicas entre ellos y con el entorno en general; pero los predicados que los biólogos usan para describir esas poblaciones no aluden, ni precisan aludir, siquiera indirectamente, a esa composición molecular y a esas interacciones. Una población, en resumen, es algo más que muchos organismos juntos. Una población, dirían algunos, es un sistema que posee propiedades emergentes o sobrevinientes a las propiedades de los organismos.

Pero atención: decir que una población no es sistema físico no constituye una incursión en alguna rancia y trasnochada *metafísica de lo viviente*. Se trata, por el contrario, de simplemente reconocer que los predicados y las variables poblacionales no son ni predicados que pertenezcan al lenguaje de la física, ni variables cuyos estados puedan ser descriptos en los términos de ese lenguaje; y lo que vale para esos predicados y esas variables vale también para las intervenciones experimentales que sobre ellos podemos hacer.

Las mismas no pueden ser, ni caracterizadas en términos físicos ni mensuradas en base a magnitudes de esa índole. Nuestras intervenciones experimentales sobre las poblaciones sólo pueden, por eso, ser caracterizadas y proyectadas en términos biológicos; y es en ese sentido que cabe decir que se trata de intervenciones biológicas y no de intervenciones físicas o químicas como las que se realizan en el dominio de la biología funcional. Si en la fisiología experimental se puede hablar de la utilización de *bisturís químicos* (cfr. Grmek, 1991, p.141 y ss.); en la genética experimental de poblaciones tenemos que hablar de *bisturís biológicos*. Sólo que estos no afectan los tejidos orgánicos sino la composición de las propias poblaciones.

Es cierto, no hay cambio o diferencia que no suponga un cambio o una diferencia física; nada ocurre en este mundo si físicamente todo sigue igual. Pero, sin cuestionar esa saludable certeza fisicalista, se puede aún reconocer que cuando se altera la temperatura de una jaula de población, cuando se rocía a sus habitantes con alguna sustancia química o se los separa con una lamina

⁶ Aceptando la oposición entre *sistemas físicos* y *sistemas intencionales* propuesta por Daniel Dennet (1985, p.6 y ss.), en Caponi 2002b hemos defendido la idea de que en el contexto de la biología evolutiva, las poblaciones son consideradas como *sistemas intencionales o cognitivos*.

de vidrio, o cuando se *importan* desde otra caja moscas de una raza geográfica diferente a la original, se está haciendo algo cuya caracterización física es prácticamente irrelevante para los objetivos cognitivos de la genética de poblaciones. Todas esas intervenciones físicas sólo tendrán valor experimental dentro de ese dominio disciplinar en la medida en que puedan ser caracterizados como manipulaciones de variables específicamente poblacionales.

Un cambio de temperatura puede ser un recurso para alterar la eficacia biológica de ciertos alelos. Una mampara de vidrio o de madera puede ser un medio para producir aislamiento geográfico. Abrir la caja y soltar dentro moscas de otra proveniencia puede ser un medio para alterar el pool genético de la población inicial. Pero, en todos los casos, lo que importa es el fenómeno biológico desencadenado o la variable biológica alterada; y lo que se quiere conocer, lo que se quiere mensurar, no es el impacto de la intervención física sobre ese fenómeno o sobre esa variable que se altera; sino el impacto que la alteración de ese fenómeno o esa variable tienen sobre otros fenómenos u otras variables poblacionales. Y esto con independencia de la técnica de observación que se utilice para conocer o medir la magnitud de ese impacto.

En los experimentos de biología funcional, podríamos decir, se manipulan y controlan variables físico-químicas que afectan esos sistemas físicos complejos que son los organismos individuales. En los experimentos de biología evolutiva, en cambio, se manipulan y controlan variables biológicas y, tal vez, geográficas, que afectan esos sistemas irreductiblemente biológicos que son las poblaciones. Unos, digamos, son un tipo muy particular de experimento físico; los otros, en cambio, son experimentos de una índole diferente: son experimentos poblacionales. Y esto vale tanto para las experiencias hechas en demómetros, como para los experimentos de control biológico de plagas o los experimentos hechos por Niko Tinbergen con los nidos de gaviotas.

