

## La Distinción entre *Biología Funcional* y *Biología Evolutiva* como Clave para la Discusión del Reduccionismo en Ciencias de la Vida \*

GUSTAVO CAPONI

*Departamento de Filosofia, CFH  
Universidade Federal de Santa Catarina  
Caixa Postal 476  
88040-900 FLORLANÓPOLIS, SC  
caponi@cfh.ufsc.br*

*Resumen:* La distinción entre **biología funcional** y **biología evolutiva** propuesta por Mayr y Jacob constituye una clave fundamental para un tratamiento más claro y conclusivo de uno de los más discutidos problemas de la **filosofía de la biología**: el relativo a la posible reducción de la biología a física y química. Sin llegar a sostener definitivamente cualquier alternativa de solución para este problema, tratamos de mostrar la relevancia de esa oposición para un análisis más claro de la cuestión. Nuestra idea es que los argumentos anti-reduccionistas concernientes a la **biología evolutiva** no pueden ser usados con relación a la **biología funcional**: si podemos considerar a esta última como siendo una disciplina independiente de la física, esto será en virtud de argumentos que son diferentes de aquellos que podemos usar para sostener la autonomía de la primera. Pero, del mismo modo, queremos también mostrar que no es correcto usar los mismos argumentos pro-reduccionistas en contra de la autonomía de ambos dominios: la autonomía de la **biología evolutiva** posee raíces más profundas que aquellas que pueden ser señaladas en el caso de la **biología funcional**. Las preguntas que guían este dominio de la biología son diferentes de aquellas que guían la física: son preguntas funcionales; pero las respuestas que buscamos para ellas pueden estar escritas en el lenguaje de la física. Mientras tanto, las cuestiones planteadas en la **biología evolutiva** no nos conducen hacia una indagación física de los seres vivientes.

*Palabras-clave:* Biología funcional. Biología evolutiva. Reduccionismo. Fisicalismo.

---

\* La presente versión del trabajo intenta contemplar las pertinentes e incontestables observaciones formuladas por un evaluador de *Cadernos* cuya cuidadosa lectura del original y cuyas útiles sugerencias quiero agradecer.

## 1. Presentación

Tal vez, la pregunta sobre la posibilidad de *reducir* las ciencias de la vida a la física y a la química constituya el problema fundacional de la filosofía de la biología. Pero, si así no lo fuese, nadie negaría por eso que la misma ha dado lugar a uno de los tópicos más transitados y recurrentes de esa disciplina. La *querella del reduccionismo*, de un modo u otro, siempre recreada y replanteada, insiste en retornar: cada progreso en la biología la reaviva y siempre hay a mano recursos filosóficos para analizarla desde una nueva perspectiva (cfr. Goodfield, 1983; Rosenberg, 1985; Feltz, 1995; Suárez; Martínez, 1998). La bibliografía sobre el tema es tan basta que pretender reseñarla no sería menos ambicioso que pretender saldar la cuestión que la ha motivado. Por eso, sin atrevernos a enfrentar cualquiera de esos dos desafíos, lo que aquí nos proponemos es algo bastante menos arriesgado. Nos limitaremos a señalar lo que en nuestra opinión constituye un elemento de análisis fundamental para cualquier planteo correcto de ese problema: nos referimos a la clásica, aunque no siempre considerada, distinción entre *biología evolutiva* y *biología funcional*.

Muchos autores, en efecto, 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; Ricqlès, 1996; Magnus, 2000). Otros, mientras tanto, han reparado e insistido en la distinción 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: Jacob, 1973; Pichot, 1987; Morange, 2002). Pero creemos que ha sido mérito de Ernst Mayr (1998a; 1988) el haber articulado claramente ambas distinciones insertándolas en el marco de una contraposición más general entre *biología funcional* y *biología evolutiva*.

La primera es aquella *biología* ocupada en estudiar por métodos predominantemente experimentales 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 reconstruir, generalmente (no exclusivamente, como veremos en el caso de la genética de poblaciones) por métodos comparativos e 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 que efectivamente lo hacen y lo hicieron. Y no se trata, claro, de oponer dos programas o paradigmas alternativos; sino de distinguir dos modos complementarios de interrogar lo viviente cuya correcta diferenciación es, en nuestra opinión, fundamental para la discusión de los más diferentes problemas de la *filosofía de la biología* (Caponi, 2001). Siendo ese el caso, sobre todo, de la polémica sobre la relación entre física y biología: en nuestra opinión, la misma no debería ser si quiera planteada sin especificar a cual de los dos dominios de la biología nos referimos.

Es que, según esperamos poder mostrar, los argumentos *anti-reduccionistas* usados en el caso de la *biología evolutiva* no pueden ser utilizados para el caso de la *biología funcional*: si esta última puede ser caracterizada como una disciplina autónoma en relación a la física, sólo habrá de serlo en un sentido diferente a aquel en el cual podemos decir que la *biología evolutiva* lo es. Pero, del mismo modo, también esperamos poder mostrar que los argumentos *reduccionistas* no pueden tampoco aplicarse por igual en ambos dominios: la *biología funcional* puede seguir siendo pensada como la *física del ser viviente* aún cuando esa caracterización en nada convenga a la *biología evolutiva*. Queda anticipada así la conclusión de nuestro trabajo; esperamos que las consideraciones que siguen la justifiquen o, por lo menos, la disculpen.

## 2. La equívocidad de la reducción

La expresión *reduccionismo* es, lo sabemos, definitivamente equívoca: *la reducción se dice de muchas maneras*. Cabría, con todo, ensayar una primera caracterización general de esa postura: la misma, podemos decir, “implica la afirmación de que objetos o ámbitos de cierta naturaleza pueden, al fin y a la postre, definirse o caracterizarse en términos o en componentes que corresponden a otro ámbito, de naturaleza distinta” (Klimovsky, 1994, p. 275). Así, en el dominio de la *filosofía*

de la biología y en lo atinente a la relación entre *biología* y *física*, lo que entra en cuestión cuando se discute el *reduccionismo* es la posibilidad, y la necesidad, de que los fenómenos o los predicados biológicos puedan ser definidos, caracterizados o explicados en virtud de componentes, términos o teorías físicas.

Pero, como ya ha sido tantas veces observado, esta discusión puede plantearse en distintos niveles cada uno de los cuales plantea interrogantes diferentes y de tratamiento relativamente autónomo. De hecho, y por lo general, se distinguen tres niveles de análisis cada uno de los cuales suscita la defensa o la impugnación de una forma de *reduccionismo*. Lamentablemente, y pese a la usual coincidencia en el número tres, no existe un acuerdo total en la terminología usada para caracterizar esos niveles y eso, incluso, puede ocultar el hecho de que respecto de uno de los tres niveles siempre surgen diferencias en cuanto a la naturaleza del problema que allí se plantearía.

En primer lugar, podemos referirnos a lo que usualmente se ha caracterizado como el plano o el aspecto *epistemológico* o *teórico* de la reducción (Ayala, 1983, p. 12; Dobzhansky *et al.*, 1980, p. 485; Mayr, 1988, p. 11). En ese nivel, que es en el cual más a menudo han discutido las cuestiones de la reducción los filósofos de la ciencia como Popper (1983, p. 333), Nagel (1978, p. 312) o Hempel (1973, p. 152), lo que se pretende es decidir “si las teorías y leyes experimentales formuladas en un campo de la ciencia pueden considerarse casos especiales de teorías y leyes formuladas en algún otro campo científico”; siendo que, si ese es el caso, se dirá que “la primera rama de la ciencia ha sido reducida a la segunda” (Ayala, 1983, p. 12).

