

Reduccionismo en biología

Ingo Brigandt y Alan Love

Modo de citar:

Brigandt, Ingo y Love, Alan. 2018. "Reduccionismo en biología". En *Diccionario Interdisciplinar Austral*, editado por Claudia E. Vanney, Ignacio Silva y Juan F. Franck. URL=http://dia.austral.edu.ar/Reduccionismo_en_biología

Versión española de [Reductionism in Biology](#), de la Stanford Encyclopedia of Philosophy.

Traducción: María José Ferreira Ruiz

Publicado por primera vez el martes 27 de mayo de 2008; revisión sustancial el lunes 30 de abril de 2012.

El reduccionismo comprende un conjunto de afirmaciones ontológicas, epistemológicas y metodológicas acerca de la relación entre diferentes dominios científicos. La pregunta básica del reduccionismo es si acaso las propiedades, conceptos, explicaciones, o métodos de un dominio científico (típicamente, a niveles superiores de organización) pueden deducirse de o explicarse por las propiedades, conceptos, explicaciones o métodos de otro dominio científico (típicamente, uno acerca de los niveles inferiores de organización). El reduccionismo se relaciona con una variedad de temas en filosofía de la ciencia, que incluyen la estructura de las teorías científicas, las relaciones entre diferentes disciplinas científicas, la naturaleza de la explicación, la diversidad de la metodología, y la idea misma de progreso teórico, así como también se relaciona con numerosos tópicos en metafísica y filosofía de la mente, tales como la emergencia, la mereología y la superveniencia.

En la filosofía de la biología reciente (que se extiende desde los '70 hasta los '90), el debate principal sobre el reduccionismo se centró en la pregunta acerca de si acaso, y en qué sentido, la genética clásica puede ser reducida a la biología molecular. Si bien han tenido lugar otras líneas de discusión (e. g., si acaso la teoría evolutiva es inherentemente antirreduccionista, dado el principio de selección natural), los debates filosóficos sobre el reduccionismo de la última década están incluyendo una variedad de dominios cada vez más amplia (e. g., desarrollo, ecología, evolución, biología celular y neurociencia), y abordando preguntas adicionales acerca de la naturaleza y status de la interdisciplinariedad, tales como la integración de datos o de estándares en los diversos campos biológicos. El interés filosófico en la reducción en biología penetra toda la historia de la filosofía y de la ciencia. Muchos debates contemporáneos tienen sus análogos históricos, lo que refleja controversias persistentes entre biólogos acerca de la legitimidad de las estrategias de investigación reduccionistas y los modos de explicación empleados por diferentes subdisciplinas biológicas.

1 Introducción [↑](#)

"Reducimos, reducimos y reducimos, pero los hábitos del antropomorfismo y la metáfora son difíciles de matar"
Margaret Drabble, *The Sea Lady*, 146).

La reducción (reduccionismo) abarca varios temas filosóficos relacionados. Podemos distinguir al menos tres tipos centrales de reducción: ontológica, metodológica y epistémica (Sarkar 1992; cf. Nagel 1998). Aunque los argumentos a favor y en contra del reduccionismo a menudo incluyen una combinación de posiciones relacionadas con estos tres tipos, estas diferencias resultan significativas dado que no se obtienen relaciones de implicación directa entre los diferentes tipos de reducción (aunque ciertos compromisos tácitos sobre estas relaciones prevalecen en buena medida).

(i) *La reducción ontológica* refiere a la idea de que cada sistema biológico particular (v.gr. un organismo) está constituido solamente por moléculas y sus interacciones. En metafísica, esta idea es usualmente denominada “fiscalismo” (o materialismo), la cual en un contexto biológico asume que (a) las propiedades biológicas supervienen sobre las propiedades físicas (i.e. no existe diferencia en una propiedad biológica sin que exista una diferencia en una propiedad física subyacente), y (b) cada proceso biológico particular (o caso) es metafísicamente idéntico a algún proceso físico-químico particular. Este último principio es a veces llamado reducción caso-caso, en contraste con un principio más fuerte según el cual cada tipo de proceso biológico es idéntico a un tipo de proceso físico-químico. La reducción ontológica, en este sentido más débil, es en la actualidad una posición por defecto entre filósofos y biólogos, aunque los detalles filosóficos, tales como si acaso hay propiedades emergentes genuinas, sean aun controversiales. Distintas versiones del fiscalismo pueden dar lugar a diferentes implicaciones para la reducción ontológica en biología (Dowell 2006). La negación del fiscalismo por el vitalismo, la doctrina según la cual los sistemas biológicos son gobernados por fuerzas que no son de naturaleza físico-química, es principalmente de interés histórico. (El vitalismo también admite varias versiones, especialmente con respecto a cómo entender fuerzas de naturaleza no físico-química; ver Sección 2). Algunos autores han argumentado con vehemencia a favor de la importancia de conceptos metafísicos en la discusión sobre el reduccionismo en biología (Rosenberg 1978, 1985, 1994, 2006).

(ii) *La reducción metodológica* refiere a la idea de que resulta mucho más fructífero estudiar los sistemas biológicos en el nivel más bajo posible, y que los estudios experimentales deberían apuntar a revelar las causas moleculares y bioquímicas de tales sistemas. Un ejemplo común de esta clase de estrategia es la descomposición de un sistema complejo en sus partes (Bechtel y Richardson 1993); un biólogo podría investigar las partes celulares de un organismo en vistas a comprender su comportamiento, o investigar los componentes bioquímicos de una célula para entender sus características. Si bien el reduccionismo metodológico está a menudo motivado por la presunción de reducción ontológica, esta sugerencia procedimental no se sigue de manera directa de aquélla. De hecho, a diferencia de la idea de reducción ontológica, el reduccionismo metodológico puede ser muy controversial. Se ha argumentado que estrategias de investigación *exclusivamente* reduccionistas pueden estar sistemáticamente sesgadas, en tanto pasan por alto características biológicas prominentes, y también que, en ciertos contextos, la estrategia más fructífera consiste en integrar el descubrimiento de causas moleculares con la investigación de características de alto nivel (Wimsatt 1980). ¹

(iii) *La reducción epistémica* refiere a la idea de que el conocimiento sobre un dominio científico (típicamente, aquel que se ocupa de los procesos de los niveles superiores) puede reducirse a otro cuerpo de conocimiento científico (típicamente, aquel que concierne a niveles inferiores o más fundamentales). Aunque el reduccionismo ontológico combinado con el reduccionismo metodológico (v.gr., el éxito pasado de la investigación reduccionista en biología) pueda motivar cierto respaldo a alguna forma de reduccionismo epistémico, la posibilidad de la reducción epistémica no se sigue de la conjunción de los reduccionismos ontológico y metodológico. Ciertamente, los debates sobre reducción en filosofía de la biología se han centrado en torno a este tercer tipo de reducción como la cuestión más controversial (ver Sección 4). Nuestra discusión, por lo tanto, se focalizará primariamente en los problemas relacionados con la reducción epistémica. Antes de evaluar cualquier reducción de un cuerpo de conocimiento a otro, se debe explicitar cómo se conciben esos cuerpos de conocimiento y qué significaría para éstos que uno de ellos fuera reducido al otro. Hasta el momento, se han propuesto diferentes modelos de reducción. Por lo tanto, el debate sobre reducción en biología no ha girado solamente en torno a si es posible la reducción epistémica, sino también en torno a qué noción de reducción epistémica se corresponde de manera más adecuada con el pensamiento científico real. Se pueden distinguir dos categorías básicas: (a) los *modelos de reducción de teorías* que sostienen que una teoría puede deducirse lógicamente de otra teoría (Sección 3.1); y (b) los *modelos de reducción explicativa* que focalizan en si las características de los niveles superiores pueden explicarse por medio de representaciones de las características de los niveles inferiores (Sección 3.2).

El estudio filosófico de la noción y la posibilidad de reducción se conecta con varios problemas centrales en filosofía de la ciencia. En tanto la reducción (en términos generales) involucra relacionar un “cuerpo de conocimiento científico” con otro, presupone ya alguna concepción acerca de la naturaleza de las unidades relevantes que han de relacionarse –teorías, leyes, modelos, conceptos o disciplinas– y cómo deben ser entendidas. Dado que la reducción de una teoría a otra generalmente asume que, de alguna manera, la teoría reductora *explica* los principios de la teoría reducida, la reducción también se relaciona con los problemas de la explicación científica. Por ejemplo, si una teoría más fundamental reduce completamente a otra teoría o, incluso, reduce a varias teorías, entonces se obtiene alguna clase

de unificación. La situación en la cual una teoría históricamente más antigua es reducida a una teoría posterior señalaría, de manera intuitiva, un caso de progreso científico. Pero, dado que los argumentos contra la existencia de este tipo de reducción han sostenido que los términos presentes tanto en la teoría precursora como en la teoría descendente tienen diferente significado (“incomensurabilidad”), la reducción también se relaciona con el problema del cambio conceptual y del significado de los términos científicos. Por ende, las conceptualizaciones de la reducción dependen de los compromisos asumidos acerca de otras nociones relacionadas, y su idoneidad depende, en muchos casos, de estos compromisos filosóficos asumidos. Esto condujo a algunos filósofos a buscar un concepto de reducción en biología que se comprometa lo menos posible con interpretaciones particulares de nociones generales tales como “ley” y “explicación” (Sarkar 1998; cfr. Brigandt 2012), o a resaltar específicamente cómo un paquete particular de nociones generales van unidas y sesga nuestra perspectiva sobre la forma de la reducción epistémica en la práctica científica (Godfrey-Smith 2008).

En filosofía de la biología, la reducción involucra preguntas tales como de qué manera se relacionan diferentes disciplinas y teorías biológicas, y cómo se conecta la biología misma con la física y la química (v.gr. la biología, ¿es autónoma?, ¿posee sus propios principios teóricos, sus propias explicaciones y métodos?). En las últimas cuatro décadas, la discusión se centró fundamentalmente en la pregunta de si la genética clásica puede ser reducida a la genética molecular y a la bioquímica. Esta discusión estuvo motivada por la creciente importancia de la biología molecular en las ciencias de la vida, y proviene de las visiones anteriores de la reducción en ciencia, como el modelo de Nagel (1961). Una preocupación menos central ha sido si la biología evolutiva y la ecología son disciplinas autónomas o reducibles a la biología molecular (Beatty 1990, Brandon 1996, Dupré 1993, Rosenberg 2006). Uno de los problemas clave en los contextos evolutivos es la relación entre explicación funcional (“teleología”) y explicación mecánico-causal (Wouters 2005). El debate acerca de los niveles de selección incluye preguntas acerca de si toda explicación evolutiva puede ser puesta en términos de genes y si la selección opera primaria o exclusivamente sobre el nivel genético (Okasha 2006). El principal debate sobre reducción en genética ha perdido cierta intensidad en la década pasada a raíz de que varios filósofos arribaron a un consenso escéptico respecto de la posibilidad de una reducción substantiva entre teorías (aunque ver Waters 1990). Esta renuncia ha estado acompañada por una creciente atención hacia los modelos de reducción explicativa (v.gr., Sarkar 1998, Weber 2005) a través de una amplia variedad de dominios en biología (v.gr., desarrollo, ecología, evolución, biología celular y neurociencia). Por ejemplo, debido al reciente progreso en genética del desarrollo y al creciente interés filosófico en la biología del desarrollo, una pregunta que ha ganado mucha importancia es la de si la biología del desarrollo puede reducirse a la genética del desarrollo y a la biología molecular (Love 2008b, Robert 2004, Rosenberg 1997, 2006). Los filósofos han prestado mucha menos atención a la pregunta de si es posible reducir la biología a la física (sin embargo, ver Rosenberg 2006). Este ha sido un asunto que ha preocupado a muchos biólogos (v.gr., Mayr 2004), tanto con respecto a la metodología (v.gr., si resulta adecuado analizar un sistema fragmentándolo en sus partes componentes), como en cuanto a la pregunta de si los modos de explicación de la física son inherentemente inapropiados para la biología (Love y Hüttemann 2011).

El debate acerca de reducción en biología a menudo ha sido expresado en términos de “reduccionismo” vs. “anti-reduccionismo” (o, de un modo más arcaico, “mecanismo” versus “organicismo” o “vitalismo”). Sin embargo, dado que se han defendido diferentes nociones y modelos de reducción, si uno toma una posición reduccionista o anti-reduccionista respecto a una subdisciplina biológica en particular (v.gr. genética clásica), en realidad depende de la noción de “reducción” que se está utilizando (Wimsatt 1976b, Hull 1979). Más aun, la terminología reduccionismo versus anti-reduccionismo ha tendido a crear una falsa dicotomía entre dos posiciones extremas: el reduccionismo como la idea de que la biología molecular puede, en principio, *explicar de manera acabada* todos los hechos biológicos –tornando prescindibles las teorías biológicas de nivel superior–, y el anti-reduccionismo como la idea de que los campos biológicos de nivel superior poseen principios explicativos por derecho propio y son completamente autónomos, en el sentido de que no se benefician de la biología molecular. Existe una variedad de puntos intermedios (y ortogonales) entre estos extremos, y esto ha motivado que muchos de los esfuerzos persigan programas de investigación alternativos en filosofía de la ciencia que adhieran a cuestiones acerca de la naturaleza y el estatus de la interdisciplinariedad, tales como cómo se integran los datos, los estándares o las explicaciones a través de los campos biológicos (ver Sección 5). Dado que las referencias a la “reducción” en diferentes áreas de la biología recogen una variedad de compromisos en diferentes contextos –pronunciándose tanto a favor del éxito como del fracaso de una reducción legítima–, el presupuesto filosófico tradicional de que hay una cuestión única y global que necesita explicarse parece ser problemática (Hüttemann y Love 2011). ²

2 Trasfondo histórico: filosófico y científico [↑](#)

“¿Y qué, pregunta Ailsa al azar, mientras ojea las páginas de Darwin, es la morfología? Morfología son conejos muertos en formol, dice Humphrey”
(M. Drabble, *The Sea Lady*, 225)

Sin lugar a dudas, el crecimiento y el desarrollo de la biología molecular durante la segunda mitad del siglo pasado han convertido al reduccionismo en biología en un tema central (y “ADN” en una palabra de uso corriente). Sin embargo, sería erróneo asumir que los diferentes aspectos del reduccionismo se popularizaron solamente en los inicios de la molecularización de la biología, yuxtapuesto con la discusión sobre la reducción desde la perspectiva del empirismo lógico (ver Sección 3.1.). Más allá de la perenne preocupación de qué hace distintivo al fenómeno de la vida, podemos distinguir al menos dos tópicos reduccionistas a lo largo de toda la historia relevante para las ciencias de la vida y su filosofía: (1) la relación entre diferentes ramas o dominios de conocimiento, y (2) la relación entre partes y todos (Grene y Depew 2004, Magner 1994). Estos dos tópicos se conectan de una manera compleja tanto con el tipo ontológico de reducción como con el epistémico. (Las preguntas acerca de la reducción metodológica tienden a fusionarse alrededor de las nuevas tecnologías que abren la posibilidad de perseguir métodos reduccionistas de investigación, tales observaciones en los niveles inferiores mediante microscopios). Además, estos tópicos surgen en el contexto de dominios específicos que tienen un interés imperecedero: (a) la compleja relación entre diferentes animales y plantas en ambientes naturales (i.e. “ecología”), (b) las relaciones integradas entre las partes y el todo de un organismo (i.e. “fisiología/anatomía funcional”), y (c) las relaciones dinámicas entre los componentes homogéneos en los estadios tempranos de un embrión que, eventualmente, engendra un organismo completo unificado que contiene partes heterogéneas conectadas y dispuestas de manera apropiada (i.e. “desarrollo /reproducción”).

Aristóteles fue el fundador de ambos tópicos filosóficos pertenecientes al reduccionismo. Él abordó la relación entre dominios de conocimiento científico en sus conceptos de ciencia subordinadora y ciencia subordinada (*Segundos Analíticos I*). Cada ciencia tiene un género distintivo, primeros principios y un conjunto de predicados que son conmensurables con el género (McKirahan 1978, 1992, cap. 4-5). Aunque las relaciones entre ciencias son sistemáticas, no son necesariamente reductivas en tanto no hay una ciencia fundamental. Estas conexiones son relevantes para el tema de las relaciones entre partes y todos, ya que Aristóteles utilizó su ciencia de los elementos y sus potencias (v.gr., como puede verse en *Sobre la generación y la corrupción o Meteorología*), para exponer su descripción y análisis de los organismos componentes en la *Historia de los animales* y *Las partes de los animales*. Él trató tres “niveles” composicionales: (i) composición en términos de elementos y sus potencias; (ii) composición de partes uniformes, tales como la sangre y los huesos; y (iii) composición de partes no uniformes que incluyen múltiples partes uniformes, tales como la cara o las manos. El tema biológico crucial en este punto es la fisiología/anatomía funcional, aunque el desarrollo/la reproducción está siempre a la vista y es abordada directamente en *La generación de los animales*. Las afirmaciones acerca de las “potencias” son reforzadas por una explicación de sus contribuciones a las propiedades materiales que componen las partes uniformes (*Meteorología IV*; ver Lennox 2001, cap. 8; Popa 2005). Las disposiciones complejas (v. gr. la carnosa y sinuosa elasticidad del esófago) se postulan desde estos substratos materiales que tienen relevancia para estas partes del organismo, aunque no determinan su naturaleza. Esto se debe a que son las constricciones funcionales las que, en última instancia, gobiernan estas disposiciones (la carnosa y sinuosa elasticidad del esófago está *para favorecer* la dilatación repetida durante la ingesta de alimento). Un esófago fuera del contexto funcional de un organismo será un esófago “sólo en el nombre”. Debido al énfasis teleológico presente en su biología, Aristóteles es a menudo considerado como algún tipo de anti-reduccionista ontológico (v.gr., las potencias elementales de los niveles de organización inferiores favorecen a las partes uniformes en los niveles superiores de organización, pero no las determinan). Esto se combina con otras cuestiones epistémicas relacionadas con dominios particulares, tales como su rechazo de las explicaciones materialistas presocráticas (i.e., puramente “mecánicas”) del origen de la morfología animal durante el desarrollo. (Aparentemente, Empédocles afirmó que los vertebrados surgen, durante la ontogenia únicamente como una consecuencia de la ruptura física de una columna cilíndrica unificada en unidades de columna vertebral repetida; ver *Partes de los animales* I.1 [640a]). Pero Aristóteles también prestó atención a la cuestión de la composición material y las restricciones que surgen de la naturaleza de las propiedades que exhiben las partes de los animales, lo cual, a menudo, indica compromisos con tipos de reducción ontológicos y epistémicos. Su concepto de necesidad hipotética (*Física II*, ver Cooper 1987) permitió que una clase de material sea utilizado en muchas partes diferentes de los organismos. Galen, entre muchos

otros que siguieron a Aristóteles, también exploró estas cuestiones, sea desde la perspectiva de cómo compuestos materiales generan propiedades de nivel superior (*Mezclas*) o de las relaciones entre partes y todos en el contexto de un dominio específico tal como el desarrollo (*La construcción del embrión*).

En los comienzos del periodo moderno temprano, William Harvey adoptó una posición aristotélica tanto en fisiología como en biología del desarrollo (Lennox 2006). La relación entre partes y todos en la ontogenia, incluyendo propiedades materiales relevantes, está constantemente a la vista (Harvey 1981 [1651]). René Descartes, como es sabido, discutió estas afirmaciones desde la perspectiva de la “filosofía mecánica”. Su reduccionismo mecanicista buscó explicar el movimiento del corazón no en términos de su función sino apelando, en cambio, solamente a la materia en movimiento que compone la sangre que circula, que se calienta y, por lo tanto, se expande de manera similar a la fermentación (*Descripción del cuerpo humano*). Descartes también llevó a cabo infructuosos intentos de explicar la embriología solamente en términos de materia y movimiento; v.gr., el origen de los órganos y del tejido es explicado en términos del desaceleramiento de la materia y su agregado en diferentes regiones del embrión (Des Chene 2001, cap. 2; Smith 2006, II). Robert Boyle defendió explicaciones teleológicas en anatomía y fisiología (específicamente, las relaciones integradas entre las partes y el todo de un organismo) exponiendo cómo ellas eran compatibles con y sustentadas por explicaciones mecanísticas (Lennox 1983). Por ende, él ofreció una versión de reducción epistémica alineada con su concepción de la filosofía mecánica, la cual incluyó una mezcla de metodología reduccionista/no-reduccionista y las reservas concomitantes respecto de la reducción ontológica. Baruch Spinoza, en una carta a Henry Oldenburg de 1665, usó la famosa imagen de un gusano en un flujo sanguíneo para abordar el tema de las relaciones parte-todo y sus complejidades.³

Immanuel Kant articuló, de manera explícita, la dialéctica entre la perspectiva teleológica sobre el funcionamiento de los organismos (destacando específicamente relaciones ecológicas, fisiológicas y del desarrollo) con un punto de vista mecanístico de la causación modelado sobre la mecánica newtoniana (*Crítica del Juicio*, Parte II; ver Zuckert 2010). Kant mantuvo esta tensión entre las relaciones causales recíprocas de las partes en un organismo (“teleología”) y la causalidad lineal-mecánica justificada en su filosofía crítica como una manera de separar problemas metafísicos de problemas epistémicos. Esta posición podría caracterizarse como híbrida, con elementos de anti-reduccionismo epistémico (los procesos de los organismos deben entenderse en términos de sus contribuciones recíprocas a un objetivo sistémico –una subordinación epistemológica del mecanismo a la teleología) y de reduccionismo ontológico (toda causación es, en última instancia, mecánico-lineal). Pero Kant también entendió la causalidad mecánico-lineal como una categoría mediante la cual la mente estructura la experiencia. Por consiguiente, su entendimiento de la metafísica difiere del realismo que subyace a la mayoría de las posiciones contemporáneas que sostienen el reduccionismo ontológico. Su resolución de la “antinomía del juicio” entre mecanismo y teleología está sujeta a diferentes interpretaciones. Además de ocuparse del tema de las relaciones reductivas entre partes y todos, Kant también abordó el tema de la relación entre diferentes dominios científicos en su discusión acerca de si las diferentes ciencias tienen sus propios conceptos y sus propios asuntos (*Crítica del Juicio*, §68, 79).