Notemos, por otra parte, como esas diferencias entre variables poblacionales y variables fisiológicas son también relevantes para entender mejor la diferencia entre causas próximas y causas remotas. Las primeras, lo sabemos, son fenómenos físicos o químicamente descriptibles y capaces de actuar localmente sobre un organismo individual; las segundas son factores que actúan globalmente sobre una población y alteran su composición. La selección natural es, por eso, el ejemplo privilegiado de causación remota (cfr. Martínez, 1997, p.172-173): ella actúa sobre las poblaciones; pero esa acción no podría jamás ser considerada como una resultante o una suma del modo en que ese factor operaría sobre los individuos (cfr. Martínez, 1997, p.136). Nada ni nadie podría nunca registrar la intensidad de la selección natural que opera sobre un organismo individual. De hecho, al intentar imaginar esa posibilidad

nos colocamos en el borde del *sin sentido*: la gramática del concepto de selección natural no nos deja margen para cometer ese genuino *abuso de lenguaje*.

Por eso, decir que la biología evolutiva es una biología de causas remotas es decir, *ipso facto*, que ella es una biología de poblaciones. La dimensión o la perspectiva poblacional no es, en ese sentido, un mero recurso metodológico de la biología evolutiva; no es un expediente al cual se apela frente a la inviabilidad de otras alternativas. La perspectiva poblacional es, al mismo tiempo, la condición misma de posibilidad de esa ciencia y su carácter definitorio. O como alguna vez lo explicó François Jacob:

Lo que con Darwin transforma radicalmente la actitud hacia el mundo viviente es la manera de considerar, no ya los individuos sino amplias poblaciones. Hasta este momento, lo que se examinaban eran las variaciones a las que estaba sujeto un organismo particular para vislumbrar el tipo de transformaciones que eventualmente podría sufrir. Con Darwin, los avatares y desventuras que pueden afectar a un individuo o a otro, pierden interés. Es sin duda imposible reconstruir la historia de cada animal que ha vivido sobre la tierra, pero aunque se pudiese reconstruir el destino individual de cada uno de los seres del pasado, no se llegaría tampoco a deducir de ello las leyes de la evolución y la variación. El objeto de transformación no es el organismo, sino el conjunto de organismos similares que viven y se suceden en el tiempo. Jacob (1973, p. 186-187).

Es la perspectiva poblacional, al final de cuentas, la que permite al darwinismo la formulación de preguntas que no hubiesen podido ser formuladas en relación a sistemas físicos. Las poblaciones son, por decirlo de algún modo, los miembros privilegiados y fundamentales de un dominio de experiencia diferente del de la física; y es en la constitución de esos nuevos objetos de experiencia que debemos buscar la condición de posibilidad de la biología evolutiva. Es de hecho en las poblaciones, y no en los organismos, en donde encontramos el objeto peculiar y específico de la biología. Más que en la perspectiva *organísmica* de la fisiología, es en esa perspectiva poblacional de la biología evolutiva en donde la biología se afirma como una ciencia autónoma.

Pero, si bien es cierto que en la obra de Darwin esa perspectiva funciona como la gran articuladora de todo su *largo argumento*, no es menos cierto que la misma sólo se tornó definitivamente clara con los trabajos de R.A. Fisher, J.B.S. Haldane y S.Wright. Fue en el horizonte de los sobrios modelos matemáticos desarrollados por estos autores en donde las poblaciones se terminaron de recortar como objetos de experiencia autónomos y específicos; y no es por acaso que hayan sido esos mismos modelos los que posibilitaron un

estudio experimental riguroso y sistemático de los fenómenos evolutivos. Antes del advenimiento de esos modelos era difícil de concebir un experimento biológico que no fuese un experimento fisiológico.

