



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN FILOSOFÍA DE LA CIENCIA**

CAUSALIDAD Y EXPLICACIONES MULTINIVEL EN BIOLOGÍA

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE
MAESTRO EN FILOSOFÍA DE LA CIENCIA

PRESENTA:
AGNI SOSA ARANDA

Director de Tesis:
Dr. Maximiliano Martínez Bohórquez
Departamento de Humanidades, UAM Cuajimalpa



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

Agradezco con profundo respeto al Posgrado de Filosofía de la Ciencia, la Facultad de Filosofía y Letras y al Instituto de Investigaciones Filosóficas de UNAM por el apoyo y el conocimiento brindado.

De igual manera, agradezco a todo mi jurado cuyas importantes correcciones y comentarios ayudaron a dar forma a este trabajo. Me refiero a la Dra. Siobhan Fenella Guerrero McManus, a la Dra. Vivette García Deister, Al Dr. Alfonso Arroyo Santos y al Dr. Godfrey Guillaumin Juárez. Gracias por su atenta revisión.

Finalmente, agradezco, en especial, a mi tutor el Dr. Maximiliano Martínez Bohórquez pro haberme guiado durante todo el proceso de este trabajo. Sus aportes como tutor y guía fueron siempre de importancia fundamental para completar esta tesis. Muchas gracias por dirigirme en este proyecto.

Finalmente, agradezco a mis padres y a mi hermana por su apoyo y cariño incondicional.

Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN	1
1. NIVELES DE ORGANIZACIÓN	5
2. REDUCCIONISMO EN BIOLOGÍA	10
2.1 REDUCCIONISMO Y EXPLICACIÓN	10
2.2 MECANICISMO Y REDUCCIONISMO	15
2.3 EL CASO DE LA BIOLOGÍA.	19
3. CRÍTICAS AL REDUCCIONISMO EN BIOLOGÍA.	23
3.1 REALIZACIÓN MÚLTIPLE	24
3.2 LOS FENÓMENOS BIOLÓGICOS SON DEPENDIENTES DEL CONTEXTO.	27
3.3 REDUCCIONISMO METODOLÓGICO.	30
3.4 ELIMINATIVISMO Y REDUCCIONISMO	31
3.5 MECANICISMO.	32
3.6 ¿QUÉ TIPO DE FENÓMENOS NECESITAN UNA APROXIMACIÓN HOLISTA?	34
4. EMERGENTISMO	38
4.1 PROPIEDADES EMERGENTES.	38
4.2 CRÍTICAS AL EMERGENTISMO	43
4.3 EMERGENTISMO Y EXPLICACIONES MULTINIVEL.	46
5. EXPLICACIONES Y CAUSALIDAD MULTINIVEL EN BIOLOGÍA.	52
5.1 ¿QUE ES CAUSALIDAD MULTINIVEL?	56
5.2 CAUSALIDAD MULTINIVEL: IDEAS GENERALES.	66
6. CONCLUSIONES.	80
7. REFERENCIAS	82

Introducción

Mientras el debate entre reduccionismo y vitalismo terminó con la instauración de muchos de los principios del reduccionismo en las ciencias del siglo XX, de cara a una ciencia con un creciente interés por el estudio de los sistemas complejos y una filosofía de la ciencia cada vez más preocupada por temas propios de las ciencias especiales, un nuevo resurgimiento de ideas anti reduccionistas ha proliferado no solo en el ámbito de la filosofía, sino también en el de la ciencia. En la actualidad, quizás no se busque acabar con las explicaciones reduccionistas, mismas que han probado ser útiles y necesarias en distintas disciplinas científicas, pero sí se pretende delimitar sus alcances y criticar la regla presunta de que las explicaciones reduccionistas son, por fuerza, las únicas explicaciones de interés científico y las únicas explicaciones con utilidad epistémica.

Esto, por supuesto, ha llevado a la recuperación de antiguos opositores del reduccionismo, que, sin embargo, son pretendidamente más sofisticados que el vitalismo. Estoy hablando, por supuesto, del emergentismo o fisicalismo no-reduccionista. El emergentismo pretende mostrar el por qué de la autonomía epistémica de las ciencias especiales con respecto a la física, sin por eso tener que abandonar un monismo físico. Esta condición está dada por el concepto de propiedad emergente. Una propiedad emergente depende de una base física pero no es reducible a la misma. Las propiedades emergentes son propiedades sistémicas, que, si bien se encuentran en una relación de dependencia con respecto a las propiedades de aquellos elementos que componen un sistema, son irreducibles a dichos elementos pues son propiedades novedosas no derivables de las propiedades basales. Esta idea provee de una caracterización propia y robusta a cada nivel de organización, así como permite cierta autonomía epistémica¹ a diferentes disciplinas científicas, entre ellas, la biología.

¹ Como veremos, una autonomía epistémica también puede ser justificada por la imposibilidad real de explicar fenómenos complejos apelando únicamente a la física y la biología molecular, dado las limitaciones prácticas para realizar dicha tarea. Sin embargo, es importante mencionar el concepto de propiedades emergentes que se considera marca de la complejidad de los fenómenos estudiados por ciencias especiales, y también porque es posible definir a las propiedades emergentes dentro del marco de la explicación multinivel.

En asociación al concepto de propiedad emergente existe el concepto de causalidad² descendente, mismo que permite mostrar cómo las propiedades emergentes también determinan causalmente a los elementos que conforman un sistema dado, construyendo, de esta manera, un mundo complejo dividido en distintos niveles que interactúan entre sí. Así, en el mundo hay moléculas, células, organismos enteros, mentes y sociedades, y en cada nivel de complejidad podemos identificar propiedades y patrones propios e irreductibles que interactúan de forma dinámica con los elementos, propiedades y patrones de otros niveles.

Particularmente, se ha detectado una explosión del uso de este tipo de vocabulario en biología. Sí bien, lo que los biólogos refieren como emergente no necesariamente corresponde con las perspectivas filosóficas. Es cierto que es común que se hable de “propiedades” o fenómenos emergentes y de explicación “*top-down*” (explicaciones descendentes). Esto muestra un interés propio de estos científicos por:

- a) Tener conceptos más adecuados para comprender con mayor fineza las particularidades de la complejidad biológica, y
- b) Obtener metodologías más integrativas que se separen de un reduccionismo sistemático como el que se trató de aplicar a la biología durante buena parte del siglo XX.³

Esta búsqueda por nuevos enfoques ha llevado a pensar a la biología como una disciplina fuertemente compatible con una visión holística de explicación, es decir, una que busque integrar varios niveles de explicación y que tome al sistema entero como un punto de partida para explicar un fenómeno; una explicación que no solo se enfoque en los componentes más básicos. Es por esta razón, que muchos consideran que las explicaciones reduccionistas tienen límites concretos en su aplicación biológica.

² Algunos autores utilizan el término causación descendente castellanizado de la expresión en inglés *downward causation*, pero en este trabajo utilizaré el término causalidad descendente que es un sinónimo.

³ Por supuesto, el enfoque anti reduccionista no es nuevo en filosofía de la biología y, de hecho, en las disciplinas biológicas tampoco, pues existe una larga tradición de oposición al reduccionismo de la Biología a la Física. El desarrollo de la Biología en Sistemas y las Ciencias de la Complejidad han dado una nueva cara a este debate (Fang, 2011; Wolkenhauer y Muir, 2011). La cuestión de si la biología en sistemas logra la promesa de una visión holística de lo biológico, es aún discutida. Sin embargo, es cierto, que el concepto de propiedades emergentes en biología supone un reduccionismo ontológico donde las propiedades emergentes pueden ser estudiadas desde sistemas físicos no-lineales, pero, al mismo tiempo, muestra los límites de un reduccionismo de la biología a la física en sus dimensiones epistémicas y metodológicas. Cómo veremos, el emergentismo que se plantea en explicaciones multinivel es un emergentismo “débil”, que no inválida un reduccionismo ontológico.

Para retomar estas intenciones, diferentes autores han empezado a desarrollar los conceptos de explicación multinivel y causalidad multinivel, conceptos que implican una interacción dinámica y de retroalimentación entre diversos niveles del fenómeno biológico. En este trabajo, mi objetivo será mostrar la importancia de desarrollar conceptos como explicación multinivel y causalidad multinivel dentro del contexto de las ciencias biológicas donde el estudio de fenómenos complejos requiere de aproximaciones holistas, así como realizar una revisión de diferentes propuestas que se tienen para describir el concepto de causalidad multinivel, analizar qué aspectos las unen, y concluir sobre qué posibilidades tienen estas propuestas para lidiar con nuevas perspectivas en biología. Siguiendo el trabajo de Martínez (2013), describiré las perspectivas de distintos autores sobre explicación y causalidad multinivel. Tomando en cuenta que la esencia de las explicaciones multinivel en biología es conectar causalmente distintos niveles (Martínez, 2013), ya sea de forma descendente o ascendente, o incluso en otros sentidos (Noble, 2006), revisaré autores que utilizan distintos términos para referirse a causalidad multinivel (Martínez, 2013). Revisaré específicamente los trabajos de El-Hani y Emmeche (2000), Emmeche et al. (2000), Moreno y Umerez (2000), Noble (2006) y Trewavas (2006), que tratan causalidad descendente; El-Hani y Queiroz (2005) hablan de determinación descendente; Soto y Sonnenschein (2005), causalidad circular; Riedl (2005), causalidad retroalimentativa; Laland et al. (2008), causalidad recíproca; Ellis (2009), causalidad de arriba abajo; y finalmente Martínez y Moya (2011) que usan el término causalidad multinivel.

En el capítulo 1, discutiré el concepto de niveles de organización y cómo es fundamental para entender el debate entre reduccionismo y emergentismo, y a su vez, cómo se relaciona con la búsqueda de explicaciones multinivel. En el capítulo 2, analizaré el papel que el reduccionismo ha jugado en la biología y cómo se formó una práctica reduccionista estándar en ciencias biológicas. En el capítulo 3, mostraré algunas de las razones por las que un reduccionismo estricto puede resultar inadecuado para abordar el problema de la complejidad biológica. En el capítulo 4, hablaré sobre el emergentismo como una base conceptual que fomenta la búsqueda de explicaciones multinivel en biología. Finalmente, en el capítulo 5, describiré la generalidad de los conceptos de explicación multinivel y causalidad multinivel en el contexto de biología y describiré distintas propuestas para entender que implica una causalidad con distintas direcciones (no solo bottom-up). Por último, reflexionaré sobre qué puntos tienen en común las diferentes propuestas y cómo

estos aspectos básicos aportan al concepto de explicación multinivel, para posteriormente concluir sobre las perspectivas filosóficas de estos conceptos. Me concentraré en cómo estas propuestas plantean el problema de la causalidad descendente, en el debate reduccionismo vs emergentismo y en desarrollar implicaciones para niveles de organización en biología.

1. Niveles de organización

El concepto clásico de niveles de organización implica que la naturaleza está dividida de acuerdo a categorías bien diferenciadas que demarcan como está estructurada la realidad (Brooks, DiFrisco y Wimsatt, 2020). Particularmente, estas categorías reflejan el grado de complejidad de las diferentes entidades y/o sistemas del universo. Aunque el término *complejidad* puede tener diferentes acepciones dependiendo de la disciplina que lo use, aquí me refiero a complejidad en el sentido de un sistema que posee un conjunto de elementos interdependientes entre sí y con cierto grado organización constitutiva. Por ejemplo, un organismo vivo representa un sistema con un grado alto de organización, está compuesto de múltiples elementos a diferentes escalas y se mantiene como un sistema unido durante cierto período de tiempo. Por esta razón, cuando hablamos de niveles de organización estamos hablando de los diferentes dominios que compone el espectro de organización de nuestro universo.

Según autores como Oppenheim y Putnam (1958), este espectro de niveles coincide (aunque sea de forma general) con como hemos delimitado nuestros campos de estudio. Entonces, tenemos: partículas subatómicas, átomos, moléculas, células, tejidos, órganos, organismos enteros y sistemas sociales. Por otro lado, está la física que engloba lo material más los fenómenos relacionales que implican cambio físico; la química que engloba el estudio de las sustancias y su capacidad reactiva; la biología que estudia los sistemas vivos; la psicología que estudia los sistemas cognitivos y mentales, principalmente del ser humano; y la sociología, antropología y demás ciencias sociales que estudian la sociedad humana. Cuando se habla de niveles de organización, suele pensarse que estos se ordenan de forma anillada desde el más fundamental (partículas subatómicas) hasta el más complejo como pueden ser las sociedades humanas (Oppenheim y Putnam, 1958), y que existe cierta conexión causal entre niveles adyacentes. Sin embargo, este concepto, en apariencia tan evidente, está lejos de estar bien definido.

El concepto de niveles de organización procede desde la antigua Grecia (Eronen y Brooks, 2018) pero las nociones modernas tienen más que ver con los debates desarrollados por los organicistas del siglo XX (Eronen y Brooks, 2018) cuyas ideas son centrales para las concepciones vitalistas (ahora en desuso) y las emergentistas. Posteriormente, autores como Joseph Woodger, Ludwing von Bertalanffy y Joshep

Needham comenzaron a tratar de definir el concepto de niveles de organización, aunque hasta el momento no existe una única definición bien aceptada.

Se considera que criterios como el tamaño o la escala pueden ayudar a definir y demarcar niveles, sin embargo, por sí mismos no llevan siempre a conclusiones deseadas y no son suficientes para ordenar entidades de acuerdo a su nivel de organización. Por otro lado, sí se han planteado propuestas distintas para delimitar niveles de organización y se pueden distinguir tres principales.

La primera es la propuesta de Oppenheim y Putnam (1958) que se corresponde con el esquema de niveles anillados en donde se distinguen 6 niveles diferentes (partículas subatómicas, átomos, moléculas, células, organismos y sociedades) y se entiende que los niveles superiores están compuestos por elementos de los niveles inferiores. Lo cierto, es que esta parece ser una visión muy simple de la naturaleza y no se corresponde lo suficiente con la gran diversidad de disciplinas científicas que existen, tanto que tenemos cosas como la biología que abarca varios niveles y también niveles que son objeto de estudio de múltiples disciplinas (Eronen, 2011).