La obra de Kant influyó entre los estudiosos de los fenómenos biológicos, aun cuando fuera interpretado erróneamente en varias ocasiones, y ayudó a establecer el escenario para la formulación de una cuestión clave de principios del siglo XIX relacionada con el reduccionismo: teleología versus mecanismo. Su discusión subrayó la importancia de las conclusiones metodológicas –es necesario (un principio regulativo o una máxima) considerar a los organismos como propósitos naturales si hemos de investigarlos científicamente. Esto estimuló especulaciones acerca de nuevas fuerzas, similares a las halladas en la mecánica newtoniana, las cuales explicarían de manera mecánica los fenómenos biológicos (v.gr., la fuerza formativa que explica el desarrollo del embrión; ver Look 2006, Richards 2000). La inspiración newtoniana sobrevivió, con o sin rasgos kantianos, hasta bien entrado el siglo XIX y aun posteriormente. La anatomía comparada (conceptualizada ampliamente para incluir a la anatomía funcional y a la embriología) explotó sugerencias metodológicas de la exitosa ciencia física, como cuando Geoffroy St. Hilaire apeló a las reflexiones de Newton de que los animales son gobernados por principios o leyes similares a las halladas en mecánica (Le Guyader 2004). Más típica resulta la discusión de Richard Owen sobre la materia y sus propiedades dentro de los organismos vivos, donde él exhibe una clara postura anti-reduccionista y postula algo semejante a las propiedades emergentes.⁴

Esta perspectiva fue compartida por muchos científicos dedicados a la anatomía comparada, quienes hicieron uso de un estilo de razonamiento “análisis: síntesis” y trabajaron sobre invertebrados marinos con historias de vida complejas (Elwick 2007). En resumen, hubo una diversidad de posiciones mecanicistas (“reduccionistas”) y organicistas (“no-

reduccionistas”) con respecto a los tipos metodológico, epistémico y ontológico de reducción en el siglo XIX, similar a la diversidad filosófica apreciable en nuestros días (ver Sección 3 y Sección 5 más adelante). Lenoir (1982) discute en detalle varios enfoques decimonónicos que combinan ideas reduccionistas y no-reduccionistas, especialmente la tradición de investigación que él denomina “teleomecanismo”.

Una rama relacionada en cuanto al reduccionismo se abre paso a través de las investigaciones fisiológicas del siglo XIX. En este nuevo enfoque, el programa reduccionista-mecánico cartesiano se reúne nuevamente con énfasis en el animal máquina (Canguilhem en Delaporte 1994, cap. 5, 8, 10, 12; Coleman 1977, cap. 6). Debido a su impacto sobre diseño experimental, los reduccionismos de tipo metodológico estuvieron bien acreditados, a pesar de los claros compromisos metafísicos con algún tipo de reduccionismo ontológico (v.gr., Bernard 1957 [1865]). Pero en la historia natural y el discurso clasificatorio también se encuentran enfoques no-reduccionistas en lo metodológico, como se ve en *Filosofía zoológica* de Lamarck (1984 [1809]); enfoque que resulta especialmente conmovedor dada su perspectiva materialista de los seres vivos.

Hacia fines del siglo XIX y principios del siglo XX, el tema del desarrollo reingresó con fuerza en la controversia sobre el vitalismo (a veces llamado “organicismo”). Durante este tiempo, fue emergiendo un movimiento general hacia una interpretación más mecanística o materialista de los sistemas vivos (v.gr., Loeb 1912; cf. Allen 1975), y los desacuerdos entre Wilhelm Roux y Hans Driesch acerca de las explicaciones del desarrollo tuvieron gran importancia (Maienschein 1991). Pero el famoso ejemplo de vitalismo en la interpretación de Driesch del desarrollo y la autonomía de los organismos debería verse como un asunto tanto de epistemología como de metafísica (Maienschein 2000). En lugar de materialismo versus vitalismo (cuestiones de reducción ontológica), el conflicto explicativo involucró la naturaleza de la diferenciación en la ontogenia temprana y en qué medida ésta está pre-especificada. El tópico del orden y la organización de los sistemas vivos (especialmente durante el desarrollo) permeó muchos escritos sobre los tipos ontológicos, epistemológicos y metodológicos de reduccionismo (enfaticando tanto las relaciones entre física y biología como entre partes y todos). Los ejemplos incluyen *Order and Life* de Joseph Needham (1936), *The Organism* de Kurt Goldstein (1934/1963), *The Interpretation of Development and Heredity* de E.S. Russell (1930), *On Growth and Form* de D’Arcy Thompson (1917), *Modern Theories of Development* de Ludwig von Bertalanffy (1933), y *Biological Principles* de J.H. Woodger (1929). Aquellos filósofos de la ciencia que han ejercido una menor influencia en la filosofía anglo-americana atendieron con entusiasmo estas discusiones. Por ejemplo, Ernst Cassirer (1950, Parte II), comenzando por Kant, exploró temas reduccionistas relacionados con las explicaciones causales del desarrollo, incluyendo los debates acerca de mecanismos y vitalismo alrededor de Roux y Driesch, así como también las relaciones entre las ciencias físicas y la biología. Estos tópicos también aparecieron en las páginas de *Philosophy of Science* (v.gr., Lillie 1934, 1942, 1948; Singer 1934, 1946), aunque sin utilizar, necesariamente, la terminología específica de reducción (Byron 2007).

El tratamiento general de Ernest Nagel del reduccionismo en los capítulos 11 y 12 de *The Structure of Science* (1961) sondeó numerosos y diferentes aspectos de estos eternos debates. Mientras que las secciones que conciernen a la reducción de teorías han sido usualmente las más conocidas (conectando con el tópico reduccionista de relacionar dominios de conocimiento), Nagel también tuvo contacto con otra literatura biológica que se ocupa de las partes y los todos así como también de la emergencia, abordando, de esta manera, el segundo tópico reduccionista que ha sido primordial desde Aristóteles (ver Nagel 1961, 366ss). Él recaló la polisemia de los términos “todo”, “partes” y “sumas” inherente a las afirmaciones acerca del éxito o el fracaso a la hora de mostrar que el todo es sólo la suma de sus partes (pp. 380ss), reformulando (de manera poco sorprendente) la discusión en términos epistemológicos en lugar de metafísicos. Además, él trató el problema de la emergencia en evolución, i.e., si surgen nuevas entidades genuinas en la historia de nuestro universo y de la vida en la Tierra, la cual tuvo particular importancia en esta época (Goudge 1961). Nagel también lidió con los ya mencionados biólogos teóricos (v.gr., Bertalanffy, Russel y Woodger) sobre el tópico de la organización jerárquica y la reducción de sistemas vivos, especialmente durante la ontogenia (Nagel 1961, 432ss). Asimismo, los contemporáneos de Nagel también trataron tópicos reduccionistas, aunque sus trabajos han sido en gran medida pasados por alto (v.gr., la discusión de Morton Beckner sobre la “organización” y los “niveles de análisis” como aspectos metodológicos y explicativos de la reducción; Beckner 1959, cap. 9).

A pesar de que el análisis de Nagel es de amplio espectro, la mayoría de las discusiones filosóficas sobre reducción que le siguieron se han concentrado en su enfoque de la reducción teórica (ver Sección 3.1) y en si sirve como una caracterización general del reduccionismo adecuada para todas las áreas de la indagación científica.⁵ El caso biológico

que ha sido examinado con mayor atención es el de la relación entre genética clásica y molecular, en parte porque la molecularización de la genética fue tangible en este periodo histórico. Las diversas dificultades que se encontraron al aplicar la reducción teórica nageliana a la genética (ver Sección 4) motivaron el crecimiento de la filosofía de la biología como una especialidad disciplinar diferente, en parte porque estas dificultades parecieron formar un patrón: malinterpretar el razonamiento biológico con enfoques filosóficos forjados en base a ejemplos de la física (Hüttemann y Love 2011, Love y Hüttemann 2011). Los problemas filosóficos en biología parecían requerir un análisis diferente que fuera más sensible a la investigación empírica biológica (Brigandt 2011). Aún más, el surgimiento de la sociobiología y las explicaciones evolutivas genocentristas provocaron posiciones anti-reduccionistas sobre la base de compromisos sociales y políticos (v.gr., Levins y Lewontin 1985).

La emergencia de la filosofía de la biología y su atención al reduccionismo *in situ* en los diferentes contextos de las ciencias de la vida ha conducido a muchos filósofos a reconsiderar los aspectos perennes del reduccionismo a lo largo de la historia, muchos de los cuales fueron simplemente tangenciales a las controversias sobre la reducción teórica. En realidad, una serie de debates contemporáneos están, inconscientemente, retornando a problemas abandonados, aunque de diferentes maneras y en diferentes contextos. El hecho de que la biología del desarrollo haya vuelto a ser el centro de discusión no es sorprendente debido a su duradero estatus como tópico biológico que invita a reflexiones acerca de temas reduccionistas. Lo mismo puede decirse de la ecología y la anatomía funcional, aunque ellas están, actualmente, más en la periferia para la mayoría de los filósofos. Algunos aspectos de la investigación reduccionista en biología que están teñidos política y socialmente, tales como la categorización racial basada en perfiles genéticos, también continúan generando análisis (ver Sección 5).

3 Modelos de reducción (epistémica) [↑](#)

“Él no fue tanto un buzo. Fue más bien un hombre de laboratorio. Bucear estaba fuera de moda ... Todo era ADN y genes y cromosomas y microbiología y eubacterias en esa época. O así se lo habían enseñado todos esos libros”.
(M. Drabble, *The Sea Lady*, 8-9)

La mayor parte de la discusión en filosofía de la ciencia contemporánea se ha centrado en el problema de la *reducción epistémica* (antes que en la reducción ontológica o metodológica; ver Hoyningen-Huene 1989). La idea básica de que el conocimiento (u otra unidad epistémica, tal como los conceptos) pertenecientes a un dominio científico pueden reducirse a otro cuerpo de conocimiento (o a otra unidad epistémica) ha sido detalladamente explicada de diferentes maneras. Es útil agrupar los diferentes enfoques de reducción en dos categorías básicas: (1) modelos de *reducción teórica*, los cuales mantienen que una teoría de nivel superior puede deducirse lógicamente de una teoría de nivel inferior, y, (2) modelos de reducción explicativa, los cuales focalizan en si las representaciones de características de nivel superior pueden explicarse por medio de representaciones de características de nivel inferior, usualmente descomponiendo un sistema de nivel superior en partes (Sarkar 1992). Los modelos de reducción teórica fueron de interés primordial en la filosofía pos-positivista que emergió en los '60, y han sido los que recibieron la mayor atención (Schaffner 1993). Más recientemente, se han desarrollado enfoques de reducción explicativa para subsanar las deficiencias de los enfoques centrados en teorías, de manera que la reducción teórica ha sido, en gran medida, desplazada del centro de la escena por enfoques competentes de reducción explicativa (ver, no obstante, Dizadji-Bahmani et al. 2010).

3.1 Reducción teórica [↑](#)

De acuerdo con la reducción teórica, una teoría T_A reduce una teoría T_B (v.gr., la física atómica reduce la biología) si T_A implica lógicamente la teoría T_B . Bajo una concepción nomológica-deductiva de la explicación (Hempel y Oppenheim 1965 [1948]), la reducción teórica como deducción a partir de principios teóricos es una instancia de explicación. En particular, T_A implica lógicamente y explica las leyes de T_B . Compárese este enfoque con la noción de reducción, lógicamente más débil, presentada por Kemeny y Oppenheim (1956), la cual incluye instancias de *reemplazo teórico*. El modelo de Kemeny-Oppenheim se refiere a la situación en que las predicciones observables hechas por T_A incluyen

a todas las predicciones observables de T_B (y posiblemente más). En este caso, T_A puede explicar todo lo que T_B explica, pero T_A no necesita incluir los principios de T_B (como en la reducción teórica genuina), lo cual abre la posibilidad de que T_B contenga nociones teóricas inadecuadas y sea reemplazada por T_A .

Muchos modelos de reducción teórica se derivan del enfoque de reducción de Ernest Nagel (1949, 1961). Trabajando dentro del marco filosófico del empirismo lógico, Nagel interpretó la reducción como una relación lógica entre teorías, donde una teoría es entendida como un sistema de afirmaciones (que contienen leyes) formulada en un lenguaje formal de primer orden. La teoría reductora T_A reduce a la teoría reducida T_B si las leyes de T_B pueden derivarse lógicamente de T_A , lo cual Nagel llamó “la condición de derivabilidad”. Sin embargo, si T_B contiene términos científicos que no están presentes en el vocabulario de la teoría reductora T_A (“reproducción de organismos” no es una expresión de la bioquímica), entonces la derivabilidad presupone que las expresiones primitivas de T_B (en particular, sus predicados) puedan relacionarse lógicamente con el lenguaje de T_A . Nagel explicitó este punto por medio de una “condición de conectabilidad”: la reducción presupone que hay enunciados (v.gr., condicionales) que contienen expresiones tanto de T_A y T_B , tal que T_A , junto con estos enunciados, implican las leyes de T_B . Estos enunciados de conectabilidad son a menudo llamados *principios puente* (o reglas de correspondencia, o funciones de reducción), y hay diferentes concepciones acerca de su naturaleza. Nagel rechazó la idea de que los principios puentes fueran enunciados analíticos, pero no tomó postura en cuanto a si son factuales o convencionales. Algunos filósofos han sostenido que los principios puentes deberían ser leyes (en lugar de generalizaciones accidentales), mientras que otros han sostenido que ellos deberían expresar identidades metafísicas entre entidades, propiedades y procesos (v.gr., identificar células con colección de moléculas, en línea con la reducción ontológica). Nagel mismo interpretó la reducción como una noción epistémica sin compromiso ontológico; más aún, no exigió que los enunciados puentes sean bicondicionales, en tanto meros condicionales, al ser unidos a T_A , a veces son capaces de implicar lógicamente T_B . (La noción de reducción / reemplazo teórico de Kemeny-Oppenheim es más débil que la reducción nageliana en tanto no requiere que los principios puentes conecten T_A a T_B).

Este enfoque abarca *la reducción teórica entre niveles*. Por ejemplo, Oppenheim y Putnam (1958) argumentaron a favor de un modelo de disciplinas científicas jerarquizado o dispuesto en capas, donde cada nivel o capa corresponde a una teoría. Cada disciplina es reducible a la teoría del siguiente nivel inferior, v.gr., sociología a la biología de organismos, la biología de organismos a la biología molecular, la biología molecular a la química, la química a la microfísica (ver también Walter y Eronen 2011). Otra manera de aplicar el modelo general de Nagel es mediante la *reducción teórica secuencial*, donde una teoría históricamente anterior se reduce a una teoría posterior más madura, de manera que la reducción puede ser una instancia de progreso teórico (Nickles 1973). En ambos casos, Nagel sostuvo que las teorías necesitaban estar indexadas en un tiempo particular: “La pregunta de si una ciencia dada es reducible a otra no puede, en abstracto, ser planteada útilmente si no hay referencia a algún estadio particular del desarrollo de ambas disciplinas” (Nagel 1961, 361). En este contexto, la reducción (y especialmente la condición de conectabilidad de Nagel) fue prominentemente criticada por Paul Feyerabend (1962, 1965a, 1965b) y también por Thomas Kuhn (1962). Feyerabend argumentó que una teoría más temprana y una más tardía pueden utilizar un mismo término teórico con un significado diferente (v.gr., “masa” en mecánica clásica y en mecánica relativista). Esta inconmensurabilidad del significado hace que la conectividad de las expresiones de estas teorías, y por lo tanto la derivación lógica de una teoría a partir de la otra, sea imposible. Si existe o no genuina inconmensurabilidad es un tema controversial (ver, v.gr., Sankey 1994).

El modelo de Nagel fue revisado y aplicado a contextos específicamente biológicos –la reducción de la genética clásica a la bioquímica, por ejemplo– por Keneth Schaffner (1967, 1969, 1976; ver Schaffner 1993 para su enfoque maduro). El “Modelo General de Reducción” de Schaffner aborda una desventaja central del enfoque de Nagel, desventaja notada en primer lugar por Feyerabend: aunque la teoría a ser reducida pueda ser aproximadamente verdadera, puede contener enunciados empíricamente falsos, especialmente si es un precursor histórico de una teoría reductora más madura (v.gr., las “leyes” de herencia de la genética clásica tienen excepciones). Si la teoría a ser reducida (T_B) contiene enunciados falsos, entonces no es posible deducirla de T_A . Por esta razón, Schaffner considera en su lugar una teoría T_B^* , la cual es una versión *corregida* de la teoría a ser reducida, en tanto T_B^* hace predicciones más adecuadas que T_B . En este modelo, la reducción ocurre si T_A y T_B^* pueden relacionarse mediante funciones de reducción (principios puente) y si T_B^* se sigue lógicamente de T_A enriquecida por las funciones de reducción. (Mientras que Nagel se concentró en las leyes de T_B que son deducibles de T_A , Schaffner exige que todos los enunciados de T_B/T_B^*

sean deducibles de T_A). El dogma central de Schaffner sobre la reducción en biología es que el éxito de la biología molecular muestra que la genética clásica y los campos tradicionales de la biología experimental están en un proceso de ser reducidos a la bioquímica. Aunque esta reducción aún no se haya completado, una derivación lógica de la biología experimental tradicional a partir de una teoría de la bioquímica (completada) es en principio posible y eventualmente tendrá éxito. El enfoque de Schaffner tiene un aspecto ontológico en tanto él interpreta las funciones de reducción como enunciados sintéticos que expresan identidades entre las entidades y los procesos de los dos dominios relacionados (en línea con Sklar 1967 y Causey 1972a, 1972b), aunque él no argumenta que estas identidades sean necesidades metafísicas. El enfoque Nagel-Schaffner de reducción teórica asume una concepción sintáctica de la estructura de las teorías en tanto ellas son sistemas axiomatizados, formalizables en un cálculo de predicados de primer orden. Existe una variedad de otros modelos de reducción teórica, algunos de los cuales utilizan un enfoque semántico de teorías científicas (i.e., teorías como familias de modelos) en lugar de un enfoque sintáctico (ver Woodger 1952, Suppes 1957, Hooker 1981, Balzer y Dawe 1986a, b).

El enfoque de Schaffner proveyó una motivación y un punto de partida para el debate sobre reducción en filosofía de la biología, el cual tuvo lugar, principalmente, en los '70 y '80, y se centró en el problema de si (y en qué sentido) la genética clásica puede reducirse a la genética molecular o a la bioquímica. Vale la pena mencionar tres críticas que conciernen, específicamente, al modelo Nagel-Schaffner (en la Sección 4 se analizan las principales objeciones a diferentes modelos de reducción de un modo más general).

1. Michael Ruse (1971) y David Hull (1974) han argumentado que la relación entre la genética clásica y la genética molecular es una relación de reemplazo teórico, no de reducción en el sentido de Schaffner. Aunque el enfoque de Schaffner permite una corrección de la teoría a ser reducida (T_B en lugar de T_B), no es claro cuándo una versión modificada T_B^* ("la genética clásica" corregida) todavía puede ser considerada, en gran medida, similar a T_B (la genética clásica). Esto deja la ambigüedad de si uno debería concluir que T_B fue reducida debido a que T_B^* es suficientemente similar o que T_B ha sido reemplazada por otra teoría ya que las dos son muy diferentes (Hull 1976, Ruse 1976). El mismo Schaffner únicamente requiere que T_B y T_B^* sean "fuertemente análogas" (1993, 429), sin ofrecer una especificación de cuánta similitud se requiere para la reducción en lugar del reemplazo (Winther 2009). William Wimsatt (1976b) enfatiza que mientras las reducciones composicionales entre niveles son transitivas, las reducciones secuenciales a través de la historia son intransitivas, de manera que tiene lugar un continuo entre la reducción secuencial genuina y el reemplazo. Se puede esperar que cualquier secuencia de reducción sucesiva evolucione en una instancia de reemplazo dado el tiempo suficiente.
2. Nagel y Schaffner dependieron de una interpretación sintáctica de las teorías, la cual asume que una teoría es un conjunto de oraciones en un lenguaje formal, que incluye leyes (Kitcher 1984). Sin embargo, se ha argumentado que la biología molecular como teoría reductora no consiste en un pequeño cuerpo de leyes, de manera que el modelo nomológico-deductivo de explicación y reducción no es aplicable (Culp y Kitcher 1989, Kitcher 1984, Sarkar 1998). Si la biología molecular u otros campos de la biología no son adecuadamente representados como una teoría claramente delineada, reconstruible como un conjunto de enunciados en un lenguaje formal, entonces una noción de reducción que presuponga esta interpretación de las teorías científicas es problemática. El enfoque Nagel-Schaffner también puede fallar en considerar las teorías científicas como entidades dinámicas que cambian en el tiempo (Hill 1976, Wimsatt 1979).
3. Hull (1976), Wimsatt (1976a, 1976b) y Sahotra Sarkar (1992, 1998) han objetado que Schaffner focaliza demasiado en las consideraciones formales de la reducción en lugar de cuestiones más substantivas. Su enfoque interpreta la reducción como una relación lógica que es "en principio" posible a pesar de no ocurrir en la práctica. Si la reducción en este sentido no está teniendo lugar en biología, entonces se plantean preguntas relevantes en cuanto a si éste es el enfoque más adecuado al conocimiento y a la práctica biológica. Nagel afirmó que los intentos prematuros de reducción pueden retrasar el progreso científico, implícitamente separando demandas metodológicas de demandas epistémicas (Nagel 1961, 362-3). Schaffner (1974, 1993) reconoce que su reduccionismo ha sido periférico a la práctica de la biología molecular, pero mantiene que su modelo formal de reducción captura la relación de reducción entre teorías. Wimsatt (1979) sugiere que el foco de Nagel y Schaffner en consideraciones "en principio" y en el contexto de descubrimiento conduce a equívocos respecto de la naturaleza de los debates sobre reduccionismo, incluyendo controversias actuales e históricas entre científicos (ver Sección 2). La reducción puede tener lugar entre la genética clásica y la genética molecular, pero no en el sentido del enfoque empirista-lógico de Schaffner y Nagel (Hull 1974).