Pero, a excepción de lo ocurrido en los inicios de la polémica relativa a la posibilidad de reducir la *genética clásica* a la *genética molecular*, este punto de vista no ha llamado mucho la atención de los filósofos de la biología (cfr. Schaffner, 1976; Hull, 1974; Ruse, 1979; Kitcher, 1994). La concepción *nageliana* de reducción, surgida en un contexto de reflexión en donde se tenía a las teorías físicas como referencia privilegiada, sirvió, por decirlo de algún modo, como disparador y como planteo inicial, en el campo de la filosofía de la biología, de una polémica de *epistemología regional* concerniente a la relación entre dos *teorías* biológicas sobre

la herencia. Con todo, el devenir de esta polémica ha hecho que la propia idea de la reducción como *subsunción* entre teorías sea abandonada o, por lo menos, revisada (cfr. Schaffner, 1993; Waters, 1994; Callebaut, 1995; Duchesneau, 1997; Wimsatt, 1998; Sarkar, 1998).

Es necesario no perder de vista, por otra parte, que, aunque esté estrechamente relacionada con ella, la discusión sobre la relación entre genética mendeliana y genética molecular, no sólo no agota la discusión sobre la relación entre biología y física, sino que tampoco cabe siquiera considerarla como un aspecto parcial de la misma: para que esto último sea posible habría que dar por establecido que la biología molecular es, ella misma, un capítulo de la física o la química; cosa que, como Rosemberg (1985, p. 43) ha mostrado, sería una simplificación problemática.

Sin embargo, una cosa nos continúa pareciendo cierta: la revisión y el replanteo del problema de la reducción que tubo lugar en el seno de esa polémica sobre las *genéticas* hace pensar que hoy nadie consideraría muy seriamente la idea de que las *teorías* fundamentales de la biología puedan ser reducidas, en un sentido estrictamente *nageliano*, a teorías físicas. Lo que no terminó por cumplirse para la genética mendeliana y la genética molecular, difícilmente pueda cumplirse para la teoría evolutiva y, por ejemplo, la termodinámica de los *sistemas abiertos en un estado distante del equilibrio* (cfr. Popper, 1983, p. 194-5).

Con todo, si a nivel *epistemológico* existe entre los filósofos de la biología un cierto consenso *antireduccionista* (Rosemberg, 1994, p. 39; Sterelny; Griffiths, 1999, p. 137), no puede decirse lo mismo de lo que ocurre en ese otro plano de discusión que podríamos llamar *ontológico*. Tras el eclipse o el abandono de cualquier forma de vitalismo, nadie objeta lo que se dado en denominar *reduccionismo ontológico* (Ayala, 1983, p. 10) o *constitutivo* (Mayr, 1988, p. 10). El *reduccionismo constitutivo* u *ontológico* es el reduccionismo que Dobzhansky (1983, p. 23) consideraba *razonable*, aquel que se agota en el reconocimiento de que todo fenómeno o entidad biológica es, en última instancia, un compuesto complejo de fenómenos y entidades físico-químicas que, por razón de esa misma composición, está sometido a la legalidad física que rige a sus componentes (Ayala, 1983, p. 11; Mayr, 1988, p. 11).

Negarlo sería incurrir en el vitalismo, sería afirmar que los fenómenos vivientes obedecen a fuerzas contrarias o ajenas a las fuerzas físicas (Dobzhansky, 1980, p. 486; Ayala, 1983, p. 10; Mayr, 1988, p. 10; Callebaut, 1995, p. 37).

Agreguemos, además, que no nos parece del todo exacto homologar el reduccionismo constitutivo a la simple idea de que los fenómenos orgánicos están *sólo limitados por las leyes físicas* (Bauchau, 1999, p. 237). El orden físico no es sólo la condición de posibilidad y el margen dentro del cual la vida construirá un orden autónomo. La vida no supera el orden físico; ella no supone ninguna fuerza que, ajena a las leyes físicas, ejercería alguna forma de libertad dentro del marco de constricciones que aquellas imponen. Negar el vitalismo, como Claude Bernard (1984, p. 120-2) lo sabía, es negarle a la materia viva toda *espontaneidad*: es negarle cualquier capacidad de cambio que no suponga la intervención de una fuerza física. Negar el vitalismo implica, en última instancia, adherir a la posición *fisicalista* según la cual no hay en el mundo ningún cambio ni ninguna diferencia que no suponga algún cambio o alguna diferencia física (Sober, 1993a, p. 49). En el orden viviente no hay, podríamos así decir, ninguna *causa eficiente* que no sea una *causa física*.

Así, el reduccionismo *constitutivo* u *ontológico* puede expresarse diciendo que todo fenómeno orgánico físicamente registrable u observable ~ es decir: capaz de interactuar con un instrumento físico de observación o medición ~ es, en tanto tal, pasible de explicación físico-química. Siendo que era eso, precisamente, lo que el vitalismo negaba: para Stahl o para Driesch, existían fenómenos, experimentalmente registrables, que no podían ser explicados física o químicamente. Sin embargo, una cosa es decir que todo fenómeno biológico capaz de dejar una marca o registro físico en un instrumento de observación puede ser descrito y explicado en términos físicos; y otra cosa diferente es afirmar que todas las descripciones posibles y relevantes de un fenómeno biológico puedan ser traducidas a descripciones que puedan funcionar como *explananda* de explicaciones físico-químicas.

Llegamos así a la discusión de la tercera y más polémica forma de reduccionismo: aquella que Mayr (1988, p. 11) llama de *reduccionismo explicativo* y Ayala

(1983, p. 11) llama de *reduccionismo metodológico*. Aunque dado que algunos autores usan esta dos últimas expresiones para referirse a lo que aquí hemos denominado *reduccionismo epistemológico* o *teórico* (cfr. Klimovsky, 1994, p. 283; Dobzhansky *et al.*, 1980, p. 485) nosotros optaremos por la expresión *reduccionismo programático*. Queriendo indicar con ello una posición relativa a los procedimientos y estrategias de explicación (Dobzhansky *et al.*, 1980, p. 485; Ayala, 1983, p. 11); es decir: una posición relativa al modo y al direccionamiento de la investigación.

Sin embargo, más allá de las confusiones terminológicas, puede todavía existir una no tan fácilmente superable confusión conceptual: no es del todo fácil explicar lo que realmente se quiere indicar con esta nueva calificación del reduccionismo. Mayr (1988, p. 11), por ejemplo, identifica esta tesis con la afirmación, en su opinión falsa, de que todo fenómeno orgánico puede ser explicado en términos de las acciones e interacciones de sus componentes. No se trata, claro, de retornar al reduccionismo epistemológico y afirmar que las teorías específicamente biológicas que actualmente usamos para explicar los fenómenos orgánicos sean ellas *reducibles* o *explicables* por teorías físicas; sino de apostar a la posibilidad de que, independientemente de las teorías de las que hasta ahora podamos habernos valido para explicar tales hechos, los mismos puedan ser analizados y explicados en términos puramente físicos.

Lo que está en cuestión no es *reducir* teorías biológicas a teorías físicas; sino sustituir aquellas por éstas. Las dificultades del reduccionismo *a la Nagel* no invalidan esta pretensión; y, *malgré Mayr*, el *reduccionismo constitutivo*, como dijimos poco antes, parece respaldarla (Rosemberg, 1985, p. 23): si los fenómenos orgánicos no son más que fenómenos físicos de gran complejidad; entonces no hay razón para desistir de la meta de Crick (1966, p. 10): “explicar todo la biología en términos de física y química”. Sin embargo, se nos podría decir, una cosa es postular esa *explicabilidad física* de lo viviente y otra cosa muy diferente es realizarla. Inevitablemente la postulación o la negación de una *explicabilidad física* de los fenómenos vivientes nos lleva a tener que precisar si aludimos a una *explicabilidad en principio* o a una *explicabilidad en la practica*.