La segunda es la de niveles mecanicista (Craver, 2007; Bechtel, 2008) en donde cada nivel es definido conforme a la relación parte-todo entre un mecanismo X y las partes que lo conforman, por lo que cada nivel queda definido por el fenómeno de relevancia. Esta definición puede tener ventajas al momento de aplicarla al estudio de la práctica científica y es particularmente compatible con algunos preceptos de una explicación multinivel. Un problema podría ser la dificultad de establecer que elementos de un mecanismo pertenecen a un mismo nivel, pues los componentes de un mecanismo concreto pueden pertenecer a escalas muy diversas, y también, es cierto que elementos que estrictamente se encuentran fuera de un mecanismo X pueden ser de la misma escala que los componentes (Eronen y Brooks, 2018).

Finalmente, está la propuesta de Wimsatt (1976; 1994; 2007) la cual es considerada la más detallada. Para Wimsatt, los niveles de organización representan “verdaderas” divisiones del mundo, sin embargo, no son delimitaciones completamente claras, sino que representan un *cluster* de patrones y criterios interrelacionados. Según esta idea, existen patrones y regularidades que pueden servir como base de la predicción y la explicación, y dichos patrones y regularidades, suelen concentrarse a ciertas escalas, y a su vez, esas concentraciones indican donde existen niveles de organización (Eronen y Brooks, 2018).

Para Wimsatt, los niveles pueden quedar definidos si se grafica predictibilidad contra escala en un mapa de fases. Esto generaría una serie de puntos máximos (máximos locales), mismos que demarcarían el agrupamiento de ciertos patrones, y esto, a su vez, correspondería a las marcas de diferentes niveles de organización (Figura 1). Estos patrones se dan porque, según Wimsatt, las entidades que pertenecen a un mismo nivel suelen interactuar más, ser del mismo tamaño y tener propiedades dinámicas similares, entre otros criterios de agrupación. Sin embargo, uno de sus problemas más claros, es que, si hablamos de causalidad, no es evidente que de verdad las entidades de un mismo nivel tiendan a interactuar más entre sí (Eronen, 2011).⁴

Por supuesto, esta falta de claridad en lo que significa, o más bien, en como se puede delimitar un nivel de organización, ha producido que muchos autores consideren este concepto como innecesario o equivocado (Eronen, 2013, 2015; Guttman, 1976; Potochnik y McGill, 2012; Thalos, 2013). Simplemente, la naturaleza parece ser muy compleja y diversa como para organizar todo en categorías bien definidas de organización. El concepto de niveles de organización no solo necesita que se pueda dar una referencia clara de cómo dividir la naturaleza, sino que también, estos niveles sean universales y continuos a lo largo de toda nuestra realidad, pero esto no parece ser el caso (Potochnik y McGill, 2012). Más aun, lo que define un nivel como relevante dentro de la investigación científica depende del objeto de interés que quiere ser explicado y la perspectiva disciplinar desde donde se está construyendo la explicación, por lo que la estructura por niveles suele variar conforme el estudio científico (Eronen y Brooks, 2018).

Aunque no existe un consenso filosófico general sobre como definir que es un nivel de organización y si puede ser delimitado, sin duda es un concepto importante no solo en filosofía sino también en biología. Aunque el concepto de niveles de organización en biología opera distinto que la filosofía de la ciencia, los niveles de organización son un punto de discusión importante en ciencias biológicas, particularmente, en disciplinas como biología evolutiva y ecología (Grene, 1987; Griesemer; 2000; Okasha, 2006; Allen y Hoekstra, 1990). También sirven para adentrar al biólogo en formación a temas de

⁴ Otras opciones de definición de niveles de organización son: la propuesta de Kim (1992; 1998), en donde los niveles se pueden definir según la relación de superveniencia de las propiedades de niveles superiores sobre la base de las propiedades de las partes que los componen; y también está la noción de robustez (Ver: Eronen, 2011) que podría indicar que un nivel de organización se diferencia en tanto sea robusto, es decir, que sean accesibles (medibles, detectables y definibles) de acuerdo a una multitud de métodos diferentes.

epistemología de las ciencias biológicas. Por ejemplo: informar la aparente existencia de propiedades emergentes en los sistemas biológicos, mostrar las diferentes aproximaciones reductivistas y no reductivistas para analizar fenómenos biológicos, y mostrar la sensibilidad al contexto de los problemas biológicos (Eronen y Brooks, 2018).

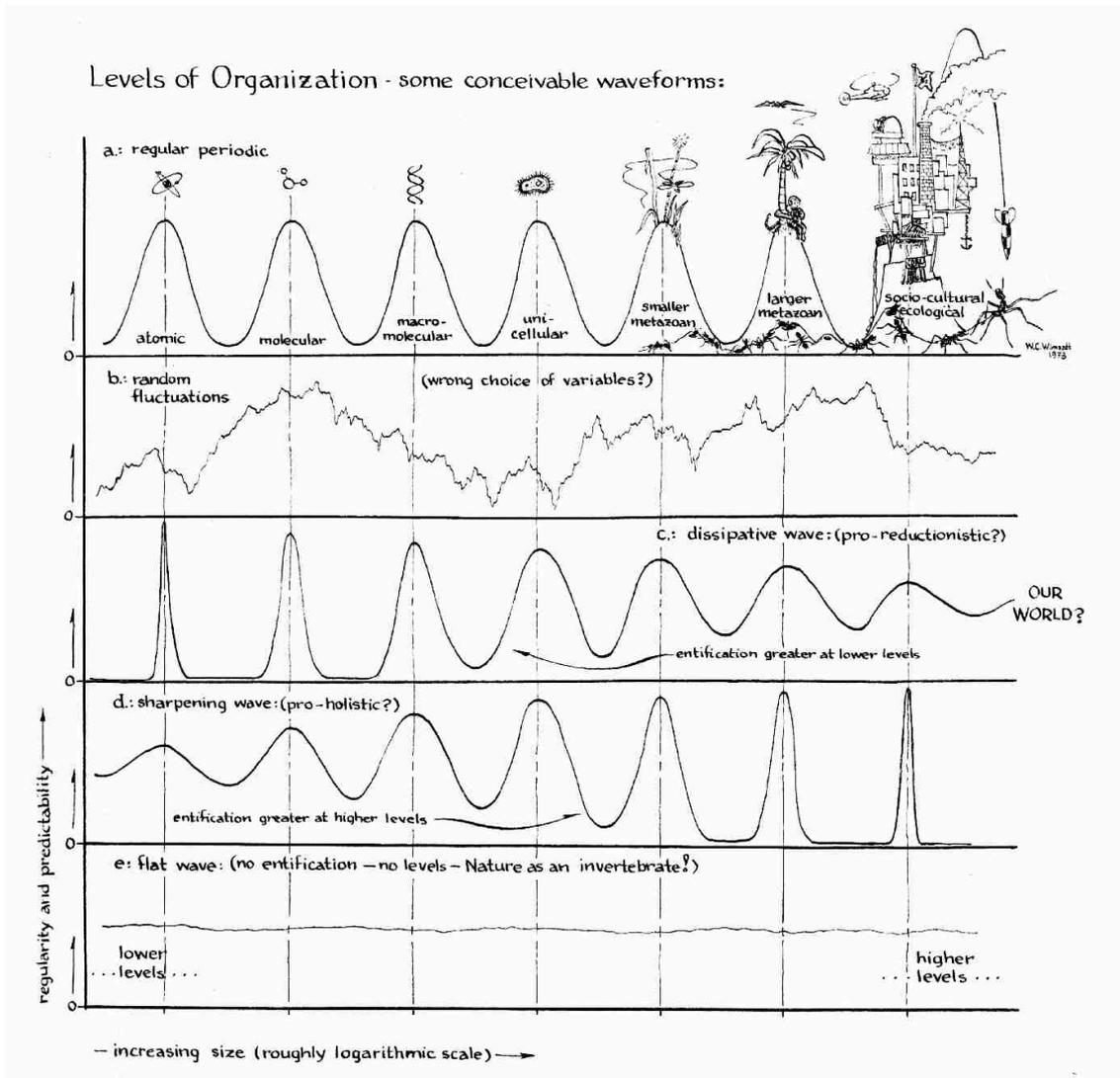


Figura 1. Diagrama de William C. Wimsatt (Wimsatt, 2007 p. 224-225) representando los máximos locales después de graficar regularidad y predictibilidad contra tamaño de escala.

El concepto de niveles de organización en biología se ha construido, tradicionalmente, de manera menos rígida que en filosofía. En este caso, no se busca desarrollar un sistema anillado de niveles completamente distintos o perfectamente delimitados, sino que se ha buscado adaptar un concepto de niveles integrativo que permita una intersección cercana entre niveles, lo suficientemente maleable para satisfacer las necesidades de distintas perspectivas de investigación (Novikoff, 1945; Rowe, 1961; Buss, 1987). Más aún, en biología, explicar fenómenos en función de su nivel de organización no es siempre el

objetivo principal; muchas veces el origen de una organización jerárquica por niveles es precisamente lo que se necesita entender desde el proceso de la evolución orgánica de la complejidad (Buss, 1987; McManus, 2012).

El concepto de niveles de organización es central al debate entre reduccionismo y anti-reduccionismo, pues delimita cómo se fundamenta una explicación o una teoría. Desde el esquema reduccionista, entender a la naturaleza como dividida de acuerdo a niveles de organización, permite explicar la complejidad de los sistemas naturales apelando a una base fundamental cuyos principios son derivables a cualquier escala. Usualmente se busca que este nivel reductor sea al nivel de microestructura (moléculas, átomos, partículas subatómicas, genes, individuos, neuronas, entre otros). Para el caso del emergentismo, la necesidad de distinguir entre niveles de organización es equivalente o quizás mayor, pues el proyecto basa la autonomía conceptual de cada disciplina, así como el uso de herramientas epistémicas específicas para el estudio de la complejidad biológica, en la determinación concreta de niveles emergentes para los cuales aplican teorías específicas no reducibles a la física.

En el caso de la causalidad multinivel, el tener una idea concreta de que son los diferentes niveles de organización, es obviamente fundamental. Por supuesto, es posible entender el concepto de causalidad multinivel sin tener una única y aceptada definición de que delimita un nivel en específico. Para propósitos del presente trabajo, basta con asumir que la naturaleza esta organizada de tal forma que algunos de sus subsistemas poseen una mayor complejidad que otros y que estos distintos grados de complejidad se corresponde de manera más o menos robusta con distintos niveles de estudio en biología. A continuación, abordaré el proyecto reduccionista en biología y como ha tendido a focalizar la explicación en el nivel molecular y genético durante buena parte del siglo XX.

2. Reduccionismo en biología.

El debate entre el reduccionismo científico y el anti reduccionismo ha perdurado por una gran cantidad de tiempo. En el caso de la biología, este puede rastrearse hasta el siglo XVIII, con un apogeo a finales del siglo XIX y principios del XX. El debate ha vuelto a resurgir a la luz de nuevos programas científicos en torno al estudio de la complejidad y el comportamiento sistémico. En este capítulo delinearé la naturaleza de la visión reduccionista en biología. En el apartado 2.1, explicaré la relación entre reducción y explicación en ciencia y como se ha tratado de llevar este modelo a todas las disciplinas científicas. En el 2.2, analizaré el papel de la explicación mecanicista, modelo que posee puntos en común con el reduccionismo. En el apartado 2.3, me centraré en el reduccionismo en biología.

2.1 Reduccionismo y explicación⁵

El concepto de reduccionismo posee un apartado especial en filosofía de la ciencia. Si bien aún se discute cual es la forma conceptual más precisa de reducción científica, reducir implica relacionar dos aspectos del conocimiento científico, tal que el elemento reductor sea la base del elemento reducido y el elemento reducido no “sea nada por encima” de su reductor. Así, intentar reducir, por ejemplo, los aspectos mentales a los estados cerebrales, significaría que los estados mentales no existen sobre y más allá de los estados cerebrales (Smart, 1959). De alguna manera, si la tesis reduccionista es cierta, los estados mentales no solo se producen debido a la fisiología neuronal, sino que solo son una manifestación del complejo funcionamiento del cerebro y no existe una característica o una propiedad novedosa que aplique únicamente a eso que llamamos mente. En ese sentido, reducir puede significar que algo sea descrito exclusivamente en

⁵ El tema de la explicación científica es un tema central de la filosofía de la ciencia y un nodo del que se desprenden muchas líneas de investigación filosófica. Se han ofrecido distintas versiones sobre qué significa explicar en ciencia. Entre ellas, destacan las explicaciones por reducción, las explicaciones mecánico causales, la teoría estadística de la explicación y la teoría de la unificación. En este trabajo, se abordarán las explicaciones reduccionistas, pues han sido un aspecto distintivo del desarrollo contemporáneo de la biología y dado que este tipo de explicaciones están vinculadas al aspecto multinivel de los fenómenos biológicos. De igual forma, se utiliza la concepción mecánico-causal de explicación pues esta última es central para las propuestas de explicación multinivel en biología. Las explicaciones multinivel suelen asumir la existencia de relaciones causales a distintos niveles, así como que la dirección causal de fenómenos complejos es diversa. En este caso, encontrar las causas multidireccionales de los fenómenos biológicos, que son fenómenos complejos, es lo que permite explicar lo biológico como sistemas multinivel. Sí bien, causalidad y explicación no son lo mismo, en los modelos de explicación causal se plantea que explicar es equivalente a explicitar las causas de un fenómeno. Este tipo de perspectiva de explicación científica también ha sido fundamental en el desarrollo de la biología contemporánea.

función de sus partes, o que las propiedades del conjunto estén dadas solo por las partes, o que, incluso, aunque sea epistemológicamente válido hablar de propiedades de sistemas enteros, su naturaleza básica está en las partes que conforman dicho sistema.