3.2 Reducción explicativa [↑](#)

Actualmente, la filosofía de la biología tiene bajo escrutinio toda una variedad de patrones de razonamiento explicativo que los biólogos utilizan: la reducción teórica ya no es el foco principal de este escrutinio. Los diferentes modelos de *reducción explicativa* se centran en la explicación reductiva y difieren de la reducción teórica (la cual es también un tipo de explicación, al menos en términos del modelo nomológico-deductivo de explicación) en dos sentidos importantes:

1. Mientras que la reducción teórica asume que la reducción es una relación entre teorías, los modelos de reducción explicativa permiten otras características como correlatos de una explicación reductiva, tales como fragmentos de una teoría, generalizaciones de diferente alcance, mecanismos e, incluso, hechos individuales. El enfoque de Kenneth Waters (1990, 1994, 2000) siguió esta línea de modelos. En lugar de construir las relaciones teóricas en términos del modelo Nagel-Schaffner, él identifica un principio clave de inferencia que opera tanto en genética clásica como en genética molecular, el “principio de hacedor de diferencia” (diferencias genéticas causan diferencias en el fenotipo), lo cual puede adscribirse a los genes tanto en genética clásica como en genética molecular. Una reducción explicativa tiene éxito entre ellas porque sus roles causales se corresponden. Waters (2008) extiende este enfoque al enfatizar cómo la práctica científica de la genética clásica se modernizó por medio de desarrollos en genética molecular, lo cual da cuenta del éxito de las explicaciones correspondientes.

Otro ejemplo de reducción explicativa se debe a Marcel Weber (2005). En línea con los modelos de reducción teórica, Weber sostiene que el *explanans* involucra esencialmente leyes bioquímicas (“físico-químicas”), las cuales llevan poder explicativo. Pero él asume que el *explanandum* es un hecho o una generalidad básica acerca de mecanismos biológicos (en lugar de una genuina ley o una teoría completa), tal como el mecanismo de los potenciales de acción en la neurotransmisión. Al permitir que el *explanans* haga referencia a estructuras de nivel superior tales como axones, él no necesita que contenga exclusivamente expresiones bioquímicas.

1. Una diferencia característica entre la reducción teórica y la reducción explicativa surge del hecho de que la primera –que se centra en nociones epistémicas de deducción lógica– no incorpora de manera explícita la idea ontológica, históricamente ubicua, de que una reducción explica el todo en términos de sus partes (ver, v.gr. Winther 2011). Los modelos de reducción explicativa típicamente asumen que la explicación reductiva es una explicación causal, donde una característica de nivel superior se explica por la interacción de las partes que la constituyen. Stuart Kauffman (1971) expresó tempranamente la idea de que la búsqueda de explicaciones en biología experimental procede descomponiendo un sistema general en sus partes en interacción. Wimsatt (1976b) también reconoció que esto representa de una manera más natural el lenguaje de los biólogos, especialmente la práctica de descubrir y elucidar mecanismos. Los enfoques mecanísticos se han convertido actualmente en una alternativa robusta a la reducción teórica (ver Sección 5). Dado que muchos filósofos de la biología y la neurociencia conciben la explicación como una descripción de mecanismos, los enfoques de reducción explicativa pueden apoyarse en la noción de una explicación mecanística (v.gr., Delehanty 2005).

Los modelos de reducción explicativa evitan los problemas a los que se enfrenta la reducción teórica, mencionados al final de la Sección 3.1. Ya que la reducción explicativa no se compromete con los correlatos de una explicación de teorías que involucren leyes, puede defender la posibilidad de una reducción sin reconstruir formalmente una teoría claramente delineada de la biología molecular o la genética clásica. Su foco en la reducción como una explicación de un todo en término de sus partes captura una característica de las explicaciones moleculares reales. Mientras que los enfoques de reducción teórica han reconocido que la reducción en el sentido que ellos manejan no ha sido aún llevada a cabo de manera exitosa y deben apelar a una posibilidad “en principio” de la reducción, los enfoques de reducción explicativa se llevan bien con la naturaleza poco sistemática de la investigación científica real. La biología molecular y experimental pueden ofrecer explicaciones reductivas incluso si muchos hechos no han sido todavía explicados y las explicaciones existentes aún requieren más detalles para ser completamente satisfactorias. La biología actual efectivamente explica hechos individuales y generalidad de pequeño alcance, y el *explanans* puede ser un mero fragmento de una teoría (ver, v.gr., Schaffner 2006 sobre “reducciones fragmentarias e irregulares). Finalmente, dado que las explicaciones mecanísticas en biología experimental están precedidas por, y fuertemente ligadas al descubrimiento de mecanismos, la reducción explicativa provee un enfoque de reducción que puede relacionarse con

el descubrimiento científico, en tanto que los enfoques de reducción teórica tienen que separar el contexto de justificación (reducción y explicación) del contexto de descubrimiento.

Un modelo temprano de reducción explicativa fue aquél presentado por William Wimsatt (1976b). Wimsatt supone que una reducción es una explicación causal de un *evento individual* (en lugar de una generalidad) que involucra una “redescripción composicional” de un estado de sucesos de nivel superior en algunas de sus características componentes. Este modelo está relacionado con el enfoque de explicación estadística de Wesley Salmon (1971), el cual utiliza la noción de “aislamiento” (“screening off”) para explicar la idea de una propiedad que es estadísticamente más relevante (y por lo tanto más explicativa) que alguna otra. Wimsatt reemplaza la relevancia estadística de Salmon por la idea de relevancia causal (en tanto la reducción explicativa en biología involucra la búsqueda de factores causalmente relevantes), y desarrolla la noción de un “aislamiento efectivo”. Esto implica que la idea de redescripción composicional y explicación en términos de una propiedad de nivel inferior pueda tener un “costo” mayor de explicación (v.gr., por ser más complicada) que la descripción en términos de propiedades de nivel superior que es efectivamente “aislada”. Una consecuencia del requerimiento de “costo” epistémico es que una reducción explicativa que efectivamente “aisla” una característica de nivel superior descrita no la hace irrelevante y, por lo tanto, eliminable (como sucede en el enfoque de Salmon) porque se la puede retener por propósitos pragmáticos.

La discusión detallada sobre reduccionismo y genética de Sahotra Sarkar (1998) ofrece diversas clarificaciones conceptuales relevantes. Sarkar se centra en problemas substantivos acerca de la reducción en genética (especialmente en *representación*, ver Sección 4.3), en lugar de en las consideraciones formales de una teoría de la reducción, y desarrolla un enfoque de reducción explicativa que no se compromete con ningún enfoque particular de explicación. Los dos tipos básicos de reducción son “reducción jerárquica abstracta” y “reducción fuerte” (o reducción jerárquica espacial), donde la última, a diferencia de la primera, requiere que las entidades de un nivel jerárquico inferior sea partes físicas de las entidades de nivel superior. (Cada tipo de reducción puede presentarse en formas más fuertes y más débiles ya que hay diferentes clases de aproximaciones implicadas en las diferentes explicaciones reductivas). Sarkar argumenta que las explicaciones en *genética clásica*, las cuales explican los patrones fenotípicos en términos de genes clásicos, son reducciones jerárquicas abstractas. Las entidades involucradas en este caso son alelos, loci, grupo de ligamiento, genotipos y fenotipos, los cuales están en relaciones jerárquicas (v.gr., los alelos A y a forman el genotipo Aa), con los alelos individuales ocupando el nivel más bajo. Es una jerarquía abstracta en lugar de una espacial; la asunción de que A y a mapean a Aa en el siguiente nivel superior no requiere que Aa sea una entidad física que tenga a A y a como sus partes espaciales. Además, las entidades genotípicas en esta jerarquía son gobernadas por varias transformaciones y regularidades (principios de herencia), tales como segregación, ligamiento y mutación. Los patrones fenotípicos de herencia se explican por medio de las características genotípicas, a la famosa manera de la genética clásica. Mientras que esta jerarquía abstracta puede interpretarse como una jerarquía espacial al considerar los genes clásicos como partes de los cromosomas, el punto de Sarkar es que diversas prácticas en genética clásica, como el análisis de la segregación y el ligamiento, no requerían una interpretación física de los mapas genéticos, y que las explicaciones en términos de una jerarquía abstracta pueden ser genuinas reducciones ya que ellas invocan a jerarquías de nivel inferior y por lo tanto más fundamentales.

En cuanto a la reducción jerárquica espacial, Sarkar argumenta que ésta tiene lugar regularmente en *biología molecular*, donde ciertas partes de la biología experimental se reducen a la biología molecular, más precisamente, a la física macromolecular. Los diversos componentes de las células forman relaciones parte-todo anidadas que dan como resultado una jerarquía espacial. Muchos mecanismos de la genética clásica pueden ser explicados deductivamente por principios físicos que gobiernan el comportamiento de las macromoléculas (aunque las aproximaciones todavía son necesarias). Estos principios explicativamente relevantes para la física de las macromoléculas incluyen las interacciones débiles, los enlaces de hidrógeno, los enlaces hidrofóbicos, las transformaciones alostéricas, los encajes de tipo llave-cerradura y la idea de que las estructuras determinan las funciones. El dogma central de Sarkar es que la elucidación de los mecanismos moleculares de replicación, combinación y división celular provee explicaciones reductivas de los principios de la genética clásica. Mientras que la genética clásica ofreció una explicación de la transmisión de genes y podía también basarse en explicación citológicas, estas explicaciones no produjeron una explicación completa de cómo y por qué ocurre la recombinación. La biología molecular llenó esta laguna y corrigió la genética clásica.

Otros filósofos han presentado otros modelos de reducción explicativa, muchos focalizando explícitamente en capturar

el modo como tiene lugar la reducción en la práctica científica (v.gr., Bickle 2003, 2006, 2008). De alguna manera, la defensa más peculiar de la reducción explicativa se encuentra en el trabajo reciente de Alex Rosenberg (2006), el cual parte de su crítica temprana a la reducción teórica (1978, 1985, 1994). El argumento de Rosenberg tiene múltiples componentes. En primer lugar, para explicar se requieren leyes estrictas (universales, sin excepciones, irrestrictas espacio-temporalmente), y la única ley candidata en biología es el principio de selección natural (PSN). En segundo lugar, las explicaciones “por qué-necesariamente” son mejores que las explicaciones “cómo-posiblemente”, tanto en ciencias históricas como la biología, pero las explicaciones por qué-necesariamente son las únicas que están disponibles en el nivel molecular, porque en este nivel, la estructura se desacopla de la función. Por lo tanto, todas las explicaciones “cómo-posiblemente” en “biología funcional” (i.e., biología no molecular), incluso aquellas que invocan el PSN, y cualquier descripción desde la biología funcional que involucre niveles de organización se explican (por qué-necesariamente) por el PSN que opera sobre el nivel molecular (a menudo teniendo lugar en algún punto relativamente distante en la historia evolutiva).⁶

4 Problemas con el reduccionismo [↑](#)

“No se puede aprender todo en el laboratorio, solía decir. El todo es más que la suma de las partes, nos dijo. El todo se comporta de modo diferente a las partes, y tiene propiedades diferentes. Eso es lo que él nos enseñó, y tenía razón. Decirlo hoy, cuando pasamos el tiempo escudriñando las interacciones de los microbios eucariotas, está fuera de moda, pero sin embargo es verdad. Todavía es verdad.”
(M. Drabble *The Sea Lady*, 140–1)

Las propuestas de reducción teórica y explicativa enfrentan varios problemas potenciales. Algunas críticas del reduccionismo (epistémico) enfatizan que los efectos de los procesos moleculares dependen fuertemente del contexto en el que ocurren, de modo que *una* clase molecular puede corresponder a *muchas* clases de nivel superior (Sección 4.1). Un desafío prominente y significativo al reduccionismo surge del hecho de que las estructuras y los procesos biológicos de nivel superior pueden ser realizados por diferentes clases de procesos moleculares, de tal modo que *muchas* clases moleculares pueden corresponder a *una* clase de nivel superior (Sección 4.2). Un punto que no ha sido mencionado en críticas previas al reduccionismo es que los procesos biológicos deben ser representados antes de que puedan ser explicados (Sarkar 1998). Cuando se atiende explícitamente a la representación, se resaltan dos características que han recibido poca atención en los debates acerca de la reducción explicativa: la temporalidad y la intrinsicalidad (Sección 4.3).

4.1 Dependencia contextual de las características moleculares (uno-muchos) [↑](#)

Un desafío clave para el reduccionismo se suscita debido a que el efecto de una entidad o mecanismo molecular puede depender fuertemente del *contexto* en el que éste ocurre (Hull 1972, 1974, 1976; ver también Wimsatt 1979, Gilbert y Sarkar 2000, Laubichler y Wagner 2001). Los genetistas clásicos eran muy conscientes del hecho de que un fenotipo se origina mediante la interacción de varios genes clásicos –el mismo alelo puede conducir a dos fenotipos distintos si se da en dos individuos con un genotipo, en general, diferente (Waters 2004). Aunque los fenómenos uno-a-muchos han sido conocidos por algún tiempo, hoy se considera una generalización empírica sólida el que una vía molecular pueda tener diferentes efectos en diferentes contextos celulares, de modo que la misma vía puede estar involucrada en diferentes funciones en diferentes especies y en diferentes partes de un individuo (Gilbert y Sarkar 2000, Laubichler y Wagner 2001, Burian 2004).⁷ Estos contextos diferentes incluyen la historia del desarrollo y la historia fisiológica, las cuales condicionan el comportamiento de las vías moleculares (Brigandt 2006, Kirschner 2005). Incluso la secuencia de aminoácidos producida por un gen molecular puede depender de elementos de ADN por fuera de este gen y de factores no genéticos, de modo que un gen puede codificar distintos productos en diferentes células o en diferentes estados de una misma célula (Stotz 2006). Así, hay una relación uno-a-muchos entre las clases moleculares y las clases de nivel superior: un mecanismo molecular puede conducir causalmente a, o ser parte de, diferentes estados de nivel superior dependiendo del contexto.⁸ Una conclusión que comúnmente se extrae de estas relaciones uno-a-muchos es que las partes y los componentes moleculares de un organismo deben ser entendidos en

términos del todo organizado en el que ellos ocurren (recuérdese el principio regulativo de Kant; Sección 2). Aunque los biólogos, universalmente, ven la descomposición de un sistema en sus partes de nivel inferior de un modo reduccionista (una instancia de reducción metodológica, ver Sección 1), a menudo interpretan el intento de comprender cómo se organizan las partes para producir las propiedades del nivel del sistema como una empresa sintética, no reduccionista (Bechtel 2010). Atender al contexto y a la organización orgánica es una recomendación *metodológica* válida; sin embargo, es menos claro por qué esto es un argumento contra la reducción *epistémica*. Quienes proponen la reducción teórica como Nagel (1961) y Schaffner (1976) han respondido que una reducción molecular puede tener en cuenta las relaciones entre las partes y el contexto de los procesos moleculares, por ejemplo, especificando el contexto relevante como condición inicial en las premisas moleculares a partir de las cuales se deduce el estado de nivel superior (cf. Frost-Arnold 2004).

La dependencia contextual es ante todo un problema para los modelos de reducción teórica; los modelos de reducción explicativa a menudo dan por hecho el contexto orgánico, sin comprometerse con reducirlo molecularmente (como se aprecia en las explicaciones reductivas que se dan en la biología experimental). La ciencia puede servirse de causas como hacedores de diferencias relativos a un contexto causal dado (Waters 2007, Woodward 2003). Tanto la investigación como la explicación experimental pueden focalizarse en una causa entre muchas, relegando todo lo demás al contexto o fondo (que a menudo se mantiene fijo en los estudios experimentales). Por ejemplo, si la pérdida de función de un gen particular conduce a un fenotipo anormal, en un experimento de inactivación, dicho gen es *un* factor causal implicado en el desarrollo del fenotipo normal. Las explicaciones que apelan a este gen –como un factor causal destacado relativo a un contexto– son explicaciones genuinas incluso si se desconocen otros genes involucrados en el fenotipo y si el contexto celular del gen no ha sido todavía comprendido (Waters 1994, 2007). Si los biólogos moleculares descubren que un mismo mecanismo produce efectos muy diferentes en distintos contextos y que sólo uno de estos efectos es el blanco de la investigación, una parte del contexto del mecanismo se vuelve epistémicamente relevante y puede ser incluida en la explicación (Delehanty 2005).

Por el contrario, una visión de la *reducción teórica* como la del enfoque Nagel-Schaffner se compromete con deducir la descripción de un fenómeno de nivel superior a partir de premisas puramente moleculares. Para poder deducir incluso una sola afirmación (*a fortiori* una teoría de nivel superior completa en la visión de Schaffner), las premisas deben contener (junto con leyes de nivel inferior) una especificación del contexto total de nivel inferior –cada característica que tiene *algún* impacto causal. Esto incluye características internas a un organismo y alguna parte de su ambiente. Mientras que la reducción explicativa puede apelar a causas particulares relativas a un fondo que no está especificado molecularmente, una deducción lógica como la que requiere la reducción teórica sólo se puede lograr si el contexto causal total está contenido en las premisas.⁹ Una caracterización molecular del contexto total es en principio posible debido a una reducción ontológica: para todo estado de nivel superior hay siempre una configuración molecular total que determina este fenómeno de nivel superior. Sin embargo, esto implica una retirada a la posibilidad “en principio” de una derivación molecular, no sólo porque la especificación molecular del contexto total no está disponible actualmente, sino porque podría no estar disponible tampoco en el futuro (Hull 1972, 1974, 1976).¹⁰ En este sentido, los modelos de reducción explicativa tienen una ventaja clara respecto de los modelos de reducción teórica, ya que los primeros no se comprometen ni con una derivación formal ni con asumir que el *explanans* de la reducción explicativa involucra únicamente nociones moleculares.

El tratamiento que hace Jason Robert (2004) de la explicación y metodología en la biología del desarrollo resalta lo que probablemente sea el principal punto válido que surge de la dependencia contextual de las características moleculares. Mientras que reconoce la legitimidad de las estrategias de investigación reduccionistas que aíslan causas moleculares relativas a un fondo que se mantiene fijo para propósitos experimentales, Robert enfatiza que esta metodología no habilita una inferencia a una posición exclusivamente reduccionista según la cual todas las causas explicativamente relevantes son moleculares. El hecho de que la genética del desarrollo revele numerosas diferencias entre individuos que se deben a diferencias en la expresión genética no implica que los genes sean los únicos factores relevantes en la ontogenia. En tanto la investigación genética mantiene fijos otros factores celulares y orgánicos, la influencia causal de estos recursos no-genéticos simplemente no es evaluada por este método de investigación. Afirmar, simplemente, que el contexto orgánico es siempre susceptible de ser descrito molecularmente es una petición de principio contra aquellos que mantienen que algunas explicaciones del desarrollo deben apelar a características de nivel superior. Por ejemplo, la apelación a la investigación en genética del desarrollo por sí sola es inadecuada para reducir el contexto celular a causas moleculares, ya que el descubrimiento de las causas genéticas

ocurre frente a un fondo organísmico fijado (Robert 2004). La dependencia de las características moleculares de un contexto celular y organísmico plantea problemas para los enfoques de reducción teórica que mantienen que los fenómenos de alto nivel pueden ser deducidos de premisas puramente moleculares. (También es un problema para las afirmaciones de que el embrión puede ser computado a partir de especificaciones puramente moleculares del huevo fertilizado, como las que defiende Rosenberg 1997; ver Keller 2002, cap. 9.) Así, hay ciertos límites a las clases de inferencias explicativas que se pueden hacer a partir de las estrategias de investigación reduccionistas. Lo que permanece ausente en muchas discusiones filosóficas críticas del reduccionismo es alguna explicación explícita de las estrategias metodológicas y de los marcos epistemológicos que capture el modo de razonamiento científico real y que ofrezca una alternativa al reduccionismo (Love 2006, 2008; ver Sección 5).

4.2 Realizabilidad múltiple de las características de nivel superior (muchos-uno) [↑](#)

Además de la relación uno-muchos que se da entre las clases moleculares y las de nivel superior, Hull (1972, 1974, 1976) señala también la existencia de una relación muchos-uno como un desafío para el reduccionismo. Este resulta ser un problema potencial tanto para la reducción teórica como para la reducción explicativa (aunque en diferentes grados). El punto de Hull es que el mismo fenómeno de nivel superior (por ejemplo, un rasgo mendeliano como el color de pelo) puede ser producido por varios mecanismos moleculares diferentes, o que un fenómeno de nivel superior es realizado por diferentes clases de configuraciones moleculares. En defensa de su modelo de reducción teórica, Schaffner (1976) responde que basta con especificar una situación molecular semejante. La situación de nivel superior que está determinada por la constelación molecular puede entonces ser derivada lógicamente a partir de esta especificación de la situación de nivel superior que está determinada por la constelación molecular. Sin embargo, uno tiene que ser claro acerca de la naturaleza del *explanandum* en una explicación reductiva (i.e., cuál es el consecuente de una deducción reductiva). ¿Es un *tipo* de fenómeno de nivel superior (descrito por predicados de nivel superior) o meramente un *caso* de un fenómeno (una instancia de un fenómeno de nivel superior)? La idea de reducción teórica es que una teoría entera (tal como la genética clásica) puede ser reducida, o al menos que sus leyes pueden ser reducidas. El principio mendeliano de segregación, por ejemplo, es una ley que describe un fenómeno que ocurre en todos los organismos de reproducción sexual, no sólo en un caso de fenómeno, de modo que este principio general –que cubre diversas realizaciones a nivel inferior– debería ser explicado/deducido molecularmente.