Pero atención: por *explicabilidad en la practica* no podemos entender la mera capacidad actual y efectiva de dar con una explicación física para todo fenómeno biológico. Si así fuese la respuesta sería obvia: hay un sin fin de fenómenos biológicos que ni siquiera sabemos como abordar desde una perspectiva física; pero es también claro que a nadie le interesa discutir la cuestión en ese nivel: la *explicabilidad* de los reduccionistas sería siempre, en este sentido trivial, una *explicabilidad en principio*: una promesa. Un problema distinto se plantea, sin embargo, cuando nos preguntamos por cual es la física en la cual esa promesa se sostiene. Desde este punto de vista, que es el que pertinentemente Sober (1993b, p. 25) nos propone, “*explicabilidad-en-principio* significa que una física idealmente completa estaría capacitada para dar cuenta de todo fenómeno biológico”; mientras tanto, “*explicabilidad-en-la-practica* significa que podemos explicar todo fenómeno biológico con la física que ya poseemos”.

Quien afirma este último tipo de *explicabilidad*, puede considerar que nuestra incapacidad actual en el logro de tales explicaciones obedece a nuestro defectuoso análisis de los fenómenos biológicos y/o a nuestra ignorancia relativa a como articular el conocimiento físico realmente existente en una explicación de los mismos. En cambio, quien afirme la mera *explicabilidad-en-principio* puede atribuir esa incapacidad a una limitación constitutiva o coyuntural de la física. Así, quien sostenga la *explicabilidad-en-la-practica* podrá considerar que esa incapacidad obedece a una limitación de la biología y que es, por lo tanto, asunto y objetivo de la biología el remediar paulatinamente la situación. Mientras tanto, quien apele a una limitación de la física para justificar esa incapacidad de la biología actual estará reconociendo que la reversión de la situación no es asunto, o *programa*, para las ciencias de lo viviente sino problema de una *super-física* aún por venir.

Puede decirse por eso que la postulación de esa *explicabilidad-en-principio* tiene menos consecuencias para la biología que para la física; y que la discusión sobre el reduccionismo explicativo debe centrarse, por lo menos primariamente, como de hecho ocurre, sobre la *explicabilidad-en-la-practica*. Siendo esta, de hecho, la promesa que sustenta las posiciones reduccionistas: las leyes y las fuerzas fundamentales son dadas por conocidas, lo que se supone que debe ser estudiado es



la compleja trama de condiciones iniciales que hacen que esas fuerzas y leyes produzcan los fenómenos de la vida. La ciencia, como reza la celebre expresión de Peter Medawar (1969, p. 116), es el *arte de lo soluble*, y negar la *explicabilidad-en-la practica* colocaría por lo menos una parte de la empresa reduccionista más allá de los límites de esa *solubilidad*.

Mientras tanto, la afirmación de tal *explicabilidad* parece hacer de ese reduccionismo un imperativo irrecusable: si se parte del postulado de que esa reducción, o esa explicación, es, más allá de las dificultades concretas, posible; es inevitable comprometerse en la búsqueda de la misma. Y esto no tanto porque una *reducción de éxito* sea, como Popper (1984, p. 154) ha dicho, “la forma de mayor éxito que puede concebirse ente todas las explicaciones científicas”; sino más bien porque desistir del programa reduccionista equivaldría a negar que la física realmente existente es suficiente para explicar el fenómeno vital. Cosa que, en última instancia, sería lo mismo que admitir que el repertorio de leyes y de fuerzas de la física actual es insuficiente para explicar lo viviente. De ese modo, el viejo vitalismo parecería estar de vuelta y pocos gustarían de ser considerados como uno de sus acólitos. De pronto, el *programa reduccionista* puede venir a ser tan inobjetable cuanto el *reduccionismo constitutivo*.

Pero, si no perdemos de vista la última formulación que propusimos para esta forma de reduccionismo, veremos que la relación entre ambas tesis no es tan simple así. Es que, conforme ya lo dijimos, una cosa es afirmar que “cualquier fenómeno biológico puede describirse como surgiendo de la interacción de procesos físico-químicos” (Maturana; Varela, 1994, p. 64); y otra cosa diferente es afirmar que todas las descripciones posibles y relevantes de un fenómeno biológico puedan ser traducidas a descripciones que puedan funcionar como *explananda* de explicaciones físico-químicas.

Siendo en este punto donde, en nuestra opinión, debe tenerse siempre la precaución de especificar a cual de esos dos grandes dominios de las ciencias de la vida que son la *biología funcional* y la *biología evolutiva* nos estamos refiriendo. Es que, ya *a priori*, es claro que una cosa es la respuesta, afirmativa o negativa, que podamos dar para la *biología funcional* y otra cosa es la respuesta, también afirmativa o

negativa, que podamos dar para la *biología evolutiva*; y esto lo podemos ver, fácilmente, si nos remitimos a la distinción entre la *perspectiva evolucionista* y la *perspectiva reduccionista* que François Jacob (1973) propuso en su *Lógica de lo Viviente*.

### 3. El programa reduccionista en *Biología Funcional*

En ese libro Jacob (1973, p. 14) retoma la distinción propuesta por Mayr entre *biología evolutiva* y *biología funcional*, aludiendo a las dos actitudes metodológicas que, en su opinión, dan lugar a esos dos dominios fundamentales de la biología contemporánea. La primera sería una 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; y la segunda, en cambio, sería esa actitud *tomista* 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. Como es obvio, en el lenguaje de Mayr, la primera sería la *biología evolutiva* y la segunda la *biología funcional*.

Cada una de estas *biologías*, nos dice 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 que 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).

Así, mientras en el primer dominio de investigaciones el biólogo puede continuar, en cierto modo, operando aún con los conceptos y los métodos de la historia natural y con relativa prescindencia del saber físico y químico (Jacob, 1973, p. 200); en el segundo caso nos encontramos con un conjunto de investigaciones que, en virtud de sus propios supuestos teóricos y en función de los problemas estudiados, da lugar a un discurso sobre lo viviente que, por su contenido conceptual, tiende a aproximarse progresivamente al discurso de la química y la física. 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 propia lógica, tendería, activamente, a identificar su discurso con el de esas otras ciencias.

Pero, sin ninguna duda, es en la propia práctica experimental en donde el reduccionismo de la biología funcional se torna más patente. Las *causas próximas* de las que se ocupa el biólogo funcional no son otra cosa que 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: en tanto que fenómenos 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 sus 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).

Puede decirse, por eso, que lo que verdaderamente define ese *reduccionismo programático* que, siguiendo a Jacob, podemos considerar como siendo inherente a la *biología funcional*, es la exigencia metodológica de que, para todo fenómeno, estructura o característica orgánica, siempre busquemos una descripción y una explicación de carácter fisiológico reducibles, ambas, a descripciones y explicaciones físico-químicas. La efectiva conquista de esa reducción se erige así en la meta que define la dirección, la agenda y el criterio para evaluar el éxito de las investigaciones desarrolladas en el contexto de la *biología funcional*.

Con todo, pese a que esa es la promesa, para muchos cada día más próxima de ser plenamente cumplida, de la biología molecular (cfr. Collins; Jegalian, 2000), y aún con absoluta prescindencia de lo que pueda venir a decirse de la *biología evolutiva*, es muy posible que esta imagen *reduccionista* de la *biología funcional* sea objetada por tres tipos de razones que conviene que tratemos separadamente. Unas son razones que llamaremos *lógicas*, otras son razones que denominaremos *teóricas*, y otras son razones que pueden ser caracterizadas como *históricas*. Puede hacerse converger, sin embargo, las tres líneas de críticas sobre un mismo punto: la idea según la cual 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” (Jacob, 1973, p. 15).

De ese modo, nos dice Jacob (1973, p. 15), “variando estas condiciones, repitiendo los experimentos, precisando cada parámetro”, el *biólogo funcional* conseguiría “dominar el sistema y eliminar sus variables”. El punto de partida del trabajo experimental sería siempre, y sin ninguna duda, la complejidad del viviente individual, pero su meta sería precisamente la de descomponer esa complejidad

y analizar sus elementos “con el ideal de pureza y certeza que representan las experiencias de la física y la química” (Jacob, 1973, p. 15). Así, siguiendo ese procedimiento analítico, concuerda Mayr (1998a, p. 89), se puede realizar en biología “el ideal de un experimento puramente físico, o químico”.