Con Darwin las poblaciones emergen como objetos propios de la biología. Pero es en la genética de poblaciones que se llega a constituir y a articular, quizá no a completar, un discurso adecuado para describirlas y analizarlas en tanto que sistemas de variables que están conjugadas conforme una *legalidad* que no es física. Y es en tanto que sistemas de variables conjugadas que las mismas pudieron entrar en las jaulas de Teissier y L'Héritier. El darwinismo erigió a las poblaciones en objetos de experiencia; la genética de poblaciones las recortó como sujeto de experimentación y nos permitió entender su novedad epistemológica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALLEN, G. Naturalists and Experimentalists: the genotype and the phenotype. *Studies in History of Biology* Vol. III. Baltimore: J. Hopkins University Press, 1979, p.179-210.
- ARAÚJO, A. O salto qualitativo em Theodosius Dobzhansky: unindo as tradições naturalista e experimentalista. *Historia, Ciências, Saúde*, Rio de Janeiro, 8 (3), p. 713-726, 2001.
- AYALA, F. Mecanismos de la evolución. In: *Evolución*. Barcelona: Los Libros de Investigación y Ciencia, 1979, p.13-28.
- BATES, M. *The nature of natural history*. Princeton: Princeton University Press, 1990.
- BERNARD, C. *Introduction a l'étude de la médecine expérimentale*. Paris: Flammarion, 1984 [1865].
- BOESSIGER, E. "Evolutionary biology in France at the time of the Evolutionary Synthesis". In MAYR, E. & PROVINE, W. (eds) *The Evolutionary Synthesis*. Cambridge: Harvard University Press, 1980. p. 309-320.
- BRANDON, R. Presentación de los artículos de J. Hagen y D. Rudge sobre los estudios de Kettlewell. *Biology and Philosophy*, Dordrecht, 14 (1) p.1-7, 1999.
- BRANDON, R. *Concepts and Methods in Evolutionary Biology*. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.
- BRANDON, R. *Adaptation and Environment*. Princeton: Princeton University Press, 1990.
- BREWER, R. *The Science of Ecology*. New York: Harcourt College Publishing, 1994.
- BUICAN, D. *Histoire de la génétique et de l'évolutionnisme en France*. Paris: PUF, 1984.
- CAPONI, G. Explicación seleccional y explicación funcional: la teleología en la biología contemporánea. *Episteme*, Porto Alegre, n. 14, p. 57-88, 2002a.
- CAPONI, G. La sabiduría de las especies. *Ludus Vitalis*, México, 10, *en prensa*, 2002b.
- CAPONI, G. Biología Funcional vs. Biología Evolutiva. *Episteme*, Porto Alegre, n. 12, p. 23-46, 2001a.

- CAPONI, G. Claude Bernard y los límites de la fisiología experimental. *Historia, Ciências, Saúde*, Rio de Janeiro, 8 (2), p. 376-406, 2001b.
- CHALMERS, A. *A fabricação da ciência*. São Paulo: UNESP, 1994.
- CRONIN, H. *The ant and the peacock*. Cambridge: Cambridge University Press, 1991.
- CUPANI, A. Acerca da natureza do experimento científico; In CUPANI, A. & MORTARI, C. (eds.) *Linguagem e Filosofia*. Florianópolis: NEL-UFSC, 2002. p.125-145.
- CUVIER, G. *Recherches sur les ossements fossiles de quadrupèdes [Discours Préliminaire]*. Paris: Flammarion, 1992 [1812].
- DENNETT, D. *Sistemas Intencionales*. Col. Cuadernos de Crítica n.40. México: UNAM, 1985.
- GAYON, J. *Darwin et l'après-Darwin*. Paris: Kimé, 1992.
- GOULD, S. *The Structure of Evolutionary Theory*. Cambridge: Harvard Univ. Press, 2002.
- GOUYON, P.;HENRY, J.;ARNOULD, J. *Les avatars du gène*. Paris: Belin, 1997.
- GRMEK, M. *Claude Bernard et la méthode expérimentale*. Paris: Payot, 1991.
- HACKING, I. *Representar e Intervenir*. México: Paidós, 1996.
- HAGEN, J. Retelling experiments: H.B.D. Kettlewell's studies of industrial melanism in peppered moths. *Biology & Philosophy*, Dordrecht, 14 (1), p. 39-54,1999.
- HEIDEGGER, M. *La pregunta por la cosa*. Buenos Aires: Orbis, 1975.
- HULL, D. Historical entities and evolutionary theory. In HOOKWAY, C. (ed.) *Minds, Machines and Evolution*. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1984. p.17-42.
- JACOB, F. *La souris, la mouche et l'homme*. : Paris: Odile Jacob, 2000.
- JACOB, F. *La Lógica de lo Viviente*. Barcelona: Laia, 1973.
- KETTLEWELL, H. A resumé of investigations on the evolution of melanism in the lepidoptera. *Proceedings of the Royal Society of London*, London, 145 B, p.297-303, 1956.
- LEDESMA MATEOS, I. *Historia de la biología*. México: AGT editor, 2000.
- LEWONTIN, R. What do population geneticists know and how do they know it? In CREATH, R. & MAIENSCHIEIN, J. (eds.) *Biology and Epistemology*. Cambridge: Cambridge University Press, 2000. p.191-214.
- MAGNER, L. *A History of the Life Sciences*. New York: M. Dekker, 2002.
- MAGNUS, D. Down the primrose path: competing epistemologies in early XX century biology. In CREATH, R. & MAIENSCHIEIN, J. (eds.) *Biology and Epistemology*. Cambridge: Cambridge University Press, 2000. p.91-121.
- MARTINEZ, S. *De los efectos a las causas: sobre la historia de los patrones de explicación científica*. México: Paidós, 1997.
- MAYR, E. *O Desenvolvimento do Pensamento Biológico*. Brasília: UnB, 1998a.
- MAYR, E. *Así es la Biología*. Madrid: Debate, 1998b.
- MAYR, E. *Toward a new philosophy of biology*. Cambridge: Harvard University Press, 1988.
- MAYR, E. Some thoughts on the history of the evolutionary synthesis. In MAYR, E. & PROVINE, W. (eds) *The Evolutionary Synthesis*. Cambridge: Harvard University Press, 1980. p.1-48.
- MAYR, E. Museums and Biological Laboratories. *Breviora*, Cambridge, n.416, p.1-7, 1973.
- MORANGE, M. *Les mousquetaires de la nouvelle biologie: Monod, Jacob, Lwoff*. Col. Les génies de la science. Paris: Pour la Science, 2002.