Sí bien esta presentación de lo que puede significar “reducir” aplica principalmente a propiedades de entidades, la noción de reducción en ciencia suele aplicar a teorías, modelos y conceptos. Las nociones reduccionistas tienen tanto un componente ontológico como uno epistemológico (Ayala, 1974). La línea que divide estas nociones no es necesariamente clara pues “reducir”, por ejemplo, propiedades sistémicas a propiedades basales puede implicar que existe algún tipo de relación “natural” (ya sea causal, mecánica, nomológica o explicativa) entre partes básicas y el elemento a reducir, pero también implica una forma de describir epistémicamente diferentes elementos de interés científico. Cabe notar que buena parte de la filosofía de la ciencia del siglo XX se ha enfocado en utilizar el concepto de reducción para dar cuenta de relaciones interteóricas, como pueden ser: el remplazo de viejas teorías por nuevas teorías; el aumento total de conocimiento científico; modificaciones teóricas, por ejemplo, la eliminación de conceptos sin uso científico (Kemeny & Oppenheim 1956) así como la búsqueda de una unidad teórica entre disciplinas científicas. Esta última idea se basa principalmente en la premisa que todas las disciplinas científicas (sociología, psicología y biología) derivan epistémicamente de la física. Si bien esta perspectiva de unidad teórica de la ciencia también puede interpretarse conforme a la proposición de que fundamentalmente solo existe un tipo de fenómenos y todos ellos son físicos, la reducción interdisciplinas se considera típicamente parte del reduccionismo epistémico (Brigandt y Love, 2017).

En este sentido, otro concepto ampliamente relacionado con reduccionismo es el de explicación. De manera clásica se ha entendido al reduccionismo como una forma de explicación científica, donde reducir, por ejemplo, una teoría, implica deducir sus postulados a partir de una teoría más básica, lo que dejaría a la teoría reducida, como explicada por la nueva teoría. Este proceso deductivo no es otra cosa que el modelo Nomológico-deductivo de explicación, donde el *explanandum* debe seguirse lógicamente de los *explanans* (Nagel, 1961; Hempel y Oppenheim, 1965)⁶. Cabe notar que Sarkar (1992) propone un modelo más general de reducción (aunque el mismo reconoce que

⁶ Desde el postivismo lógico se han desarrollado formas sofisticadas de reducción interteórica y explicación reductiva, pero tratarlas con detalle está más allá del objetivo del presente trabajo. Para mayor información Ver: Causey, 1977, y Schaffner, 1967.

aplica específicamente a la biología molecular) que hace distinción en lo que nombra reduccionismos de teoría y reduccionismo explicativos. Los reduccionismos explicativos no requieren una definición formal de teoría y pueden aplicarse con más precisión a diferentes programas de investigación en biología. De igual manera son más estrictos a pesar de no ser tan formales como los reduccionismos de teoría, pues dejan fuera ejemplos que los reduccionismos de teoría no alcanzan a cubrir. Bajo la propuesta de Sarkar, la reducción explicativa solo requiere del uso exclusivo de las partes del fenómeno para ser explicado, que estas estén construidas frente a un marco comprobado a partir de leyes o experimentos físicos, y que la reducción se aplique sobre fenómenos que se corresponden entre niveles. Una explicación reductiva, entonces, también puede dar cuenta de propiedades, relaciones o fenómenos a partir de los elementos constitutivos de dichas propiedades, relaciones o fenómenos. Ejemplos de esto pueden ser la mecánica estadística que sirve para explicar postulados de la termodinámica, o quizás la biología molecular que sirve para explicar fenómenos de la genética clásica (Sarkar 1992; Brigandt y Love, 2017).

Lo cierto es que no existe una sola forma de caracterizar una explicación como reductiva y cuando los científicos discuten y aplican explicaciones reduccionistas, ellos utilizan sus propias interpretaciones. Kaiser (2011) realizó un análisis sobre cómo es que los científicos de ciencias biológicas hacen referencia a una metodología reduccionista. Ella distingue tres características que pueden delimitar a lo que se refiere una explicación reductiva en ciencia:

- A) Descomposición y explicación del todo por las partes: Kaiser explica que, generalmente, cuando se hace referencia a una metodología de explicación reduccionista, se está aplicando un proceso de análisis por descomposición donde se identifican las partes relevantes de un sistema cuyo comportamiento es suficiente para explicar el conjunto entero. Se espera que, si exitoso, este análisis dé cuenta cómo ciertas partes conectan explicativamente con el sistema completo; por ejemplo, cómo la identificación total de los genes (las partes) puede explicar la diversidad de fenotipos. Este tipo de explicación que va desde las partes (niveles inferiores) hacia el “todo” (nivel superior) también es conocido como “*bottom-up*” o de abajo hacia arriba (Sorger, 2005), en tanto la dirección de la explicación va de lo “basal” a lo “global”. Es importante mencionar que, en su versión más extrema, las explicaciones reductivas apelan directamente a los niveles más fundamentales.

En el caso de las ciencias biológicas, se considera que este nivel fundamental corresponde con el nivel molecular y genético. Kaiser nombra a este tipo de explicación reductiva como “reducción a nivel fundamental” en donde se entiende que todas las explicaciones reductivas finalmente están basadas en un nivel que fundamenta todos los demás. Ella misma contrasta esta noción con la de otros autores (Machamer et al, 2000; Huttemann y Love, 2001), quienes consideran que toda explicación reductiva se plantea un nivel fundamental, y que, aunque este nivel basal sea relativo a X fenómeno biológico, puede, entonces, considerarse como explicación reductiva fundamental. En este sentido, cualquier nivel biológico (genético, fisiológico, neurofisiológico, entre otros), podría, en principio, ser considerado fundamental dependiendo de qué se quiera explicar. A Kaiser, sin embargo, le parece que cuando se habla de reducción fundamental en ciencias biológicas se está apuntando directamente a la biología molecular y la genética, niveles desde donde se analiza por descomposición. Su argumento es que no toda explicación reductiva debe ser fundamental para ser considerada reductiva, basta con que mantenga una relación explicativa que vaya de las partes al todo como puede ocurrir en ecología o biología evolutiva, disciplinas que no necesariamente tienen que apelar al nivel genético o molecular para proveer explicaciones reductivas.

- B) Centrarse en factores internos como explicativos: No basta el análisis de las partes del sistema por descomposición para hablar de explicaciones reductivas en ciencias biológicas. Es común, también, que las explicaciones reductivas tiendan a focalizarse en elementos que son internos a un sistema bien delimitado en contraposición a elementos que pertenecen al ambiente. La manera con la que lidian las explicaciones reductivas con estos factores ambientales es negándoles una importancia crucial (eliminación) o simplificándolos (control de variables) al máximo para evaluar de manera certera los aspectos internos, las partes de un sistema cualquiera.

Esta noción trata a los organismos, por ejemplo, como sistemas cerrados o semicerrados que pueden ser estudiados conforme sus propiedades internas, es decir, las propiedades que están demarcadas espacialmente “dentro” de los límites del organismo. Kaiser reconoce que no todas las explicaciones reductivas implican solo factores internos. Por ejemplo, en el caso de la señalización intercelular se necesita

de proteínas y otras sustancias que activen los receptores de las membranas celulares. Estos elementos serían externos a las células tomadas como el sistema de interés, sin embargo, se encontrarían en el mismo nivel de organización que el de los componentes químicos celulares, por lo que seguirían siendo parte de una explicación reductiva *bottom-up*. De cualquier manera, parece que las explicaciones reductivas tratan de concentrarse en factores internos y minimizar los factores ambientales al momento de lidiar explicativamente con un fenómeno.

- C) Estudio de las partes por separado: La tercera característica está muy conectada a la descomposición de las partes de un sistema, sin embargo, puede separarse de la descomposición como idea. Para algunos autores las explicaciones reduccionistas también implican la recomendación de estudiar las partes de un sistema de forma “aislada” (Chong y Ray, 2002; Levins y Lewontin, 1980).

Kaiser profundiza sobre lo que puede significar estudiar partes aisladas de un sistema. Como bien menciona, estudiar un objeto como si fuera una parte sin contacto o relación con nada más, es prácticamente imposible, y ni siquiera es la intención de quienes quieren reducir un fenómeno a sus partes. Por supuesto, estudiar las partes de algo también implica entender al menos un conjunto de sus propiedades relacionales. Kaiser piensa que esta noción de investigar partes de manera aislada se refiere más concretamente a estudiar el comportamiento de dichas partes *ex situ* (fuera del contexto del sistema que son parte) en vez de *in situ* (dentro del contexto del sistema del que forman parte). Investigar partes de forma aislada, entonces, quiere decir no preocuparse por el papel que pueda jugar el sistema completo y en cambio, solo focalizarse en las propiedades que puedan exhibir un conjunto limitado de elementos bajo condiciones simplificadas y no sistémicas. Esta recomendación metodológica podría considerarse la tercera característica general de las explicaciones reduccionistas en el contexto de las ciencias biológicas.

La propuesta de reducción desarrollada por los positivistas lógicos ha sido criticada (entre otras razones) por parecer únicamente aplicable a las ciencias físicas y ser demasiado restrictivo en el caso de las ciencias especiales (biología, psicología, sociología, entre otras). Esto se debe a que el reduccionismo Nageliano⁷ requiere de teorías altamente

⁷ El modelo de reducción de Ernest Nagel es quizás el más famoso y uno de los más detallados. Es el clásico modelo de reducción interteórica donde una teoría reductora sirve como base para reducir a otra menos

formales y hace uso de leyes generales, sendas características que son difíciles de encontrar en las ciencias bio-psico-sociales (Mitchel, 2000). De igual manera, el modelo Nageliano puede ser demasiado exigente, lo que hace sea muy difícil encontrar dos teorías que puedan reducirse de forma precisa según el propio modelo. Además, tiene problemas cuando una teoría es reductora de otra y al mismo tiempo la corrige, como sucede entre la física de Einstein y la física de Newton (Eronen, 2011 p.17). Es por todas estas razones, que, en general, este modelo de reduccionismo ha perdido su fuerza, sobre todo cuando es aplicado a ciencias especiales.

Por otro lado, una noción de reduccionismo más en línea con la práctica científica como la de Sarkar (1992) o la que analiza Kaiser (2011) pueden ser relevantes para las ciencias especiales. Las explicaciones reduccionistas que buscan explicar descomponiendo las partes del sistema, focalizándose en factores internos y estudiando las partes del sistema de forma aislada, continúan siendo una forma exitosa de explicación científica. El caso de la biología no ha sido una excepción y durante buena parte del siglo XX se trató de aplicar este modelo explicativo de manera *standard*. Por supuesto, estas metodologías también han llegado a ser muy criticadas, pues parece que su alcance tiene límites específicos que vuelven necesario el desarrollo de modelos de explicación no reduccionista, modelos mejor conocidos como *modelos⁸ holistas*. A las críticas que se han lanzado contra el reduccionismo dedicaré el segundo capítulo, pero antes, es importante reconocer que los modelos reductivos dieron paso a modelos de explicación diferentes, menos comprometidos con el problema del reduccionismo en ciencia, pero con una aplicación pretendida-mente más amplia. Este proyecto filosófico se conoce como “nuevo mecanicismo” y ha sido fundamental para explicaciones en biología (Craver y Tabery, 2019).

2.2 Mecanicismo y reduccionismo

La discusión alrededor del reduccionismo fue parte importante de la filosofía de la ciencia durante el siglo XX, y una parte esencial del programa del positivismo lógico. El inicio

general. Esto se logra deduciendo los enunciados centrales de la teoría a reducir a partir de la teoría reductora por medio del uso de leyes puente que conecten los principios de cada par de teorías en relación de reducción.

⁸ Cuando utilizó la palabra modelo aplicada a teorías o propuestas filosóficas de explicación en ciencia, me refiero a las distintas perspectivas filosóficas que se utilizan para representar el funcionamiento de la epistemología propia de las explicaciones científicas, por lo que no hago referencia directa a las teorías de modelación científica y simplemente apelo al sentido coloquial del término modelo.

de las ideas del empirismo (o positivismo) lógico estuvo fundamentalmente basado en la física y los aspectos teóricos de la ciencia. En contraposición, poco se hablaba de otras disciplinas y de la práctica del descubrimiento científico. Para la segunda mitad del siglo XX, se desarrollaría una nueva forma de ver temas clásicos en filosofía de la ciencia, como son: explicación, causalidad, reduccionismo y cambio científico, pero ahora desde la perspectiva de lo que se llamaría “mecanismos” (Craver y Tabery, 2019). En la era del “Nuevo Mecanicismo”, muchos filósofos estarían interesados en varios de los temas clásicos, pero ahora con una mayor atención en los procesos de descubrimiento científico y en la práctica científica en general, así como en la situación de otras disciplinas científicas especiales como la biología y la psicología. Además, esta nueva visión para la filosofía de la ciencia descansaría menos en la noción de leyes naturales fundamentales (Glennan, 1996) y más en la noción de “mecanismos” locales, como parte central de la explicación científica. En gran medida, se considera que la idea de mecanismos es más útil que las explicaciones reduccionistas clásicas para trabajar con fenómenos complejos y, sobre todo, para dar explicaciones multinivel, como ocurre en biología y psicología, entre otras disciplinas científicas (Wimsatt, 2006).

Varios autores han tratado de definir lo que es un mecanismo. Algunas de las definiciones clásicas son las siguientes:

“Los mecanismos son entidades y actividades organizadas de tal forma que producen cambios regulares desde una serie de condiciones inicio hasta sus condiciones terminales” (Machamer et al, 2000 p. 3).

“Un mecanismo es una estructura que realiza una función en virtud de sus partes componentes, sus operaciones componentes y su organización” (Bechtel, 2008 p. 13).

“El mecanismo de un comportamiento es un sistema complejo que produce dicho comportamiento por medio de la interacción de un número de partes, donde las interacciones de las partes pueden ser caracterizadas por generalizaciones de cambios directos e invariantes, dadas ciertas relaciones” (Glennan, 2002 p. 344).