Con todo, y he ahí la primera línea de objeciones que se puede presentar ante este modo de ver la biología funcional, “no todo lo que adviene a un organismo en el laboratorio es una realidad biológica” (Merleau-Ponty, 1953, p. 215); es decir: no cualquier intervención experimental sobre un organismo será biológicamente relevante. Si “no se trata de hacer física *en* el ser viviente, sino la física *del* ser viviente” (Merleau-Ponty, 1953, p. 215); los fenómenos orgánicos nos interesarán en tanto contribuyen, en el estado normal, o conspiran, en el estado patológico, a cierto resultado que, desde su planteo, nuestro análisis privilegia: la constitución y la preservación del propio organismo individual.

Sin ese interés, sin esa perspectiva que privilegia y recorta la constitución y la preservación del organismo individual como foco de convergencia de todas las series causales analizadas, no hay fisiología ni *biología funcional* en general. Esta disciplina, podemos decir, supone siempre en sus análisis una idea de estado privilegiado y limita su análisis a mostrar como un determinado fenómeno orgánico interviene causalmente en la producción de ese estado (Goldstein, 1951, p. 340); y era a eso a lo que tan claramente Claude Bernard (1984, p. 137) apuntaba cuando en la *Introduction a L'Étude de la Médecine expérimentale* nos decía que:

El fisiólogo y el médico no deben olvidar jamás que el ser vivo forma un organismo y una individualidad. El físico y el químico, no pueden colocarse fuera del universo, estudian los cuerpos y los fenómenos aisladamente, en sí mismos, sin estar obligados a remitirlos necesariamente al conjunto de la naturaleza. Pero el fisiólogo, por el contrario, encontrándose ubicado fuera del organismo animal del cual ve el conjunto, debe preocuparse por la armonía de ese conjunto al mismo tiempo en que intenta penetrar en su interior para comprender el mecanismo de cada una de sus partes. De ahí resulta que, mientras el físico o el químico pueden negar toda idea de causas finales en los hechos que observan; el fisiólogo es llevado a admitir una finalidad armónica y preestablecida en los cuerpos organizados cuyas acciones parciales son todas solidarias y generadoras las unas de las otras. Es necesario reconocer, por eso, que si se descompone el organismo viviente aislando las diferentes partes, es sólo para facilitar del análisis experimental, y no para concebir esas partes aisladamente. En efecto, cuando se quiere dar a una propiedad fisiológica su valor y su

verdadera significación, siempre es necesario remitirse al conjunto y no sacar ninguna conclusión definitiva si no es en relación a sus efectos en relación a ese conjunto.

“El agrupamiento de los fenómenos vitales en funciones”, nos explica incluso Bernard (1878, p. 340), “es la expresión de ese pensamiento”. En efecto, la *función*, nada menos que el objeto privilegiado de la fisiología (Coleman, 1985, p. 241) y de la *biología funcional* en general, no es otra cosa que “una serie de actos o de fenómenos agrupados, armonizados, en vistas a un resultado determinado”; y, si bien, para la ejecución de dicha *función* concurren “las actividades de una multitud de elementos anatómicos”, ella no puede ser reducida a la “suma brutal de las actividades elementales de células yuxtapuestas” (Bernard, 1878, p. 370). Lejos de eso, para individualizar una *función*, para que quepa describir un conjunto de actividades orgánicas como cumpliendo una *función*, debemos considerarlas como “armonizadas, concertadas, de manera a concurrir en un resultado común” (Bernard, 1878, p. 370).

Así, y como más tarde lo haría notar otra vez Merleau-Ponty (1953, p. 215): “un análisis molecular total disolvería la estructura de las funciones y del organismo en la masa indivisa de las reacciones físicas y químicas triviales”. Por eso, “para hacer reaparecer, a partir de ellas, un organismo viviente”, nos decía este autor (Merleau-Ponty, 1953, p. 215), hay que reconsiderar a esas reacciones eligiendo “los puntos de vista desde donde ciertos conjuntos reciben una significación común, y aparecen, por ejemplo, como fenómenos de *asimilación*, como los componentes de una *función de reproducción*”; o, en definitiva, como momentos o pasos de cualquier otra función que nuestro análisis fisiológico este procurando establecer.

La *biología funcional* parece, en efecto, suponer una perspectiva sobre los fenómenos orgánicos que no encuentra un análogo en la física o en la química; y, por lo visto, la misma puede ser llamada, con toda justicia, de *perspectiva funcional*. Siendo que esa peculiaridad, como Rosemberg (1985, p. 39 y ss.) ha podido mostrar, se preserva, incluso, en el nivel de la biología molecular. Así, ante una secuencia de ADN, llamémosla *gen*, cuya ocurrencia se verifique en el genoma de

alguna especie de bacteria, el biólogo molecular habrá siempre de preguntarse por el *papel causal*, o *función*, que la proteína codificada por ese gen tienen en la constitución de tales organismos; y es ese sentido del término *función* que Craig Venter presupone cuando dijo que *cuarenta por ciento* de los genes individualizados en el *Proyecto Genoma Humano* tienen aún *una función desconocida* (cfr. Gerhardt, 2001).

Hay, en efecto, una cierta distancia entre preguntarse por el simple *efecto* de un fenómeno y preguntarse por su *función*; y esa distancia tiene que ver con que, en este último caso, presumimos que ese fenómeno puede venir a tener un *papel causal* (Cummins, 1975, p. 745 y ss.; Ponce, 1987, p. 105 y ss.) en la consecución de cierto estado cuya realización define y ordena nuestro análisis. Pero, aunque ese interés pueda permitirnos hablar de una cierta *autonomía erotética* de la *biología funcional* frente a la física; creemos que el mismo no puede ser citado como un argumento contrario al reduccionismo enunciado por Jacob.

Es cierto que, al hablar sobre los procedimientos analíticos del *biólogo funcional*, Jacob no tuvo en su debida cuenta esa *teleología intra-orgánica* a la que aludía Bernard. Pero creemos que ese descuido obedece al simple hecho de que no era el *modo de interrogación* de la *biología funcional* lo que estaba en cuestión; sino el *nivel ontológico* en el cual debían buscarse, en última instancia, las preguntas de ese dominio de la biología. Y el hecho de que las tramas causales que convergen en la constitución del organismo individual sean siempre reconstruidas en vistas a ese resultado, no significa que tal reconstrucción no pueda, o no deba, ser llevada hasta el plano molecular. Después de todo, Jacob podría muy bien convenir con Maturana y Varela (1994, p. 18) en la idea de que los organismos no son más que *sistemas autopoieticos moleculares*; es decir: sistemas físicos capaces de producir y preservar su propia organización (Maturana; Varela, 1994, p. 69). Y eso sería un buen argumento para no cejar en nuestros esfuerzos por elucidar los mecanismos moleculares que materializan esa *autopoiesis* (Maturana; Varela, 1994, p. 68).

Pero, aunque pueda decirse que la *perspectiva funcional* no invalida la prosecución del *programa reduccionista*, puede formularse en contra de este una segunda objeción vinculada con su viabilidad: tal es el caso de las objeciones *teóricas* que han sido planteadas por autores como Walter Elsasser (1998) y Jean Hamburger

(1986). Según esta línea de argumentación, el *programa reduccionista* podría estar proponiendo, por lo menos en algunos campos como el de la *biología del desarrollo*, desafíos que escaparían a nuestras posibilidades cognitivas. No se trata, claro, de poner en duda que los fenómenos orgánicos sean otra cosa que fenómenos moleculares; sino de alertar sobre la complejidad computacional involucrada en cualquier tentativa de explicar fenómenos fisiológicos complejos a partir de interacciones moleculares. Las variables a considerar y las posibles interacciones entre las mismas son tantas y tan intrincadas que parecen estar más allá de los límites matemáticos de lo computable (Simon, 1996, p. 172).