Consideremos el ejemplo que ofrece Schaffner (1993) para apoyar la posibilidad de la reducción: el concepto mendeliano de “dominancia”. En su explicación, dados ciertos genes clásicos a y b , la propiedad “el alelo a es dominante (relativo al alelo b)” puede ser expresada en términos moleculares de la siguiente manera. Asumamos que el genotipo aa produce el fenotipo A , y que el genotipo bb corresponde al fenotipo B , mientras que ab produce A (por dominancia). Constatamos que el gen a consiste en la secuencia de ADN α y que el gen b consiste en la secuencia de ADN β , y que el fenotipo A es producido por la proteína κ mientras que el fenotipo B es producido por la proteína γ . Esto arroja la siguiente presunta reducción:

“El alelo a es dominante (relativo a b) si y sólo si la presencia de dos copias de la secuencia de ADN α produce molecularmente la proteína κ [y así, el fenotipo A], la presencia de dos copias de la secuencia β produce la proteína γ [fenotipo B], y la presencia de una copia de α y una copia de β produce κ [fenotipo A].” (Schaffner 1993, 442).

Mientras que Shaffner afirma explícitamente haber demostrado que el predicado (o el concepto de) “dominancia” puede ser reducido al lenguaje bioquímico, su evidencia en realidad muestra cómo una única *instancia* de dominancia (alelo a es dominante sobre el alelo b) es originada por estados del nivel molecular. Pero la reducción epistémica requiere reducir conceptos de nivel superior y, dado que la dominancia mendeliana puede originarse en diferentes *clases* de situaciones moleculares, este *predicado* de nivel superior corresponde a muchos *predicados* de nivel molecular, haciendo que la traducción reductiva de los conceptos superiores sea muy compleja. (Y, además de una traducción a términos moleculares, la reducción teórica requiere también que generalizaciones de nivel superior que involucren esos conceptos sean deducidas). Un problema similar se da en la reducción explicativa. La biología intenta explicar *clases* de fenómenos que ocurren en diferentes contextos y organismos, de modo que las explicaciones reductivas deben explicar molecularmente *clases* de fenómenos además de instancias particulares.

La discusión subsiguiente basada en ideas de la metafísica y la filosofía de la mente ha clarificado cómo una

concepción de la relación muchos-uno entre clases moleculares y de nivel superior puede vincularse con la reducción epistémica. En su tratamiento general de la reducción en psicología y ciencias sociales, Jerry Fodor (1974, 1975, 1997) distingue entre *reducción caso-caso* y *reducción tipo-tipo* (o entre fisicalismo de casos y fisicalismo de tipos). La reducción caso-caso implica la idea de que cada *caso* de proceso de nivel superior es metafísicamente idéntico a un caso de proceso fisicoquímico (el sentido débil de reducción ontológica que ha tenido una aceptación casi universal, ver Sección 1). La disputa se centra en si acaso es posible una reducción más allá de la reducción caso-caso. Una idea sustancialmente más fuerte es la de que cada *tipo* de fenómeno de nivel superior se corresponde con un *tipo* de fenómeno de nivel inferior. La reducción tipo-tipo ofrece una versión audaz de reduccionismo *epistémico*, en tanto en este caso los conceptos de nivel superior y el conocimiento acerca de los fenómenos de nivel superior podrían ser inmediatamente reducidos a nociones moleculares. Sin embargo, Fodor argumenta que la reducción tipo-tipo (en cuanto a clases mentales y sociales, en particular) es empíricamente falsa. Consideremos una ley o principio causal simple de una ciencia de nivel superior que relacione dos clases, S y T, tales que $\forall x(Sx \rightarrow Tx)$, lo que puede ser leído como “todos los S son T”, o “todos los eventos del tipo S producen eventos del tipo T” (algunas leyes o principios podrían ser de una forma lógica más compleja). De hecho, una clase de nivel superior es a menudo realizada por varias clases diferentes en el nivel físico (diferentes instancias de la clase de nivel superior son de un tipo diferente en el nivel molecular). Si una clase S es realizada por las clases de nivel inferior M_1, M_2, \dots, M_i , el principio puente (función de reducción) tiene la forma disyuntiva:

$$\forall x (Sx \leftrightarrow (M_1x \vee M_2x \vee \dots \vee M_ix))$$

de igual manera, T es múltiplemente realizable, digamos por las clases moleculares N_1, N_2, \dots, N_j . El punto de Fodor es que la base, de nivel inferior, de la ley de nivel superior $\forall x (Sx \rightarrow Tx)$ consiste en varias leyes (que reducen distintas instancias de nivel superior), como:

$$\forall x (M_1x \rightarrow N_3x), \forall x (M_2x \rightarrow N_1x), \forall x ((M_3x \vee M_4x) \rightarrow N_2x), \dots$$

Así, mientras que en el nivel superior hay una ley *unificada* $\forall x (Sx \rightarrow Tx)$, su traducción en términos moleculares es un enunciado disyuntivo:

$$\forall x ((M_1x \vee M_2x \vee \dots \vee M_ix) \rightarrow (N_1x \vee N_2x \vee \dots \vee N_jx))$$

Este enunciado disyuntivo tiene el aspecto de ser una combinación manipulada de leyes más que una ley genuina. Por lo tanto, la ley de nivel superior no puede ser reducida a una ley de nivel inferior *unificada*. La reducción caso-caso se da, pero dado que las clases naturales (a las que se aplica la ley) de la ciencia de nivel superior intersectan las clases pertenecientes a la ciencia del nivel inferior, la reducción tipo-tipo falla y la explicación nomológica del nivel superior no puede ser reemplazada por una explicación nomológica del nivel inferior. Steven Kimbrough (1978) argumenta que esta situación se aplica también a la relación entre la genética clásica y la genética molecular: la reducción ontológica (caso-caso) es posible, pero no la epistémica (tipo-tipo).¹¹

La realizabilidad múltiple de las clases de nivel superior es vista por muchos como un obstáculo a la reducción (Kincaid 1997), y un cierto número de filósofos de la biología han entendido la relación muchos-uno entre fenómenos moleculares y de nivel superior de una manera similar. Las discusiones tempranas de Rosenberg criticando la reducción teórica a la luz de la realizabilidad múltiple (1978, 1985, 1994) empleaban la noción de superveniencia de Donald Davidson (1970), que es otro modo de expresar la idea de una reducción ontológica sin reducción epistémica (fisicalismo no reductivo). Hechos de nivel superior supervienen sobre hechos físicos si cualquier diferencia entre dos situaciones de nivel superior implican una diferencia en la base física. Pero esto es consistente con dos situaciones físicas distintas correspondientes al mismo estado de nivel superior (muchos-uno). Puesto que propiedades biológicas como la aptitud o *fitness* supervienen sobre propiedades físicas, el *fitness* puede no ser más que una combinación de propiedades físicas, incluso cuando ningún complejo de propiedades semejantes sea necesario para tener un valor particular de *fitness*. Las teorías de nivel superior abstraen toda variación irrelevante en las características de nivel inferior arribando así a generalizaciones que son explicativas porque, precisamente, no incluyen características irrelevantes para el fenómeno que se quiere explicar (Putnam 1975, Strevens 2008). Desde esta perspectiva, la reducción de la genética molecular es imposible puesto que la relación muchos-muchos entre las clases moleculares y clásicas vuelve cualquier descripción reductiva radicalmente disyuntiva. Al mismo tiempo, la noción de superveniencia implica que la genética clásica y la molecular no son inconmensurables, y que la genética molecular puede arrojar luz

sobre las excepciones a la genética clásica.

Philip Kitcher (1984) hace una crítica al reduccionismo en genética que está relacionada. Argumenta que *no* es que la complejidad de cualquier reducción (debida a las relaciones muchos-uno entre clases moleculares y superiores) exceda nuestras capacidades *cognitivas*. Antes bien, la explicación reductiva, molecular, no explica adecuadamente porque no involucra las clases naturales que subyacen a las relaciones causales apropiadas. Los principios de la genética clásica (v.gr., el de segregación) se explican por procesos celulares (v.gr., el comportamiento de los cromosomas durante la meiosis) porque las clases de alto nivel que la citología selecciona son causalmente relevantes. Parafrasear estos procesos celulares en términos moleculares conduce a una descripción que menciona varias combinaciones disyuntivas de clases moleculares, pero que no logra exhibir las clases unificadas que son las causas de los procesos bajo estudio. Un aspecto clave del argumento de Kitcher es que una visión epistémica del reduccionismo falla por razones ontológicas, al no capturar la estructura de la clase natural de los fenómenos cromosómicos estudiados por la genética clásica.

Schaffner responde a la objeción de la realizabilidad múltiple (1993, 463-6) que la misma secuencia de ADN puede estar presente en muchos individuos, de modo que no es sólo un fenómeno caso que es estudiado por la biología molecular; las generalizaciones moleculares se aplican a *tipos* restringidos. Esto es cierto, pero no responde al núcleo del problema. Los críticos del reduccionismo no argumentan que cada tipo de nivel superior se corresponda con varios casos de nivel inferior (lo cual es trivialmente cierto) o que la biología sólo puede estudiar casos de fenómenos. Antes bien, el punto es que un tipo de nivel superior se corresponde con varios *tipos* de nivel inferior, y que para cada una de estas clases de nivel inferior haya una descripción molecular distintiva. Así, una explicación causal unificada (en tanto opuesta a disyuntiva) de los fenómenos de nivel superior parece imposible.

Waters (1990) desafía el compromiso con la unificación que implica que no hay pérdida explicativa cuando se apela a los “detalles escabrosos” múltiplemente realizados de la biología molecular. En algunos casos, las explicaciones disyuntivas a un nivel inferior parecen explicar mejor que las explicaciones unificadas a niveles superiores. Elliott Sober (1999) extiende esta línea argumentativa: una explicación en términos de clases de nivel superior puede estar más unificada o ser más general al comprender clases de nivel inferior heterogéneas, pero la misma heterogeneidad muestra importantes diferencias en cuanto a propiedades científicamente interesantes. Sólo la ciencia de nivel inferior puede dar cuenta de dichas diferencias y, por lo tanto, en este sentido, ofrecer una explicación más profunda que la ciencia de nivel superior. Como resultado, las explicaciones no son mejores o peores a lo largo de una escala unidimensional, sino que hay varias virtudes epistémicas que una explicación puede tener –la generalidad tanto como la profundidad. En ocasiones, una explicación de nivel inferior es mejor en relación con una propiedad epistémica, mientras que una explicación de nivel superior puede ser preferible en relación con otra cualidad epistémica, como la unificación. Y la unificación misma puede ser explicada de modo diferente en términos de las características estructurales o funcionales de los sistemas biológicos (ver, p. e., Weiskopf 2011).¹²

Es natural que los enfoques sobre la reducción explicativa se centren en los mecanismos y en el estudio de los organismos modelo. Una respuesta a la objeción de la realizabilidad múltiple desde esta perspectiva es argumentar explícitamente a favor de la reducción caso-caso, discutiendo cómo es que la descripción causal de un mecanismo caso explica (Delehanty 2005). Weber (2005) reconoce que las características de nivel superior son múltiplemente realizables, pero esto no impide la reducibilidad de los sistemas u organismos individuales caso: “el hecho de que el comportamiento quimiotáctico sea múltiplemente realizable no afecta la explicación reduccionista de la biología comportamental de este organismo” (Weber 2005, 48). Sin embargo, esta estratagema pasa por alto el punto clave en disputa, por qué la reducción caso-caso es incontestable entre reduccionistas y antirreduccionistas. Es una afirmación relativamente trivial que se sigue del fisicalismo. El foco en los fenómenos caso o en los organismos individuales caso falla en dar cuenta de una característica epistemológica importante del conocimiento científico: algunas explicaciones científicas corresponden sólo a un único organismo, pero (en general) las explicaciones cubren *tipos* de fenómenos. En muchos contextos biológicos, tales como la biología del desarrollo, el *objetivo intelectual* es explicar fenómenos instanciados en muchos organismos; y el uso de organismos modelo se afirma sobre este objetivo.¹³ Cualquier versión del reduccionismo epistémico tiene que poder dar cuenta de esta característica del conocimiento y de la explicación científica para ser adecuada. Explicar el desarrollo –tal como lo entienden muchos biólogos del desarrollo– significa dar cuenta de la ontogenia exhibida por organismos individuales pertenecientes a grupos más grandes (p. e., entender los principios del desarrollo que gobiernan el desarrollo de los *vertebrados* o de

los *anfibios*). Cómo la misma estructura morfológica se puede desarrollar en diferentes especies por medio de diferentes procesos y en base a la acción de diferentes genes, hay realizabilidad múltiple y esto es relevante para tales explicaciones (Laubichler y Wagner 2001).

Más aún, incluso si el objetivo es explicar una característica de un único organismo –situación considerada por Weber (2005)–, de esto no se sigue que una explicación deba apelar exclusivamente a factores del nivel inferior. Una explicación debería incluir sólo factores que sean explicativamente relevantes; un factor irrelevante es aquel tal que su omisión (o modificación) en la explicación no evita que el *explanandum* se siga (Strevens 2008). Esto también vale para la explicación mecanística, que debería citar como componentes de un mecanismo aquellas características cuya modificación hace una diferencia causal al fenómeno del *explanandum* (Craver 2007). Por ejemplo, los cromosomas son partes relevantes de los mecanismos necesarios para explicar los patrones de herencia mendelianos (Darden 2005), pero esta explicación particular se lleva a cabo sin importar cuál es la composición molecular, de bajo nivel, de los cromosomas (e. g., sin importar si los diversos genes tienen una secuencia de ADN semejante o una muy distinta). En el contexto de la biología del desarrollo, incluso durante el desarrollo de un solo organismo, una estructura puede estar presente a lo largo del tiempo y tener un rol funcional en el desarrollo, y sin embargo su base molecular y celular subyacente puede cambiar (Brigandt 2006, Kirschner 2005). Las entidades por encima del nivel molecular pueden ser más robustas, de modo que cuando algún proceso del desarrollo cambia o se descompone, estas entidades de nivel superior no sufren modificaciones ni son eliminadas. Inactivar un gen no necesariamente tiene un impacto en la ontogenia, gracias a la redundancia genética, mientras que eliminar una célula o un grupo de células particulares podría interferir dramáticamente con el desarrollo normal (Brigandt 2012, Mitchell 2009). Una conexión causal de alto nivel puede ser más notable en el sentido de que la operación regular de un mecanismo dependa fuertemente de esta clase de relación causal. Esto no implica negar que una causa de nivel superior semejante sea realizada por entidades moleculares y sus interacciones (i. e., que haya superveniencia). Pero si un proceso de alto nivel es menos sensible a las perturbaciones o intervenciones que ciertas causas moleculares, la explicación mecanicista más poderosa puede ser aquella que apele a conexiones causales más robustas. Esta es una de las razones por la cual las ciencias biológicas apelan preferencialmente a entidades y procesos de nivel superior frente a la realizabilidad múltiple, ofreciendo una explicación en términos de clases y causas naturales de nivel superior.

En resumen, el nivel (o los niveles) de organización abordado por una explicación exitosa depende del *explanandum* particular. Si el objetivo es explicar un fenómeno tipo, pueden surgir problemas de realizabilidad múltiple (muchos-uno). Por su parte, la explicación de un fenómeno caso debería incluir factores de nivel inferior sólo en la medida en que sean explicativamente relevantes para ese *explanandum* particular.

4.3 Representación, temporalidad e intrinsicalidad [↑](#)

El enfoque de Sarkar (1998) de la reducción explicativa llama la atención sobre el requisito de la representación: los fenómenos naturales deben ser simbolizados, personificados, ilustrados o designados mediante ecuaciones, escalas en miniatura, o diagramas abstractos. Cada explicación reductiva en ciencia involucra la representación de los sistemas o dominios a ser relacionados por medio de la reducción. (Adviértase que no se trata aquí de la pregunta acerca de cómo es representada una estructura teórica; ver, v.gr., Schaffner 1996). Casi toda la discusión en torno a los problemas uno-muchos (Sección 4.1) y muchos-uno (Sección 4.2) para la reducción teórica y explicativa asumen o suponen representaciones particulares que impactan directamente en los argumentos ofrecidos (v.gr., involucran aproximaciones de diferentes clases). Sarkar distingue tres criterios representacionales para una explicación reductiva: (i) fundamentalismo: la explicación de los fenómenos depende enteramente de características que pertenecen a un reino más fundamental; (ii) jerarquía abstracta: el sistema es representado como una jerarquía, donde los niveles inferiores son considerados como más fundamentales; y (iii) jerarquía espacial: la jerarquía abstracta es interpretada como física por el requerimiento de que las entidades a nivel inferior sean partes (espaciales) de las entidades a niveles más altos (ver Sección 3.2). La cuestión de si acaso se dan relaciones uno-muchos o muchos-uno entre los distintos niveles jerárquicos pone en juego la naturaleza de la jerarquía invocada y cómo se la caracteriza. Descomponer un sistema no es una tarea unívoca: dependiendo de los principios utilizados, para un mismo sistema se pueden generar conjuntos representacionales de partes tanto antagónicos como complementarios (Kauffman 1971, Wimsatt 1974, Craver 2009). A menudo, ciertos principios gobernantes son visibles, como las descomposiciones

funcionales versus las estructurales (Bechtel y Richardson 1993, Winther 2006). Por lo tanto, antes de determinar si una explicación reductiva es exitosa o falla, es necesario abordar explícitamente cuestiones relativas a las elecciones y adecuación representacionales.

Estos problemas representacionales no son vanos en relación con las explicaciones que difieren, ya sea pasadas o presentes, porque la misma línea de argumentación acerca de la no independencia de las partes de los organismos constituía una razón para tratar al organismo desde un punto de vista no reduccionista (Aristóteles, *Partes de los animales* II.3; Owen, *Hunterian Lectures* [1837] en Sloan 1992, 213-4). La individuación de las partes y su relación explicativa con los todos dependen críticamente de los principios usados al representarlos (Love 2012). Wimsatt (1974, 1986, 1997, 2007) ha afirmado que la reducción y la emergencia son compatibles dentro del contexto de la explicación de la complejidad organizacional en los sistemas vivos, al punto de defender que una metodología reduccionista puede identificar emergencia cuando se delinean condiciones específicas de agregabilidad. Un cierto número de fallas en la agregabilidad resultan cuando las diferentes condiciones no se cumplen, lo que conduce a una sutil taxonomía de relaciones composicionales y subraya que las diferentes descomposiciones proveen resultados importantes y / o violaciones de esas condiciones que pueden ser metodológicamente explotadas por científicos para realizar descubrimientos causales.

Además del de la individuación, se pueden mencionar otros dos problemas directamente vinculados con la representación: temporalidad e intrinsicalidad (Hüttemann y Love 2011). En la mayoría de las discusiones acerca de la reducción epistémica y explicativa, no se hace ninguna distinción entre relaciones o arreglos constitucionales (espaciales) y relaciones causales o temporales (dinámicas, aunque ver Mitchel 2009). Una de las fuentes del foco en las relaciones espaciales es la objeción al reduccionismo desde la organización estructural (Polanyi 1968; cf. Delehanty 2005, Frost-Arnold 2004, Schaffner 1993, cap. 9.2), relacionada con la objeción “del contexto” (Sección 4.1). Más aún, los modelos provenientes de la física, usados como plantilla para pensar la reducción, enfatizan cuestiones de la composición espacial más que de las relaciones causales (Love y Hüttemann 2011). Tal como Schaffner ha remarcado, “Las teorías biológicas a menudo tienen la forma de una serie de modelos temporales (y frecuentemente causales). En física, el tiempo es usualmente eliminado al figurar implícito en las ecuaciones diferenciales, mientras que en biología el proceso temporal... es la regla” (1993, 83-4; cf. Kellert 1993, 93). Nagel reconoció, de manera profética, las diferencias entre los razonamientos temporales y espaciales en su discusión sobre la explicación teleológica (en parte porque leía la literatura de los biólogos acerca de cómo explicar la ontogenia; ver Sección 2).

El contraste entre estructura y función es evidentemente un contraste entre la organización *espacial* de las partes anatómicamente distinguibles de un órgano y la organización *temporal* (o espaciotemporal) de los cambios en esas partes. Lo que es investigado bajo cada término de este par contrastante es un modo de organización o un tipo de orden. En un caso, la organización es primariamente –si no exclusivamente– espacial, y el objeto de la investigación es determinar la distribución espacial de las partes orgánicas y los modos en que se conectan. En el otro caso, la organización tiene una dimensión temporal y el objetivo de la investigación es descubrir órdenes secuenciales y simultáneos de cambio en las partes espacialmente ordenadas y conectadas de los cuerpos orgánicos” (Nagel 1961, 426).

Kitcher también vislumbró el significado potencial de la temporalidad para la explicación reductiva en el contexto de la embriología: “*Porque los procesos del desarrollo son complejos y porque los cambios en los tiempos de los eventos embrionarios pueden producir una cascada de efectos a varios niveles distintos, uno a veces usa descripciones de niveles superiores para explicar lo que sucede [luego] a un nivel más fundamental*” (1984, 371).

Una distinción muy diferente, en la que concuerdan diversos participantes y que utiliza el tiempo, es la que surge entre la sucesión histórica de teorías a través de la reducción (“reducción diacrónica”) y los intentos actuales de relacionar partes y todos, tal como en la reducción explicativa o en la reducción teórica entre niveles (“reducción sincrónica”, ver Sección 3.1).

La reducción sincrónica es una explicación mereológica, en la que el comportamiento de ítems compuestos descriptos en las teorías reducidas es explicado por derivación a partir del comportamiento de sus componentes por la teoría reductora. Así, la reducción es una forma de explicación. La reducción diacrónica usualmente involucra la sucesión de teorías más generales que reducen las menos generales al mostrar que éstas últimas son casos especiales que omiten

algunas variables, fallan en medir coeficientes, o fijan parámetros en valores restringidos. En tanto la historia de la ciencia procede desde las teorías menos generales hacia las más generales, el mecanismo de progreso es la reducción de teorías” (Rosenberg 2006, 28).

“La primera distinción a notar es aquella entre las concepciones sincrónicas y diacrónicas del reduccionismo. El término reducción es a menudo utilizado para referir a la relación entre una teoría y su sucesor histórico. ... Esto es un ejemplo de lo que quiero decir con reduccionismo diacrónico. Mi preocupación, por el otro lado, es exclusivamente con el reduccionismo sincrónico, es decir, con las relaciones entre teorías coexistentes que pertenecen a distintos niveles de organización” (Dupré 1993, 94-5).