En este sentido, se podría pensar que los mecanismos en ciencia son sistemas compuestos por sus partes y las propiedades de las mismas, sistemas cuya función depende de un orden jerarquizado de partes y las relaciones entre ellas, y que generalmente terminan por arrojar una misma consecuencia. Entonces, por su parte, las explicaciones mecanicistas son explicaciones por componentes que permiten conectar las interacciones de los elementos ordenados y jerarquizados de un mecanismo, para así, explicar un

comportamiento sistémico (Craver, 2007). Cada componente o parte realiza una operación e interactúa con otra parte del mecanismo, y, en conjunto, todas estas operaciones dan como resultado la actividad general del mecanismo (Wright y Bechtel, 2007) (por ejemplo, el mecanismo de un reloj).

Las explicaciones mecanicistas pueden considerarse reductivas en tanto apelan a la búsqueda de componentes para conformar la explicación (Bachtel, 2008; Sarkar, 1992; Wimsatt 1976; 2000; 2007). Incluso, Delehanty (2005) considera que las explicaciones reductivas podrían quedar fundamentadas como la búsqueda y dilucidación de mecanismos, en tanto lo que buscan las explicaciones reductivas, puede cifrarse como la búsqueda de operaciones por partes; operaciones que finalmente derivan en el comportamiento general. Otros, como Craver (2002 y 2007), consideran al mecanicismo como esencialmente antirreduccionista, pues la búsqueda de mecanismos implica una visión multinivel, donde, focalizarse en un solo nivel, no es suficiente para mostrar el mecanismo. Además, para Craver, el mecanicismo se aleja mucho de los modelos clásicos de reducción interteórica del positivismo lógico. De igual manera, la explicación mecanicista no parece apelar a niveles fundamentales, sino, más bien, define lo que es una parte del mecanismo y lo que es el mecanismo completo, de forma contextual y local (Bechtel, 2008; Craver, 2007). Eronen (2011), por su parte, apela a que las explicaciones mecanicistas pueden tener un sentido “hacia abajo” en tanto buscan partes de nivel inferior para explicar comportamientos de mayor nivel, pero también “hacia arriba”, cuando utilizan la función de elementos de nivel superior para explicar fenómenos de menor nivel. Eronen toma el ya clásico ejemplo de Craver, el caso de la relación entre potenciación a largo plazo⁹ y la memoria a largo plazo:

“En el caso del LTP, uno está “mirando” hacia arriba, cuando, para entender las propiedades computacionales del hipocampo, se estudia su función completa en el proceso cognitivo, o cuando, para entender el papel de los procesos moleculares de LTP, se pone atención a la capacidad computacional completa del hipocampo. Al contrario, se “mira” hacia abajo cuando la consolidación de la memoria se explica apelando a los procesos computacionales a nivel del hipocampo, o cuando el mecanismo sináptico de LTP se aplica apelando a actividades de la cinética molecular” (Eronen, 2011 p. 30).

⁹ La potenciación a largo plazo (long term potentiation o LTP en inglés) se refiere a la intensificación duradera en la transmisión de señales entre dos o más neuronas que resulta de la estimulación sincrónica de ambas.

De cualquier manera, para Eronen, considerar al sentido de “mirar lo básico” como reductivo, no implica ningún problema, pues lleva a analizar el todo a partir de las partes, desde “abajo hacia arriba”. Por su lado, Wimsatt (2006) y Stephan (2006) mencionan que el mecanicismo puede ser compatible con una definición débil de emergencia¹⁰. Desde estas perspectivas, el modelo mecanicista podría no parecer precisamente reduccionista, sin embargo, muchas veces, también recomienda un análisis por descomposición y la separación de los aspectos internos y externos del sistema (Brigandt, 2015; Kaiser, 2011; Nicholson, 2010), por lo que tampoco es necesariamente holista en su apreciación de los sistemas biológicos.

Independientemente de la cualidad reduccionista o no-reduccionista de las explicaciones mecanicistas, lo cierto es, que, en biología, las explicaciones mecanicistas han tenido un papel preponderante desde el siglo XVII (Nicholson, 2012). Nicholson (2012) analiza con detalle el significado de “mecanismos” en biología y concluye que se utilizan de forma intercambiable tres significados distintos de mecanismo. El primero tiene que ver con la visión filosófica original del *mecanicismo*, desarrollada en el siglo XVII durante la revolución científica, en donde se percibe a la naturaleza de forma atomística y determinista. En particular, a los organismos se les percibe como entidades físicas que deben ser analizadas desde una perspectiva reduccionista apelando a causas materiales y no a causa últimas. Se considera que, explicar algo en biología es mostrar el funcionamiento ordenado de las partes. Nicholson menciona que el auge de la biología molecular ha conducido a considerar, esta noción de mecanismo, como una de las más exitosas en biología moderna, y considera a la disciplina conocida como biología sintética¹¹, como la expresión más nueva de este mecanicismo en biología. Desde esta visión, mecanicismo y reduccionismo serían muy compatibles.

El segundo sentido en que se usa mecanismo en biología es una analogía más literal con el *mecanismo de una máquina*, en donde se espera entender el comportamiento de los sistemas biológicos tan precisamente como el de un reloj o una máquina de vapor. Finalmente, el tercer sentido, es lo que Nicholson denomina *mecanismo causal*, en donde

¹⁰ Emergencia, en filosofía, se refiere a la aparición de propiedades o características novedosas en niveles de organización superior, cuya aparición esta correlacionada con la existencia de entidades y propiedades a nivel inferior, pero que, sin embargo, no son reducibles a las mismas, por lo que gozan de cierta autonomía explicativa y causal. Para mayor detalle ver el capítulo 4 de este trabajo.

¹¹ La biología sintética es una nueva disciplina biológica cuyo interés es la producción artificial de biomoléculas u organismos artificiales con el propósito de ser utilizados en diferentes aplicaciones de interés humano.

mecanismo se entiende de manera amplia, para así buscar el mosaico total de causas de un fenómeno. Otra denominación para este tipo puede ser *mecanismo de explicación* (Allen, 2005). Nicholson explica que esta forma de referirse a un mecanismo, no se difundió sino hasta el siglo XX y es el uso predominante de la palabra en ciencias biológicas. Esta perspectiva de mecanismo podría dejar abierta la posibilidad de un estudio holístico, siempre que se asimile la importancia causal de los niveles de organización superior, y no solo se analice al mecanismo desde el nivel molecular hacia arriba; al menos no de forma exclusiva. Asimismo, requeriría de una perspectiva que permitiera entender a los mecanismos biológicos desde su particularidad dinámica, no-lineal e interdependiente.

Las nociones de reduccionismo y explicación mecanicista han sido centrales en el desarrollo de la biología a lo largo de su historia entera, y también han delimitado cómo se comprende la relación parte/todo con respecto a los sistemas biológicos. Si bien el reduccionismo y el mecanicismo no son la misma cosa, ambos poseen algunos temas en común con respecto al análisis de los sistemas biológicos. Se ha sugerido que, de manera complementaria a la visión mecanicista y reduccionista de la biología, es necesario desarrollar una visión holística para el estudio de la vida, una que no intente fundamentar explicaciones exclusivamente en el nivel molecular.

He descrito a grandes rasgos las características del reduccionismo y el mecanicismo. A continuación, mostraré como se han aplicado estas nociones en biología descuidando de manera general la búsqueda de explicaciones holistas. Este descuido ha llevado a limitar la posibilidad de una comprensión integral de la complejidad biológica, lo que, a su vez, ha conducido a críticas específicas en contra del reduccionismo biológico.

2.3 El caso de la Biología.

Para terminar, debemos decir que, sin duda alguna, la explicación reduccionista ha aportado grandes éxitos a la ciencia; particularmente a ciencias como la física y la química. No es raro que, y como ya se ha mencionado, este mismo modelo reduccionista se haya tratado de extrapolar a otras disciplinas como la biología y las ciencias sociales.

Al igual que el reduccionismo como postura filosófica, que posee dimensiones ontológicas, epistemológicas y metodológicas, el reduccionismo en biología, también puede dividirse de esa manera (Ayala, 1974).

Reduccionismo ontológico: Esta noción viene de una perspectiva fisicalista, en donde se entiende, que todas las entidades que existen, son entidades físicas. En este sentido, todos los fenómenos biológicos son idénticos por reducción a un proceso físico-químico, y las propiedades de los sistemas biológicos supervienen a las características físicas de sus partes. La idea de que todos los objetos y propiedades biológicos se reducen a un particular físico se conoce como fisicalismo *Token* y refiere a que todo objeto o propiedad biológica es idéntico a un particular físico. En filosofía de la biología esta posición, al menos en un sentido débil, es aceptada de manera general (Kaiser, 2011).

Reduccionismo metodológico: corresponde a la idea de que la manera más adecuada de estudiar los fenómenos biológicos es utilizando estrategias reduccionistas como pueden ser las propuestas por Kaiser (2011). En biología, también es común asumir que es metodológicamente más fructífero estudiar sistemas biológicos partiendo del nivel molecular y bioquímico.

Reduccionismo epistémico: se centra en la idea de poder reducir el conocimiento que se tiene sobre un campo de conocimiento a otro. En particular, se enfoca sobre la posibilidad de reducir todos nuestros conocimientos en biología a nuestros conocimientos en física y química. En este nivel de reduccionismo es donde se habla de reducción de teoría a teoría, y también donde podemos hablar de explicación reductiva, en tanto que explicamos las características de orden mayor de un sistema sobre la base de las características del sistema que se encuentra en un nivel inferior.

Gran parte del debate sobre reduccionismo en biología se ha centrado en torno al reduccionismo epistémico, siendo, que al menos, se asume un tipo de fisicalismo respecto de los sistemas biológicos. Contra la tesis reduccionista, se ha planteado, desde el siglo XIX, la acepción que conocemos como vitalismo, la cual considera que los sistemas biológicos no pueden ser reducidos a fenómenos físicos, pues existen “fuerzas” o “principios” puramente biológicos. Dado que la victoria histórica de este debate fue del fisicalismo, la nueva oposición deriva de una perspectiva holista compatible con el fisicalismo, pero que generalmente propone algún tipo de emergentismo (muchas veces epistémico). La teoría emergentista muestra que es imposible explicar los fenómenos orgánicos con el simple hecho de apelar a componentes físicos y químicos sin considerar el contexto del sistema entero (Gilbert and Sarkar, 2000).

Desde el ámbito epistémico es que se han planteado diferentes interrogantes relacionadas al reduccionismo en biología. Por ejemplo: si es posible reducir la biología al campo de la física o si es posible reducir la genética mendeliana a la genética molecular y la bioquímica. Estas últimas, principalmente impulsadas por Ernest Nagel (1949; 1961) y después Kenneth Shaffner (1967; 1976; 1993). Ambos temas mencionados son clásicos del reduccionismo en biología. Otros tópicos que pueden destacarse son, por ejemplo: si la biología evolutiva y la ecología pueden ser reducidas a la biología molecular y si las explicaciones evolutivas pueden plantearse exclusiva o primordialmente en términos de selección al nivel de los genes (Beatty, 1990; Brandon, 1996; Dupré, 1993; Nagel, 1961; Okasha, 2006; Rosenberg, 2006). Sin embargo, y debido al escepticismo general que existe sobre si se tiene un buen modelo de reducción teórica, el debate ha pasado a centrarse en aspectos de explicación reductiva específica a diferentes subdisciplinas biológicas (biología evolutiva, ecología, biología celular, neurociencias) (Brigandt y Love, 2017).

Como puede notarse, gran parte del debate reduccionismo vs. anti-reduccionismo ha quedado anclado sobre la posición reduccionista que dice que, en principio, todo aspecto biológico puede quedar explicado con base en la biología molecular; y la posición contraria anti-reduccionista que establece que las características de niveles de organización superior poseen propiedades explicativas por sí mismas y no dependen completamente del nivel molecular. Por supuesto, no es necesario considerar el estudio biológico bajo dicha dicotomía. Algunos podrían argumentar que el desarrollo de biología molecular depende de una perspectiva reduccionista que buscaba fundamentar a la biología en el nivel molecular (Rosenberg, 2006). Por esta razón, sería poco razonable no darle su merecido lugar dentro de las ciencias de la vida. Los nuevos horizontes en biología del desarrollo, biología en sistemas y medicina, sin embargo, han apuntado la importancia de integrar posiciones holísticas más compatibles con el estudio la complejidad inherente a los procesos biológicos. Es por esta razón, que es importante analizar estas nuevas propuestas y considerar cuál es su valor filosófico y epistémico, qué conceptos son fundamentales, y qué aportes se perfilan mientras se desarrollan.

A continuación, describiré algunas de las críticas que se han apuntado contra el reduccionismo en biología, para después abordar la perspectiva del emergentismo y posteriormente adentrarnos en los conceptos de explicación y causalidad multinivel. Si

bien pueden existir diversas críticas al reduccionismo, yo me centraré principalmente en aquellas que sean de corte epistémico y metodológico.

3. Críticas al reduccionismo en biología.

Como hemos visto, el esquema reduccionista de explicación que muestra Kaiser (2011), a pesar de su éxito en algunas disciplinas, ha sido ampliamente criticado, particularmente en lo concerniente a las ciencias biológicas. El caso concreto del modelo nageliano de reducción teórica ha sido prácticamente abandonado por resultar muy rígido y poco aplicable a la práctica científica. El modelo nageliano de reducción no parece ser aplicable a las ciencias bio-psico-sociales en tanto requiere de leyes universales (mismas que son escasas o inexistentes en ciencias especiales) de las que se puedan derivar leyes particulares, y porque no apela directamente a causas¹², lo que no encaja bien con la práctica científica en biología (Mitchell, 2000; Casanueva, 2017). Finalmente, este modelo requiere de teorías formales bien desarrolladas, lo que no es compatible con muchas teorías biológicas de corte más cualitativo.