- MORGAN, T. Sex limited inheritance in *Drosophila*. *Science*, London, 32, p.120-122, 1910.
- NORMAN, R. *Biología Experimental*. Buenos Aires: Troquel, 1971.
- NAGEL, E. *La Estructura de la Ciencia*. Buenos Aires: Paidós, 1978.
- NESSE, R. & WILLIAMS, G. *Evolution and Healing: the new science of darwinian medicine*. London:Phoenix, 1996.
- PICHOT, A. *Histoire de la Notion de Gène*. Paris: Flammarion, 1999.
- PICHOT, A. The strange object of biology, *Fundamenta Scientiae*, Paris, 8 (1), p. 9-30, 1987.
- POPPER, K. *Conocimiento Objetivo*. Madrid: Tecnos, 1974.
- RICQLÈS, A. *Leçon Inaugurale de la Chaire de Biologie Historique et Évolutionnisme du Collège de France*. Paris: Collège de France, 1996.
- ROGER, J. Biologie du fonctionnement et biologie de l'évolution. In Barreau, H. (ed.) *L'explication dans les sciences de la vie*. Paris: CNRS, 1983. p.135-160.
- ROSTAND, J. *Introducción a la Historia de la Biología*. Madrid: Planeta, 1985.
- RUDGE, D. Taking the peppered moth with a grain of salt. *Biology & Philosophy*, Dordrecht, 14 (1), p.9-37, 1999.
- RUSE, M. *La Filosofía de la biología*. Madrid: Alianza, 1979.
- SAMWAYS, M. *Control biológico de plagas y malas hierbas*. Barcelona: Oikos-Tau, 1990.
- SHAPERRE, D. The concept of observation in Science and Philosophy. *Philosophy of Science*, Chicago, 49(3), p. 485-525, 1982.
- SIMPSON, G. *La Biología y el Hombre*. Buenos Aires: Pleamar, 1974 [1964].
- SLATER, P. *Introducción a la Etología*. Barcelona: Crítica, 1988.
- SOBER, E. *The Nature of Selection*. Chicago: The Chicago University Press, 1993a.
- SOBER, E. *Philosophy of Biology*. Oxford: Oxford Univ. Press, 1993b.
- VON WRIGHT, G. On the logic and epistemology of the causal relation. In Sosa, E. & TOOLEY, M. (eds.) *Causation*. Oxford: Oxford University Press, 1993. p.105-124.