Lo que falta en esta distinción es la posibilidad de que haya aspectos diacrónicos de las relaciones parte-todo o entre niveles. Las explicaciones científicas comúnmente invocan procesos dinámicos (causales) que involucran entidades en varios niveles de organización (Craver y Bechtel 2007). Esta es una de las razones centrales por las cuales el desarrollo es un tópico biológico persistente para el reduccionismo. Durante la ontogenia, se dan, a lo largo del tiempo, diversas interacciones causales entre partes y actividades (tanto homogéneas como heterogéneas) que producen nuevas partes y actividades (tanto homogéneas como heterogéneas), que eventualmente generan un organismo adulto (un todo).

La temporalidad puede ser añadida como cuarto criterio de las representaciones para las explicaciones reductivas: (iv) la jerarquía temporal: dada una jerarquía abstracta encarnada en una explicación, las entidades y sus comportamientos en el nivel inferior son temporalmente anteriores a las entidades y sus comportamientos de los niveles superiores (Hüttemann y Love 2011). Aunque las jerarquías temporales o procesuales no han recibido la misma atención que las jerarquías espaciales (como en el criterio de agregabilidad de Wimsatt), su importancia se aprecia en las explicaciones que invocan características de nivel superior (v.gr., interacciones tisulares durante la ontogenia) en cierto tiempo para explicar causalmente otras características de nivel inferior en un tiempo ulterior (v.gr., patrones de expresión genética, lo que viola el criterio de temporalidad). Por ejemplo, un estudio del origen ontogenético de la asimetría del arco aórtico involucra una mezcla de representaciones reduccionistas y no reduccionistas de acuerdo con el criterio de la temporalidad (Yashiro et al. 2007). La explicación detalla varios eventos en un proceso secuencial. Primero, propiedades del nivel fundamental (expresión genética) modifican propiedades de nivel no fundamental (estructura arterial), lo que altera la dinámica del flujo sanguíneo (por lo tanto, cumple la condición de temporalidad). Estas nuevas dinámicas inducen un cambio subsecuente en la expresión génica (y viola, por lo tanto, la condición de temporalidad). Esta expresión genética alterada luego produce la propiedad no fundamental de interés, la asimetría del arco aórtico (y cumple la condición de temporalidad). Así, dependiendo de cómo sea representado el tiempo y qué particiones temporales se usen, una explicación puede resultar reductiva, no reductiva o ambas. Este es un buen ejemplo de cómo la reducción ontológica y epistémica pueden arrojar respuestas asombrosamente distintas. Un biólogo que emplea una característica de nivel superior en un tiempo anterior para explicar una característica de nivel superior en un tiempo posterior (una explicación no reduccionista, de acuerdo con el criterio de la temporalidad) no está negando que esta característica de nivel superior esté compuesta por características de nivel inferior (v.gr., células y moléculas), como tampoco niega la posibilidad de que la característica de nivel superior haya sido causada por un conjunto diferente de características de nivel inferior en algún punto más distante en el tiempo.

Otro ejemplo es el plegamiento de las proteínas en biología molecular (Hüttemann y Love 2011, Love y Hüttemann 2011). Las proteínas funcionales son estructuras plegadas compuestas de aminoácidos que están enlazados en una cadena lineal. Si nos preguntamos si la proteína plegada está mereológicamente compuesta por sus partes de aminoácidos dadas las actuales representaciones en biología molecular, entonces la respuesta afirmativa parece favorecer la reducción explicativa con respecto a la jerarquía espacial. Pero si nos preguntamos si la cadena de aminoácidos se pliega en una proteína funcional (un proceso causal con una dimensión temporal) puramente como consecuencia de sus partes de aminoácidos enlazados, entonces la respuesta es menos clara. Los estudios empíricos han enfatizado el rol necesario de *otras proteínas* plegadas en el plegamiento de cadenas de aminoácidos recién generadas (Frydman 2001). El hecho de que los aminoácidos componentes por sí solos son causalmente insuficientes, incluso cuando son constitucionalmente suficientes, permite apreciar más explícitamente la importancia de la temporalidad y el dinamismo (Mitchell 2009), especialmente porque las relaciones de interés atañen sólo a los fenómenos de biología molecular (como opuesto a los niveles superiores de organización, tal como las células o la

anatomía).

Una última característica representacional es la intrinsicalidad, i. e., la distinción entre lo que es “interno” y lo que es “externo” en las explicaciones reductivas, ya sea implícita o explícitamente. Wimsatt (1980) llamó la atención sobre el hecho de que toda investigación debe separar un sistema de su ambiente y que el reduccionismo metodológico favorece las atribuciones de responsabilidad causal a las partes “internas” de un sistema más que a aquellas estimadas como externas (ver también Wilson 2004). En el caso del plegamiento de las proteínas, parece que la falla de la reducción explicativa temporalmente indexada involucra poderes de algo *extrínseco* a una instancia del proceso bajo escrutinio (i. e., el plegamiento de una cadena de aminoácidos). La suposición de relaciones atemporales, composicionales, ha alentado que esta distinción sea ignorada, dado que las relaciones anidadas parte-todo se predicen dada una previa individuación del sistema respecto de su ambiente (Hüttemann y Love 2011, Love y Hüttemann 2011). Esta línea de pensamiento se relaciona con la objeción de la dependencia contextual (Sección 4.1), pero enfatiza la importancia de las relaciones de dependencia funcional que se descubren al atender a la temporalidad además de la organización estructural.

Al reconocer los aspectos temporales de las explicaciones reductivas que se hallan en biología junto con otros problemas de la representación, como la intrinsicalidad, que no son capturados si se hace foco únicamente en la mereología, se obtiene una base de evidencia para defender la postura de que se debe hablar de distintas *clases* de reduccionismo, y no en términos de una visión unificada de la reducción o de la dicotomía general “reduccionismo” versus “anti-reduccionismo” (u holismo). Una vez que hemos incorporado las distinciones entre distintos tipos de reducción (ontológica, epistemológica y metodológica), las diferentes interpretaciones de estos tipos (v.gr. reducción epistemológica teórica versus explicativa), las diferentes características representacionales involucradas (espaciales, temporales, etc.), y los distintos tópicos biológicos a los que los filósofos han aplicado estas distinciones (e. g. desarrollo o anatomía funcional), resulta más difícil conceptualizar una noción de la reducción única y adecuada que haga justicia a la diversidad de fenómenos y prácticas de razonamiento en las ciencias biológicas. La multiplicidad y heterogeneidad de las subdisciplinas biológicas sólo refuerza este argumento y sugiere, para algunos, que deberíamos ir definitivamente más allá del reduccionismo.

5 “Alternativas” al reduccionismo: más allá de las dicotomías [↑](#)

La brutalidad y el reduccionismo de la victoria microbiológica no ha destruido toda especulación. La etología y los etólogos han sido embestidos, pero no han perecido
(M. Drabble *The Sea Lady*, 150).

Gran parte de la discusión pasada acerca de la reducción presupone una visión unitaria de la tarea científica que involucra una relación entre clases naturales, leyes, dependencia contrafáctica, explicación y confirmación (Godfrey-Smith 2008). Una de las características más extendidas de la biología moderna, que parece *prima facie* incompatible con muchas de las tesis reduccionistas metodológicas y epistemológicas, es la proliferación y el florecimiento de diversas disciplinas biológicas, moleculares y de otro tipo. A pesar de la pretendida “hegemonía de la biología molecular” (Kitcher 1999a), las subdisciplinas biológicas enfocadas en los niveles superiores de organización no han desaparecido. Tal como lo expresa adecuadamente Fodor (1997): “Ciencias especiales: todavía autónomas después de todos estos años”. Por algún tiempo, esta característica de la investigación biológica, junto con muchos de los problemas asociados con la reducción teórica (especialmente, su inaplicabilidad a la práctica científica, pero también las dificultades para identificar “niveles” nítidos y distinguibles a ser relacionados reductivamente), ha estimulado a los filósofos a rechazar la “reducción” como la relación apropiada (o la única) entre conceptos y explicaciones provenientes de diferentes dominios.¹⁴ En cambio, se han propuesto relaciones de coordinación conducidas por el compromiso de unificar, integrar o sintetizar aspectos del conocimiento científico (Bechtel y Hamilton 2007, Potochnik 2011). Lindley Darden y Nancy Maull estuvieron a la vanguardia de esta discusión con el concepto de teoría inter-campos [en inglés, *inter-field theory*] (Darden y Maull 1977, Maull 1977). Por ejemplo, el advenimiento de la teoría cromosómica de la herencia en la década de 1910 trazó un puente entre los campos, previamente desvinculados, de la genética mendeliana (que estudiaba los patrones fenotípicos de la herencia a lo largo de las generaciones) y la citología (que lidiaba con el contenido material de las células). Esta teoría inter-campos efectuó la unificación de estos

dos campos, pero la genética mendeliana y la citología no fueron reducidas una a la otra, ni fueron ambas reducidas por la teoría inter-campos. Otro trabajo más reciente ha articulado las relaciones entre campos sin basarlas en la noción de teoría (Bechtel 1986, Burian 1993, Grantham 2004a, 2004b, Mitchell 2002). Esta línea va en paralelo con la tendencia, entre los reduccionistas explicativos, de alejarse de las teorías como única unidad epistémica de interés (Sección 3.2), pero el énfasis está puesto en los relatos tales como coordinación, integración, síntesis, o interacción recíproca, en contraposición a la reducción. Una razón fundamental para estos relatos emerge de la demanda de investigación multidisciplinaria, dado que la tarea explicativa involucra coordinar diversos recursos epistémicos, lo que conduce a un rechazo implícito de la “fundamentalidad” de una disciplina particular como aquella que produce las explicaciones de carácter empírico más adecuadas.

En este contexto, Alan Love (2005, 2008) usa la noción de agenda de problemas para argumentar que los problemas científicos no sólo motivan una investigación interdisciplinaria, sino que también proveen la estructura para la coordinación intelectual que se requiere (ver también Brigandt 2010, 2012, Brigandt y Love 2010). Las agendas de problemas consisten en numerosas preguntas que mantienen relaciones sistemáticas y que están asociadas a ciertos criterios de adecuación explicativa. Estos estándares indican cuáles son los recursos epistémicos y las diferentes disciplinas que se necesitan para dar cuenta del problema. Las relaciones entre las preguntas que componen una agenda de problemas (i. e., su estructura interna) prefiguran de qué manera pueden coordinarse las distintas contribuciones para generar un marco explicativo adecuado. Desarrollando esta perspectiva, Ingo Brigandt (2010) sugiere que no hay ninguna jerarquía única, lineal entre los campos científicos (v.gr., Oppenheim y Putnam 1958), sino que las relaciones entre las teorías y los enfoques disciplinares están determinados por, y varían según, el problema científico que se aborda. Estas visiones filosóficas se alinean con la investigación general de la interdisciplinariedad, que ha identificado la presencia y la articulación de una pregunta compleja como un prerrequisito (Repko 2008, Szostak 2002, 2009). Así, en lugar de concebir la unificación como un ideal regulativo al que los biólogos aspiran tanto como es posible en sus explicaciones del mundo natural complejo (v.gr., Kitcher 1999b), una perspectiva erotética sugiere que son los problemas particulares los que determinan la necesidad y el grado de cualquier integración (Brigandt 2010). Los estudios de William Bechtel (1993, 2006) de la biología celular documentan cómo la formación de nuevas subdisciplinas genera tanto integración entre los enfoques como desintegración debido a las nuevas especializaciones. La atención que pone Bechtel a las bases institucionales de la biología está también entramada con los análisis sociológicos de la organización disciplinar (Gerson 1998).

Las concepciones acerca de la explicación que giran en torno a los “mecanismos” han sido ampliamente discutidas recientemente (v.gr., Bechtel 2006, 2008, Bechtel y Abrahamsen 2005, Craver 2006, 2007, Darden 2006, Glennan 1996, Machamer et al. 2000). Muchos filósofos ven la biología experimental como ocupada fundamentalmente del descubrimiento de mecanismos (Darden y Craver 2002, Tabery 2004), entendiendo que los mecanismos son semejantes (aunque no equivalentes) a las máquinas, con partes organizadas e interconectadas que operan para producir resultados regulares o esperados. Concebir la explicación biológica en términos de mecanismos provee un marco conceptual filosófico que sigue de cerca la práctica biológica y que no descansa en la noción de teoría. Además de proveer nuevos modelos de reducción explicativa (Sección 3.2), los mecanismos han sido usados también para demostrar la integración entre distintos campos. Darden (2005) argumenta que tanto el reduccionismo como el reemplazo fallan en capturar las relaciones entre la genética clásica y la molecular. Ambos campos lidian con diferentes mecanismos que actúan en diferentes periodos del ciclo celular, y que involucran distintas entidades: la genética clásica se centra en la meiosis e involucra el comportamiento de los cromosomas; la genética molecular se centra en la expresión genética e involucra varias entidades moleculares como las secuencias nucleotídicas. Las relaciones entre los dos campos se manifiestan en la atención diferencial a distintos aspectos de un mecanismo mayor y más extendido temporalmente.

El marco mecanicista ha demostrado ser particularmente fructífero para capturar las explicaciones que apelan a varios niveles de organización. Un ejemplo instructivo es la discusión por parte de Carl Craver (2005, 2007) de la explicación multi-nivel y multi-campo en el contexto de los estudios neurocientíficos del aprendizaje. Mientras que los procesos celulares-moleculares de la potenciación a largo plazo son críticos para la formación de la memoria, no es una mera contraparte molecular de la memoria. La potenciación a largo plazo es un componente de bajo nivel de un mecanismo más amplio, multinivel. Las visiones reduccionistas han desatendido al fenómeno de la integración disciplinar en un mismo nivel de organización estructural y han puesto mucha atención en explicaciones reductivas acabadas, ignorando los cambios dinámicos que sufren las estrategias de investigación que las preceden (Craver 2005). Además

de la búsqueda de correlatos moleculares de niveles de alto nivel (episodios de investigación descendiente), ha habido también intentos de comprender el papel de los mecanismos moleculares en fenómenos complejos de nivel superior (períodos de investigación ascendente). A veces, se ha logrado progreso independientemente de (o al abandonar) la reducción como un objetivo de la explicación. Esta necesidad de cambiar de estrategia dependiendo del contexto de investigación está muy extendida en la investigación mecanística (Bechtel 2010), que sirve como un recordatorio adicional para los filósofos de que deben atender a la práctica científica real. Incluso cuando un mecanismo se extiende temporalmente, los análisis filosóficos de los mecanismos pueden no capturar todos los aspectos de la temporalidad (ver Sección 4.3). Mientras que las discusiones se han centrado en la representación del tiempo relativo a un mecanismo (v.gr., Bechtel 2006, Machamer et al. 2000), no todos los aspectos de la dinámica de los sistemas biológicos quedan bien representados como mecanismos que involucran entidades y actividades. Algunos quizás serían mejor modelados usando ecuaciones (Bechtel y Abrahamsen 2010, 2011, Weber 2008), y en otros casos el tiempo podría ser mejor representado independientemente del mecanismo que se investigue.¹⁵

La complejidad ha sido otra fuente para la articulación de posturas epistemológicas no reduccionistas respecto del razonamiento biológico (Wimsatt 1974, Hooker 2011). Sandra Mitchell (2003, 2009) ha argumentado que las perspectivas reduccionistas estándares están bloqueadas por diferentes formas de complejidad biológica. Para representar adecuadamente esta complejidad, es necesario integrar múltiples modelos causales (idealizados) provenientes de enfoques disciplinares diferentes, incluyendo nuestra incertidumbre a la hora de predecir su comportamiento, lo que tiene implicaciones para cualquier política social que se derive de estos modelos. Específicamente, ella señala la importancia del fenómeno de auto-organización, que refiere a la emergencia de comportamientos o patrones del sistema a partir de interacciones no específicas entre componentes de nivel inferior (Camazine et al. 2001, Kauffman 1993), tal como el comportamiento colectivo de los insectos sociales. (Los fenómenos de auto-organización también son relevantes para el reduccionismo en ciencias físicas; ver, v.gr., Goldenfeld y Kadanoff 1999, Whitesides e Ismagilov 1999). Aunque descomponer un sistema en partes sea importante para las afirmaciones acerca de la auto-organización, la responsabilidad causal de dichos componentes no está localizada (Bechtel y Richardson 1993, cap. 9). En cambio, el comportamiento del sistema es una función de patrones genéricos de interacción entre componentes, lo que remarca cómo la complejidad emerge de la dinámica antes que de la constitución (ver Sección 4.3). Por ejemplo, las redes genéticas y las redes sociales humanas pueden exhibir patrones isomórficos de auto-organización debido a su estructura interactiva, la cual nada tiene que ver con que los componentes, sean genes o seres humanos. Así, los fenómenos de auto-organización ocupan un lugar extraño en la discusión del reduccionismo, porque los componentes se usan para explicar el comportamiento del sistema, pero es la naturaleza de sus interacciones (no sus características específicas) la que genera los patrones de comportamiento, los cuales son frecuentemente denominados 'propiedades emergentes' del sistema (ver también Grantham 2007).

Recientes tendencias en biología de sistemas subrayan el significado filosófico de la complejidad biológica (Boogerd et al. 2007, Noble 2006, O'Malley y Soyer 2012). Además de un modelamiento matemático de un comportamiento sistémico, la biología de sistemas cuenta con una gran riqueza de datos acerca de los diversos componentes moleculares de la célula, provenientes de la genómica funcional, la RNómica, la proteómica, y de los métodos metabolómicos. Ciertas estrategias descendentes en biología de sistemas intentan descomponer la dinámica sistémica en diferentes componentes, donde otras estrategias ascendentes apuntan a entender cómo las interacciones cuantitativas entre moléculas individuales resultan en un comportamiento de nivel superior (Krohs y Callebaut 2007). A pesar del foco en los componentes moleculares y sus interacciones, las posiciones no reduccionistas vinculadas a la complejidad están motivadas por las interacciones no lineales y por los bucles retroalimentativos que generan comportamientos emergentes, control distribuido y robustez del sistema (Bruggeman et al. 2002, Westerhoff y Kell 2007).

Una línea distinta de discusión en torno al reduccionismo consiste en análisis críticos de la metodología y de la explicación desde el punto de vista de la filosofía feminista de la ciencia y de los estudios de los aspectos sociales de la ciencia (v.gr., Fehr 2004, Longino 1990, 1996). La filosofía feminista de la biología ha vinculado el reduccionismo y el pluralismo a otros problemas filosóficos, científicos y sociales. Una idea central en estas discusiones es que las formas de reduccionismo se relacionan con otros factores (v.gr., status socioeconómico o expectativas de género) en círculos que se retroalimentan y refuerzan unos con otros (Keller y Longino 1996, Levins y Lewontin 1985). Así, el reduccionismo, ya sea ontológico, epistémico o metodológico, puede ser entendido como una manifestación de compromisos más diversos (v.gr., políticos) de lo que sugiere gran parte de la literatura sobre el reduccionismo en

filosofía de la biología —la historia de la biología apunta también en esta dirección (ver, v.gr., Allchin 2008). Esta línea de críticas también sugiere que las interrelaciones entre el reduccionismo en biología y las ciencias sociales deberían ser tratadas más explícitamente. Elisabeth Lloyd (2002) ha argumentado que una investigación médica apropiada no debería restringirse simplemente a la investigación en biología molecular, porque los niveles superiores de organización social culturalmente permitidos tienen efectos causales sobre la salud que no son reconocidos. Como las ciencias sociales y la medicina buscan aplicar estrategias de razonamiento biológico diferentes, similares problemas filosóficos se transfieren predeciblemente, pero con el potencial de generar consecuencias socialmente nocivas.

Una característica compartida por un número de alternativas al reduccionismo es el énfasis sobre las dimensiones pluralistas de la epistemología en biología, que sitúa la reducción metodológica y explicativa como uno entre varios componentes necesarios (Dupré 1993, Kellert et al. 2006, Longino 2000, 2002, Mitchell 2003). De modos distintos, estas posiciones acentúan el hecho de que la investigación científica de fenómenos biológicos demanda herramientas epistémicas diversas sin necesariamente tener que agruparlas bajo la física fundamental, la química macromolecular o incluso bajo la biología molecular. Así, la reducción ontológica queda en cierta medida desarticulada de la reducción epistemológica, dado que no existe la necesidad de demostrar cómo cada dominio de investigación científica está anclado en la materialidad física. Los científicos son epistemológicamente promiscuos, incluso cuando sean metafísicamente frugales (ver Dupré 1993 y van Fraassen 2002, para distintas perspectivas sobre ciencia y metafísica). La pluralidad de las investigaciones biológicas motiva un pluralismo filosófico acerca de la biología, tanto respecto de los varios significados disponibles para distintos tipos de reducción epistemológica y metodológica, como respecto de la necesidad de contar con múltiples dimensiones del reduccionismo para poder asegurar la adecuación empírica con respecto a los fenómenos biológicos (Grantham 1999, Kellert et al. 2006, Looren de Jong 2006, Morange 2006, Sullivan 2009, van der Steen 1999, Wylie 1999).