En resumidas cuentas, el modelo nageliano es tan exigente y tan recargado al aspecto teórico de la ciencia, que resulta muy difícil de encontrar siquiera dos teorías concretas para las que aplique este modelo de reducción (Horst, 2007). Incluso, para casos ejemplares de este modelo, como lo es la supuesta reducción de la termodinámica clásica a la mecánica estadística, el proceso de reducción puede resultar muy complicado e intratable (Sklar, 1999). La realidad es que nadie ha reducido por completo la termodinámica clásica a la mecánica molecular. Esto se debe, en parte, a que conceptos centrales de la termodinámica no corresponden por completo con nada dentro del aparato de la mecánica estadística. Por ejemplo, el concepto de entropía está asociado a una variedad de conceptos distintos dentro de la mecánica estadística, mismos que simplemente no se corresponden con el concepto de entropía dentro de la termodinámica clásica, ya sea por separado o en conjunto (Eronen, 2011). Estos problemas pragmáticos y formales parecen también sostenerse en el caso de intentos reduccionistas en ciencias biológicas, como lo es el caso de la reducción de la genética mendeliana a la biología molecular (Hull, 1972; 1974). Es principalmente, por estas razones, que el proyecto de

¹² Desde el auge del modelo de explicación mecanicista en filosofía en ciencia, se ha notado la importancia de la noción de mecanismo como relata causal explicativa en biología (Craver y Tabery, 2019; Eronen, 2011; Glennan, 1996; Nicholson, 2012). Mientras que el modelo de reducción teórica del positivismo lógico necesitaba de enunciados que explicitaran leyes “naturales”, en la práctica científica de la biología no solo se buscan patrones generales de comportamiento, sino que también se apelan a causas en el sentido de mecanismo causal que menciona Nicholson (2012), por lo que el reduccionismo teórico no abarca esta necesidad epistémica y práctica de biología (Craver y Tabery, 2019; Hull, 1974).

reducción teórica del positivismo lógico se encuentra abandonado. Es necesario, entonces, ver qué otras propuestas existen además del reduccionismo y explorar por qué la visión reduccionista de la biología puede ser inadecuada para explicar todo fenómeno biológico.

En las siguientes páginas, ahondaré más sobre las críticas que se dirigen a hacia el reduccionismo científico. En el apartado 3.1 tocaré el argumento anti-reduccionista de la realización múltiple, que es un argumento clásico contra el reduccionismo en filosofía de la ciencia. En el apartado 3.2 explicaré que los fenómenos biológicos son contexto dependientes, es decir, que se necesita conocer las propiedades del sistema entero para así entender detalladamente el comportamiento de las partes, por lo que, una visión exclusivamente reduccionista de la biología es inadecuada. En el 3.3 mostraré los límites de la metodología reduccionista y en el 3.4 mostraré que un reduccionismo muy estricto puede llevar a la nada conveniente posibilidad de aceptar un eliminativismo de entidades superiores. Finalmente, en el apartado 3.5, veremos los límites de una visión mecanicista de la biología, para luego concluir la necesidad de perspectivas explicativas que complementen estas nociones.

3.1 Realización múltiple.

Probablemente, el argumento más común en contra del reduccionismo, tanto en filosofía de la mente como en filosofía de la biología, es el de la realización múltiple. Cuando se dice que un fenómeno X es el “realizador” de cualquier otro fenómeno, lo que se quiere decir es que el fenómeno X es tal, que posibilita la existencia del fenómeno Y. Un ejemplo clásico son las sensaciones, particularmente el dolor. Cuando sentimos dolor estamos hablando de una sensación, una experiencia a nivel fenomenológico, es decir, un estado mental; sin embargo, se entiende que está sensación está relacionada con nuestros estados cerebrales en tanto, son nuestras neuronas, las que procesan dichas sensaciones, y se puede decir, entonces, que nuestras sensaciones tienen lugar dado ciertos estados cerebrales. Es en este sentido que se dice que el dolor es realizado por X tipo de estados cerebrales. La intención de la propuesta reduccionista es que es posible reducir los estados mentales a los estados cerebrales conectándolos por identidad, de manera que, no se pueda decir que son otra cosa excepto aquellos procesos neurofisiológicos que los “realizan”. El problema, y este es el argumento de la realización múltiple, es que la misma categoría “dolor” puede ser realizada por una multitud de estados neurofisiológicos. La

presentación original de Putnam (1967) implica que la realización múltiple es obvia, si se piensa que diferentes especies son, por ejemplo, capaces de sentir dolor, pero no poseen los mismos procesos neurofisiológicos, pues muchas veces, no tienen ni siquiera las mismas estructuras cerebrales. Una versión, incluso más fuerte de la realización múltiple, implica que un solo sistema neural puede realizar el mismo estado mental, vía diferentes estados neuronales del mismo sistema, en tiempos distintos (Bickle, 2019). Una vez que no es posible mapear un mismo tipo de estado mental sobre un único proceso neurofisiológico, entonces no se pueden igualar, reductivamente, fenómenos mentales a fenómenos cerebrales. Esto tiene conexión con los fenómenos biológicos, pues existe una gran variedad de especies con diferentes composiciones genéticas, que, sin embargo, pueden poseer características morfológicas o ecológicas similares. Lo mismo puede aplicar para biología evolutiva, donde existe la evolución convergente¹³. Más aún, un mismo sistema biológico puede implicar diferentes estados moleculares que realicen el mismo estado fenotípico o diferentes estados fisiológicos que determinen el mismo estado sistémico general. (Hull, 1972; Hull, 1974). Dado esto, el argumento de realización múltiple en contra del reduccionismo también atañe a ciencias biológicas.

La realidad, a pesar de esto, es que existen muchas críticas con respecto al argumento de la realización múltiple y varios autores dudan de la validez del planteamiento expresado en el mismo. Por ejemplo, David Lewis (1969) considera que, parte de lo que hace aparente a la realización múltiple, es que no se especifica de manera adecuada el cómo se plantea la identidad reductiva. Por ejemplo, el dolor quedaría reducido por tipo de estructura, digamos una para humanos, otra para moluscos o artrópodos o lo que sea. Así, no es si el dolor se realiza de distintas maneras en distintas especies, sino que en distintas especies el dolor puede realizarse de formas diferentes en el nivel reductor. Esto puede tener relación con lo que Betchel y Mundale (1999) plantean cuando dicen que se establece con mucha holgura lo que constituye un mismo tipo psicológico entre especies, pero con mucha fineza lo que constituyen diferentes tipos físicos a nivel cerebral. Por ejemplo, Zangwill (1992) explica que la mayoría de las experiencias psíquicas entre animales son similares solo en el nivel más general y poco detallado, y por otro lado, la pretendida diferencia entre mecanismos neurológicos que realizan mismos estados

¹³ La evolución convergente es el fenómeno por el cual, en dos o más taxa distintos, evolucionan estructuras similares a partir de rasgos ancestrales independientes. Ejemplos de estos son las alas de los pterosaurios, aves y murciélagos.

mentales entre especies, muchas veces solo se establece de acuerdo a características que no son relevantes funcionalmente, por lo que los mecanismos neurofisiológicos que permiten, digamos, el dolor entre especies, son bastante similares con respecto a propiedades causalmente relevantes (Shapiro, 2000). De esta manera, es imposible establecer con objetividad si existe algo similar a la realización múltiple, pues parece que lo que establece que cosas son de un mismo o diferente tipo, se plantea, de una manera, por demás arbitraria.

Shapiro (2000) va tan lejos como para mostrar un doble dilema que aqueja a la realización múltiple. Por un lado, tenemos la clase que es realizada o la clase funcional (el fenómeno de orden superior), y por otro la clase que la realiza (los fenómenos de orden inferior). Para establecer si los realizadores de la clase funcional son diferentes, debemos encontrar propiedades causalmente relevantes que difieran en los realizadores, es decir, propiedades que hagan una diferencia funcional sobre la clase que es realizada. Ahora, si dos realizadores no difieren en propiedades causalmente relevantes, entonces no se puede hablar de dos realizadores distintos, y, por tanto, no se puede hablar de realización múltiple. Por el contrario, si se encuentran propiedades causalmente relevantes, la clase funcional muy probablemente está agrupando más de un solo fenómeno, por lo que tampoco se tendría un caso de realización múltiple. Finalmente, autores como Kim (1992) y Bickle (1998), hablan del éxito de los modelos animales para cumplir el objetivo de comprender el funcionamiento del cerebro humano en el campo de las neurociencias. Si la realización múltiple entre especies fuera tan extrema, las neurociencias no podrían aportar mucho al conocimiento, pero esto no es el caso, lo que significa que la realización múltiple es mucho menos grave de lo que podría pensarse.

Todas estas críticas parecen devaluar la posibilidad de una realización múltiple que sea significativa como argumento contra el reduccionismo. Aun así, es posible que exista el tipo de realización múltiple dinámica que involucra diferentes procesos neurológicos que dan como resultado el mismo estado mental en tiempos distintos. Esta plasticidad neurológica puede usarse para concluir que la psicología no puede quedar reducida a ninguna ciencia física (Horgan, 1993). Sin embargo, hay pruebas de que, incluso, la plasticidad neural puede evaluarse de forma sistemática y se pueden extraer patrones biológicos generales de la misma (Kim, 1992), así que es difícil saber hasta qué punto es posible determinar, objetivamente, el grado en el que la realización múltiple ocurre.

En el caso de la mayoría de las disciplinas biológicas, es normal utilizar organismos modelos para extraer conclusiones generales sobre el objeto de estudio, así que este argumento también podría esgrimirse en contra de la realización múltiple para el caso los sistemas biológicos. Por otro lado, los fenómenos biológicos han probado ser suficientemente complejos como para poder ser explicados de forma completamente reductiva, por lo menos, no desde el nivel molecular. Esto se debe, en parte, a que las interacciones genéticas son más complejas que lo que es sencillo describir linealmente. Un gen puede determinar diferentes características fenotípicas (pleiotropía), y para muchas características fenotípicas, es el caso, que su desarrollo está determinado por la acción de muchos genes en conjunto (herencia poligénica). Más aún, los genes se regulan entre sí (epistasia) y las variaciones fenotípicas dependen de la interacción genética con el ambiente y procesos espacio temporales propios de la ontogenia biológica (Aranda, 1997 p. 30-47; Hull, 1972; Hull, 1974; Kaiser, 2011 p. 54; McManus, 2012). Un ejemplo de esto, es el fenómeno de la melanogénesis, fenómeno que puede desarrollarse por una gran cantidad de vías genéticas, implica una variedad de factores celulares, y es causada por una diversidad de elementos tanto ambientales como celulares. Autores como Liu et al (2013) proponen la necesidad de investigaciones sistémicas que incluyan información derivada de diferentes niveles de interacción molecular y celular para poder dar una representación integral del fenómeno multinivel. En algún sentido simple, pareciera que la realización múltiple tiene algo de real dentro del ámbito biológico, pues el comportamiento y evolución de los sistemas biológicos es dinámico y múltiple.¹⁴

3.2 Los fenómenos biológicos son dependientes del contexto.

Varios autores han criticado la posibilidad de aproximarse al estudio de lo biológico desde una perspectiva meramente reduccionista a nivel genético. Esto se debe a que el efecto de cada ruta genética o molecular es determinado por el contexto, ya sea del sistema biológico o del ambiente (Hull, 1972; 1974; Green et. al., 2017; Kaiser, 2011; 2015; Laubichler and Wagner, 2001). Con esta idea, me refiero a que la expresión de los genes

¹⁴ El argumento de Hull (1972) es categórico con la existencia de realización múltiple dentro de la reducción teórica de la genética mendeliana a la genética molecular. Este argumento es esgrimido en particular contra el modelo de Shaffner. El modelo de Shaffner propone la posibilidad de construir leyes puente entre los términos de la teoría reductora y una teoría “fuertemente análoga” a la teoría a ser reducida, de manera que una posible corrección sea considerada. Hull demuestra que términos esenciales dentro de la teoría mendeliana (como son gen dominante y gen recesivo) son realizables por varios mecanismos al nivel molecular, por lo que no es posible una reducción.

y la fisiología celular está conectada interdependientemente con el organismo entero y su ambiente, por lo que no es posible asumir un desarrollo causal en una sola dirección.

Por ejemplo, Noble (2006) muestra cómo la complejidad de los sistemas biológicos en distintas circunstancias, no puede ser recuperada por un reduccionismo del todo a las partes. En particular, Noble considera que este papel privilegiado que, se asume, tienen los genes y que incluso se ha instaurado desde una metáfora del gen egoísta, falla en reconocer una multitud de elementos explicativos. Para empezar, los genes solo transmiten información por medio del proceso de transcripción, pero son las proteínas las que realmente configuran el medio físico celular. Además, existe un proceso de retroalimentación que conecta al ambiente, los genes y las proteínas en el nivel explicativo del fenómeno biológico, lo que vuelve a lo orgánico, multifactorial. Las características de orden superior (como los tejidos, los órganos y el organismo entero) se deben de considerar en conjunto para entender los procesos biológicos, pues cada uno aporta elementos relevantes de explicación. Si conectamos la noción reductivista con componentes causales, Noble nos indica que existen diferentes niveles relevantes para identificar cadenas causales en biología, mismas que implican procesos de retroalimentación entre diferentes niveles y entre procesos epigenéticos y desarrollo biológico. Ninguno de estos procesos puede ser recuperado enteramente, simplemente apelando a genes individuales o ni siquiera apelando exclusivamente al nivel genético. Noble plantea el ejemplo de la biología del desarrollo, donde el nivel explicativo corresponde en parte al nivel celular, pues la afectación de una línea celular puede resultar causalmente más relevante que la afectación de un gen o algunos pocos genes. De igual manera, muestra que el ritmo cardíaco es muy difícil de reproducir explicativamente desde el nivel celular, pues es un fenómeno que depende de la organización de las células como un conjunto al nivel de órgano. Noble considera que la perspectiva reduccionista – más aún, reduccionista a nivel molecular– falla en dar cuenta de algunos fenómenos biológicos, al no ser capaz de recuperar la no-linealidad de los procesos orgánicos. Es, entonces, necesario desarrollar nociones explicativas de tipo holístico.

