

EL REDUCCIONISMO EN LA BIOLOGÍA CONTEMPORÁNEA

GUSTAVO CAPONI*

Resumen. La distinción entre *biología funcional* y *biología evolutiva* es clave para un tratamiento conclusivo de uno de los más discutidos problemas de la filosofía de la biología: la posible reducción de la biología a física y química. Las preguntas que definen los objetivos cognitivos de la biología funcional son diferentes de aquellas que guían la física: son preguntas funcionales; pero las respuestas que buscamos para ellas pueden escribirse en el lenguaje de la física. Mientras tanto, las cuestiones planteadas en la biología evolutiva nos conducen hacia un tipo de discurso intraducible en el lenguaje de la física.

Abstract: *The distinction between evolutionary and functional biology is a fundamental clue to a conclusive approach of one of the most controversial issues in the philosophy of biology: the possibility of reducing biology to physics and chemistry. The questions that defines the cognitive targets of functional biology are different from those that guide physics: they are functional questions, but their answers can be translated into the language of physics. On the other hand, the questions that guide evolutionary biology drive us to a kind of discourse irreducible to that of physics.*

PALABRAS CLAVE: BIOLOGÍA FUNCIONAL, BIOLOGÍA EVOLUTIVA, REDUCCIONISMO, FILOSOFÍA DE LA BIOLOGÍA, FISCALISMO.

PRESENTACIÓN

Tal vez, la pregunta acerca de 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.

* Profesor de la Universidade de Santa Catarina, Brasil, caponi@cfh.ufsc.br

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 *querrela del reduccionismo*, de un modo u otro, siempre recreada y replanteada, insiste en retornar: cada progreso en la biología la reaviva, siempre hay a la mano recursos filosóficos para analizarla desde una nueva perspectiva.¹ 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 atreverme a enfrentar cualquiera de esos dos desafíos, lo que aquí propogo es algo bastante menos arriesgado. Me limitaré a señalar lo que en mi opinión constituye un elemento de análisis fundamental para cualquier planteamiento correcto de ese problema: me refiero a la clásica, aunque no siempre considerada, distinción entre *biología evolutiva* y *biología funcional*.

Muchos autores, en efecto, han llamado la atención acerca de 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 Charles Darwin y Niko Tinbergen.² 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 George Gaylord Simpson,³ podría ser tal vez caracterizado como *composicionista*.⁴ Pero considero que ha sido mérito de Ernst Mayr⁵ 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 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.⁶ Y no se trata, claro, de oponer dos programas o paradigmas alternativos; sino de distinguir dos modos complementarios de interrogar lo viviente cuya correcta

¹ Cfr., Goodfield, 1983; Rosemberg, 1985; Feltz, 1995; Suárez y Martínez, 1998.

² Cfr., Allen, 1979 y 1994; Araujo, 2001; Ricqlès, 1996; Magnus, 1997 y 2000; Hagen, 1999.

³ Cfr., Gaylord, 1974: 42.

⁴ Por ejemplo: Jacob, 1973; Pichot, 1983 y 1987; Morange, 1994 y 2002.

⁵ Mayr, 1961 y 1988.

⁶ Cfr., Mayr, 1980 y 1985.

diferenciación es, en mi opinión, fundamental para la discusión de los más diferentes problemas de la *filosofía de la biología*.⁷ Siendo ese el caso, sobre todo, de la polémica acerca de la relación entre física y biología: en mi opinión, la misma no debería ser siquiera planteada sin especificar a cual de los dos dominios de la biología me refiero.

Es que, según espero mostrar, los argumentos *anti-reduccionistas* usados en el caso de la *biología evolutiva* no pueden ser utilizados para el caso de la *biología funcional*: sí esta última puede ser caracterizada como una disciplina autónoma en relación con la física, sólo habrá de serlo en un sentido diferente de aquel en el cual podemos decir que la *biología evolutiva* lo es. Pero, del mismo modo, también espero mostrar que los argumentos *reduccionistas* tampoco pueden aplicarse por igual en ambos dominios: la *biología funcional* puede seguir siendo pensada como la *física del ser viviente* aun cuando esa caracterización en nada convenga a la *biología evolutiva*.

LA EQUIVOCIDAD DE LA REDUCCIÓN

La expresión *reduccionismo* es, lo sabemos, definitivamente equívoca: *la reducción se dice de muchas maneras*. Cabe, 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”.⁸ 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*. De manera lamentable 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.

⁷ Cfr., Caponi, 2001.

⁸ Klimovsky, 1994: 275.

En primer lugar, podemos referirnos a lo que usualmente se ha caracterizado como el plano o el aspecto *epistemológico* o *teórico* de la reducción.⁹ 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, Nagel o Hempel,¹⁰ 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: 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.¹¹ 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 planteamiento inicial, en el campo de la filosofía de la biología, de una polémica de *epistemología regional* concerniente a la relación entre dos *teorías* biológicas de 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.¹²

Es necesario no perder de vista, por otra parte, que, aunque esté estrechamente relacionada con ella, la discusión de la relación entre genética mendeliana y genética molecular, no sólo no agota la discusión acerca de 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 ha mostrado,¹³ sería una simplificación problemática.

Sin embargo, una cosa nos continúa pareciendo cierta: la revisión y el replanteamiento del problema de la reducción que tuvo lugar en el seno de la polémica acerca de las *genéticas* hace pensar que hoy nadie consideraría de manera seria la idea de que las *teorías* fundamentales de la biología puedan ser reducidas, en un sentido estrictamente

⁹ Cfr., Ayala, 1983: 12; Dobzhansky, 1980: 485; Mayr, 1988: 11.

¹⁰ Cfr., Popper, 1974: 187 y 1983: 333; Nagel, 1978: 312; Hempel, 1973: 152.

¹¹ Cfr., Schaffner, 1976; Hull, 1974; Ruse, 1979; Kitcher, 1994; Gayón, 1999.

¹² Cfr., Schaffner, 1993; Waters, 1994; Callebaut, 1995; Duchesneau, 1997; Wimsatt, 1998; Sarkar, 1998.