Es claro que estas distintas clases de “alternativas” al reduccionismo capturan con éxito algunas características no tratadas o pasadas por alto en la reducción teórica. Sin embargo, queda abierta la pregunta de si estas alternativas suplantán las discusiones sobre el reduccionismo o si introducen alguna relación compleja en dichas discusiones (cf. Craver 2005). Las razones para sostener la última posición incluyen el continuo uso del lenguaje “reduccionista” (a favor y en contra) en la investigación biológica, así como el hecho de que una razón casi universal para rechazar la reducción y optar por una alternativa es la naturaleza problemática de la reducción *teórica*, que sólo representa un pequeño espacio de las posibilidades filosóficas para la reducción. Una interpretación de ciertas alternativas a la reducción es que son una respuesta a la complejidad de la reducción que se ha hecho más notoria durante las últimas dos décadas (v.gr., el considerar las explicaciones como inherentemente inter-nivel), y al hecho de que el uso del término “reduccionismo” por parte de los biólogos refiere a diferentes compromisos específicos en distintos casos y en distintos contextos de investigación. Así, por ejemplo, los enfoques mecanísticos son otro modo de tratar la heterogeneidad de la explicación (incluyendo aspectos reductivos y no reductivos) que fue mayormente ignorada en la literatura acerca de la reducción teórica, la cual asumía como representativos unos pocos ejemplos selectos de la investigación biológica. Esta heterogeneidad es una característica invasiva en la historia de la biología, de modo que las alternativas filosóficas a la reducción responden en parte a controversias de larga data entre investigadores de las ciencias biológicas acerca de la legitimidad de las estrategias de investigación y los modos de explicación reduccionistas (ver Sección 2). La compatibilidad o incompatibilidad entre estas varias alternativas y las diferentes visiones de la explicación en biología aún es desconocida (aunque ver Bechtel 2006, 40–44). Sin embargo, el proyecto filosófico de articular una única noción de reducción que capture los aspectos más esenciales de la estructura de las teorías y la explicación a lo largo y ancho de la biología tiene pocas probabilidades de triunfar.

6 Posibilidades futuras [↑](#)

Es posible que la discusión sobre el reduccionismo en biología se esté volviendo filosóficamente más interesante, y no al revés. Esto es consecuencia del reconocimiento del diverso paisaje conceptual tallado durante las últimas dos décadas, uno mucho mayor que el que se concebía cuando sólo el reduccionismo teórico nageliano estaba a la vista. La ciencia biológica está en la actualidad más especializada que nunca, pero la proliferación disciplinaria trae consigo problemas relevantes para cualquier análisis de la reducción: diferente uso de los mismos términos, metodologías dispares, distintas normas explicativas e intereses divergentes en los distintos “niveles” de organización biológica.

También incluye el reconocimiento de que ciertos tópicos biológicos permanentes, como el desarrollo, todavía suscitan preguntas complicadas sobre la reducción, y los nuevos campos de indagación revigorizan estas discusiones (v.gr., la apelación por parte de la biología sintética a los componentes moleculares como ladrillos “Lego” en el Registro de Partes Biológicas Estandarizadas). Los filósofos deben reconocer que un criterio de adecuación para las nociones de reduccionismo en biología involucra interpretar por qué los científicos hacen declaraciones acerca de la falla del reduccionismo en distintas áreas de las ciencias biológicas (ver, v.gr., De Backer et al. 2010).¹⁶

Asimismo, existe un creciente contacto entre la neurociencia y las investigaciones psicológicamente orientadas (Bechtel 2008, Boogerd et al. 2002, Craver 2007). Una expectativa potencial relacionada con el contacto entre la neurobiología molecular y la psicología es la introducción de consideraciones *epistémicas* en las discusiones en filosofía de la mente (Godfrey-Smith 2008). Prestar una mayor atención a los problemas de la representación, descomposición y temporalidad podría alterar la naturaleza de estos debates. Al mismo tiempo, se garantiza una evaluación más explícita de los componentes metafísicos importados a la filosofía desde la filosofía de la mente. Con el trabajo de Jaegwon Kim mediante, Rosenberg incorporó el concepto de superveniencia de Davidson treinta años atrás (Rosenberg 1978).¹⁷ Rosenberg ha utilizado el argumento de la exclusión causal de Kim (1998) para apoyar el reduccionismo en biología (Rosenberg 2006; cf. Sachse 2007). Las discusiones acerca del status de la causación y la realización descendentes en sistemas biológicos son relevantes para una mejor comprensión de la intersección entre los componentes epistemológicos y metafísicos de la reducción (Craver y Bechtel 2007, Love 2012, Robinson 2005, Wilson y Craver 2007). Por ejemplo, el interés en la sensibilidad contextual de la realización en filosofía de la mente (Wilson 2004, cap. 6) apela a cuestiones relativas a la objeción contextual, a la individuación, a la temporalidad (especialmente, causación versus constitución) y a la intrinsicalidad. Estos análisis pueden ser importados en contextos biológicos para argumentar a favor o en contra de aspectos particulares del reduccionismo (ver, v.gr., Wilson 2005).

Un punto donde se requiere más trabajo es en la relación entre las discusiones acerca de las distintas clases de jerarquía con las preguntas del reduccionismo. Las jerarquías biológicas son diversas (Grene 1987, Korn 2002, 2005), y algunas áreas de la investigación biológica, tales como la paleontología y la sistemática (Valentine y May 1996, ver también Grantham 1999, 2004a, 2004b, 2007), han sido ignoradas al considerar el reduccionismo. El prestar atención a la temporalidad motiva a explorar con más detalle las jerarquías funcionales o de control (Salthe 1985, 1993, Wimsatt 2002). Asimismo, las limitaciones al representar sistemas biológicos en términos de jerarquías deberían ser exploradas en mayor profundidad (Potochnik y McGill 2012).

Todas estas posibilidades sugieren que sería relevante para el reduccionismo un mayor escrutinio de la heterogeneidad disciplinar en la investigación biológica. Aunque la ecología ha recibido cierta consideración (Dupré 1993, cap. 5; Mikkelsen 2004), los problemas de la descomposición y representación no han recibido aún mucha atención (cf. Lafrancois 2006). Otra área de la relacionada con la reducción explicativa y los mecanismos en investigación experimental que ha sido interpretada desde una perspectiva antirreduccionista es la biología del cáncer (Bizzarri et al. 2008, Moss 2002, Soto y Sonnenschein 2005, 2006). Debido a la diversidad de explicaciones que se hallan en estas diferentes disciplinas, la naturaleza de la explicación científica vuelve para tomar represalia (cf. Schaffner 2006). Aunque sólo unos pocos reduccionistas demandan que la explicación sea estrictamente nomológica (Rosenberg 2006, Weber 2005), la sutil interacción entre la explicación y la reducción deberá probablemente ser explícitamente considerada cuando se extienda a diversas subdisciplinas biológicas. Más aun, a medida que se presta más atención a la diversidad de razonamientos investigativos (o “práctica científica”) dentro y entre estos contextos disciplinares, la interacción entre diferentes aspectos de la reducción metodológica y epistémica se vuelve más notable.

Una cuestión final refiere a si las diferentes discusiones sobre el reduccionismo en distintas ciencias interactuarán de manera fructífera. Si bien las preguntas sobre la reducción en filosofía de la física han diferido significativamente de aquellas en filosofía de la biología, se han logrado algunas conexiones. Por ejemplo, Sarkar ha abordado el reduccionismo en la mecánica cuántica utilizando su enfoque del reduccionismo forjado en contexto biológico (Jaeger y Sarkar 2003). La intersección potencial entre estas discusiones surge en torno a las relaciones entre partes y todos o temporalidad, las cuales también han sido atentamente observadas por parte de filósofos centrados en las ciencias físicas (Hüttemann 2004, Love y Hüttemann 2011, Rueger 2000, Rueger y McGivern 2010). Otra área que merece más atención es la explicación reductiva en química, que ha sido ignorada en buena medida por los filósofos de la biología

(ver, v.gr., Bishop 2010, LePoidevin 2005, Ramsey 1997, Scerri 1994, 2000).

En todos estos casos, parece claro que los debates sobre el reduccionismo en biología no han alcanzado su culminación, sino que anuncian vigorosos debates filosóficos a medida que la heterogeneidad de cuestiones relacionadas con los tres tipos de reduccionismo (ontológico, epistemológico y metodológico) se traslada a cuestiones biológicas persistentes. La tarea de los filósofos abocados al reduccionismo en biología será analizar estas promiscuidades de razonamiento y desarrollar concepciones de la reducción que ofrezcan una perspectiva más general del conocimiento biológico y de la investigación científica.

7 Bibliografía [↑](#)

Allen, G.E. 1975. *Life science in the twentieth century*. New York: Wiley.

Allchin, D. (2008), "Marxism and cell biology: can political perspective enrich science?" *American Biology Teacher* 70: 303-305.

Balzer, W., and C.M. Dawe. 1986a. "Structure and comparison of genetic theories: (1) classical genetics". *British Journal for the Philosophy of Science* 37: 55-69.

Balzer, W., and C.M. Dawe. 1986b. "Structure and comparison of genetic theories: (2) the reduction of character-factor genetics to molecular genetics". *British Journal for the Philosophy of Science* 37: 177-191.

Beatty, J. 1990. "Evolutionary anti-reductionism: historical reflections". *Biology and Philosophy* 5: 197-210.

Bechtel, W. 1986. "The nature of scientific integration". En *Integrating scientific disciplines*, editado por W. Bechtel 3-52. Dordrecht: M. Nijhoff.

Bechtel, W. 1993. "Integrating sciences by creating new disciplines: the case of cell biology". *Biology and Philosophy* 8: 277-299.

Bechtel, W. 2006. *Discovering cell mechanisms: the creation of modern cell biology*. Cambridge: Cambridge University Press.

Bechtel, W. 2008. *Mental mechanisms: philosophical perspectives on cognitive neuroscience*. London: Routledge.

Bechtel, W. 2010. "The downs and ups of mechanistic research: circadian rhythm research as an exemplar". *Erkenntnis* 73: 313-328.

Bechtel, W., and A. Abrahamsen. 2005. "Explanation: a mechanist alternative". *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 36: 412-441.

Bechtel, W. 2010. "Dynamic mechanistic explanation: computational modeling of circadian rhythms as an exemplar for cognitive science". *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 41: 321-333.

Bechtel, W. 2011. "Complex biological mechanisms: cyclic, oscillatory, and autonomous". En *Philosophy of complex systems (Handbook of the philosophy of science, Vol. 12)*, editado por C.A. Hooker, 257-285. Amsterdam: Elsevier / North Holland,

Bechtel, W., and A. Hamilton. 2007. "Reduction, integration, and the unity of science: natural, behavioral, and social sciences and the humanities". En *General philosophy of science: focal issues*, editado por T.A.F. Kuipers, 377-430. New York: Elsevier.

Bechtel, W., and R. Richardson. 1993. *Discovering complexity: decomposition and localization as strategies in scientific research*. Princeton: Princeton University Press.

- Beckner, M. 1959. *The biological way of thought*. New York: Columbia University Press.
- Bernard, C. 1957 [1865]. *An introduction to the study of experimental medicine*. Translated by H.C. Greene. New York: Dover Publications.
- Bickle, J. 2003. *Philosophy and neuroscience: a ruthlessly reductive approach*. Dordrecht: Kluwer.
- Bickle, J. 2006. "Reducing mind to molecular pathways: explicating the reductionism implicit in current cellular and molecular neuroscience". *Synthese* 151: 411-434.
- Bickle, J. 2008. "Real reduction in real neuroscience: metascience, not philosophy of science (and certainly not metaphysics!)". En *Being reduced: new essays on reduction, explanation, and causation*, editado por J. Hohwy and J. Kallestrup, 34-51. Oxford: Oxford University Press.
- Bishop, R.C. 2010. "Whence chemistry?" *Studies in the History and Philosophy of Modern Physics* 41:171-177.
- Bizzarri, M., A. Cucina, F. Conti, and F. D'Anselmi. 2008. "Beyond the oncogene paradigm: understanding complexity in cancerogenesis". *Acta Biotheoretica* 56: 173-196.
- Björkelund, H., L. Gedda, and K. Anderson. 2011. "Comparing the epidermal growth factor interaction with four different cell lines: intriguing effects imply strong dependency of cellular context". *PLoS ONE* 6:e16536.
- Boogerd, F.C., F.J. Bruggeman, J.-H.S. Hofmeyr, and H.V. Westerhoff (2007), "Towards philosophical foundations of Systems Biology: introduction". En *Systems biology: philosophical foundations*, editado por F.C. Boogerd, F.J. Bruggeman, J.-H.S. Hofmeyr, and H.V. Westerhoff, 3-19. Amsterdam: Elsevier.
- Boogerd, F.C., F.J. Bruggeman, C. Jonker, H. Looren de Jong, A. Tamminga, J. Treur, H.V. Westerhoff, and W. Wijngaards. 2002. "Inter-level relations in computer science, biology, and psychology". *Philosophical Psychology* 15: 463-471.
- Brandon, R. 1996. "Reductionism versus holism versus mechanism". En *Concepts and methods in evolutionary biology*, 179-204. Cambridge: Cambridge University Press,
- Brigandt, I. 2006. "Philosophical issues in experimental biology". *Biology and Philosophy* 21: 423-435.
- Brigandt, I. 2010. "Beyond reduction and pluralism: toward an epistemology of explanatory integration in biology". *Erkenntnis* 73: 295-311.
- Brigandt, I. 2011. "Philosophy of biology". En *The Continuum companion to the philosophy of science*, editado por S. French and J. Saatsi, 246-267. London: Continuum Press.
- Brigandt, I. 2012. "Explanation in biology: reduction, pluralism, and explanatory aims". *Science & Education*. doi:10.1007/s11191-011-9350-7
- Brigandt, I., and A.C. Love. 2010. "Evolutionary novelty and the evo-devo synthesis: field notes". *Evolutionary Biology* 37: 93-99.
- Bruggeman, F.J., H.V. Westerhoff, and F.C. Boogerd. 2002. "BioComplexity: a pluralist research strategy is necessary for a mechanistic explanation of the 'live' state". *Philosophical Psychology* 15: 411-440.
- Burian, R.M. 1993. "Unification and coherence as methodological objectives in the biological sciences". *Biology and Philosophy* 8: 301-318.
- Burian, R.M. 2004. "Molecular epigenesis, molecular pleiotropy, and molecular gene definitions". *History and Philosophy of the Life Sciences* 26: 59-80.
- Byron, J.M. 2007. "Whence philosophy of biology?" *British Journal for the Philosophy of Science* 58: 409-422.

- Camazine, S., J.-L. Deneubourg, N.R. Franks, J. Sneyd, G. Theraulaz, and E. Bonabeau. 2001. *Self-organization in biological systems*. Princeton: Princeton University Press.
- Cassirer, E. 1950. *The problem of knowledge: philosophy, science, and history since Hegel*. New Haven: Yale University Press.
- Causey, R.L. 1972a. "Attribute-identities in microreductions". *The Journal of Philosophy* 69: 407-422.
- Causey, R.L. 1972b. "Uniform microreductions". *Synthese* 25: 176-218.
- Coleman, P. 2007. "Frontier at your fingertips". *Nature* 446: 379.
- Coleman, W. 1977. *Biology in the nineteenth century: problems of form, function, and transformation*. New York: Cambridge University Press.
- Cooper, J.M. 1987. "Hypothetical necessity and natural teleology". En *Philosophical issues in Aristotle's biology*, editado por A. Gotthelf and J.G Lennox, 243-274. New York: Cambridge University Press.
- Couch, M.B. 2005. "Functional properties and convergence in biology", *Philosophy of Science* 72: 1041-1051.
- Couch, M.B. 2009. "Multiple realization in comparative perspective". *Biology & Philosophy* 24: 505-519.
- Craver, C.F. 2005. "Beyond reduction: mechanisms, multifield integration and the unity of neuroscience". *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 36: 373-395.
- Craver, C.F. 2006. "When mechanistic models explain". *Synthese* 153: 355-376.
- Craver, C.F. 2007. *Explaining the brain: mechanisms and the mosaic unity of neuroscience*. Oxford: Oxford University Press.
- Craver, C.F. 2009. "Mechanisms and natural kinds". *Philosophical Psychology* 22: 575-594.
- Craver, C.F., and W. Bechtel. 2007. "Top-down causation without top-down causes". *Biology and Philosophy* 22: 547-563.
- Culp, S., y P. Kitcher. 1989. "Theory structure and theory change in contemporary molecular biology". *British Journal for the Philosophy of Science* 40: 459-483.
- Darden, L. 2005. "Relations among fields: Mendelian, cytological and molecular mechanisms". *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 36: 349-371.
- Darden, L. 2006. *Reasoning in biological discoveries: essays on mechanisms, interfield relations, and anomaly resolution*. New York: Cambridge University Press.
- Darden, L., y C.F. Craver. 2002. "Strategies in the interfield discovery of the mechanism of protein synthesis". *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 33: 1-28.
- Darden, L., y N. Maull. 1977. "Interfield theories". *Philosophy of Science* 44: 43-64.
- Davidson, D. 1970. "Mental events". En *Experience and theory*, editado por L. Foster and J.W. Swanson, 79-101. London: Duckworth.
- Delaporte, F. (ed). 1994. *A vital rationalist: selected writings from Georges Canguilhem*. New York: Zone Books.
- Delehanty, M. 2005. "Emergent properties and the context objection to reduction". *Biology and Philosophy* 20: 715-734.

- Des Chene, D. 2001. *Spirits and clocks: machine and organism in Descartes*. Ithaca: Cornell University Press.
- De Backer, P., D. De Waele, y L. van Speybroeck. 2010. "Ins and outs of systems biology vis-à-vis molecular biology: continuation or clear-cut?". *Acta Biotheoretica* 58: 15-49.
- Dizadji-Bahmani, F., R. Frigg, y S. Hartmann. 2010. "Who's afraid of Nagelian reduction?". *Erkenntnis* 73: 393-412.
- Dowell, J.L. 2006. "Formulating the thesis of physicalism: an introduction". *Philosophical Studies* 131: 1-23.
- Drabble, M. 2006. *The sea lady: a late romance*. Orlando, FL: Harcourt.
- Dupré, J. 1993. *The disorder of things: metaphysical foundations of the disunity of science*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Elwick, J. 2007. *Styles of scientific reasoning in the British life sciences: shared assumptions, 1820-1858*. London: Pickering & Chatto.
- Fehr, C. 2004. "Feminism and science: mechanisms without reductionism". *Feminist Formations* 16: 136-156.
- Ferguson, N. 2007. "Capturing human behaviour". *Nature* 446:733.
- Feyerabend, P.K. 1962. "Explanation, reduction and empiricism". En *Scientific explanation, space, and time (Minnesota Studies in the Philosophy of Science, Vol. 3)*, editado por H. Feigl and G. Maxwell, 28-97. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Feyerabend, P.K. 1965a. "On the 'meaning' of scientific terms". *The Journal of Philosophy* 62: 266-274.
- Feyerabend, P.K. 1965b. "Problems of empiricism". En *Beyond the edge of certainty: essays in contemporary science and philosophy*, editado por R.G. Colodny, 145-260. New Jersey: Prentice-Hall.
- Fodor, J.A. 1974. "Special sciences (or: the disunity of sciences as a working hypothesis)". *Synthese* 28: 97-115.
- Fodor, J.A. 1975. *The language of thought*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Fodor, J.A. 1997. "Special sciences: still autonomous after all these years". En *Mind, causation and world (Philosophical Perspectives, Vol. 11)*, editado por J.A. Tomberlin, 149-163. Oxford: Blackwell.
- Frost-Arnold, G. 2004. "How to be an anti-reductionist about developmental biology: response to Laubichler and Wagner". *Biology and Philosophy* 19: 75-91.
- Frydman, J. 2001. "Folding of newly translated proteins in vivo: the role of molecular chaperones". *Annual Review of Biochemistry* 70: 603-647.
- Gasper, P. 1992. "Reductionism and instrumentalism in genetics". *Philosophy of Science* 59: 655-670.
- Gerson, E.H. 1998. *The American system of research: evolutionary biology, 1890-1950*. Department of Sociology. University of Chicago, Ph.D. thesis.
- Gilbert, S.F., and S. Sarkar. 2000. "Embracing complexity: organicism for the 21st century". *Developmental Dynamics* 219: 1-9.
- Gillett, C. 2002. "The dimensions of realization: a critique of the standard view". *Analysis* 62: 316-323.
- Gillett, C. 2003. "The metaphysics of realization, multiple realizability, and the special sciences". *The Journal of Philosophy* 100: 591-603.
- Gillett, C. 2010. "Moving beyond the subset model of realization: the problem of qualitative distinctness in the

metaphysics of science". *Synthese* 177: 165–192.

Glennan, S.S. 1996. "Mechanisms and the nature of causation". *Erkenntnis* 44: 49–71.

Godfrey-Smith, P. 2008. "Reduction in real life". En *Being reduced: new essays on reduction, explanation, and causation*, editado por J. Hohwy and J. Kallestrup, 52–74. Oxford: Oxford University Press.

Goldenfeld, N., and L.P. Kadanoff. 1999. "Simple lessons from complexity". *Science* 284: 87–89.

Goldenfeld, N., and C.R. Woese. 2007. "Biology's next revolution". *Nature* 445: 369.

Goldstein, K. 2000 [1934/1963]. *The organism: a holistic approach to biology derived from pathological data in man*. New York: Zone Books.

Goudge, T.A. 1961. *The ascent of life: a philosophical study of the theory of evolution*. Toronto: University of Toronto Press.

Grantham, T.A. 1999. "Explanatory pluralism in paleobiology". *Philosophy of Science* 66: S223–S236.

Grantham, T.A. 2004a. "Conceptualizing the (dis)unity of science". *Philosophy of Science* 71: 133–155.

Grantham, T.A. 2004b. "The role of fossils in phylogeny reconstruction, or why is it difficult to integrate paleontological and neontological evolutionary biology?" *Biology and Philosophy* 19: 687–720.

Grantham, T.A. 2007. "Is macroevolution more than successive rounds of microevolution?" *Palaeontology* 50: 75–85.

Grene, M. 1987. "Hierarchies in biology". *American Scientist* 75: 504–510.

Grene, M., and D. Depew. 2004. *The philosophy of biology: an episodic history*. New York: Cambridge University Press.

Griesemer, J. 2000. "Reproduction and the reduction of genetics". En *The concept of the gene in development and evolution: historical and epistemological perspectives*, editado por P. Beurton, R. Falk, and H.-J. Rheinberger, 240–285. New York: Cambridge University Press.

Griesemer, J. 2002. "Limits of reproduction: a reductionistic research strategy in evolutionary biology". En *Promises and limits of reductionism in the biomedical sciences*, editado por M.H.V. Van Regenmortel and D.L. Hull, 211–231. New York: John Wiley & Sons.

Griesemer, J. 2011. "Heuristic reductionism and the relative significance of epigenetic inheritance in evolution". En *Epigenetics: linking genotype and phenotype in development and evolution*, editado por B. Hallgrímsson and B.K. Hall, 14–40. Berkeley: University of California Press.