La biología del desarrollo es un ejemplo particularmente bueno de los problemas que una visión reduccionista puede tener cuando quiere aplicarse universalmente, pues es imposible reducir características del desarrollo biológico al nivel molecular. Esto ocurre dado que estos procesos solo aparecen dentro de un contexto multicelular. Es epistémicamente necesario utilizar características de los niveles superiores, para de esta

manera explicitar el contexto que actúa dinámicamente junto al nivel molecular (Robert, 2004). Levins y Lewontin (1985) manifiestan algo similar para la ecología, cuando hablan sobre la naturaleza dialéctica que existe para la relación organismo/ambiente. Por su lado, es más difícil aún, apelar a explicaciones únicamente moleculares en el contexto de la biología evolutiva, en tanto que debe tomarse en consideración elementos históricos, ecológicos y ontogenéticos necesarios para entender por completo procesos evolutivos concretos. Cabe mencionar, que conceptos centrales de la biología evolutiva, como el de adecuación, son irreducibles a términos moleculares (Beatty, 1990) y la explicación del desarrollo de características novedosas, dentro del proceso evolutivo, requiere hacer uso de perspectivas multinivel derivadas del análisis de sistemas complejos (Brigandt, 2015)

Mitchell (2009) desarrolla una idea similar a la de Noble, pero profundiza en la necesidad de un pluralismo epistémico que no solo haga uso de concepciones reduccionistas. Ella considera que la mejor manera de aproximarse a fenómenos complejos, como la depresión, es a través de un pluralismo integrativo que reconozca grados de necesidad y contingencia, multifactorialidad y la no-linealidad de este tipo de fenómenos. En este sentido, un reduccionismo explicativo al estilo de la física no es suficiente para la biología. El mundo de lo orgánico implica la conexión de muchos diferentes niveles de organización, cadenas causales multicomponentes, es contexto dependiente y acepta un gran grado de plasticidad evolutiva. Además, reconoce la existencia de propiedades emergentes, en tanto propiedades de nivel superior no son completamente predecibles desde la micro estructura molecular o genética, ya sea porque no se conoce de forma completa dicha microestructura o porque las propiedades de nivel superior no se derivan linealmente de la microestructura. Nuevamente, los procesos de retroalimentación y la posibilidad de una causalidad descendente, en el sentido de que los niveles superiores de organización interactúen de manera determinante sobre los componentes inferiores, parecen implicar la superveniencia no reductiva de propiedades a distintos niveles. Insiste que es necesario entender los diferentes tipos de reduccionismo (ontológico, epistémico y metodológico), y que, en cualquier caso, son necesarias explicaciones multinivel, cuando menos en el sentido epistémico, pues de otra manera es imposible recuperar la constitución dinámica e incierta de los fenómenos biológicos y sociológicos.

3.3 Reduccionismo metodológico.

El reduccionismo metodológico tampoco parece poder ser aplicable a las ciencias biológicas, o al menos no como herramienta absoluta. Esto es, en gran medida, lo que Kaiser (2011) discute en su artículo “*The Limits of Reductionism in the Life Sciences*”. Ella reconoce que existe una gran resistencia por parte de algunos biólogos a pensar que las metodologías reduccionistas deben ser utilizadas de manera general y sin restricciones sobre los fenómenos biológicos. Esto ha revitalizado una búsqueda por modelos de explicación alternativos, los llamados modelos “holistas” de explicación, mismos que pretenden mostrar cómo aproximarse al fenómeno biológico sin una visión fundamentalmente reduccionista. Esta nueva aparición de las propuestas holistas en biología, a finales del siglo XX (Gilbert y Sarkar, 2000; Mazzocchi, 2012), se corresponde con lo complejo que ha sido poder dar explicaciones sustantivas con base única en los aspectos genéticos del organismo. Esta preponderancia explicativa del nivel genético, era de hecho esperado por la biología molecular y en particular en el contexto del proyecto del genoma humano (García, 2009; Kaiser, 2011). Conforme nuestras investigaciones avanzan, ha quedado demostrada la complejidad irreductible de las interacciones genéticas.

Para Kaiser, es claro que la metodología reduccionista de descomponer, analizar partes de manera aislada (fuera del contexto sistémico) y obviar las causas externas del ambiente, implica límites reales al momento de entender el funcionamiento de sistemas complejos, pues puede pasar por alto su naturaleza dinámica y las relaciones interdependientes entre parte y parte, y parte y sistema entero. Los científicos ya han criticado este aspecto de la metodología reduccionista, misma que puede limitar el descubrimiento de patrones a mayor escala. Esto tiene que ver con una noción que ellos denominan “sistemas integrados”, en referencia a sistemas cuyas partes están determinadas por el comportamiento de todo un contexto sistémico. En este sentido, la interdependencia de las partes y el sistema entero es tan grande, que es necesario sumar a las metodologías por descomposición un análisis integral u holístico de las funciones sistémicas y de orden superior. A mayor complejidad, es más necesario utilizar metodologías que den cuenta del funcionamiento general del sistema, en vez del uso exclusivo de las metodologías de estudio por descomposición e *in situ* de los elementos internos y micro estructurales del sistema.

3.4 Eliminativismo y reduccionismo.

Quizás, la versión más conflictiva de reduccionismo es aquella que Daniel Dennett (1995) llama reduccionismo codicioso, en donde se intenta reducir hasta el nivel más básico, y se considera que los elementos de orden superior pueden incluso ser dispensables. La idea de que los niveles inferiores deben remplazar explicativamente a los superiores, al punto que los últimos dejen de ser utilizados, se conoce como eliminativismo. Por ejemplo, hay quienes consideran que la conciencia no es más que un epifenómeno del funcionamiento neurológico del cerebro y que quedará en desuso conforme avancen las neurociencias (Churchland, 1989; Churchland, 1994). De igual manera, consideran que, términos psicológicos como creencia, deseo o intención, son ilusorios, pues no refieren a nada concreto en el nivel neurológico (Churchland, 1989).

El reductivismo no es necesariamente eliminativista, pues generalmente los reduccionistas son realistas respecto al nivel reductor, y como los niveles superiores no son nada por encima del nivel reductor, entonces también son tan reales como los niveles inferiores sobre los que se reducen (Van Riel y Van Gulick, 2019; Wimsatt, 2006). Sin embargo, muchas veces, los remplazos teóricos han sido tomados como reducciones (Kemeny & Oppenheim 1956), por lo que, algunas veces, se toma como reductiva la posición de eliminar términos de niveles superiores durante el proceso de explicación. Este tipo de reduccionismo es en parte a lo que Dennett se refiere como reduccionismo codicioso. Esto es, un reduccionismo que quiere focalizar la explicación en un solo nivel básico y pretender que es suficiente epistemológicamente hablando.

Un argumento interesante, es que, si todas las diferentes disciplinas científicas están conectadas epistémicamente, entonces el nivel fundamental debería ser la física de partículas, o al menos podríamos, en principio, llegar a reducir todo fenómeno y toda disciplina a física de partículas. Sin embargo, en la física de partículas, nociones como causalidad o mecanismo no son contempladas, por lo que, difícilmente, se podría extrapolar la teoría cuántica para explicar una gran cantidad distinta de fenómenos en biología, donde, estas nociones, son de hecho importantes (Hull, 1974 p.135-137; Glennan, 1996). Más aún, el comportamiento indeterminado de las partículas subatómicas vuelve difícil el creer que cualquier fenómeno deriva predictivamente de este nivel. Esta dificultad predictiva desde el nivel más básico, sería incluso compatible con posiciones dentro del emergentismo. Ahora, quizás en biología podría plantearse la

posibilidad de un eliminativismo desde el nivel molecular, pero esto parece implausible por lo ya mencionado. Lo cierto es que, buscar explicar los fenómenos biológicos desde el nivel molecular exclusivamente, es hoy por hoy imposible. Pero incluso, si fuera posible en algún momento, metodológicamente hablando, sería muy poco pragmático querer describir, por ejemplo, procesos ecológicos, refiriendo a estados moleculares. No parece, además, que exista un modo sustancioso en el que, describir fenómenos ecológicos a partir de moléculas, recupere la naturaleza real de las interacciones ecológicas, en el sentido que Fodor (1974) utiliza el ejemplo de intercambio monetario para economía¹⁵.

Un reduccionismo más moderado diría que claro que los términos de disciplinas especiales tienen un valor, solo que este es más en un sentido heurístico o pragmático, por lo que sus términos no deben ser eliminados, pero es importante no concederles un valor explicativo por sí mismos (Bickle, 1998). Por supuesto, esto no parece ser el caso, pues los términos que refieren a niveles superiores parecen recuperar particiones del fenómeno que son necesarias para la comprensión integral de sistemas multinivel (Nobel, 2006; Martínez y Esposito, 2013, Mitchell, 2009).

Cómo hemos visto, las aproximaciones reduccionistas no parecen lograr ser las únicas formas de explicación en biología, y menos sin restricciones. Es necesario replantear formas explicativas en biología, formas que den cuenta de la naturaleza holista de los fenómenos biológicos, y que sean capaces de integrar estas nociones junto a las concepciones reduccionistas que sean útiles, a según qué nivel y bajo que perspectiva de estudio.

3.5 Mecanicismo.

El caso del mecanicismo es uno que también merece atención, pues si bien es un proyecto diferente al reduccionismo, un proyecto que además tiene compatibilidades con explicaciones holistas, también posee condiciones en común al reduccionismo, sobre todo respecto a la relación parte/todo. Nicholson (2010) critica la concepción mecanicista de los organismos, pues le parece que establece una analogía incorrecta sobre la base que los

¹⁵ Fodor explica que aún si se describiera un intercambio de dinero en algún sentido físico, finalmente habría una pérdida semántica de lo que realmente se está tratando de describir. Reducir disciplinas a otras implica, muchas veces, perder el sentido en el que las generalizaciones de las ciencias especiales son interesantes.

organismos pueden ser entendidos como máquinas. Menciona que este tipo de concepción orgánica se compromete con una visión reduccionista y determinista de la ciencia, pasa por alto los factores organizacionales de los sistemas vivos, enfocándose únicamente en la estructura causal del fenómeno, y recae demasiado en una concepción adaptacionista de la biología evolutiva. Los organismos no son como las máquinas en tanto, de acuerdo a Nicholson, no poseen un propósito externo. Los organismos, a diferencia de las máquinas, se comportan conforme a la regulación de su propio sistema y su intención de existir no es la de satisfacer necesidades humanas. De igual manera, los organismos no solo no están organizados de la forma que lo están las máquinas, sino que también se reproducen, reparan y regulan a sí mismos. La interdependencia de las partes de un organismo es mayor al de las máquinas. Las partes del organismo como un sistema no tienen una sola función y esta función no existe sino determinada dentro del sistema completo. De esta manera, las partes no son físicamente independientes de la manera que los son las partes de una máquina, ni son temporalmente anteriores al sistema, pues son creadas por el sistema mismo. El organismo simplemente no puede ser reducido a las propiedades e interacciones de las partes tomadas de forma aislada. Más aún, los organismos son mucho más dinámicos que los mecanismos, muchas veces involucran el flujo constante de partes y procesos que pueden existir en el tiempo T_0 y ya no existir al tiempo T_1 , característica que les permite a los organismos crecer y a las máquinas no. Además, los organismos poseen una naturaleza histórica, pues poseen tanto una historia de desarrollo como implican una historia evolutiva. Finalmente, los organismos parecen ser más flexibles y adaptativos en su comportamiento que lo que son las máquinas, mismas que poseen un comportamiento predecible y programable.

Nicholson considera que, parte del deseo de algunos científicos por buscar explicaciones reductivistas, deriva de la concepción maquinista de los organismos. De igual manera, el buscar analogías entre el DNA y los softwares, o entre el desarrollo embrionario y una computadora, tiene su raíz en querer pensar a los organismos como máquinas. La relación parte/todo, dentro de lo biológico, no puede descomponerse de la manera que se hace con las máquinas, mismas que fueron creadas a partir de la ingeniería humana. Esto se debe a que los humanos han diseñado máquinas para cumplir ciertas funciones, por lo que sus partes pueden ser reemplazadas. La interconexión de las partes de los organismos, por el contrario, es muy cercana debido a que se han ordenado conforme a procesos evolutivos no dirigidos, por lo que estas no pueden ser reemplazadas tan fácilmente.

Acerca del aspecto temporal de la filosofía mecanicista, McManus (2012) nos explica que la concepción neomecanicista¹⁶ no es completamente compatible con el estudio de la biología del desarrollo, entre otras cosas, por la temporalidad de los componentes de un proceso embriológico visto como un mecanismo, pues muchos componentes dejan de existir después de cumplir su función y otros emergen como consecuencia de estos cambios. No solo eso, sino que nuevos niveles son creados durante el desarrollo embriológico, lo que implica dificultades para separar mecanismos intranivel de mecanismos internivel. Asimismo, existen “componentes” que son difusos, pues no ocupan un espacio delimitado, como bien McManus plantea en su ejemplo de campo morfogenético. Por esta razón, no es fácil ver como encajarían estas circunstancias en el modelo neomecanicista¹⁷. Para resolver estos y otros problemas planteados por McManus, la investigadora considera que una apreciación pluralista de lo que significa mecanismo resulta útil y necesaria para entender la diversidad de la actividad científica. Beadke y McManus (2018) proponen aceptar un concepto de “Jerarquías dinámicas” que incluya escalas de tiempo y niveles temporales, en contraposición a niveles de organización como simples órdenes constitutivos. De esta forma, se podría mejorar el análisis mecánico u holístico de los procesos biológicos, particularmente, en biología evolutiva del desarrollo. Brigandt (2015) considera que, para disciplinas como la biología evolutiva del desarrollo, la complejidad misma del sistema de estudio, obliga a buscar formas filosóficas novedosas de entender lo que significa un mecanismo en biología. Estas nociones deben tener en cuenta la temporalidad de entidades dentro de los procesos biológicos, la aparición de entidades nuevas, la existencia de *loops* de retroalimentación, interacciones complejas en redes de elementos, propiedades emergentes de los sistemas biológicos, y en general los aspectos funcionales y dinámicos de los sistemas biológicos.

3.6 ¿Qué tipo de fenómenos necesitan una aproximación holista?

Hasta este punto he hablado de inconvenientes epistémicos y metodológicos de las aproximaciones reduccionistas, pero faltan algunos ejemplos de situaciones donde

¹⁶ McManus (2012) se refiere específicamente al proyecto de Peter Machamer, Lindley Darden y Carl Craver, desarrollado en *Thinking About Mechanisms* (2000).