¹³ Cfr., Rosemberg, 1985: 43.

nageliano, a teorías físicas. Lo que no terminó por cumplirse para la genética mendeliana y la genética molecular, difícilmente podrá cumplirse para la teoría evolutiva y, por ejemplo, la termodinámica de los *sistemas abiertos en un estado distante del equilibrio*.¹⁴

Con todo, si en el ámbito *epistemológico* existe entre los filósofos de la biología un cierto consenso contrario a la idea *nageliana* de reducción,¹⁵ 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 ha dado en denominar *reduccionismo ontológico* o *constitutivo*.¹⁶ El *reduccionismo constitutivo* u *ontológico* es el reduccionismo que Dobzhansky consideraba *razonable*,¹⁷ 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.¹⁸ Negarlo sería incurrir en el vitalismo, sería afirmar que los fenómenos vivientes obedecen a fuerzas contrarias o ajenas a las fuerzas físicas.¹⁹

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*.²⁰ 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 lo sabía,²¹ es negarle a la materia viva toda *espontaneidad*: es negarle cualquier capacidad de cambio que no suponga la intervención de una fuerza física.²² Negar el vitalismo implica, en última instancia, adherir a la posición *fisicalista* según la cual no hay en el mundo ningún cambio ni diferencia que no suponga algún cambio o alguna diferencia física.²³ En el orden viviente no hay, podríamos así decir, ninguna *causa eficiente* que no sea una *causa física*.

¹⁴ Cfr., Popper, 1984: 194-195.

¹⁵ Cfr., Rosemberg, 1994: 39; Sterelny y Griffiths, 1999: 137.

¹⁶ Cfr., Ayala, 1983: 10 y Mayr, 1988: 10, respectivamente.

¹⁷ Cfr., Dobzhansky, 1983: 23.

¹⁸ Cfr., Ayala, 1983: 11 y Mayr, 1988: 11.

¹⁹ Cfr., Dobzhansky, 1980: 486; Ayala, 1983: 10; Mayr, 1988: 10; Callebaut, 1995: 37.

²⁰ Cfr., Bauchau, 1999: 237.

²¹ Cfr., Bernard, 1984: 120-122.

²² Cfr., Boutroux, 1950: 72.

²³ Cfr., Sober, 1993a: 49.

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 mediante la física o la química. Sin embargo, una cosa es decir que todo fenómeno biológico capaz de dejar una marca o registro físico en un instrumento de observación que 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 llama *reduccionismo explicativo* y Ayala *reduccionismo metodológico*.²⁴ Puesto que algunos autores usan esas dos últimas expresiones para referirse a lo que aquí hemos denominado *reduccionismo epistemológico* o *teórico*²⁵ nosotros optaremos por la expresión *reduccionismo programático*. Queriendo indicar con ello una posición relativa a los procedimientos y estrategias de explicación,²⁶ 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 en realidad se quiere indicar con esta nueva calificación del reduccionismo. Mayr,²⁷ 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 el reduccionismo epistemológico y afirmar que las teorías específicamente biológicas que en la actualidad usamos para explicar los fenómenos orgánicos sean ellas *reducibles* o *explicables* por teorías físicas; sino de apostar por la posibilidad de que, independientemente de las teorías de las que hasta ahora podemos habernos valido para explicar tales hechos, los mismos puedan ser analizados y explicados en términos 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

²⁴ Cfr., Mayr, 1988: 11 y Ayala, 1983: 11.

²⁵ Cfr., Klimovsky, 1994: 283 y Dobzhansky, 1980: 485.

²⁶ Cfr., Dobzhansky, 1980: 485; Ayala, 1983: 11.

²⁷ Cfr., Mayr, 1988: 11.

pretensión; y, a pesar de Mayr, el *reduccionismo constitutivo*, como dijimos poco antes, parece respaldarla:²⁸ si los fenómenos orgánicos no son más que fenómenos físicos de gran complejidad; entonces no hay razón para desistir de la meta de Francis Crick: “explicar todo la biología en términos de física y química”.²⁹ Sin embargo, se nos podría decir, una cosa es postular esa *explicabilidad física* de lo viviente y otra cosa muy diferente es realizarla. De manera inevitable, 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 práctica*.

Pero atención: por *explicabilidad en la práctica* no podemos entender la mera capacidad actual y efectiva de encontrar 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 también es 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 cuál es la física en la que esa promesa se sostiene. Desde este punto de vista, que es el que pertinentemente Elliott Sober 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-práctica* significa que podemos explicar todo fenómeno biológico con la física que ya poseemos. (Sober, 1993b: 25)

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 en cómo articular el conocimiento físico existente en realidad 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-práctica* 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 de manera paulatina 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

²⁸ Cfr., Rosemberg, 1985: 23.

²⁹ Crick, 1966: 10.

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 acerca del reduccionismo explicativo debe centrarse, por lo menos de manera primaria, como de hecho ocurre, en la *explicabilidad-en-la-práctica*. Siendo esta, de hecho, la promesa que sustenta las posiciones reduccionistas: las leyes y las fuerzas fundamentales se dan 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,³⁰ es el *arte de lo soluble*, y negar la *explicabilidad-en-la práctica* 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 ha dicho, “la forma de mayor éxito que puede concebirse entre todas las explicaciones científicas”,³¹ 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 como 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. Conforme a lo que ya se dijo, una cosa es afirmar que “cualquier fenómeno biológico puede describirse como surgiendo de la interacción de procesos fisico-químicos”,³² y otra muy 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 fisico-químicas.

³⁰ Cf., Medawar, 1969: 116.

³¹ Popper, 1984: 154.

³² Maturana y Varela, 1994: 64.

El *reduccionismo programático* se extiende, por necesidad, a todos los fenómenos biológicos en tanto que sean descriptibles o registrables en términos físicos. Si así no fuese estaría afirmando que existen fenómenos físicos para los cuales no hay explicación física posible. Lo que todavía debe discutirse, sin embargo, es si las únicas descripciones relevantes de un fenómeno biológico son aquellas pasibles de ser convertidas o sustituidas por descripciones que presenten tales fenómenos como meros eventos físicos; o, sí por el contrario, existen descripciones que, siendo biológicamente relevantes, no pueden ser, en principio, traducidas a un lenguaje físico.

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 es la respuesta, también afirmativa o negativa, que pueda darse 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 propuso en su *Lógica de lo viviente*.³³

EL PROGRAMA REDUCCIONISTA EN *BIOLOGÍA FUNCIONAL*

En ese libro, que sólo el miedo a la grandilocuencia puede impedirnos calificar de *magnífico*, Jacob³⁴ retoma la distinción propuesta por Mayr entre *biología funcional* y *biología evolutiva* y alude 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*.