Por eso, se dice, es mejor encarar ciertos fenómenos orgánicos siguiendo estrategias experimentales *clásicas* que, sin llegar a operar en el plano molecular, pueden, de todos modos, permitirnos un control y un conocimiento de los mismos mucho más significativo. Después de todo, desde Claude Bernard en adelante, desde el nacimiento mismo de su disciplina, el *biólogo funcional* piensa experimentalmente (cfr. Bergson, 1938 p. 230); es decir: piensa los fenómenos orgánicos en la medida en que los analiza, controla y manipula experimentalmente. En su ciencia, vínculos causales o conceptos que no puedan ser plasmados o discriminados experimentalmente no tienen ningún espacio; y eso también vale para el propio *programa reduccionista*.

Ni la vaga certeza del *reduccionismo ontológico*, ni la severa exigencia que plantea la *explicabilidad en principio a la Sober* son suficientes por sí mismas: ambas tienen que expresarse operacionalmente. Si los fenómenos biológicos han de ser considerados realmente, en la efectiva práctica científica, como fenómenos físicos y químicos, eso tiene que palparse y ejecutarse en los procedimientos experimentales; y lo que los argumentos anti-reduccionistas *a la Elsas* vienen a decirnos es que, por lo menos para cierto tipo de fenómenos, eso es, *a priori*, imposible. Y no necesitamos volver a citar a Peter Medawar para recordar el pobre destino que les aguarda, en la historia de las ciencias, a los programas inviables.

Pero he ahí, justamente, la principal debilidad de estos argumentos: ante la obvia constatación de que ciertos fenómenos biológicos *son más complejos de lo que parecía* y ante la dificultades surgidas en las sucesivas tentativas de analizar los



mismos desde una perspectiva puramente molecular, se argumenta, en base a consideraciones matemáticas, que esas dificultades son infranqueables y que cualquier tentativa futuro está destinada al fracaso. Lo cierto, sin embargo, es que, pese a esas dificultades, el programa sigue en marcha: la laboriosa búsqueda y el fatigoso mapeamiento de las complejas filigranas moleculares en que están tramados los más complejos fenómenos orgánicos continua y, aquí y allá, se obtienen resultados, siempre parciales, casi ínfimos, pero efectivos y acumulables (Rosemberg, 2000).

El *programa reduccionista*, en definitiva, parece ofrecer más oportunidades concretas para el desarrollo de la investigación que los límites matemáticos postulados por algunos; y esa fertilidad heurística, esa capacidad de mantener abierto el campo de lo indagable multiplicando *rompecabezas*, es fundamental en la historia de la ciencia (Chalmers, 1979). La ciencia es una actividad práctica y los científicos siempre se inclinan por aquellas ideas que los pueden mantener ocupados (Gould, 1995); y ese no parece ser el caso de las ideas *holistas* de Elsasser.

Con todo, puede todavía objetarse que una cosa es decir que el *programa molecular* se enfrenta con límites insuperables y otra cosa muy distinta es afirmar que la reducción de todos los fenómenos orgánicos a fenómenos moleculares sea, realmente, el norte que guía todo el desarrollo de la *biología funcional*. Es que, sin apelar al *non plus ultra* de Elsasser, podemos todavía limitarnos a decir que quizá Jacob se equivoque al suponer que toda la *biología funcional* tienda a su propia *molecularización*. Nadie dudaría, es cierto, de llamar a esta tendencia de *hegemónica* (Kitcher, 1999; Lewontin, 2000); pero eso no implica negar la existencia de investigaciones que, aún siguiendo procedimientos más próximos a los de la fisiología y la embriología tradicional, continúan produciendo conocimientos novedosos y significativos. El modo de entender la *biología funcional* que Jacob nos presenta podría ser considerado como una simplificación histórica: no todos los caminos de esa disciplina parecen conducir a la biología molecular.

De hecho, los actuales desarrollos experimentales sobre clonación, aún cuando estén ciertamente imbuidos e instruidos por conocimientos sobre los componentes moleculares de las células, no por eso deben dejar de ser consi-

derados como la continuación de un programa de *ingeniería celular* cuyas líneas generales fueron trazadas independientemente de la biología molecular. Las técnicas experimentales allí desarrolladas permiten, por otra parte, un control y una manipulación de ciertos procesos celulares cuyos fundamentos moleculares no son plenamente conocidos; y esto puede estar indicándonos la factibilidad y la fertilidad de programas de investigación que operando sobre niveles de organización superiores, como pueden serlo las células, pero también tejidos y órganos, no se demoren en la elucidación de los mecanismos moleculares sobre los que los mismos están montados.

Con todo, ante las dificultades y fracasos que siempre surgen y surgirán en esos dominios de investigación, nadie dudaría en suponer que la clave de las variables ocultas que vengan a desbaratar predicciones y experimentos podría ser encontrada en la estructura molecular de las células. En un momento u otro, estos programas de investigación que, por razones pragmáticas, puedan desarrollarse con relativa autonomía de la biología molecular irán al encuentro de ella: para explicar o superar sus fracasos, pero también para fundamentar y explicar sus posibles éxitos. Y no se trata aquí de arriesgar profecías; sino de no pasar por alto que toda la experimentación en *biología funcional*, desde Claude Bernard en adelante, supone una intervención física y química sobre lo viviente.

En estos dominios, el biólogo puede pensar *fisiológica* o *celularmente*, pero *actúa físicamente*; y es por eso que, en última instancia, sólo en un *descenso* a la estructura molecular de lo viviente habrá de encontrar el fundamento y la explicación de los resultados que obtenga con sus intervenciones experimentales sobre el orden orgánico. Aunque en la práctica y coyunturalmente puedan subsistir *programas no-moleculares* en *biología funcional*; su propia razón de existir y su propia legitimidad depende de que se considere a los organismos como estructuras físicas. Para la *biología funcional*, el *reduccionismo ontológico* es más que una simple convicción metafísica: la sumisión del orden orgánico con el orden físico constituye su propia condición de posibilidad. Sin ella, el proyecto experimental formulado por Claude Bernard (1984, p. 144-5) sería ilegítimo.

Pero esa condición de posibilidad define también un límite y un criterio último de legitimidad para toda explicación que pueda darse de un fenómeno orgánico: la misma, por lo menos en principio, debe ser físicamente fundamentable. La *biología funcional* cae bajo la jurisdicción teórica de la física y esta se transforma en la última instancia a la cual podemos remitirnos ante cualquier conflicto irresuelto entre explicaciones biológicas alternativas. Así, en dominios como la fisiología o la embriología la reducción de un enunciado o una explicación biológica a un enunciado o explicación física, aunque no siempre se busque sistemáticamente, se convierte en el criterio último de legitimación de cualquier resultado particular. La tesis de que la biología funcional es reductible *en última instancia* a la física tal vez deba ser considerada y defendida en sentido jurídico: la física rige esa disciplina como un tribunal de última apelación rige un dominio cualquiera de la actividad humana.

Podemos decir, entonces, que la jurisdicción del *reduccionismo programático* se extiende, necesariamente, a todos los fenómenos biológicos en tanto y en cuanto los mismos sean descritos en términos físicos y registrados por instrumentos físicos de observación y medición como aquellos que, según decíamos más arriba, se usan en la práctica experimental de la biología funcional. Si no aceptásemos esa extensión estaríamos afirmando que existen fenómenos físicos para los cuales no hay explicación física posible. Es decir: estaríamos hablando de fenómenos registrados por esos aparatos e instrumentos para los cuales no habría una explicación física para dar.