¹⁷ Un punto más importante no mencionado y que me aclaro la misma autora, es que McManus (2012), de hecho, hace referencia a que los niveles de organización muchas veces no son parte de los explanans, sino del explanandum. Muchas veces, en biología, lo verdaderamente relevante de los niveles de organización no es explicar a partir de ellos, sino explicarlos a ellos mismos. Desde esta perspectiva, es aún más claro que hay aspectos biológicos que no son reducibles y que deben abordarse desde lo multinivel. Esto es similar a lo que se discute en Buss (1987).

aproximaciones holistas podrían ser recomendables. En general, los fenómenos biológicos son candidatos de aplicar este tipo de metodología explicativa, pues son fenómenos que implican la interconexión de muchos niveles de organización y mecanismos a distintas escalas. Por supuesto, esto dependerá del objetivo específico de cada investigación. Si el objetivo es entender la dinámica molecular de ciertos factores celulares, quizás no sea necesario invocar la interacción de muchos niveles distintos, pero si lo que se quiere investigar es la aparición de cierto tipo de cáncer o el funcionamiento de un modelo ecológico, un mayor número de niveles deberá ser contemplado.

Por ejemplo, Porrás-Alfaro y Bayman (2011) discuten la interacción compleja de hongos endófitos con muchos otros organismos como micorrizas, saprófitos, epífitos, bacterias y patógenos, mismos seres que delimitan las funciones y comportamientos ecológicos de los primeros. Estas interacciones pueden resultar en la aparición de características novedosas que dependen del contexto ecológico donde se ubican estos endófitos, como pueden ser: la producción de metabolitos novedosos diseñados para contrarrestar patógenos e insectos, comportarse como bio remedidores del suelo, o que modifican las posibilidades de adaptación de las plantas al cambio climático. Más aún, es posible, incluso, que algunos de estos hongos endófitos hayan comenzado su existencia como patógenos de plantas que terminaron creando una relación simbiótica con estas especies.

En general, en ecología, muchos fenómenos son suficientemente complejos para no poder ser reducidos a un solo nivel de explicación. Un giro del estudio de la ecología como un producto de intercambio de energía entre individuos está dando paso a un esquema basado en sistemas complejos, mismo que imagina a los ecosistemas como entidades complejas capaces de auto regularse y auto conformarse (Odenbaugh, 2011; Yin y Herfel, 2011). Esto requiere la construcción de nuevos modelos más o menos detallados, que, sin embargo, sí recuperan la dinámica no lineal de los fenómenos ecológicos y que reconsideran la función de “leyes” ecológicas como parte de patrones con distinto grado de contingencia, tal que evolucionan y redefinen el funcionamiento de los ecosistemas. Estas nuevas aproximaciones tienen implicaciones prácticas al momento de diseñar políticas públicas de conservación que sean capaces de monitorear “adaptivamente” la estabilidad de nuestros ecosistemas planetarios (Odenbaugh, 2011).

Igualmente, la evolución orgánica como objeto de estudio representa un fenómeno difícil de enmarcar sobre metodologías reduccionistas, pues implica la interacción de fenómenos

que ocurren a distintos niveles. La selección natural puede actuar a distintos niveles de organización, y otros fenómenos que explican procesos evolutivos, como la deriva génica y la recombinación genética, requieren la conjunción de distintos niveles para ser estructurados teóricamente. Además, la evolución orgánica es un proceso históricamente contingente que implica la aparición constante de características novedosas como puede ser ejemplo la aparición de las células eucariotas; novedad que abrió la posibilidad de una cantidad incalculable de nuevas formas de vida (Hewlett, 2007). De igual manera, el modelo de evolución orgánica centrado en los genes puede no ser útil para entender el desarrollo de la morfología orgánica, pues implica la aparición de características novedosas en poco tiempo e involucra la acción de distintos niveles de organización. Por ejemplo, la expresión de genes relacionados con la evolución de la forma del pico en las aves puede estar determinada por factores ambientales como el tipo de vitaminas consumidas durante dieta, lo que a su vez, define los nichos ecológicos en donde una especie tendrá tasas de evolución adaptativa más rápidas (Newman, 2011). Para entender, entonces, tanto los cambios morfológicos como la construcción de ciertos nichos ecológicos, hace falta un diseño multinivel.

Finalmente, ejemplos a nivel celular de fenómenos que requieren explicaciones holistas pueden ser la migración celular. Este fenómeno implica distintas rutas metabólicas y genéticas, pero también conocimiento sobre las interacciones celulares a nivel de tejidos y colectivos celulares (Rorth, 2012). Por otro lado, el estudio de las dinámicas celulares requiere de aproximaciones sistémicas y dinámicas que vayan del nivel molecular al celular, para de esa forma, mostrar como afecta el contexto a los componentes (Wolkenhauer y Muir, 2011). Cabe mencionar, que un elemento importante de lo que condiciona la necesidad de incluir esquemas holistas para explicar los fenómenos de estos ejemplos biológico, es, de hecho, la aparición de propiedades emergentes novedosas que resultan difíciles de modelar desde un solo nivel de complejidad, lo que, a su vez, permite que se pueda caracterizar el funcionamiento de niveles superiores como algo particular.

En conclusión, si bien las metodologías reductivistas de explicación son necesarias, y muchas veces útiles para extraer información importante, y además adecuadas para obtener estos logros de forma eficiente y pragmática; existen muchas razones para pensar que no es siempre la única ni la mejor opción para el estudio integral de los fenómenos biológicos. Antes de adentrarnos en las propuestas elaboradas por diferentes autores sobre qué podría considerarse una explicación multinivel y cómo puede entenderse lo que

significa causalidad multinivel, abordaré el programa emergentista contemporáneo¹⁸, pues la reaparición del concepto de emergencia ha motivado la búsqueda de explicaciones holistas en biología y esta ampliamente vinculada con el desarrollo del concepto de causalidad múltiple. El concepto de propiedades emergentes se utiliza para mostrar la necesidad de explicaciones holistas y por eso resulta importante para la discusión de las explicaciones multinivel. Sin duda, es una parte fundamental de visiones pluralistas y holistas en biología, y al mismo tiempo, un concepto que tiene que lidiar con críticas profundas. Su análisis es esencial para entender qué de significativo tienen las propuestas sobre explicación y causalidad multinivel.

¹⁸ Por emergentismo contemporáneo me refiero a las ideas emergentistas que se desarrollaron después de la segunda mitad del siglo XX, en contraposición con el emergentismo inglés del siglo XIX, entre cuyos representantes principales, se encuentran John Stuart Mill y Samuel Alexander. Para más información, puede consultarse O'Connor y Wong (2015).

4. Emergentismo

Si bien, el reduccionismo terminó por desplazar al vitalismo como base de la explicación biológica, el emergentismo se ha mostrado, tradicionalmente, como una posible opción competidora que se sitúa entre el reduccionismo y el dualismo explicativo. A diferencia del vitalismo, considera que toda entidad o evento tiene una base física, pero, además, contempla la existencia de propiedades que no se reducen a la física, como puede ser el caso de las propiedades mentales. Es en este sentido, que se dice que el emergentismo es un materialismo no reduccionista (Kim, 1999). Dichas propiedades, que no son reducibles por completo a las propiedades de niveles de organización inferior (microestructura), se denominan propiedades emergentes. El concepto de propiedad emergente permite al emergentismo justificar la idea de que una reducción absoluta no es posible, pues hay caracterizaciones de propiedades a niveles superiores que son relevantes a la explicación. Al mismo tiempo, mantiene una posición de facto fisicalista sin que se caiga en un dualismo de sustancia. De igual forma, manifiesta que algunas propiedades no pueden ser explicadas de manera exhaustiva únicamente apelando a propiedades, leyes y relaciones básicas en niveles reductores. Esto se debe a que el contexto global es esencial para especificar ciertas explicaciones.

Junto al concepto de emergencia, se encuentra asociado el de causalidad descendente, pues podría considerarse que una propiedad emergente, solo puede ser de interés científico, si esta misma propiedad posee relaciones causales independientes que afecten la dinámica de un sistema (Kim, 2006). Es por esta razón, que el emergentismo está vinculado con explicaciones holistas y multinivel en biología. En este capítulo, exploraremos la relación que guarda el emergentismo con explicaciones multinivel en biología. En el apartado 4.1, describiré qué es una propiedad emergente, en el 4.2, las críticas que generalmente se realizan contra el emergentismo, y finalmente, en el apartado 4.3, mostraré de qué manera se vincula el emergentismo con los conceptos de explicación y causalidad multinivel, y de qué manera puede plantearse el concepto de propiedad emergente para servir al propósito de explicaciones holistas en biología.

4.1 Propiedades emergentes.

Lo que distingue a las propiedades emergentes como concepto filosófico, son 4 características principales: Superveniencia, “Novedad”, Impredictibilidad e

Irreductibilidad (Kim, 2006; Rueger, 2000; Stephan, 1997; Stephan, 2002, O'Connor y Wong, 2015).

- a) Supervenencia¹⁹: Se considera que las propiedades emergentes son propiedades que supervienen a las propiedades de los elementos basales de un sistema. Es decir, las propiedades emergentes aparecen en un nivel de organización superior al de los elementos que componen los niveles inferiores, ya sea que estemos hablando de organismos, ecosistemas o cerebros. La supervenencia se define como una relación mereológica entre propiedades, en donde las propiedades de un nivel superior están determinadas por las propiedades de un nivel inferior y se encuentra en dependencia de las mismas. La supervenencia implica que dos sistemas no pueden ser idénticos en sus propiedades basales, sin ser idénticos en sus propiedades superiores, por lo que, nuevamente, las propiedades basales determinan las propiedades superiores. Sin embargo, las propiedades superiores no quedan necesariamente reducidas si existe posibilidad de una realización múltiple, de una codeterminación dinámica (o causalidad descendente) o si, precisamente, se está hablando de propiedades emergentes que supervienen a los niveles inferiores, pero no son reducibles, deducibles, predecibles o explicables desde el nivel más básico. Se necesita que las propiedades emergentes sean supervenientes, de forma que se pueda rescatar un fisicalismo fundamental, tal que, las propiedades emergentes, sin importar si estamos hablando de propiedades mentales o biológicas, tengan una base física.
- b) Novedad: Se entiende que las propiedades emergentes son propiedades novedosas en el sentido que poseen cierto grado de autonomía sobre las propiedades microestructurales, es decir, que no son derivables de los elementos del nivel inferior, y, por lo tanto, se podría decir que son algo “nuevo”, algo que surge apenas en los niveles superiores, ya sea sincrónica o diacrónicamente (Kim, 1999; Rueger, 2000, Stephan, 1997). Predictibilidad y novedad están muy vinculadas con respecto a qué es una propiedad emergente, pues como plantea Kim (1999), novedad implica que las propiedades del nivel superior no se puedan describir directamente con el simple uso de las propiedades del nivel inferior. Para Kim, cuando los emergentistas hablan de propiedades “novedosas”, lo que quieren implicar es que estas propiedades

¹⁹ Butterfield (2011) considera que una propiedad emergente puede ser descrita independientemente de los conceptos de supervenencia o reducción.

constituyen nuevas leyes o poderes causales²⁰ a nivel sistémico, en contraposición con las leyes o propiedades causales que poseen los subcomponentes por separado. En este sentido, las propiedades emergentes son novedosas por que corresponden al sistema entero y no a las partes. En un proceso evolutivo, aparecerán diacrónicamente una vez que un sistema de mayor complejidad aparezca, o existirán sincrónicamente, en tanto el sistema completo y no sus partes por separado.

c) Impredictibilidad: Por supuesto, no se puede hablar de que algo es verdaderamente novedoso, si este algo es esperable o derivable de la información más básica. Quizás, la característica más importante de las propiedades emergentes es que no puedan ser predichas directamente haciendo uso exclusivo de las propiedades de las partes del sistema. En teoría, son impredecibles, pues estas propiedades son propiedades exclusivas del sistema entero; pero no solo eso, sino que no son reducibles a las partes. Las propiedades emergentes poseen autonomía epistémica sobre las propiedades basales y se vinculan al comportamiento de sistemas complejos (Mitchell, 2009), o incluso, se considera que corresponden a una categoría completamente diferente y que, por lo tanto, son ontológicamente distintas a las propiedades basales (Macdonald y Macdonald, 2010). En este sentido, no existe una continuidad perfecta entre los diferentes niveles de la naturaleza (Dupré, 1993). Sea que las propiedades emergentes sean impredecibles por principio o como consecuencia epistémica del comportamiento de sistemas complejos, es importante entender que una propiedad emergente es determinable en tanto no se pueda descomponer en propiedades menores de las cuales sea derivable. Esto nos lleva a la siguiente característica.

d) Irreductibilidad: Para que una propiedad pueda ser considerada como emergente en un sentido fuerte, esta debe ser irreducible a las propiedades de los elementos del sistema. Esto significa que no es posible explicar una propiedad emergente de un nivel superior descomponiendo las propiedades y relaciones de los elementos de orden inferior (Kim, 1999; Stephan, 2006). Stephan (2006), sin embargo, da una

²⁰ Este término está relacionado con la idea de que las relaciones causales se definen como eventos concretos que se instancian en el espacio-tiempo. A esta posición se le conoce como inmanentista. La posición contraria, que se denomina trascendentalista, sostiene que los relatos causales son objetos abstractos. Esto tiene implicaciones importantes que se discutirán más adelante, pero lo cierto es que se espera que las propiedades emergentes sean capaces de influir causalmente en el comportamiento de los niveles inferiores, pues de otra manera se considerarían epifenómenos.

taxonomía más profunda de las distintas versiones de emergencia, y menciona que la característica de ser irreducible, es más consistente con tipos específicos de emergencia. La irreductibilidad de las propiedades emergentes es lo que plantea al emergentismo como un opositor claro del reduccionismo, pero la realidad es que pueden existir distintas versiones de emergencia que son más o menos compatibles con un reduccionismo moderado (Bedau, 1997; Stephan, 2006).