³³ Cfr., Jacob, 1973.

³⁴ Cfr., Jacob, 1973: 14.

Cada una de estas *biologías*, nos dice Jacob, “aspira a instaurar un orden en el mundo viviente”.³⁵ 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 interorgánico. 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”.³⁶ 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”;³⁷ en el caso de la *biología evolutiva* o *integrata*, el organismo debe ser siempre considerado en función de sus relaciones con el medio y con los otros organismos.³⁸

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;³⁹ en el segundo caso 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 acerca de lo viviente que, por su contenido conceptual y por sus procedimientos experimentales, tiende a aproximarse de manera progresiva 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.

El supuesto fundamental de esa estrategia de investigación 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”.⁴⁰ Pero, más allá de esa presunción de la posibilidad de la reducción, lo que en verdad define ese *reduccionismo programático* que, siguiendo a Jacob, podemos considerar como 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

³⁵ Jacob, 1973: 16.

³⁶ Jacob, 1973: 16.

³⁷ Mayr, 1998: 89.

³⁸ *Cfr.*, Jacob, 1973: 14.

³⁹ Jacob, 1973: 200.

⁴⁰ Jacob, 1973: 15.

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,⁴¹ 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 que pueden ser caracterizadas como *históricas*. Puede hacerse converger, sin embargo, las tres líneas de críticas en 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”.⁴²

De ese modo, dice Jacob, “variando estas condiciones, repitiendo los experimentos, precisando cada parámetro [el *biólogo funcional* conseguiría] dominar el sistema y eliminar sus variables”.⁴³ 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”.⁴⁴ Así, siguiendo ese procedimiento analítico, concuerda Mayr, se puede realizar en biología “el ideal de un experimento puramente físico, o químico”.⁴⁵

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. [Sí] no se trata de hacer física *en* el ser viviente, sino la física *del* ser viviente”,⁴⁶ los fenómenos orgánicos nos interesarán en tanto contribuyen, en el estado normal, o conspiran, en el estado patológico, a cierto resultado que, desde su planteamiento, nuestro análisis privilegia: la constitución y la preservación del propio organismo individual.

⁴¹ *Cfr.*, Collins y Jegalian, 2000.

⁴² Jacob, 1973: 15.

⁴³ Jacob, 1973: 15.

⁴⁴ Jacob, 1973: 15.

⁴⁵ Mayr, 1998: 89.

⁴⁶ Merleau-Ponty, 1953: 215.

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 cómo un determinado fenómeno orgánico interviene de manera causal en la producción de ese estado;⁴⁷ y era en eso a lo que tan claramente Claude Bernard apuntaba cuando en la *Introduction a L'Étude de la Médecine expérimentale* nos decía que:

El fisiólogo y el medico no deben olvidar jamás que el ser vivo forma un organismo y una individualidad. El fisico 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 fisico 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 sí 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 sí no es en relación a sus efectos en relación a ese conjunto. (Bernard, 1984: 137)

“El agrupamiento de los fenómenos vitales en funciones [dice Bernard] es la expresión de ese pensamiento”.⁴⁸ En efecto, la *función*, nada menos que el objeto privilegiado de la fisiología⁴⁹ 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: 370)

⁴⁷ Cfr., Goldstein, 1951: 340.

⁴⁸ Bernard, 1878: 340.

⁴⁹ Cfr., Coleman, 1985: 241.

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”.⁵⁰

Más tarde lo haría notar otra vez Merleau-Ponty:

[...] 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, 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*. (Merleau-Ponty, 1953: 215)

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 Alexander Rosemberg ha mostrado,⁵¹ 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 en ese sentido del término el que Craig Venter presuponía cuando dijo que 40% de los genes individualizados en el *Proyecto Genoma Humano* tienen aún una *función desconocida*.⁵²

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*⁵³ 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.

⁵⁰ Bernard, 1878: 370.

⁵¹ Cfr., Rosemberg, 1985: 39 y ss.

⁵² Cfr., Gerhardt, 2001.

⁵³ Cfr., Cummins, 1975: 745 y ss.; Ponce, 1987: 105 y ss.; Caponi, 2001: 39 y ss.

Es cierto que, al hablar de los procedimientos analíticos del *biólogo funcional*, Jacob no tuvo debida cuenta de esa *teleología intra-orgánica* a la que aludía Bernard. Pero considero 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 con vista 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 Humberto Maturana y Francisco Varela⁵⁴ 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.⁵⁵ Y eso sería un buen argumento para no cejar en nuestros esfuerzos por elucidar los mecanismos moleculares que materializan esa *autopoiesis*.⁵⁶

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 en 1998 y Jean Hamburger en 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 acerca de 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.⁵⁷

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 de manera experimental;⁵⁸ es decir:

⁵⁴ Cfr., Maturana y Varela, 1994: 18.

⁵⁵ Cfr., Maturana y Varela, 1994: 69.

⁵⁶ Cfr., Maturana y Varela, 1994: 68.

⁵⁷ Cfr., Simon, 1996: 172.

⁵⁸ Cfr., Bergson, 1938: 230.

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 de manera operacional.

Sí 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 *Elsasser* vienen a decirnos que es, por lo menos para cierto tipo de fenómenos, eso es, *a priori*, imposible. Sí la ciencia es realmente el *arte de lo soluble*, el reconocimiento de este límite puede parecer una condena definitiva para el *programa reduccionista*.

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 las dificultades surgidas en las sucesivas tentativas de analizar los mismos desde una perspectiva puramente molecular, se argumenta, basado en consideraciones matemáticas, que esas dificultades son infranqueables y que cualquier tentativa futura 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 mapeo de las complejas filigranas moleculares en que están tramados los más complejos fenómenos orgánicos continúa y, aquí y allá, se obtienen resultados, siempre parciales, casi ínfimos, pero efectivos y acumulables.⁵⁹

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.⁶⁰ La ciencia es una actividad práctica y los científicos siempre se inclinan por aquellas ideas que los pueden mantener ocupados;⁶¹ 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

⁵⁹ Cfr., Rosemberg, 2000.

⁶⁰ Cfr., Chalmers, 1979.

⁶¹ Cfr., Gould, 1995.