Lo que todavía debe discutirse, sin embargo, es si las únicas descripciones relevantes de un fenómeno biológico son aquellas posibles de ser convertidas o sustituidas por descripciones que nos presenten tales fenómenos como meros eventos físicos; o, si por el contrario, existen descripciones que, siendo biológicamente relevantes, no pueden ser, en principios traducidas en un lenguaje físico; y es aquí en donde llegamos al límite que la *biología evolutiva* parece plantearle a ese reduccionismo programático. El lenguaje de la física no sólo no parece adecuado para describir los fenómenos que esta última estudia; sino que tampoco parece adecuada para plantear y dirimir los problemas que allí se plantean.

Pero no se trata aquí de incurrir en la postulación de fuerzas o fenómenos ajenos o contrarios a las leyes físicas que guiarían la historia de lo viviente; sino de no pasar por alto dos cuestiones que nos parecen fundamentales: una de ellas es la relativa al tipo de predicados que se utilizan en el discurso de la biología evolutiva; la otra es la relativa a la naturaleza de las explicaciones darwinianas y al carácter de las preguntas que estas responden. La primera cuestión la abordaremos a continuación a partir de un análisis de los predicados y de los procedimientos experimentales propios de la genética de poblaciones. La segunda, por su parte, será discutida en la última sección del trabajo cuando mostremos la diferencia de objetivo explicatorio que existe entre una explicación física y el tipo de *explicación selectiva* propio de la biología evolutiva.

#### 4. Los predicados poblacionales

La genética de poblaciones, que el propio Mayr (1998b, p. 137) reconoce como un capítulo de la *biología evolutiva*, es un dominio disciplinar que 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). En los modelos matemáticos propios de esta disciplina, “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 secuencia de cambios en esas frecuencias (Mayr, 1998a, p. 639) cuyas *causas* son factores como mutaciones, migraciones, selección natural y deriva genética. Siendo ese mismo rigor matemático el que permite utilizar las *cajas* o *jaulas de poblaciones* para efectuar experimentos que, con toda justicia, pueden ser considerados como genuinas *abstracciones materiales*.

Estas jaulas son simples cajas de vidrio en donde una población de *drosophila melanogaster*, para usar el ejemplo típico, puede 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 De un modo casi trivial y ciertamente muy económico, estas jaulas permiten superar el obstáculo que representa la escala espacial y temporal de ciertos fenómenos evolutivos para su estudio experimental. Con todo, la simpleza técnica y la austeridad de este dispositivo experimental no puede hacernos perder de vista su relevancia epistemológica.

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 abstraída 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.

Sin los modelos matemáticos de la genética teórica de poblaciones, esas jaulas 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. 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 una de estas jaulas. 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, retrazar o, llegado un punto, revertir ese proceso con mayor o menor velocidad.

La genética teórica de poblaciones nos permite pensar los fenómenos evolutivos como 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 (1984, p. 93) 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 y un control experimental de los fenómenos muy semejante a aquel que se puede acceder en el dominio de la biología funcional. Sin embargo, y he ahí la diferencia que nos interesa mostrar, ese 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.

Si comparamos los experimentos hechos en genética de poblaciones con aquellos que son hechos en cualquier dominio de la biología funcional, veremos que una 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 constado 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 descritas 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, es cierto, que no todas las moscas 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 organista 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 poblaciones 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. ¿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. 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. Sólo el microscopio apuntado a los convenientes cromosomas gigantes de las de las glándulas salivares de la *drosophila*, y no las jaulas de poblaciones, podía respaldar sus conclusiones (Rostand, 1985, p. 185). Fomentando o impidiendo el cruzamiento entre ciertas moscas, lo que Morgan hacía 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”.

somas”; “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 qué 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 física 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, 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. 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* 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 descritos 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 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 esos

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.

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 son fenómenos física 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. 172-3): 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*.

## 5. De causas y razones

Se podría pensar, sin embargo, que las explicaciones darwinistas por causas remotas no son más que una suerte de descripción resumida, simplificada o condensada, de un vasto conjunto de fenómenos individuales, todos ellos de carácter puramente físico, cuyo efecto final es también un fenómeno *descriptible* en términos puramente físicos. Al fin de cuentas, se dirá, todos esos fenómenos son registrables por aparatos físicos de medición y nadie podría sostener que, en tanto tales, los mismos sean causados por alguna fuerza que no sea una fuerza física. De hecho, cuando decimos que una población de mariposas está siendo depredada por una población de pájaros y que esa depredación hace que algunas de esas mariposas se reproduzcan menos que otras, aludimos a fenómenos que pueden ser descritos desde una perspectiva puramente física: las mariposas y los pájaros son estructuras moleculares.

Todos sus mecanismos fisiológicos, incluidos aquellos que están involucrados en la reproducción y el desarrollo pueden, en última instancia, ser descritos y explicados en términos moleculares; y no cabe duda que el vuelo de esos animales sobre una pradera es también un fenómeno físico como incluso lo es el impacto del pico de los pájaros sobre los cuerpos de la mariposa. E incluso, hasta la resultante de toda ese torbellino de eventos físicos, el cambio en la frecuencia de las diferentes variantes de mariposas, puede considerarse como un hecho posible de descripción física. En la medida en que las variaciones de estructura obedecen a un cierta base molecular, podemos describir ese cambio en la frecuencia de las diferentes variantes como siendo un cambio en la frecuencia de ciertas estructuras moleculares dentro del sistema físico constituido por todos esos agregados de átomos que son las mariposas de esa población.

Con todo, aunque toda esa engorrosa y casi demencial descripción fuese factible, la misma no podría sustituir una explicación darwiniana de por qué ciertas formas se tornaron más frecuentes que otras. Es que, la reconstrucción de toda esa filigrana de eventos físicos, aún explicándonos *cómo* algo ocurrió, todavía estaría dejando sin responder la pregunta que define el objetivo explanatorio de las explicaciones evolucionistas: *¿por qué P pudo resultar mejor que R en el contexto T?*. Es decir: la explicación darwinista debe indicar que ventajas pudo representar una variante en relación a otras; y eso es lo mismo que formular un balance y una comparación de los costos y beneficios implicados por las diferentes formas alternativas.

La explicación física puede mostrarnos *cómo* se comportaron o actuaron ciertas estructuras pero nunca podrá decirnos bajo que consideraciones una pudo resultar más ventajosa que otra: no hay traducción física para este tipo de preguntas y mal puede haber respuestas físicas para las mismas. Así, aunque una a súper-inteligencia laplaciana pudiese describir predecir, y explicar físicamente la evolución de una población como si fuese una nube de moléculas; no por eso las preguntas que un biólogo darwinista se plantea cuando considera las estructuras orgánicas en términos adaptativos estarían siendo respondidas. Es que, en última instancia y más allá de cualquier otra consideración, la razón más clara que se puede alegar en contra de la idea de que la explicación darwinista sea un resumen o una simplificación de alguna compleja explicación física de los fenómenos evolutivos, radica en el hecho de que las explicaciones darwinianas de la adaptación no responden a preguntas formulables desde una perspectiva física.

La *explicación darwiniana* no es, en sentido estricto, una explicación por causas eficientes de un evento ocurrido. Ella es, más bien, la explicación de una diferencia de frecuencia entre dos alternativas que, indicándonos una *opción* o una *preferencia*, nos dice *por qué* algo pudo ser mejor que otra cosa en un determinado contexto; y esto puede ser representado en este *modelo general de la explicación selectiva*:

**Explanans:**

- La población  $P$  está sometida a la presión selectiva  $S$ .
- La estructura  $X$  [ presente en  $P$  ] constituye una mejor respuesta a  $S$  que su alternativa  $Y$  [ también disponible en  $P$  ].

.....

**Explanandum:**

La incidencia de  $X$  en  $P$  es mayor que la de  $Y$ .