Guimerà, R., and L.A. Nunes Amaral. 2005. "Functional cartography of complex metabolic networks". *Nature* 433: 895–900.

Harvey, W. 1981 [1651]. *Disputations touching on the generation of animals*. Translated by G. Whitteridge. Oxford: Blackwell.

Hempel, C.G., y P. Oppenheim. 1965 [1948]. "Studies in the logic of explanation". En *Aspects of scientific explanation and other essays in the philosophy of science*, editado por C.G. Hempel, 245–290. New York: Free Press.

Hogenesch, J.B., y H.R. Ueda. 2011. "Understanding systems-level properties: timely stories from the study of clocks". *Nature Reviews Genetics* 12: 407–416.

Hooker, C.A. 1981. "Towards a general theory of reduction". *Dialogue* 20: 35–59, 201–236, 496–529.

Hooker, C.A. (ed). 2011. *Philosophy of complex systems (Handbook of the philosophy of science, Vol. 10)*. Amsterdam:

Elsevier / North Holland.

Hoyningen-Huene, P. 1989. "Epistemological reductionism in biology: intuitions, explications, and objections". En *Reductionism and systems theory in the life sciences*, editado por P. Hoyningen-Huene and F.M. Wuketits, 29-44. Dordrecht: Kluwer.

Hull, D. 1972. "Reductionism in genetics - biology or philosophy?" *Philosophy of Science* 39: 491-499.

Hull, D. 1974. *Philosophy of biological science*. New Jersey: Prentice-Hall.

Hull, D. 1976. "Informal aspects of theory reduction". En *Proceedings of the 1974 meeting of the Philosophy of Science Association*, editado por R.S. Cohen and A. Michalo, 653-670. Dordrecht: D. Reidel.

Hull, D. 1979. "Discussion: reduction in genetics". *Philosophy of Science* 46: 316-320.

Hüttemann, A. 2004. *What's wrong with microphysicalism?* London: Routledge.

Hüttemann, A., y A.C. Love. 2011. "Aspects of reductive explanation in biological science: intrinsicity, fundamentality, and temporality". *British Journal for the Philosophy of Science* 62: 519-549.

Jaeger, G., y S. Sarkar. 2003. "Coherence, entanglement, and reductionist explanation in quantum physics". En *Revisiting the foundations of relativistic physics: Festschrift in honor of John Stachel*, editado por A. Ashtekar, R.S. Cohen, D. Howard, J. Renn, S. Sarkar, and A. Shimony, 523-542. Dordrecht: Kluwer.

Kauffman, S.A. 1971. "Articulation of parts explanations in biology and the rational search for them". *Boston Studies in the Philosophy of Science* 8: 257-272.

Kauffman, S.A. 1993. *The origins of order: self-organization and selection in evolution*. New York: Oxford University Press.

Keller, E.F. 2002. *Making sense of life: explaining biological development with models, metaphors, and machines*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Keller, E.F., y H.E. Longino (eds). 1996. *Feminism and science*. Oxford: Oxford University Press.

Kellert, S.H. 1993. *In the wake of chaos: unpredictable order in dynamical systems*. Chicago: University of Chicago Press.

Kellert, S.H., H.E. Longino, y C.K. Waters. 2006. "Introduction: the pluralist stance", En *Scientific pluralism (Minnesota Studies in Philosophy of Science, Vol. 19)*, editado por S.H. Kellert, H.E. Longino, y C.K. Waters, vii-xxix. Minneapolis: University of Minnesota Press.

Kemeny, J.G., y P. Oppenheim. 1956. "On reduction". *Philosophical Studies* 7: 6-19.

Kim, J. 1992. "Multiple realization and the metaphysics of reduction". *Philosophy and Phenomenological Research* 52: 1-26.

Kim, J. 1998. *Mind in a physical world*. Cambridge, MA: MIT Press.

Kim, J. 2005. *Physicalism, or something near enough*. Princeton: Princeton University Press.

Kimbrough, S.O. 1978. "On the reduction of genetics to molecular biology". *Philosophy of Science* 46: 389-406.

Kincaid, H. 1997. *Individualism and the unity of science: essays on reduction, explanation, and the special sciences*. Lanham: Rowman and Littlefield.

Kirschner, M.W. 2005. "The meaning of systems biology". *Cell* 121: 503-504.

- Kitano, H. 2004. "Biological robustness". *Nature Reviews Genetics* 5: 826-837.
- Kitcher, P. 1984. "1953 and all that: a tale of two sciences". *Philosophical Review* 93: 335-373.
- Kitcher, P. 1999a. "The hegemony of molecular biology". *Biology and Philosophy* 14: 195-210.
- Kitcher, P. 1999b. "Unification as a regulative ideal". *Perspectives on Science* 7: 337-348.
- Korn, R.W. 2002. "Biological hierarchies, their birth, death and evolution by natural selection". *Biology and Philosophy* 17: 199-221.
- Korn, R.W. 2005. "The emergence principle in biological hierarchies". *Biology and Philosophy* 20: 137-151.
- Krohs, U., y W. Callebaut. 2007. "Data without models merging with models without data". En *Systems biology: philosophical foundations*, editado por F.C. Boogerd, F.J. Bruggeman, J.-H.S. Hofmeyr, and H.V. Westerhoff, 181-213. Amsterdam: Elsevier.
- Kuhn, T. 1962. *The structure of scientific revolutions*. Chicago: University of Chicago Press.
- Kung, C., D.M. Kenski, S.H. Dickerson, R.W. Howson, L.F. Kuyper, H.D. Madhani, y K.M. Shokat. 2005. "Chemical genomic profiling to identify intracellular targets of a multiplex kinase inhibitor". *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 102: 3587-3592.
- Lafrancois, T. 2006. *Taxonomic resolution in ecology*. Department of Philosophy. University of Minnesota, Ph.D. thesis.
- Lamarck, J.B. 1984 [1809]. *Zoological philosophy*. Chicago: University of Chicago Press.
- Laubichler, M.D., y G.P. Wagner. 2001. "How molecular is molecular developmental biology? A reply to Alex Rosenberg's Reductionism redux: computing the embryo". *Biology and Philosophy* 16: 53-68.
- Le Guyader, H. 2004. *Étienne Geoffroy Saint-Hilaire, 1772-1844: a visionary naturalist*. Chicago: University of Chicago Press.
- LePoidevin, R. 2005. "Missing elements and missing premises: a combinatorial argument for the ontological reduction of chemistry". *British Journal for the Philosophy of Science* 56: 117-134.
- Lennox, J.G. 1983. "Robert Boyle's defense of teleological inference in experimental science". *Isis* 74: 38-52.
- Lennox, J.G. 2001. *Aristotle's philosophy of biology: studies in the origin of life science*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Lennox, J.G. 2006. "The comparative study of animal development: William Harvey's Aristotelianism". En *The problem of animal generation in early modern philosophy*, editado por J.E.H. Smith, 21-46. New York: Cambridge University Press.
- Lenoir, T. 1982. *The strategy of life: teleology and mechanics in nineteenth century German biology*. Chicago: University of Chicago Press.
- Levins, R., y R. Lewontin (1985). *The dialectical biologist*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Lillie, R.S. 1934. "The problem of vital organization". *Philosophy of Science* 1: 296-312.
- Lillie, R.S. 1942. "Living systems and non-living systems". *Philosophy of Science* 9: 307-322.
- Lillie, R.S. 1948. "Some aspects of theoretical biology". *Philosophy of Science* 15: 118-134.
- Lloyd, E.A. 2002. "Reductionism in medicine: social aspects of health". En *Promises and limits of reductionism in the*

- biomedical sciences*, editado por Van Regenmortel and D.L. Hull, 67–82. New York: John Wiley & Sons.
- Loeb, J. 1912. *The mechanistic conception of life: biological essays*. Chicago: University of Chicago Press.
- Longino, H.E. 1990. *Science as social knowledge: values and objectivity in scientific inquiry*. Princeton: Princeton University Press.
- Longino, H.E. 1996. "Cognitive and non-cognitive values in science: rethinking the dichotomy". En *Feminism, Science and the Philosophy of Science*, editado por L.H. Nelson and J. Nelson, 39–58. Dordrecht: Kluwer.
- Longino, H.E. 2000. "Toward an epistemology for biological pluralism". En *Biology and epistemology*, editado por R. Creath and J. Maienschein, 261–286. Cambridge: Cambridge University Press.
- Longino, H.E. 2002. *The fate of knowledge*. Princeton: Princeton University Press.
- Look, B.C. 2006. "Blumenbach and Kant on mechanism and teleology in nature: the case of the formative drive". En *The problem of animal generation in early modern philosophy*, editado por J.E.H. Smith, 355–374. New York: Cambridge University Press.
- Looren de Jong, H. 2006. "Explicating pluralism: where the mind to molecule pathway gets off the track – reply to Bickle". *Synthese* 151: 435–443.
- Love, A.C. 2005. *Explaining evolutionary innovation and novelty: a historical and philosophical study of biological concepts*. Department of History and Philosophy of Science. University of Pittsburgh, Ph.D. thesis.
- Love, A.C. 2006. "Taking development seriously: who, what, where, why, when, how?" *Biology and Philosophy* 21: 575–589.
- Love, A.C. 2007. "The hedgehog, the fox, and reductionism in biology". *Evolution* 61: 2736–2738.
- Love, A.C. 2008. "Explaining evolutionary innovation and novelty: criteria of adequacy and multidisciplinary prerequisites". *Philosophy of Science* 75: 874–886.
- Love, A.C. 2008b. "Explaining the ontogeny of form: philosophical issues". En *The Blackwell companion to philosophy of biology*, editado por A. Plutynski y S. Sarkar, 223–247. Malden: Blackwell.
- Love, A.C. 2012. "Hierarchy, causation and explanation: ubiquity, locality and pluralism". *Interface Focus* 2: 115–125.
- Love, A.C., I. Brigandt, K. Stotz, D. Schweitzer, y A. Rosenberg. 2008. "More worry, less love?" Review symposium of Alex Rosenberg's *Darwinian reductionism: or, how to stop worrying and love molecular biology*. *Metascience* 17:1–26.
- Love, A.C. y A. Hüttemann. 2011. "Comparing part-whole explanations in biology and physics". En *Explanation, prediction, and confirmation*, editado por D. Dieks, W.J. Gonzalez, S. Hartmann, T. Uebel, y M. Weber, 183–202. Berlin: Springer.
- Machamer, P., L. Darden, y C.F. Craver. 2000. "Thinking about mechanisms". *Philosophy of Science* 67: 1–25.
- Magner, L.N. 1994. *A history of the life sciences*. New York: Marcel Dekker.
- Maienschein, J. 1991. *Transforming traditions in American biology, 1880–1915*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Maienschein, J. 2000. "Competing epistemologies and developmental biology". En *Biology and epistemology*, editado por Creath and J. Maienschein, 122–137. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mauil, N.L. 1977. "Unifying science without reduction". *Studies in History and Philosophy of Science* 8: 143–162.

- Mayr, E. 2004. *What makes biology unique? Considerations on the autonomy of a scientific discipline*. New York: Cambridge University Press.
- McKirahan, R.D., Jr. 1978. "Aristotle's subordinate sciences". *British Journal for the History of Science* 11: 197-220.
- McKirahan, R.D., Jr. 1992. *Principles and proofs: Aristotle's theory of demonstrative science*. Princeton: Princeton University Press.
- Mikkelsen, G.M. 2004. "Biological diversity, ecological stability, and downward causation". En *Philosophy and biodiversity*, editado por M. Oksanen and J. Pietarinen 119-129. New York: Cambridge University Press.
- Mitchell, S.D. 2002. "Integrative pluralism". *Biology and Philosophy* 17: 55-70.
- Mitchell, S.D. 2003. *Biological complexity and integrative pluralism*. New York: Cambridge University Press.
- Mitchell, S.D. 2009. *Unsimple truths: science, complexity, and policy*. Chicago: University of Chicago Press.
- Morange, M. 2006. "Post-genomics, between reduction and emergence". *Synthese* 151: 355-360.
- Moss, L. 2002. *What genes can't do*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Nagel, E. 1949. "The meaning of reduction in the natural sciences". En *Science and civilization*, editado por R.C. Stauffer, 99-138. Madison: University of Wisconsin Press.
- Nagel, E. 1961. *The structure of science: problems in the logic of scientific explanation*. New York: Harcourt, Brace & World.
- Nagel, T. 1998. "Reductionism and antireductionism". En *The limits of reductionism in biology*, editado por G.R. Bock and J.A. Goode, 3-10. Chichester: John Wiley & Sons.
- Needham, J. 1936. *Order and life*. Cambridge and London: MIT Press.
- Nickles, T. 1973. "Two concepts of intertheoretic reduction". *The Journal of Philosophy* 70: 181-201.
- Noble, D. 1998. "Reduction and integration in understanding the heart". En *The limits of reductionism in biology*, editado por G.R. Bock and J.A. Goode, 56-72. Chichester: John Wiley & Sons.
- Noble, D. 2006. *The music of life: biology beyond genes*. New York: Oxford University Press.
- O'Malley, M.A., y O.S. Soyer. 2012. "The roles of integration in molecular systems biology". *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 43: 58-68.
- Okasha, S. 2006. *Evolution and the levels of selection*. Oxford: Oxford University Press.
- Oppenheim, P., y H. Putnam. 1958. "The unity of science as a working hypothesis". En *Concepts, theories, and the mind-body problem (Minnesota Studies in the Philosophy of Science, Vol. 2)*, editado por H. Feigl, M. Scriven y G. Maxwell, 3-36. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Polanyi, M. 1968. "Life's irreducible structure". *Science* 160: 1308-1312.
- Popa, T.M. 2005. *Aristotle on material dispositions in Meteorology IV*. Department of Classics, University of Pittsburgh, Ph.D. thesis.
- Potochnik, A. 2011. "A Neurathian conception of the unity of science". *Erkenntnis* 74: 305-319.
- Potochnik, A., y B. McGill. 2012. "The limitations of hierarchical thinking." *Philosophy of Science* 79: 120-140.

- Putnam, H. 1975. "Philosophy and our mental life". En *Mind, language, and reality (Philosophical papers, Vol. 2)*, 291-303. Cambridge: Cambridge University Press.
- Ramsey, J.L. 1997. "Molecular shape, reduction, explanation and approximate concepts". *Synthese* 111: 233-251.
- Richards, R.J. 2000. "Kant and Blumenbach on the *Bildungstrieb*: a historical misunderstanding", *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 31: 11-32.
- Repko, A.F. 2008. *Interdisciplinary research: process and theory*. Thousand Oaks: Sage Publications.
- Robert, J.S. 2004. *Embryology, epigenesis, and evolution: taking development seriously*. New York: Cambridge University Press.
- Robinson, W.S. 2005. "Zooming in on downward causation". *Biology and Philosophy* 20: 117-136.
- Rosenberg, A. 1978. "The supervenience of biological concepts". *Philosophy of Science* 45: 368-386.
- Rosenberg, A. 1985. *The structure of biological science*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Rosenberg, A. 1994. *Instrumental biology or the disunity of science*. Chicago: University of Chicago Press.
- Rosenberg, A. 1997. "Reductionism redux: computing the embryo". *Biology and Philosophy* 12: 445-470.
- Rosenberg, A. 2006. *Darwinian reductionism: or, how to stop worrying and love molecular biology*. Chicago: University of Chicago Press.
- Rueger, A. 2000. "Physical emergence, diachronic and synchronic". *Synthese* 124: 297-322.
- Rueger, A., y P. McGivern. 2010. "Hierarchies and levels of reality". *Synthese* 176: 379-397.
- Ruse, M. 1971. "Reduction, replacement, and molecular biology". *Dialectica* 25: 39-72.
- Ruse, M. 1976. "Reduction in genetics". En *Proceedings of the 1974 meeting of the Philosophy of Science Association*, editado por R.S. Cohen y A. Michalos, 633-651. Dordrecht: D. Reidel.
- Russell, E.S. 1970 [1930]. *The interpretation of development and heredity: a study in biological method*. Freeport: Books for Libraries Press.
- Sachse, C. 2007. *Reductionism in the philosophy of science*. Frankfurt: Ontos Verlag.
- Salmon, W.C. 1971. *Statistical explanation and statistical relevance*. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press.
- Salthe, S.N. 1985. *Evolving hierarchical systems: their structure and representation*. New York: Columbia University Press.
- Salthe, S.N. 1993. *Development and evolution: complexity and change in biology*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Sankey, H. 1994. *The incommensurability thesis*. Brookfield: Ashgate Publishing.
- Sarkar, S. 1992. "Models of reduction and categories of reductionism". *Synthese* 91: 167-194.
- Sarkar, S. 1998. *Genetics and reductionism*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Sarkar, S. 2005 [1991]. "Reductionism and functional explanation in molecular biology", in *Molecular models of life: philosophical papers on molecular biology*, 117-144. Cambridge: MIT Press.
- Scerri, E.R. 1994. "Has quantum chemistry been at least approximately reduced to quantum mechanics?" En

- Proceedings of the biennial meeting of the Philosophy of Science Association, Vol. 1*, editado por D. Hull, M. Forbes, and R. Burian, 160-170. East Lansing: Philosophy of Science Association.
- Scerri, E.R. 2000. "The failure of reduction and how to resist disunity of the sciences in the context of chemical education", *Science & Education* 9: 405-425.
- Schaffner, K.F. 1967. "Approaches to reduction". *Philosophy of Science* 34: 137-147.
- Schaffner, K.F. 1969. "The Watson-Crick model and reductionism". *British Journal for the Philosophy of Science* 20: 325-348.
- Schaffner, K.F. 1974. "The peripherality of reductionism in the development of molecular biology". *Journal of the History of Biology* 7: 111-139.
- Schaffner, K.F. 1976. "Reductionism in biology: prospects and problems". En *Proceedings of the 1974 meeting of the Philosophy of Science Association*, editado por R.S. Cohen y A. Michalos, 613-632. Dordrecht: D. Reidel.
- Schaffner, K.F. 1993. *Discovery and explanation in biology and medicine*. Chicago: University of Chicago Press.
- Schaffner, K.F. 1996. "Theory structure and knowledge representation in molecular biology". En *The philosophy and history of molecular biology: new perspectives*, editado por S. Sarkar, 27-46. Dordrecht: Kluwer.
- Schaffner, K.F. 2006. "Reduction: the Cheshire cat problem and a return to roots". *Synthese* 151: 377-402.
- Singer, E.A., Jr. 1934. "Beyond mechanism and vitalism". *Philosophy of Science* 1: 273-295.
- Singer, E.A., Jr. 1946. "Mechanism, vitalism, naturalism: a logico-historical study". *Philosophy of Science* 13: 81-99.
- Sklar, L. 1967. "Types of inter-theoretic reduction". *British Journal for the Philosophy of Science* 18: 109-124.
- Slack, J.M.W. 2006. *Essential developmental biology* (2nd ed). Malden: Blackwell.
- Sloan, P.R., (ed). 1992. *Richard Owen: the Hunterian lectures in comparative anatomy, May and June 1837*. Chicago: University of Chicago Press.
- Smith, J.E.H., (ed). 2006. *The problem of animal generation in early modern philosophy*. New York: Cambridge University Press.
- Sober, E. 1999. "The multiple realizability argument against reductionism". *Philosophy of Science* 66: 542-564.
- Soto, A.M., y C. Sonnenschein. 2005. "Emergentism as a default: cancer as a problem of tissue organization". *Journal of Biosciences* 30: 103-119.
- Soto, A.M., y C. Sonnenschein. 2006. "Emergentism by default: a view from the bench". *Synthese* 151: 361-376.
- Stotz, K. 2006a. "Molecular epigenesis: distributed specificity as a break in the central dogma". *History and Philosophy of the Life Sciences* 28: 527-544.
- Stotz, K. 2006b. "With 'genes' like that, who needs an environment? Postgenomics's argument for the 'ontogeny of information'". *Philosophy of Science* 73: 905-917.
- Strevens, M. 2008. *Depth: an account of scientific explanation*. Harvard, Harvard University Press.
- Sullivan, J.A. 2009. "The multiplicity of experimental protocols: a challenge to reductionist and non-reductionist models of the unity of neuroscience". *Synthese* 167: 511-539.
- Suppes, P. 1957. *Introduction to logic*. Princeton: Van Nostrand.

- Szostak, R. 2002. "How to do interdisciplinarity: integrating the debate". *Issues in Integrative Studies* 20:103-122.
- Szostak, R. 2009. *The causes of economic growth: interdisciplinary perspectives*. Berlin: Springer.
- Tabery, J.G. 2004. "Synthesizing activities and interactions in the concept of a mechanism". *Philosophy of Science* 71: 1-15.
- Thompson, D'A.W. 1992 [1917/1942]. *On growth and form*. New York: Dover Publications.
- Valentine, J.W., y C.L. May. 1996. "Hierarchies in biology and paleontology". *Paleobiology* 22: 23-33.
- Vance, R.E. 1996. "Heroic antireductionism and genetics: a tale of one science". *Philosophy of Science* 63: S36-S45.
- van der Steen, W. J. 1993. "Towards disciplinary disintegration in biology". *Biology and Philosophy* 8: 259-275.
- van Fraassen, B. 2002. *The empirical stance*. New Haven: Yale University Press.
- von Bertalanffy, L. 1933. *Modern theories of development: an introduction to theoretical biology*. London: Oxford University Press.
- Walter, S., and M. Eronen. 2011. "Reduction, multiple realizability and levels of reality". En *The Continuum companion to the philosophy of science*, editado por S. French and J. Saatsi, 138-156. London: Continuum Press.
- Waters, C.K. 1990. "Why the antireductionist consensus won't survive the case of classical Mendelian genetics". En *Proceedings of the biennial meeting of the Philosophy of Science Association*, Vol. 1, editado por A. Fine, M. Forbes, y L. Wessels, 125-139. East Lansing: Philosophy of Science Association.
- Waters, C.K. 1994. "Genes made molecular". *Philosophy of Science* 61: 163-185.
- Waters, C.K. 2000. "Molecules made biological". *Revue Internationale de Philosophie* 4: 539-564.
- Waters, C.K. 2004. "What was classical genetics?" *Studies in History and Philosophy of Science* 35: 783-809.
- Waters, C.K. 2007. "Causes that make a difference". *The Journal of Philosophy* 104: 551-579.
- Waters, C.K. 2008. "Beyond theoretical reduction and layer-cake antireduction: how DNA retooled genetics and transformed biological practice". En *The Oxford handbook of philosophy of biology*, editado por M. Ruse, 238-262. New York: Oxford University Press.
- Weber, M. 2005. *Philosophy of experimental biology*. New York: Cambridge University Press.
- Weber, M. 2008. "Causes without mechanisms: experimental regularities, physical laws, and neuroscientific explanation". *Philosophy of Science* 75: 995-1007.
- Weiskopf, D.A. 2011. "The functional unity of special science kinds". *British Journal for Philosophy of Science* 62: 233-258.
- Westerhoff, H.V., y D.B. Kell. 2007. "The methodologies of systems biology". En *Systems biology: philosophical foundations*, editado por F.C. Boogerd, F.J. Bruggeman, J.-H.S. Hofmeyr, y H.V. Westerhoff, 23-70. Amsterdam: Elsevier.
- Whitesides, G.M., y R.F. Ismagilov. 1999. "Complexity in chemistry". *Science* 284: 89-92.
- Wilson, R.A. 2004. *Boundaries of the mind: the individual in the fragile sciences: cognition*. New York: Cambridge University Press.
- Wilson, R.A. 2005. *Genes and the agents of life: the individual in the fragile sciences: biology*. New York: Cambridge

University Press.