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*,⁶² pero eso no implica negar la existencia de investigaciones que, aun 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 acerca de la clonación, aun cuando estén imbuidos e instruidos por conocimientos de los componentes moleculares de las células, no por eso deben dejar de ser considerados como la continuación de un programa de *ingeniería celular* cuyas líneas generales fueron trazadas de manera independiente 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 conocidos con plenitud; y esto puede estar indicándonos la factibilidad y la fertilidad de programas de investigación que operando en niveles de organización superiores, como pueden serlo las células, pero también tejidos y órganos, no se demoren en la elucidación de los mecanismos moleculares en 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 acerca de lo viviente.

En estos dominios, el biólogo puede pensar de manera *fisiológica* o *celular*, 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 acerca del orden orgánico. Aunque en

⁶² Cfr., Kitcher, 1999 y Lewontin, 2000.

la práctica y de forma coyuntural 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 Bernard sería ilegítimo.⁶³ 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 de manera sistemática, se convierte en el criterio último de legitimación de cualquier resultado particular.

LA PLASTICIDAD ONTOLÓGICA DE LA BIOLOGÍA EVOLUTIVA

No parece ocurrir lo mismo, sin embargo, en el caso de la *biología evolutiva*. 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. Y no se trata de incurrir en la postulación vitalista de fuerzas o fenómenos ajenos o contrarios a las leyes físicas que actuarían en la historia de lo viviente; sino de no pasar por alto el carácter *sobreviniente* (en relación con las propiedades físicas) de los predicados atribuidos a los organismos por la *biología evolutiva* tanto en la formulación como en la solución de sus problemas.

En general, puede decirse que un predicado P *sobreviene* a un conjunto de predicados físicos si se cumplen estas dos condiciones:⁶⁴

- P está necesariamente presente o ausente en todos los sistemas que son físicamente idénticos entre sí.
- P puede estar presente en dos sistemas aun cuando estos no sean físicamente idénticos.

⁶³ Cfr., Bernard, 1984: 144–145.

⁶⁴ Cfr., Sober, 1993a: 48.

Así, y como ejemplo fundamental de propiedad *sobreviniente*, podemos citar la *aptitud* o *eficacia adaptativa* que le atribuimos a ciertas formas orgánicas:

Las propiedades físicas de un organismo y del ambiente que este habita determinan cuan apto [*fit*] ese organismo es. Pero la aptitud [*fitness*] que un organismo posee —cuán viable o fértil él es— no determina como sus propiedades físicas deberán ser. Esta relación asimétrica entre las propiedades físicas del organismo en su ambiente y la aptitud de ese mismo organismo en ese mismo ambiente implica que la aptitud sobreviene [supervenes] sobre las propiedades físicas. (Sober, 1993b: 73)

O dicho de otro modo:

Si dos organismos son idénticos en sus propiedades físicas y viven en ambientes físicamente idénticos, entonces deberán tener la misma aptitud. Pero, el hecho de que dos organismos tengan la misma probabilidad de sobrevivir o una misma expectativa de descendencia no implica que ellos y sus respectivos ambientes deban ser físicamente idénticos. Una cucaracha y una cebra pueden diferir en diferentes aspectos, pero puede ocurrir que ambos tengan una probabilidad de 0.83 de sobrevivir hasta ser adultos. (Sober, 1993b: 73)

Sober⁶⁵ ilustra esto con una comparación entre cebras que difieren en sus posibilidades de ser capturadas por un león, porque algunas son más rápidas que otras, y cucarachas que tienen diferentes posibilidades de ser eliminadas en virtud de su desigual resistencia al DDT. En el primer caso, las bases físicas de la diferencia de aptitud pueden ser encontradas, simplificando un poco, en la arquitectura de las piernas: algunas cebras están mejor construidas para correr que otras. Ya en el segundo caso, las bases físicas de la diferencia de aptitud podrá ser encontrada, simplificando otra vez un poco, en la constitución de los aparatos digestivos.

Hay, una base física para el hecho de que una cebra sea más apta que otra; y hay también una base física para el hecho de que una cucaracha sea más apta que otra. Sin embargo, “sería extraño que, en ambos casos, la base física fuese la misma”.⁶⁶ No parece existir una magnitud física particular que, en todos los casos, varíe según lo haga la aptitud. Por eso, aun cuando pueda ser medida con un método uniforme, la *aptitud* o *eficacia biológica* de una forma orgánica, “es cualitativamente diferente para

⁶⁵ *Cfr.*, Sober, 1993a: 48.

⁶⁶ Sober, 1993a: 48.

cada organismo”.⁶⁷ Mientras tanto, predicados físicos tales como *entropía* o *temperatura* son consideradas como poseyendo “el mismo significado para todo sistema físico”.⁶⁸ Por eso, aun cuando puedan existir sendas explicaciones donde se muestre cómo ciertas propiedades físicas inciden en las diferencias de aptitud existentes entre las cucarachas, y como otras lo hacen en relación con las existentes entre las cebras; nadie podría dar nunca una definición física de lo que la aptitud es. Siendo que la razón de ello, como afirma Sober, “es simplemente que la aptitud no es una propiedad física”.⁶⁹

Notemos además que, de hecho, el universo de las posibles bases físicas de la aptitud es tan indefinido y heterogéneo como el universo de las bases físicas de los posibles problemas adaptativos (o presiones selectivas) que las diferentes poblaciones de organismos deben resolver o enfrentar. La estructura del aparato digestivo de una cucaracha puede tornarse en una base física de la aptitud, solo porque existe un problema adaptativo como lo es el planteado por la presencia de DDT en el ambiente; y, del mismo modo, el color de esa cucaracha podría tornarse en base física de la aptitud si existiese un predador que ubica visualmente a sus presas.

Pero nada obsta para que también la arquitectura de las extremidades de esa cucaracha se torne en una base física de su aptitud si la misma le permite un mejor comportamiento de fuga en relación con ese predador. Es decir: distintas bases físicas de la aptitud se corresponden con diferentes bases físicas de las presiones selectivas; y, tal como ocurre con la aptitud, no hay tampoco ninguna propiedad física particular que, en todos los casos, varíe según lo hagan las presiones selectivas. No hay, por tanto, ningún predicado físico que nos permita dar una definición de lo que es una *presión selectiva* o un *problema adaptativo*, y este hecho puede explicarse diciendo que, pese a sus bases físicas, las presiones selectivas (o si se prefiere: los *problemas adaptativos*) son *entidades* específicamente biológicas.