En esta explicación, las presiones selectivas a las que esta sometida una población no son consideradas como *causas mecánicas* de la retención de las estructuras adaptativas. La misma, como vemos, no apela, ni precisa apelar, a ningún enunciado nomológico que conecte presión selectiva y respuesta como si se tratase de una relación *causal humeana*. En lugar de mostrarnos una relación de *causa-efecto*, la explicación darwinista exhibe una ecuación de *costo-beneficio*. Es que, en el dominio de la *biología evolutiva* puede decirse, o bien que las cosas están donde están porque su presencia implicó, en algún momento, un beneficio mayor que el que hubiese implicado su ausencia, o bien que perduran porque perderlas implicaría más costos que retenerlas. Y esa diferencia, a menudo exigua, de *costos* o *beneficios* que favorece la difusión o la persistencia de alguna cosa, no constituye *la causa de esa cosa* sino su *razón de ser* (Dennett, 1991, p. 230, 1995, p. 76).

Una *razón*, en definitiva, no es más que aquello que se puede dejar de ganar o dejar de perder haciendo o dejando de hacer alguna cosa; y es en ese sentido que podemos decir que la *explicación darwinista* es una *explicación por razones* antes que una *explicación por causas*. La descripción de las presiones selectivas a las que está sometida la población explica la retención de una estructura no por describir la *causa eficiente* que la produce sino por mostrar las *razones* de esa retención (cfr. Brandon, 1990, p. 166); y no existe traducción física de nada semejante a una *razón* o a una diferencia ente costos y beneficios. La vida, podríamos decir, tiene razones que la física desconoce.

Por eso, una *súper-física* como la postuladas por Ilya Prigogine (1972, p. 562) o por Brian Goodwin (1998, p. 209) podría, tal vez, tornar irrelevantes las preguntas de la *biología evolutiva* transformando a la selección natural en una ilusión análoga a la *navegación sobre rieles* de los barcos de Disneylandia (Dennett, 2000, p. 338). Pero tornar irrelevante o *dissolver* una pregunta no es lo mismo que responderla; y eso es una diferencia clave entre la relación que la *biología funcional* guarda con la física y la relación que, con esta última, guarda la *biología evolutiva*. Mientras, un análisis físico completo de los procesos que se integran en la autopoiesis orgánica constituiría la *consumación* de la *biología funcional*; la *consumación* de los programas de Goodwin o de Prigogine podría implicar, quizá, la *clausura* de la *biología evolutiva* al tornar sus preguntas irrelevantes.

Por eso podemos decir que mientras la *biología funcional* marcha al encuentro de la física, la biología marcha en una dirección diferente; y esa dirección está pautada por un modo de interrogar los fenómenos que no pide respuestas que aludan a relaciones causales de carácter físico. Cuando dejamos de considerar un rasgo anatómico, fisiológico o comportamental como mero fenómeno bioquímico o como simple reacción hormonal o neuronal a ser explicada por *causas inmediatas*, y comenzamos a pensarlo como una estructura adaptativa resolutora de problemas, ese cambio no obedece, en contra de lo que Rosemberg (1994, p. 102, 1999, p. 28) afirma, a la desproporción entre la complejidad de los fenómenos en análisis y a las limitaciones de nuestro aparato cognitivo sino a un cambio en nuestro objetivo explanatorio.

Lo que queremos preguntar, lo que queremos saber ya no es lo mismo; y, tal como lo ha sugerido en una feliz imagen Daniel Delouya (1994, p. 53), una explicación molecular completa y aún *laplacianamente* satisfactoria de los fenómenos orgánicos que ocurren al nivel poblacional estudiado por la biología evolutiva, podría dejar tantas preguntas interesantes sin responder como lo haría un análisis físico del funcionamiento y las trayectorias de los ómnibus que unen Campinas a São Paulo en relación a nuestras posibles preguntas sobre el modo de funcionamiento de un sistema público de transportes. La más completa y pode-



rosa física de lo viviente no podría jamás relevarnos de su *hermenéutica* (Dennett, 1995, p. 212 y ss.)

**Abstract:** *Mayr and Jacob's distinction between evolutive and functional biology offers us a fundamental clue to a clear and conclusive approach of one of the most controversial issues in the philosophy of biology, namely, the possibility of reducing biology to physics and chemistry. In this article, I am not intent on choosing a definitive solution to this problem; rather, I shall limit myself to pointing out the relevance of such a project for a clearer analysis of the issue at hand. My point is that anti-reductionist arguments that are applied in connection with evolutive biology cannot be used in connection with functional biology: we can only consider the latter as independent of physics by means of arguments that are significantly different from those applied to support the autonomy of the former. By the same token, I claim that it is wrong to apply the same pro-reductionist arguments against the autonomy of both areas: the autonomy of evolutive biology is based upon deeper grounds than those of functional biology. Problems that guide our research in the latter are different from those that guide physics: they are functional problems, although their answers can be translated into the language of physics. On the other hand, problems that guide evolutive biology do not drive us to a physical investigation of living beings.*

**Key words:** *Functional Biology. Evolutionary Biology. Reductionism. Physicalism.*

## Bibliografía

- ALLEN, G. Naturalists and experimentalists: the genotype and the phenotype. *Studies in History of Biology*, 3, p. 179-209, 1979.
- AYALA, F. Introducción. In: AYALA, F.; DOBZHANSKY, T. (eds.). *Estudios sobre la filosofía de la biología*. Barcelona: Ariel. p. 9-29, 1983.
- AYALA, F.; DOBZHANSKY, T. (eds.) *Estudios sobre la filosofía de la biología*. Barcelona: Ariel, 1983.
- BARREAU, H. (ed.). *L'Explication dans les sciences de la vie*. Paris: CNRS, 1983.
- BAUCHAU, V. Emergence et réductionisme: du jeu de la vie aux sciences de la vie. In: FELTZ, B.; CROMMELINCK, M.; GOUJON, P. *Auto-organisation et émergence dans les Sciences de la Vie*. Bruxelles: Ousisa. p. 227-44, 1999.

- BERGSON, H. La philosophie de Claude Bernard. In: *La Pensée et le Mouvant*. Paris: PUF. p. 229-38, 1938.
- BERNARD, C. *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*. Paris: Flammarion, 1984-[1865].
- BERNARD, C. *Leçons sur les phénomènes de la vie communs aux animaux et aux végétaux*. Paris: Baillière et Fils, 1878.
- CALLEBAUT, W. Réduction et explication mécaniste en biologie. *Revue Philosophique de Louvain*, v. 93, n. 1-2, p. 33-55, 1995.
- CAPONI, G. Biología Evolutiva vs. Biología Funcional. *Episteme*, 12, p. 23-46, 2001.
- CHALMERS, A. Towards an objectivist account of theory change. *British Journal for the Philosophy of Science*, 24, p. 227-33, 1979.
- COLEMAN, W. *La biología en el siglo XIX: problemas de forma, función y transformación*. México: Fondo de Cultura Económica, 1985.
- COLLINS, F.; JEGALIAN, K. Le code de la vie déchiffré. *Pour la Science*, 267, p. 46-51, 2000.
- CREATH, R.; MAINCHISTEIN, J. (eds.). *Biology & Epistemology*. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.
- CRICK, F. *Of molecules and men*. Seattle: University of Washington Press, 1966.
- CUMMINS, R. Functional analysis. *Journal of Philosophy*, 72, p. 741-65, 1975.
- DELOUYA, D. A filosofia da biologia à luz da biologia molecular: resolveu-se o mistério?. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, série 3, v. 4, n. 1, p. 51-9, 1994.
- DENNETT, D. *La actitud intencional*. Barcelona: Gedisa, 1991.
- . *Darwin's dangerous idea: evolution and the meanings of life*. London: Penguin, 1995.
- Cad. Hist. Fil. Ci.*, Campinas, Série 3, v. 14, n. 1, p. 119-157, jan-jun. 2004.