Wilson, R.A., y C.F. Craver. 2007. "Realization". En *Philosophy of psychology and cognitive science (Handbook of the philosophy of science, Vol. 12)*, editado por P. Thagard, 31-54. Amsterdam: Elsevier / North Holland.

Wimsatt, W.C. 1974. "Complexity and organization". En *Proceedings of the 1972 meeting of the Philosophy of Science Association*, editado por K.F. Schaffner and R.S. Cohen, 67-86. Dordrecht: D. Reidel.

Wimsatt, W.C. 1976a. "Reductionism, levels of organization and the mind-body problem". En *Consciousness and the brain: scientific and philosophic strategies*, editado por G. Globus, G. Maxwell, and I. Savodnik, 205-267. New York: Plenum Press.

Wimsatt, W.C. 1976b. "Reductive explanation: a functional account". En *Proceedings of the 1974 meeting of the Philosophy of Science Association*, editado por R.S. Cohen y A. Michalos, 671-710. Dordrecht: D. Reidel.

Wimsatt, W.C. 1979. "Reductionism and reduction". En *Current research in philosophy of science*, editado por P.D. Asquith and H.E. Kyburg, 352-377. East Lansing: Philosophy of Science Association.

Wimsatt, W.C. 1980. "Reductionistic research strategies and their biases in the units of selection controversy". En *Scientific discovery: case studies*, editado por T. Nickles 213-259. Dordrecht: D. Reidel.

Wimsatt, W.C. 1986. "Forms of aggregativity". En *Human nature and natural knowledge*, editado por A. Donagan, A.N. Perovich, Jr., y M.V. Wedin, Dordrecht: Reidel, 259-291.

Wimsatt, W.C. 1997. "Aggregativity: reductive heuristics for finding emergence". *Philosophy of Science* 64: S372-S384.

Wimsatt, W.C. 2002. "Functional organization, analogy, and inference". En *Functions: new essays in the philosophy of psychology and biology*, editado por A. Ariew, R. Cummins, y M. Perlman, 173-221. New York: Oxford University Press.

Wimsatt, W.C. 2006. "Reductionism and its heuristics: making methodological reductionism honest". *Synthese* 151: 445-475.

Wimsatt, W.C. 2007. *Re-engineering philosophy for limited beings: piecewise approximations to reality*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Winther, R.G. 2006. "Parts and theories in compositional biology". *Biology and Philosophy* 21: 471-499.

Winther, R.G. 2009. "Schaffner's model of theory reduction: critique and reconstruction". *Philosophy of Science* 76: 119-142.

Winther, R.G. 2011. "Part-whole science". *Synthese* 178: 397-427.

Wolf, A., (ed). 1966. *The correspondence of Spinoza*. New York: Russell & Russell.

Woodger, J.H. 1929. *Biological principles: a critical study*. New York: Harcourt.

Woodward, J. 2003. *Making things happen: a theory of causal explanation*. Oxford: Oxford University Press.

Woodward, J. 1952. *Biology and language*. Cambridge: Cambridge University Press.

Wouters, A. 2005. "The functions debate in philosophy". *Acta Biotheoretica* 53: 123-151.

Wylie, A. 1999. "Rethinking unity as a 'working hypothesis' for philosophy of science: how archeologists exploit the disunities of science". *Perspectives on Science* 7: 293-317.

Yashiro, K., H. Shiratori, y H. Hamada. 2007. "Haemodynamics determined by a genetic programme govern

asymmetric development of the aortic arch". *Nature* 450: 285–288.

Zuckert, R. 2010. *Kant on beauty and biology: an interpretation of the 'Critique of Judgment'*. Cambridge: Cambridge University Press.

8 Notas [↑](#)

1. James Griesemer (2000, 2002, 2011) argumenta a favor de un uso heurístico de la reducción en el intento por parte de los científicos de relacionar diferentes teorías y modelos entre sí. Aunque este enfoque es claramente metodológico, no focaliza en cómo los científicos descubren mecanismos moleculares o cómo desarrollan explicaciones reductivas de todos en términos de partes. Por lo tanto, es diferente del sentido de reduccionismo metodológico utilizado en esta entrada. [Volver al texto](#).

2. El problema de la reducción ha jugado un papel sustancial tanto en filosofía de la mente como en filosofía de las ciencias sociales. En la primera, una pregunta central es si y en qué sentido los fenómenos mentales pueden reducirse a los fenómenos físicos. Los filósofos de la mente han desarrollado explicaciones sofisticadas que se concentran en reducción ontológica y constitución mereológica (v.gr., superveniencia; ver Kim 1998, 2005). En filosofía de las ciencias sociales, las preguntas clave incluyen si fenómenos sociales pueden explicarse únicamente en términos de la interacción de individuos, si diferentes campos de las ciencias sociales pueden reducirse a la economía, y si las ciencias sociales como un todo pueden reducirse a una o más ciencias naturales (Kincaid 1997). Sin importar si la reducción es considerada en filosofía de la biología, filosofía de la mente o filosofía de las ciencias sociales, ideas y argumentos similares se han utilizado en estos diferentes campos (v.gr., realizabilidad múltiple, ver Sección 4.2). [Volver al texto](#).

3. Vamos ahora, si usted quiere, a imaginar que un pequeño gusano vive en la sangre, cuya visión está lo suficientemente afilada para distinguir partículas de sangre, linfa, etc., y su razón para observar cómo cada parte colisiona con otra o rebota, o comunica una parte de su propio movimiento, etc. Ese gusano viviría en esta sangre como nosotros vivimos en esta parte del universo, y consideraría cada partícula de sangre como un todo y no como una parte. Y él podría no saber cómo todas las partes están controladas por la naturaleza universal de la sangre, y cómo las partes son forzadas, como la naturaleza universal de la sangre lo demanda, a adaptarse unas a otras, de manera de armonizar unas con otras de una manera determinada. Porque si imaginamos que no hay causas fuera de la sangre que comuniquen nuevos movimientos a la sangre, y que fuera de la sangre no hay espacio ni otro cuerpo al cual las partículas de la sangre pudieran transferir su movimiento, es cierto que la sangre permanecería siempre en su estado, y sus partículas no sufrirían ningún otro cambio que aquel que puede ser concebido a partir de las relaciones dadas del movimiento de la sangre a la linfa y al chile, etc., y así la sangre sería siempre considerada como un todo y no una parte. Pero, ya que hay muchísimas otras causas que en cierta manera controlan las leyes de la naturaleza de la sangre, y son a su vez controladas por la sangre, ocurre que, por lo tanto, otros movimientos y otros cambios tienen lugar en la sangre, lo cual resulta no sólo de la mera relación del movimiento de sus partes unas a otras, sino de la relación del movimiento de la sangre y también de las causas externas a otro: de esta manera, la sangre tiene el carácter de una parte y no de un todo... todos los cuerpos de la naturaleza pueden y deberían concebirse en la manera en la que hemos considerado aquí a la sangre" (Spinoza a Oldenburg, Carta 32; Wolf 1966, 210-211). [Volver al texto](#).

4. "Ahora, es verdad que los elementos últimos de la materia organizada son precisamente aquellos que entran en composición con las sustancias desorganizadas: pero por la operación de un poder, distinto al de la gravitación, la atracción molecular o cualquiera de los agentes imponderables conocidos que operan sobre la sustancia desorganizada, estos elementos asumen combinaciones de un carácter esencialmente diferentes al de aquellos que resultan de las afinidades químicas ordinarias" (Owen, *Hunterian Classes* [1837] en Sloan 1992, 209). [Volver al texto](#).

5. La separación de la discusión sobre las relaciones entre dominios de la ciencia (reducción *teórica* nageliana) y las relaciones entre partes y todos en biología (reducción *explicativa*) que ocurrió a mediados del siglo XX se ve concretamente en el libro *Philosophy of Biological Science* (1974) de David Hull. El capítulo 1 es precisamente una

discusión famosa que atañe a las dificultades de reducción teórica efectiva entre la genética molecular y la genética clásica, pero el capítulo 5, “Organicismo y reduccionismo”, ha sido relativamente poco atendido. Este incluye un muy variado conjunto de temas, incluyendo vitalismo, organización biológica y complejidad, y las relaciones entre partes y todos en sistemas vivos. [Volver al texto.](#)

6. El argumento de Rosenberg contiene muchas premisas controversiales, tales como la necesidad de leyes estrictas en la explicación biológica, y la distinción entre biología funcional y biología molecular (para críticas, ver Love 2007, Love et al. 2008). La intersección entre la selección natural y la biología molecular para el reduccionismo explicativo ha sido explorada por Sarkar (2005 [1991]) con mucho menos optimismo. [Volver al texto.](#)

7. Por ejemplo, “el contexto celular es importante cuando se descifra cómo interactúa el EGF [factor de crecimiento epidérmico] con el EGFR [receptor de factor de crecimiento epidérmico]. Desde una perspectiva general, se recomienda precaución al generalizar los resultados de las interacciones ligando-receptor en múltiples líneas celulares” (Björkelund et al. 2011, 1). Además, “Los agentes que se enlazan a la enzima catalizando la reacción pueden influenciar la constante de Michaelis [que describe la cinética de la reacción enzimática]. Todos los componentes de la misma célula viva pueden, de ese modo, afectar el rol que juega la enzima en el comportamiento de la célula, incluyendo los componentes que todavía no se conocen” (Westerhoff y Kell 2007, 37-38). [Volver al texto.](#)

8. En el debate acerca de las relaciones entre la genética clásica y la molecular, Philip Gasper (1992) llama a esto “superveniencia múltiple” para contrastarla con la realización múltiple. Un modo diferente de expresar un punto similar es que las entidades y procesos biológicos (incluyendo los moleculares) a menudo poseen sus propiedades causales *extrínsecamente* (i. e., debido a características externas al portador de la propiedad). Por ejemplo, un segmento particular de ADN es un gen como consecuencia de su habilidad para codificar un producto funcional, que depende tanto de elementos de ADN externos a este gen como de factores no genéticos. Por lo tanto, ser un gen es una propiedad de un segmento de ADN, pero es una propiedad extrínseca. [Volver al texto.](#)

9. La derivación demandada por la reducción teórica para el caso de la biología molecular requiere que las premisas contengan una especificación del contexto *total* puramente *molecular*. Aunque Nagel y Schaffner han desarrollado la noción de reducción teórica, no han mostrado cómo se puede efectuar la reducción molecular. Incluso la defensa más detallada de la reducción por parte de Schaffner (1993) se centra en la condición de conectabilidad, que ofrece una explicación parcial de cómo hay que relacionar el *predicado* “dominancia” usado en genética clásica con expresiones de la bioquímica. Pero no ofrece ningún ejemplo de un *enunciado* de alto nivel que sea deducido de alguna teoría de nivel inferior, y la reducción teórica requiere que se satisfaga la *condición de derivabilidad*. El debate en torno al modelo de Schaffner se ha centrado principalmente en la condición de conectabilidad, especialmente, en la pregunta de si es posible una caracterización molecular de la noción de gen clásico. Sin embargo, como lo deja en claro Hull (1974), un crítico de la reducción teórica no necesita más que argumentar en contra de la conectabilidad como una condición *necesaria* de la reducción, mientras que el reduccionista tiene que defender la derivabilidad además de la conectabilidad. [Volver al texto.](#)

10. Una de las respuestas de Schaffner a Hull respecto de la objeción uno-muchos es que el contexto molecular de un mecanismo puede ser incluido en las premisas en la medida en que importa. Wimsatt (1976a) señala correctamente que acentuar la inclusión del contexto es algo que dependerá siempre de cómo se individúen los mecanismos (Hüttemann y Love 2011; ver Sección 4.3). La decisión de Schaffner de incluir el contexto total implica que dos situaciones posibles cualesquiera tendrán configuraciones moleculares generales distintas, pero otros ven esto como el mismo mecanismo en diferentes contextos. La generalidad requiere tratar partes de diferentes configuraciones moleculares particulares como instanciando el mismo tipo de mecanismo. La otra cara de esta necesidad de generalidad es que el mismo tipo de mecanismo puede tener lugar en diferentes contextos, posiblemente con un efecto diferente. Este sentido de las relaciones uno-muchos entre clases moleculares y de nivel superior no necesariamente imposibilita algunos tipos de reducción, pero las explicaciones en biología molecular deben ser sensibles a los problemas epistémicos asociados. [Volver al texto.](#)

11. Las leyes de nivel superior pueden tener excepciones: v.gr., si M_d , una de las clases moleculares que realizan S , no causa ninguno de los realizadores N_1, \dots, N_j de T . Waters (1990) ha argumentado que explicar una excepción semejante requiere apelar al nivel molecular y, por lo tanto, es una forma de reduccionismo. Esto contrasta con la argumentación de Fodor (1974) que un enfoque reduccionista motiva la eliminación de la generalidad de nivel

superior en favor de las leyes sin excepciones del nivel inferior. Pero los científicos a menudo aceptan leyes de nivel superior a pesar de las excepciones que requieren apelar al nivel molecular, precisamente porque apuntan a dar cuenta de ambas situaciones, las de nivel inferior y superior. [Volver al texto.](#)

12. Las nociones de realizabilidad múltiple y superveniencia fueron originalmente desarrolladas en filosofía de la mente como parte de un reduccionismo no reductivo acerca de los fenómenos mentales. Se ha cuestionado si estos conceptos dan cuenta adecuadamente de la relación entre los fenómenos físicos y los mentales (Kim 1992, 1998). El estatus de la realización múltiple en filosofía actualmente es materia de debate y podría depender de ciertos compromisos metafísicos acerca del concepto de realización (Gillett 2002, 2003, 2010). La "realización" asume diferentes roles en las discusiones científicas y filosóficas (Wilson y Craver 2007) y la importancia de estas diferencias no ha sido todavía analizada para las situaciones de múltiple realización que se discuten frecuentemente en filosofía de la biología. Los ejemplos biológicos usados en estas discusiones filosóficas, como los ojos, no han sido tratados con el cuidado y precisión adecuados (Couch 2005, 2009). [Volver al texto.](#)

13. "De entre más de un millón de especies animales, la biología del desarrollo moderna se ha centrado sólo en un pequeño número, a menudo descrito como 'organismos modelo'. Esto se debe a que la motivación para su estudio no es simplemente entender cómo se desarrolla ese animal particular, sino usarlo como un ejemplo de cómo se desarrollan todos los animales." (Slack 2006, 61). [Volver al texto.](#)

14. Una objeción menos común concierne a si los dominios a ser reductivamente relacionados son realmente distintos. Por ejemplo, Russell Vance (1996) ha argumentado en contra de la premisa de que la genética clásica y la molecular sean campos o teorías separados (v.gr., "la genética es el área de la ciencia biológica que más se presta a la concepción del filósofo de la reducción científica. La razón principal de esto es que en genética hay dos teorías, cuerpos de leyes, expresiones de regularidad claramente identificables: una molecular y una no molecular" [Rosenberg 1985, 90]). Mientras que esto socava los intentos globales de relacionar reductivamente la genética clásica y la genética molecular, y modula cómo deben entenderse las explicaciones reductivas locales, su impacto más general puede ser visto como una advertencia contra la presunción de que dos áreas de la biología son distintas en la práctica o distinguibles en principio (como usualmente ocurre en la reducción teórica). No se puede simplemente asumir una individuación. [Volver al texto.](#)

15. Por ejemplo, algunas explicaciones en biología del desarrollo parecen basarse en representaciones temporales que no apuntan a la organización temporal de los mecanismos (e. g., estadios normales). Si esto es así, el problema de la temporalidad en las explicaciones no puede ser reducido al problema de la temporalidad en un mecanismo. Además, un cambio cualitativo en la ontogenia, por el cual emergen estructuras novedosas a partir de distintos precursores del desarrollo, no parece fácilmente susceptible de ser abordado mecanísticamente. "Mecanismo" ha sido también defendido por aquellos que discuten el reduccionismo en el contexto de la biología evolutiva (Brandon 1996). [Volver al texto.](#)

16. E. g.: "El corazón es un excelente ejemplo tanto de los enormes avances que se han hecho usando el enfoque reductivo, como de los límites severos de este enfoque" (Noble 1998, 56); "Nuestros resultados sugieren que las respuestas celulares inducidas por múltiple de inhibidores de proteína quinasa podrían ser una propiedad emergente que no puede ser comprendida en su totalidad si se considera sólo la suma de las interacciones inhibidor-quinasa individuales (Kung et al. 2005, 3587); "Nuestros resultados, por lo tanto, señalan la necesidad de considerar cada red biológica compleja como un todo, en lugar de concentrarse en propiedades locales" (Guimerà y Nunes Amaral 2005, 899); "La robustez... es uno de los fenómenos a nivel del sistema fundamentales y extendidos que no puede ser comprendido atendiendo a los componentes individuales" (Kitano 2004, 826); "El reduccionismo molecular que dominó la biología del siglo veinte será sobrepasado por un enfoque interdisciplinario que abarque fenómenos colectivos" (Goldenfeld y Woese 2007, 369); "Comprender la dinámica de la transmisión de enfermedades infecciosas demanda un enfoque holístico, pero el modelo actual ignora bastante el modo como las epidemias cambian los comportamientos individuales" (Ferguson 2007, 733); "El comportamiento colectivo de la materia puede dar lugar a propiedades emergentes asombrosas que señalan al nexo entre la biología y la física" (Coleman 2007, 379); "Después de varias décadas dominadas por los enfoques reduccionistas en biología, los investigadores están retornando al estudio de la biología compleja con un catálogo de técnicas nuevas y viejas" (Hogenesch y Ueda 2011, 407). Noble se ocupa de esta veta con la extensión del formato de libro (2006). [Volver al texto.](#)

17. "La formalización de la superveniencia empleada aquí es la aplicación de una sugerida por Jaegwon Kim" (Rosenberg 1978, 373). Haciendo referencia al artículo de Kim "Nomological Incommensurables" (presentado en el *Oberlin Colloquium* de 1977), Rosenberg continúa en una nota al pie: "Lo que le debo a este artículo de ninguna manera se limita a su explicación de la superveniencia. De hecho, toda la perspectiva adoptada aquí con respecto a la relación entre las teorías involucradas en una reducción, y el determinismo causal y mereológico que esta relación conlleva, están inspiradas por este artículo. ... El lector debe remitirse al artículo de Kim para una explicación de la superveniencia y su rol en la ética, la estética, y la filosofía de la mente en general". [Volver al texto](#).

9 Cómo Citar [↑](#)

Brigandt, Ingo y Love, Alan. 2018. "Reduccionismo en biología". En Diccionario Interdisciplinar Austral, editado por Claudia E. Vanney, Ignacio Silva y Juan F. Franck. URL=http://dia.austral.edu.ar/Reduccionismo_en_biología

10 Derechos de autor [↑](#)

Voz "Reduccionismo en biología", traducción autorizada de la entrada "[Reductionism in Biology](#)" de la *Stanford Encyclopedia of Philosophy (SEP)* © 2018. La traducción corresponde a la entrada de los archivos de la SEP, la que puede diferir de la versión actual por haber sido actualizada desde el momento de la traducción. La versión actual está disponible en <https://plato.stanford.edu/entries/reduction-biology/>

El DIA agradece a SEP la autorización para efectuar y publicar la presente traducción.

Traducción a cargo de María José Ferreira Ruiz. DERECHOS RESERVADOS Diccionario Interdisciplinar Austral © Instituto de Filosofía - Universidad Austral - Claudia E. Vanney - 2018.

ISSN: 2524-941X

11 Herramientas académicas [↑](#)

Entradas relacionadas

[Filosofía de la biología](#)

[Relaciones interteóricas](#)

Propiedades emergentes

12 Agradecimientos [↑](#)

A Tom Doyle, Andreas Hüttemann, Ken Waters, Rob Wilson, y a dos referees anónimos que aportaron útiles sugerencias a una versión previa de esta entrada. Gracias a Naomi Scheman por su sugerencia de consultar el libro de Margaret Drabble, *The Sea Lady*. Apreciamos la valiosa devolución recibida por parte de muchos colegas a una versión previa de esta entrada. El trabajo de Ingo Brigandt al escribir este ensayo fue financiado con una beca Posdoctoral Izaak Walton Killam Memorial por Killam Trusts de Canada y un Standard Research Grant 410-2008-0400 por [Social Sciences and Humanities Research Council of Canada](#). El trabajo de Alan Love en la revisión de este ensayo fue financiado en parte por una subvención de la John Templeton Foundation ("Complexity, emergence and reductionism:

toward a multilevel integrative analysis of the brain and cognition”; ID 24426).