Así, y ante la eventual postulación de una posible reducción de la *biología evolutiva* a explicaciones moleculares de los fenómenos evolutivos, debemos apuntar que, para que esto último sea posible, tendría que existir la posibilidad de establecer correlaciones significativas entre fenómenos identificados en términos darwinistas y fenómenos identificados en términos moleculares. Aun cuando esto fuese tan complejo como el modo en que la fisiología de los organismos individuales está conectada con los fenómenos de la física, esa correlación tendría que existir; es decir: tendrían que existir conexiones entre las descripciones darwinianas y las descripciones moleculares.

⁶⁷ Sober, 1993a: 49.

⁶⁸ Sober, 1993a: 49.

⁶⁹ Sober, 1993a: 50.

Pero, puesto que los fenómenos cuyo estudio es específico de la *biología evolutiva* están definidos en gran parte en términos de predicados *sobrevinientes* a los predicados estrictamente físicos, categorías tales como *problema adaptativo* o *adaptación* permanecen siempre, por decirlo de algún modo, *físicamente abiertas*; es decir: no hay, estrictamente hablando, ningún límite físico para lo que pueda considerarse como *mimetismo*, *relación predador-presa*, *comportamiento gregario*, *ritual de cortejo*, o *parasitismo*.⁷⁰ Como afirma Sergio Martínez: a diferencia de las teorías fundamentales de la física, la teoría de la evolución “es, desde un punto de vista conceptual, ontológicamente plástica [es decir] se trata de una teoría que no se refiere en principio a ningún tipo de ente particular caracterizado por una cierta estructura material”.⁷¹

Podría objetarse, sin embargo, que esa *plasticidad ontológica* que aquí estamos apuntando como una peculiaridad de la *biología evolutiva* es, en realidad, una nota común a toda la biología. Siguiendo a Alexander Rosemberg,⁷² podríamos decir que la *caracterización funcional* de las estructuras orgánicas con relativa autonomía del substrato físico de las mismas es algo que se da tanto en el plano de la *biología evolutiva* como en el de la *biología funcional*. Así, cuando caracterizamos una determinada estructura anatómica como un *estómago*, no lo hacemos en virtud de su estructura física, sino en virtud de su *función* dentro de ese sistema que es el organismo; y eso es también lo que ocurre cuando analizamos la *función* de una hormona o de una base del ADN.

Se podría pensar, incluso, que cualquier recurso de *análisis funcional* hace entrar en consideración predicados que pueden definirse como *sobrevinientes* en el lenguaje de Sober. Creemos que existen, con todo, algunas diferencias importantes entre la *sobreviniencia a la Sober* y la *identificación funcional a la Rosemberg*. Esta, en todo caso, es una noción más amplia que aquella; y, por esa razón, no nos permite introducir una clara diferencia entre aquellos casos en que caracterizamos una estructura orgánica como respuesta a un determinado problema adaptativo y aquellos otros casos en donde caracterizamos esa estructura en virtud de su papel causal dentro de determinado proceso orgánico.

Es cierto, en este sentido, que cuando describimos la pigmentación de determinada especie de mamífero como una protección mimética frente a ciertos predadores lo hacemos con cierta prescindencia de cualquier referencia al substrato molecular de la misma; y es así, incluso, que podemos aproximar ese recurso mimético con el de una

⁷⁰ Cfr., Dobzhansky, 1980: 491.

⁷¹ Martínez, 1997a: 172.

⁷² Cfr., Rosemberg, 1985: 42; 1994: 26; 1999: 27 y 2000: 61.

especie de aves que frente a la acción del mismo predador, pero en virtud de bases moleculares diferentes, ha desarrollado una coloración semejante. Pero, si aquí el predicado *protección mimética* es utilizado de una forma en que parece justificado hablar de una *identificación funcional independiente del substrato molecular*, es necesario no pasar por alto la diferencia que existe entre este caso y aquel que se presenta cuando, caracterizando dos estructuras anatómicas tan diferentes como pueden serlo la cresta de un *Stegosaurus* o las plumas de un *Archaeopteryx*, decimos que ambas tienen un *papel causal* en la regulación térmica de cada tipo de organismo.

Aun cuando en este caso aludimos a una función de *regulación térmica* que es cumplida, de manera diferente y en organismos diferentes por estructuras que tal vez también presenten estructuras físicas claramente distinguibles; lo cierto es que la noción de *regulación térmica* es, por decirlo de algún modo, físicamente más acotada que la noción de *protección mimética*. Dada una magnitud definible de manera física como lo es la de *temperatura corporal*, se puede caracterizar una estructura anatómica como un *regulador térmico* en la medida en que se pueda mostrar cómo es que esa estructura contribuye a que esa magnitud se mantenga dentro de cierto margen de variación. Es decir: un regulador térmico puede presentar estructuras físicas muy diversas, pero el abanico de efectos físicos que, por definición, debe producir es mucho más limitado y unívoco.

Algo semejante puede decirse de *funciones* tan complejas como la trasmisión de la información genética. Esto puede ser hecho por la acción concomitante de diferentes tipos de entidades bioquímicas que, a su vez, pueden interactuar de modos diversos: no existe, se sospecha hoy, ningún tipo de unidad molecular discreta que, en general, pueda definirse como un *gen*. Sin embargo, para que una combinación determinada de estructuras moleculares pueda ser considerada cómo portadora de información genética debe ser capaz de desencadenar y pautar la reacción química por la cual se constituye un determinado tipo de proteína.

Mientras tanto, aun cuando al caracterizar una determinada pigmentación como una *protección mimética* frente a ciertos predadores estemos aludiendo a una gama de efectos también limitados, lo cierto es que esa limitación no se refiere a ninguna magnitud física particular; y esto se explica porque, recordando a Sober, podemos decir que ni *predador* ni *protección mimética* son propiedades físicas. Por lo tanto, tampoco podemos caracterizar a las expresiones *eludir* o *engañar al predador* como referidas a una clase de fenómenos físicamente delimitables, como ocurre con la expresión *regulación térmica*. Esta noción, retomando la expresión de Sergio Martínez, presenta una *plasticidad ontológica* mucho menor que la noción de *protección mimética*; y ese diferente grado de

plasticidad tal vez sirva para visualizar la diferencia existente entre la relación que hay entre la *biología funcional* y la física y aquella que tienen esta última y la *biología evolutiva*.