- . With a little help from my friends. In: ROSS, D. *et al.*, (eds.). *Dennett's Philosophy*. Cambridge: MIT Press. p. 327-88, 2000.
- DOBZHANSKY, T. Comentarios preliminares. In: AYALA, F.; DOBZHANSKY, T. (eds.). *Estudios sobre la filosofía de la biología*. Barcelona: Ariel. p. 23-4, 1983.
- DOBZHANSKY, T. *et al.*, *Evolución*. Barcelona: Omega, 1980.
- DUCHESNEAU, F. *Philosophie de la Biologie*. Paris: PUF, 1997.
- ELSASSER, W. *Reflections on a theory of organisms: holism in biology*. Baltimore: The John Hopkins University Press, 1998.
- FELTZ, B. Le réductionisme en biologie: approches historique et épistémologique. *Revue Philosophique de Louvain*, v. 93, n. 1-2, p. 9-32, 1995.
- GAYON, J. *Darwin et l'après-Darwin*. Paris: Kimé, 1992.
- GERHARDT, I. Número baixo de genes é surpresa. *Folha de São Paulo*, São Paulo, 12 de abr. 2001.
- GOLDSTEIN, K. *La structure de l'organisme*. Paris: Gallimard, 1951.
- GOODFIELD, J. Estrategias cambiantes: comparación de actitudes reduccionistas en la investigación médica y biológica en los siglos XIX y XX. In: AYALA, F.; DOBZHANSKY, T. (eds.). *Estudios sobre la filosofía de la biología*. Barcelona: Ariel. p. 98-127, 1983.
- GOODWIN, B. *Las manchas del leopardo: la evolución de la complejidad*. Barcelona: Tusquets, 1998.
- GOULD, S. El sexo, las drogas, los desastres y la extinción de los dinosaurios. In: *La Sonrisa del Flamenco*. Barcelona: Crítica, p. 353-61, 1995.
- JACOB, F. *La lógica de lo viviente*. Barcelona: Laia, 1973.
- GRMEK, M. *Claude Bernard et la méthode expérimentale*. Paris: Payot, 1991.
- HAMBURGER, J. *Los límites del conocimiento*. México: Fondo de Cultura Económica, 1986.
- Cad. Hist. Fil. Ci.*, Campinas, Série 3, v. 14, n. 1, p. 119-157, jan-jun. 2004.

- HEMPEL, C. *Filosofía de la Ciencia Natural*. Madrid: Alianza, 1973.
- HULL, D. *Philosophy of Biological Science*. New Jersey: Prentice Hall, 1974.
- JACOB, F. *La lógica de lo viviente*. Barcelona: Laia, 1973.
- . *La souris, la mouche et l'homme*. Paris: Odile Jacob, 2000.
- KITCHER, P. 1953 and all that: a tale of two sciences. In: SOBER, E. (ed.). *Conceptual issues in evolutionary biology*. Cambridge: MIT Press, p. 379-400, 1994.
- . The hegemony of molecular biology. *Biology & Philosophy*, 14, p. 195-210, 1999.
- KLIMOVSKY, G. *Las desventuras del conocimiento científico*. Buenos Aires: A-Z, 1994.
- MAGNUS, D. Down the primrose path: competing epistemologies in early XX century biology. In: CREATH, R.; MAINCHISTEIN, J. (eds.). *Biology & Epistemology*. Cambridge: Cambridge University Press, p. 91-121, 2000.
- LEWONTIN, *The triple Helix*. Cambridge: Harvard University Press, 2000.
- MARTINEZ, S. *De las causas a los efectos*. México: Paidós/UNAM, 1997.
- MARTÍNEZ, S.; BARAHONA, A. (eds.). *Historia y explicación en biología*. México: Fondo de Cultura Económica, 1998.
- MATURANA, H.; VARELA, F. *De máquinas y seres vivos*. Santiago de Chile: Universitaria, 1994.
- MAYR, E. *Toward a new philosophy of biology*. Cambridge: Harvard University Press, 1988.
- . *O desenvolvimento do pensamento biológico*. Brasília: Universidade de Brasília, 1998a.
- . *Así es la biología*. Madrid: Debate, 1998b.
- MEDAWAR, P. *El arte de lo soluble*. Caracas: Monte Avila, 1969.

- MERLEAU-PONTY, M. *La estructura del comportamiento*. Buenos Aires: Hachette, 1953.
- MORANGE, M. *Monod, Jacob, Lwoff: les mousquetaires de la nouvelle biologie*. Paris: Pour la Science, 2002. (Col. Les Genies de la Science.)
- MORGAN, T. Sex limited inheritance in drosophila. *Science*, 32, p. 120-2, 1910.
- NAGEL, E. *La estructura de la ciencia*. Buenos Aires: Paidós, 1978.
- NORMAN, R. *Biología experimental*. Buenos Aires: Troquel, 1971.
- PICHOT, A. The strange object of biology. *Fundamenta Scientiae*, 8, p. 9-30, 1987.
- PONCE, M. *La explicación teleológica*. México: UNAM, 1987.
- POPPER, K. *El universo abierto*. Madrid: Tecnos, 1983.
- PRIGOGINE, I. La thermodynamique de la vie. *La Recherche*, v. 3, n. 24, p. 547-62, 1972.
- RICQILLES, A. *Leçon inaugurale de la Chaire de Biologie Historique et Évolutionnisme*. 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, p. 135-60, 1983.
- ROSTAND, J. *Introducción a la Historia de la Biología*. Madrid: Planeta, 1985.
- ROSEMBERG, A. *The structure of biological science*. Cambridge: Cambridge University Press, 1985.
- . *Instrumental biology*. Chicago: The University of Chicago Press, 1994.
- . Les limites de la connaissance biologique. *Annales d'Histoire et Philosophie du Vivant*, 2, p. 15-34, 1999.

- . Reductionism redux: computing the embryo. In: *Darwinism in philosophy, social science and policy*. Cambridge: Cambridge University Press, p. 72-96, 2000.
- RUSE, M. *La filosofía de la biología*. Madrid: Alianza, 1979.
- SARKAR, S. *Genetics and reduction*. Cambridge: Cambridge University Press, 1998.
- SCHAFFNER, K. The Watson-Crick model and reductionism. In: GRENE, M.; MENDELSON (eds.). *Topics in philosophy of biology*. Dordrecht: Reidel, p. 101-27, 1976.
- . *Discovery and explanation in biology and medicine*. Chicago: The Chicago University Press, 1993.
- SIMON, H. *The sciences of the artificial*. Cambridge: MIT Press, 1996.
- SIMPSON, G. *La biología y el hombre*. Buenos Aires: Pleamar, 1974 [1964].
- SOBER E. *The nature of selection*. Chicago: The University of Chicago Press, 1993a.
- . *The philosophy of biology*. Oxford: The Oxford University Press, 1993b.
- . (ed). *Conceptual issues in evolutionary biology*. Cambridge: MIT Press, 1994.
- STERELNY, K.; GRIFFITHS, P. *Sex and death*. Chicago: The University of Chicago Press, 1999.
- SUAREZ, E.; MARTINEZ, S. El problema del reduccionismo en biología: tendencias y debates actuales. In: MARTÍNEZ, S.; BARAHONA, A. (eds.). *Historia y explicación en biología*. México: Fondo de Cultura Económica, p. 337-70, 1998.
- WATERS, K. Why the antireductionist consensus won't survive the case of Classical Mendelian Genetics. In: SOBER, E. (ed). *Conceptual issues in evolutionary biology*. Cambridge: MIT Press, p. 401-18, 1994.

WIMSATT, W. La emergencia como no-agregatividad y los sesgos reduccionistas. In: MARTÍNEZ, S.; BARAHONA, A. (eds.). *Historia y explicación en biología*. México: Fondo de Cultura Económica, p. 385-418, 1998.