Por eso, aun cuando la *caracterización funcional de las estructuras y procesos orgánicos*, apuntada de manera insistente por Alexander Rosemberg, puede ser considerada como un elemento de la *biología funcional* que no encuentra una correspondencia en física o en química; ese procedimiento discursivo no implica una distinción entre biología y física tan radical como la que supone la *sobreviniencia*, apuntada por Elliott Sober, en lo atinente a la relación entre predicados físicos y *predicados darwinianos*. La distinción entre *caracterización funcional de estructuras y procesos* y *sobreviniencia de predicados* que puede parecer innecesaria o bizantina en *Filosofía de la Mente* es, en nuestra opinión, insoslayable en *Filosofía de la biología*.

DE CAUSAS Y RAZONES

Por otra parte, es de notar que esa *plasticidad ontológica* apuntada por Martínez “está ligada íntimamente con el hecho de que la causalidad involucrada en una explicación evolucionista por selección natural es diferente de la causalidad involucrada en las teorías de la física”.⁷³ Mientras en estas últimas toda acción es local; la selección natural es presentada por la teoría de la evolución como un proceso que “no se da por medio del contacto [...] la selección no se da en un lugar particular, es algo que tiene lugar en el sistema como un todo”;⁷⁴ y por eso “no puede caracterizarse por lo que pasa en el nivel de las interacciones mecánicas entre los individuos, y entre los individuos y su medio ambiente”.⁷⁵

Pero, si aceptamos lo que dijimos antes sobre la relación entre la *biología funcional* y la física, entonces también debemos aceptar que esa diferencia entre una *causalidad local por contacto* y una *causalidad global o sistémica* también la encontramos cuando, dejando de comparar a la *biología evolutiva* con la física, la comparamos con la propia *biología funcional*. Los fenómenos que se traman en la *autopoiesis* orgánica se vinculan según una causalidad y una legalidad físicas; es decir: según esa *causalidad local por contacto* que Mayr, Jacob, y ya antes Bernard, han llamado *causalidad próxima o inmediata*.

No hay fenómeno fisiológico o embriológico que no tenga un disparador físico o químico; y la individualización de esa *causa eficiente* es la explicación causal más acabada,

⁷³ Martínez, 1997a: 172.

⁷⁴ Martínez, 1997a: 172-173.

⁷⁵ Martínez, 1997b: 224.

aunque no siempre disponible, que podamos dar para dicho fenómeno. Al mismo tiempo, si ese fenómeno tiene una *función genuina*, o *papel causal*, a cumplir en la *autopoiesis* orgánica —es decir: si no se trata de un simple *efecto secundario* o *colateral* de otro fenómeno que sí tenga tal *función*— debería ser posible identificar cómo es que él mismo cumple el papel de disparador físico o químico de otro fenómeno también integrado al proceso de *autopoiesis*. Y esa identificación de un vínculo *causal local* constituiría el *análisis funcional* más completo y satisfactorio que podamos hacer de dicho fenómeno.

Cabría, sin embargo, intentar derrumbar esta contraposición sugerida por los comentarios de Sergio Martínez argumentando que la explicación darwiniana no es más que una suerte de descripción resumida, simplificada o condensada, de un basto conjunto de fenómenos individuales, todos ellos de carácter puramente físico, cuyo efecto final es también un fenómeno *descriptible* en términos físicos. A 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.

Es que, sin duda alguna, cuando decimos que una población de mariposas está siendo depredada por una población de pájaros y que esa depredación hace que algunas de ellas 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 de 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 todo ese torbellino de eventos físicos, el cambio en la frecuencia de las diferentes variantes de mariposas, puede considerarse como un hecho pasible de descripción física. En la medida en que las variaciones de estructura obedecen a una cierta base molecular, podemos describir ese cambio en la frecuencia de las diferentes variantes como 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, 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, aun explicándonos *cómo* algo ocurrió, 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 qué

ventajas pudo representar una variante en relación con 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 desde que consideraciones una pudo resultar más ventajosa que otra: no hay traducción física para este tipo de preguntas y tampoco puede haber respuestas físicas para las mismas. Así, aunque una 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. 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.

Una *súper-física* como la postulada por Ilya Prigogine o por Brian Goodwin⁷⁶ 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.⁷⁷ Pero tornar irrelevante o *disolver* 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.

⁷⁶ Prigogine, 1972: 562 y Goodwin, 1998: 209.

⁷⁷ Dennett, 2000: 338. No deja de ser curioso que Prigogine y Goodwin hayan siempre presentado sus programas como *anti-reduccionistas*. En realidad, estos autores no sólo están proponiendo la transformación de la biología en un capítulo de la física; sino que incluso se permiten sugerir aplicaciones de sus tesis al dominio de las ciencias sociales: desde su perspectiva la expresión física social podría transformarse en algo más que una metáfora. Acerca de esta paradoja en el modo en que Prigogine ha expuesto y popularizado sus tesis se pueden consultar los trabajos de Olimpia Lombardi (1999; 2000); pero sus consideraciones son fácilmente extensibles a las propuestas de Goodwin.

En realidad, la ya referida *sobreviniencia* de los *predicados darwinianos* en relación con los *predicados físicos* es consecuencia, y no fundamento, de esa diferencia *erotética*. 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 afirma,⁷⁸ 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 y saber ya no es lo mismo; y, tal como lo ha sugerido en una feliz imagen Daniel Delouya,⁷⁹ una explicación molecular completa y aun *laplacianamente* satisfactoria de los fenómenos orgánicos que ocurren en el ámbito 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 y São Paulo en relación con nuestras posibles preguntas acerca del modo de funcionamiento de un sistema público de transportes. La más completa y poderosa *física de lo viviente* no podría jamás relevarnos de su *hermenéutica*.⁸⁰

La *explicación darwiniana* es siempre 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*.⁸¹

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].

⁷⁸ Cfr., Rosemberg, 1994: 102 y 1999: 28.

⁷⁹ Cfr., Delouya, 1994: 53.

⁸⁰ Cfr., Dennett, 1995: 212 y ss.

⁸¹ Nos hemos permitido introducir una ligera modificación en la terminología habitual: así como se habla de *explicación causal*, de *explicación intencional* o de *análisis* o *explicación funcional*, nos pareció más adecuado hablar de *explicación selectiva* que de *explicación selectiva*. Esta última expresión es literalmente inadecuada porque parece indicar que la explicación en cuestión introduce, ella misma, algún tipo de preferencia o exclusión.

Explanandum:

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

En esta explicación, las presiones selectivas a las que está 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 responda 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*. 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.

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*.⁸² 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 este 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;⁸³ y no existe traducción física de nada semejante a una *razón* o a una diferencia entre costos y beneficios.

BIBLIOGRAFÍA:

- Adams, Mark, (ed.), (1994), *The Evolution of T. Dobzhansky*, Princeton, Princeton University Press.
- Allen, Garland, (1979), "Naturalists and experimentalists: the genotype and the phenotype", en *Studies in History of Biology*, núm. 3, pp. 179-209.
- _____, (1994), "T. Dobzhansky, the Morgan lab, and the breakdown of the naturalist/experimentalist dichotomy, 1927-1947", en Adams, (1994), pp. 87-98.
- Araujo, A., (2001), "O salto qualitativo em T. Dobzhansky: unindo as tradições naturalista e experimentalista", en *História, Ciências, Saúde*, vol. 8, núm. 3, pp. 713-726.
- Ayala, Francisco, (1983), "Introducción", en Ayala y Dobzhansky, (1983), pp. 9-29.

⁸² Cfr., Dennett, 1991: 230 y 1995: 76.

⁸³ Cfr., Brandon, 1990: 166.

- _____ y Theodosius Dobzhansky, (eds.), (1983), *Estudios sobre la filosofía de la biología*, Barcelona, Ariel.
- Barreau, Hervé, (ed.), (1983), *L'explication dans les sciences de la vie*, París, Centre National de la Recherche Scientifique.
- Bauchau, V., (1999), "Emergence et réductionisme: du jeu de la vie aux sciences de la vie", en Feltz, (et al.), *Auto-organisation et émergence dans les sciences de la vie*, Bruselas, Ousisa, pp. 227-244.
- Bergson, Henri, (1938), "La philosophie de Claude Bernard", en *La pensée et le mouvant*, París, Presses Universitaires de France, pp. 229-238.
- Bernard, Claude, (1984), *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*, París, Flammarion.
- _____, (1878), *Leçons sur les phénomènes de la vie communs aux animaux et aux végétaux*, París, Baillièere et Fils.
- Boutroux, Émile, (1950), *L'idée de loi naturelle dans la science et la philosophie contemporaines*, París, Vrin.
- Brandon, Robert, (1990), *Adaptation and Environment*, Oxford, Oxford University Press.
- Callebaut, Werne, (1995), "Réduction et explication mécaniste en biologie", en *Revue Philosophique de Louvain*, vol. 93, núms. 1-2, pp. 33-55.
- Caponi, Gustavo, (2001), "Biología evolutiva vs. biología funcional", en *Episteme*, núm. 12, pp. 23-46.
- Chalmers, Alan, (1979), "Towards an objectivist account of theory change", en *British Journal for the Philosophy of Science*, núm. 24, pp. 227-233.
- Coleman, Willian, (1985), *La biología en el siglo XIX: problemas de forma, función y transformación*, México, Fondo de Cultura Económica.
- Collins, Francis y Karin Jégalian, (2000), "Le code de la vie déchiffré", en *Pour la Science*, núm. 267, pp.46-51.
- Creath, Richard y Janes Mainchistein, (eds.), (2000a), *Biology & Epistemology*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Crick, Francis, (1966), *Of Molecules and Men*, Seattle, University of Washington Press.
- Cummins, Robert, (1975), "Functional analysis", en *Journal of Philosophy*, núm. 72, pp. 741-765.
- Delouya, Daniel, (1994), "A filosofia da biologia à luz da biologia molecular: resolveu-se o mistério?", en *Cadernos de Historia e Filosofia da Ciência S. 3*, vol. 4, núm. 1, pp. 51-59.
- Dennett, Daniel, (2000), "With a little help from my friends", en Ross, Dan, (et al.), (eds.), *Dennett's Philosophy*, Cambridge, MIT Press, pp. 327-388.
- _____, (1995), *Darwin's Dangerous Idea: Evolution and the Meanings of Life*, Londres, Penguin.
- _____, (1991), *La actitud intencional*, Barcelona, Gedisa.
- Dobzhansky, Theodosius, (1983), "Comentarios preliminares", en Ayala y Dobzhansky, pp. 23-24.
- _____, (1980), (et al.), *Evolución*, Barcelona, Omega.
- Duchesneau, François, (1997), *Philosophie de la biologie*, París, Presses Universitaires de France.

- Elsasser, Walter, (1998), *Reflections on a Theory of Organisms. Holism in Biology*, Baltimore, The John Hopkins University Press.
- Feltz, B., (1995), "Le réductionisme en biologie: approches historique et épistémologique", en *Revue Philosophique de Louvain*, vol. 93, núm. 1-2, pp. 9-32.
- Gayón, Jean, (1999), "La génétique mendélienne a-t-elle été réduite par la biologie moléculaire?", en *Biofutur*, núm. 189, pp. 43-44.
- Gerhardt, Isabel, (2001), "Número baixo de genes é surpresa", en *Folha de São Paulo*, 12 de Abril.
- Goldstein, Kurt, (1951), *La structure de l'organisme*, Paris, Gallimard.
- Goodfield, June, (1983), "Estrategías cambiantes: comparación de actitudes reduccionistas en la investigación médica y biológica en los siglos XIX y XX", en Ayala y Dobzhansky, (eds.), pp. 98-127.
- Goodwin, Brian, (1998), *Las manchas del leopardo: la evolución de la complejidad*, Barcelona, Tusquets.
- Gould, Stephen, (1995), "El sexo, las drogas, los desastres y la extinción de los dinosaurios", en *La sonrisa del flamenco*, Barcelona, Crítica, pp. 353-361.
- Jacob, François, (1973), *La lógica de lo viviente*, Barcelona, Laia.
- Hagen, Joel, (1999), "Naturalists, molecular biologists, and the challenges of molecular biology", en *Journal of the History of Biology*, vol. 32, núm. 2, pp. 321-341.
- Hamburger, Jean, (1986), *Los límites del conocimiento*, México, Fondo de Cultura Económica.
- Hempel, Carl, (1973), *Filosofía de la ciencia natural*, Madrid, Alianza Editorial.
- Hull, David, (1974), *Philosophy of Biological Science*, New Jersey, Prentice Hall.
- Kitcher, Philip, (1994), "1953 and all that: a tale of two sciences", en Sober, (1994), pp. 379-400.
- _____, (1999), "The hegemony of molecular biology", en *Biology & Philosophy*, núm. 14, pp. 195-210.
- Klimovsky, Gregorio, (1994), *Las desventuras del conocimiento científico*, Buenos Aires, AZ Editores.
- Lewontin, Richard, (2000), *The Triple Helix*, Cambridge, Harvard University Press.
- Lombardi, Olimpia, (2000), "Los aportes de Prigogine a la biología y a las ciencias sociales", en *Revista Patagónica de Filosofía*, vol. 1, núm. 2, pp. 67-96.
- _____, (1999), "Prigogine y la reducción en ciencias", en *Cadernos de História e Filosofia das Ciências*, vol. 9, núm. 1-2, pp. 123-147.
- Magnus, David, (1997), "Heuristics and biases in evolutionary biology", en *Biology & Philosophy*, vol. 12, núm. 1, pp. 21-38.
- _____, (2000), "Down the primrose path: competing epistemologies in early XX century biology", en Creath y Mainchistein, (2000a), pp. 91-121.
- Martínez, Sergio, (1997a), *De las causas a los efectos*, México, Paidós/Universidad Nacional Autónoma de México.

- _____, (1997b), “Una respuesta al desafío de Campbell: la evolución y el atrincheramiento de las técnicas”, en Martínez y Olivé, (eds.), *Epistemología evolucionista*, México, Paidós/Universidad Nacional Autónoma de México.
- _____ y Ana Barahona, (eds.), (1998), *Historia y explicación en biología*, México, Fondo de Cultura Económica.
- Maturana, Humberto y Francisco Varela, (1994), *De máquinas y seres vivos*, Santiago de Chile, Universitaria.
- Mayr, Ernst, (1961), “Cause and effect in biology”, en *Science*, vol. 134, pp. 1501-1506.
- _____, (1980), “Some thoughts on the history of the evolutionary synthesis”, en *The Evolutionary Synthesis: perspectives on the unification of biology*, Cambridge, Harvard University Press, pp. 1-50.
- _____, (1985), “How biology differs from the physical sciences”, en D. Depew y B. Weber, (eds), *Evolution at a Crossroads*, Cambridge, MIT Press, pp. 43-63.
- _____, (1988), *Toward a New Philosophy of Biology*, Cambridge, Harvard University Press.
- _____, (1998), *O Desenvolvimento do Pensamento Biológico*, Brasilia, Universidade de Brasilia.
- Medawar, Peter, (1969), *El arte de lo soluble*, Caracas, Monte Avila.
- Merleau-Ponty, Maurice, (1953), *La estructura del comportamiento*, Buenos Aires, Hachette.
- Morange, Michel, (2002), *Monod, Jacob, Lwoff: les mousquetaires de la nouvelle biologie*, Paris, Pour la Science, Col. *Les Genies de la Science*.
- _____, (1994), *Histoire de la biologie moleculaire*, París, La Decouverte.
- Nagel, Ernest, (1978), *La estructura de la ciencia*, Buenos Aires, Paidós.
- Pichot, André, (1987), “The strange object of biology”, en *Fundamenta Scientiae*, núm. 8, pp. 9-30.
- _____, (1983), “Explication biochimique et explication biologique”, en Hervé Barraeau, (ed.), pp. 69-106.
- Ponce, Margarita, (1987), *La explicación teleológica*, México, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Popper, Karl, (1974), *Conocimiento objetivo*, Madrid, Tecnos.
- _____, (1984), *El universo abierto*, Madrid, Tecnos.
- Prigogine, Ilya, (1972), “*La thermodynamique de la vie*”, en *La Recherche*, vol. 3, núm. 24, pp. 547-562.
- Ricqlès, Armand de, (1996), *Leçon inaugurale de la chaire de biologie historique et évolutionnisme*, Paris, Collège de France.
- Roger, Jacques, (1983), “Biologie du fonctionnement et biologie de l'évolution”, en Barraeau, (1983), pp. 135-160.
- Rosemberg, Alexander, (1985), *The Structure of Biological Science*, Cambridge, Cambridge University Press.
- _____, (1994), *Instrumental Biology*, Chicago, The University of Chicago Press.

- _____. (1999), "Les limites de la connaissance biologique", en *Annales d'Histoire et Philosophie du Vivant*, vol. 2, pp. 15-34.
- _____. (2000), "Reductionism redux: computing the embryo", en *Darwinism in Philosophy, Social Science and Policy*, Cambridge, Cambridge University Press, pp. 72-96.
- Ruse, Michael, (1979), *La filosofía de la biología*, Madrid, Alianza.
- Sarkar, Sahotra, (1998), *Genetics and Reduction*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Schaffner, Kenneth, (1976), "The Watson-Crick model and reductionism", en Grene, M. y Mendelsohn (eds), *Topics in Philosophy of Biology*, Dordrecht, Reidel, pp. 101-127.
- _____. (1993), *Discovery and explanation in biology and medicine*, Chicago, The Chicago University Press.
- Simon, Herbert, (1996), *The Sciences of the Artificial*, Cambridge, The MIT Press.
- Simpson, George, (1974), *La biología y el hombre*, Buenos Aires, Pleamar.
- Sober, Elliott, (1993a), *The Nature of Selection*, Chicago, The University of Chicago Press.
- _____. (1993b), *The Philosophy of Biology*, Oxford, The Oxford University Press.
- _____. (ed.), (1994), *Conceptual Issues in Evolutionary Biology*, Cambridge, MIT Press.
- Sterelny, Kim y Paul Griffiths, (1999), *Sex and Death*, Chicago, The University of Chicago Press.
- Suárez, E., y Sergio Martínez, (1998), "El problema del reduccionismo en biología: tendencias y debates actuales", en Martínez y Barahona, (1998), pp. 337-370.
- Waters, Kennett, (1994), "Why the antireductionist consensus won't survive the case of classical mendelian genetics", en Sober, (1994), pp. 401-418.
- Wimsatt, W., (1998), "La emergencia como no-agregatividad y los sesgos reduccionistas", en Martínez y Barahona, (1998), pp. 385-418.