En resumen, las propiedades emergentes son propiedades sistémicas, pero no en un sentido simple, tal que se correspondan a propiedades aditivas del conjunto, sino que son propiedades que tiene el sistema pero que ninguno de sus componentes tiene. Sin embargo, esto no queda ahí, las propiedades emergentes, además, son propiedades que supervienen sobre los niveles inferiores; son novedosas, en el sentido de no estar contenidas en las descripciones de los elementos básicos de un sistema y en el sentido de generar nuevos patrones causales; finalmente, son impredecibles desde los niveles inferiores, e irreducibles a los elementos básicos que componen el sistema que instancia la propiedad emergente.

Por otro lado, también se puede distinguir entre el sentido epistémico y el sentido ontológico de lo que significa propiedad emergente. El nivel epistémico se centra más en la incapacidad de predecir y reducir teóricamente propiedades emergentes a elementos basales. Suele destacarse el aspecto dinámico de los sistemas complejos que parecen mostrar algún tipo de emergencia y también como, la complejidad de estos sistemas, dificulta la posibilidad práctica de predecir el desarrollo evolutivo de los mismos (O'Connor y Wong, 2015). En el sentido ontológico, las propiedades emergentes supervienen a las propiedades de los sistemas inferiores, pero se constituyen como propiedades fundamentales *de novo* y no son un simple producto de la compleja estructura dinámica, sino que marcan una categoría novedosa y específica.

Stephan (2002 y 2006) delinea la taxonomía de como se entiende el concepto de emergencia actualmente (Figura 2). Se puede separar conceptualmente emergencia débil de emergencia en sentido fuerte y emergencia sincrónica de emergencia diacrónica. La emergencia débil cumple con las características básicas de lo que Stephan considera como una teoría emergentista; se compromete con un monismo físico (todo lo que existe es físico), considera que las propiedades emergentes son propiedades sistémicas, y se compromete con que dichas propiedades tienen una determinación sincrónica, que

básicamente implica la conexión superveniente entre propiedades de la microestructura y propiedades emergentes. Ejemplos de este tipo de emergencia débil que incluye propiedades sistémicas no agregadas se pueden encontrar en la inteligencia artificial y el comportamiento de rebaño. Esta versión de emergencia es compatible con un reduccionismo moderado, pues no requiere a las propiedades emergentes ser estrictamente irreducibles, solo las refiere como propiedades sistémicas que pueden tener mayor o menor autonomía epistémica respecto a las propiedades de los componentes básicos.

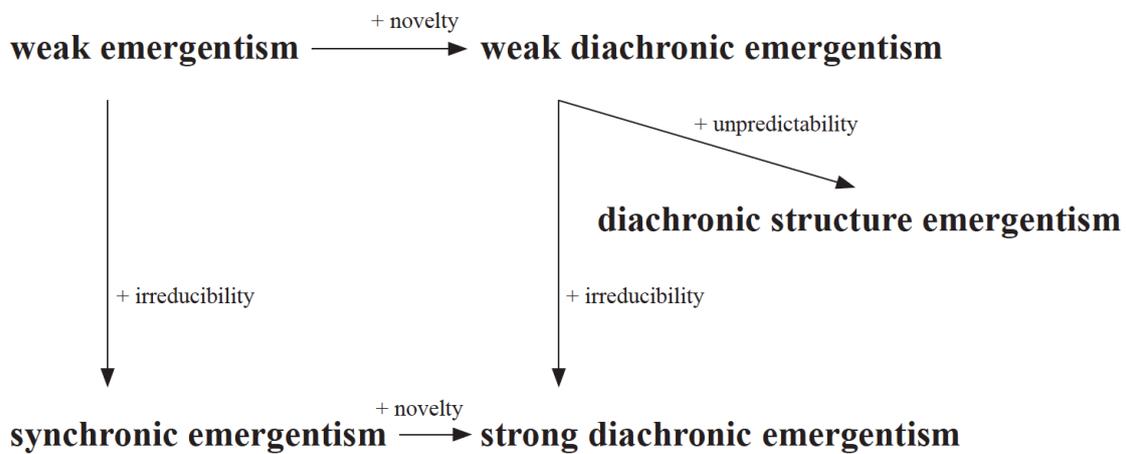


Figura 2. Esquema de la taxonomía de Stephan sobre propiedades emergentes (Stephan, 2006 p. 92).

Ahora, la emergencia diacrónica se obtiene de aumentar la característica de novedad al concepto de emergencia débil. Aquí, se piensa novedad en términos de un proceso evolutivo que implica la aparición de una propiedad nueva en X momento del tiempo de desarrollo de un sistema. Esta propiedad sería emergente diacrónicamente (la evolución orgánica puede ser un ejemplo de la aparición de rasgos novedosos por este proceso). Una versión más fuerte de emergencia diacrónica es si agregas la característica de impredecibilidad de las propiedades novedosas a la definición básica. A esta versión, Stephan la denomina emergencia diacrónica de estructura y está relacionada con la imposibilidad real de predecir un estado final en sistemas gobernados por caos

determinista²¹. Algunos fenómenos como el desarrollo de los ecosistemas naturales y la fisiología neuronal se comportan de esta manera.

Por otro lado, si agregas la propiedad de ser irreducible en principio a la caracterización de emergencia en sentido débil, ya se está describiendo lo que se conoce como emergencia sincrónica. En este sentido de emergencia, lo que se resalta es la brecha explicativa entre las propiedades de los componentes básicos y las propiedades sistémicas de nivel superior (quizás el único candidato real para este tipo de emergencia son las experiencias mentales). Este es el sentido de emergencia más fuerte, pues no es compatible con un reduccionismo explicativo. Finalmente, si agregas a esta versión la propiedad de novedad, la misma, pasa a ser una versión de emergencia diacrónica, solo que más fuerte que la emergencia diacrónica estructural dado la característica de irreductibilidad.

Así que, entender qué es una propiedad emergente puede tener varias caracterizaciones; unas con compromisos fuertes y otras con compromisos más moderados. En general, se utiliza este concepto para mostrar cómo la complejidad de diferentes niveles de organización no puede ser reducida a un solo nivel, y para mostrar la autonomía epistémica de distintas disciplinas que investigan fenómenos complejos por encima del nivel de la física. Pero, como es notable, no existe una definición completamente acabada de qué significa que una propiedad sea emergente, o cómo se puede evaluar empíricamente y de forma rigurosa. Por supuesto, se tiene bien analizado cuáles elementos distintos son importantes para definir qué es una propiedad emergente y con cuánta “fuerza” es que esos elementos delimitan la posición emergentista de la que estamos partiendo. Aun así, este concepto es un concepto ampliamente criticado, cuya coherencia, sigue en debate. A continuación, analizaré algunas de las críticas más contundentes realizadas contra el emergentismo, principalmente las que han sido expuestas por el filósofo de la mente Jaegwon Kim.

4.2 Críticas al emergentismo.

Es cierto que el emergentismo ha propuesto alternativas a la visión reduccionista de la ciencia, pero también, que existen fuertes críticas contra la viabilidad conceptual de las llamadas propiedades emergentes. Probablemente, las críticas más contundentes contra

²¹ Caos determinista hace referencia a la teoría matemática que comenzó con Edward Lorenz sobre el estudio de sistemas dinámicos complejos, mejor conocida como Teoría del Caos.

el concepto de emergencia son las expuestas por el filósofo de la mente Jaegwon Kim. A continuación, presentaré las principales.

Descripción negativa de emergencia. En primer lugar, Kim piensa que no existe una descripción sustantiva de lo que significa emergencia. Cuando nos referimos a propiedades emergentes, estas parecen encontrarse de forma extendida a lo largo del mundo natural, sin embargo, es difícil decir qué constituye el que sea emergente, fuera de ejemplos que podrían parecer filosóficamente poco interesantes. Lo necesario es mostrar qué es lo que permite definir a los diferentes niveles de organización como dominios no reducibles entre sí. Para establecer qué es emergencia, generalmente nos limitamos a mostrar la lista de características que deberían estar asociadas con un fenómeno emergente. Cuando hablamos de emergencia referimos a una nueva constitución con nuevas leyes y propiedades que delimitan un dominio o nivel de mayor complejidad, pero que al mismo tiempo tiene conexiones causales con niveles inferiores (sean descendentes o ascendentes). Esto implica un tipo de relación; una relación de superveniencia. Según explica Kim, lo que explica la superveniencia de las propiedades de nivel superior ha sido tratado por una gran cantidad de teorías diferentes, pero el emergentismo da como primitivas las “leyes” que conectan propiedades emergentes y componentes básicos. Para Kim, esto es prueba de que la relación de emergencia, en todo caso, debe estar fundamentada en otro tipo de relaciones más básicas como, por ejemplo, causalidad o reducción. Lo que esto nos deja, es una descripción negativa de qué es emergencia, pues lo que la definiría es la irreductibilidad de ciertas propiedades a otras con las que comparten un cierto tipo de relación, misma relación que se da como primitiva (propiedad Y emerge de X) y entonces queda caracterizada por la ausencia de reducción. Ergo, como lo entiende Kim, no existe una descripción positiva de qué es emergencia. El emergentismo no nos deja preguntar las preguntas interesantes sobre qué es lo que pasa entre niveles, pues el fenómeno de emergencia trata sobre una relación no explicable entre los componentes básicos y los componentes emergentes.

De igual manera, esto se relaciona con el cuestionamiento de ¿qué es exactamente nuevo y particular acerca de las propiedades emergentes? Después de todo, estas propiedades ocurren en el nivel sistémico, el cual es conformado por componentes inferiores ¿En qué consiste la nueva distinción sistémica que da como resultado una propiedad emergente? Al respecto O'Connor y Wong (2015) describen lo que ellos llaman la objeción epistemológica de Pepper (1926). Él considera que siempre se puede describir una

propiedad emergente detallando nuestras teorías físicas y apelando a leyes evolutivas o dinámicas en vez de leyes emergentes²². Epistemológicamente hablando, se puede replantear este ejemplo, como que no existe justificación para proponer propiedades emergentes siempre que se quiere ajustar el comportamiento de fenómenos macroscópicos. Lo correspondiente es dar versiones más detalladas y complicadas de nuestras teorías a niveles micro. Por otro lado, hay quiénes consideran que también es válido reconocer la posibilidad de verdaderas propiedades emergentes siempre que se observa discontinuidad en el comportamiento del nivel microscópico con relación a un parámetro macroscópico (O'Connor 1994; 2000).

Coherencia de la causalidad descendente. En segundo lugar, Kim critica un aspecto que puede parecer aún más problemático. Este aspecto es el de la causalidad descendente que supuestamente debe ser derivada de propiedades emergentes. Esta cualidad es central para nuestra discusión, pues se relaciona directamente con las propuestas multinivel, mismas que implican buscar las conexiones causales entre diferentes niveles en distintas direcciones. Esta cualidad es también esencial para el emergentismo, pues permite a las propiedades ser más que simples epifenómenos sin relevancia causal, y las constituye, en cambio, como instancias relevantes de explicación.

El argumento de Kim básicamente se desarrolla de la siguiente manera: Él asume²³ que una propiedad emergente (M1), que causa otra propiedad emergente (M2), solo puede hacerlo afectando causalmente la base física (P2) sobre la que superviene la segunda propiedad. Sí esto es así, entonces podría pensarse que existen dos causas en competencia, pues M1 también debe tener una base P1 sobre la que superviene. Sí es así, se podría pensar que en realidad P1 también es causante de la P2 sobre la que superviene M2, y por el argumento de exclusión causal, esto significa que debemos escoger a P1 como la causa suficiente de M2. Esto deja presentada a M1 como un simple epifenómeno sin poderes

²² Delehanty (2005) plantea, con su modelo de mecanismo extendido, que el modelo estándar de mecanismo puede abarcar reductivamente, incluso a propiedades emergentes, siempre que se incluyan aspectos de mecanismos a niveles superiores, en una suerte de explicación mecánica dinámica.

²³ Para O'Connor y Wong (2015), no es necesario asumir que una propiedad emergente E debe causar la base P* de E* para que se pueda hablar de una causalidad entre E y E*, en tanto su teoría sobre emergencia niega la posibilidad de emergencia como superveniencia sincrónica. Desde su perspectiva las propiedades emergentes también pueden considerarse como primitivas en el nivel emergente y pueden implicar otras propiedades emergentes desde ese nivel. De igual manera, en la teoría de Humphreys (1997), las propiedades basales se "fusionan" para producir propiedades emergentes y pueden causar otra propiedad emergente sin necesidad de causar primero una propiedad en el nivel basal.

causales reales. Es por esta razón, que Kim piensa que las propiedades emergentes, de existir, tan solo son epifenómenos que no implican causación descendente.

Esta crítica es similar a la que realizan Craver y Betchel (2007) al respecto de la causalidad descendente, quienes muestran que es posible deshacerse de la circularidad aparente de la causalidad descendente, si esta se plantea como determinación mediada por mecanismos. En este caso, solo existiría la causalidad como una relación intranivel entre componentes que interactúan dentro de un mecanismo. Las relaciones internivel quedarían como determinantes dado relaciones constitutivas entre los diferentes mecanismos que articulan un sistema entero. Las causas son componentes que producen efectos a diferentes niveles, por lo que alterar un componente altera el funcionamiento del sistema, y así mismo, como el sistema es un conjunto de mecanismos, una alteración a un nivel implica la alteración de los componentes, pues afecta la constitución de los mecanismos que operan en los niveles inferiores. En este sentido, ya no sería necesario hablar de causas descendentes para las relaciones internivel sino de determinantes constitutivos entre niveles.

Este tipo de argumentos han probado ser especialmente duros y han generado una gran cantidad de debate en torno al mismo. Esto también se relaciona al principio del cierre causal físico, donde se considera que todo evento físico o dependiente de un evento físico, tiene por lo menos una causa física que es suficiente. Si es así, por exclusión, es más fácil hablar, simplemente, de causas que corren desde el nivel de la física y nada más.

Cómo podemos ver, estos argumentos son más fuerte cuando se asume cierta posición ontológica respecto al concepto de propiedad emergente. Por supuesto, hay maneras de contestar a las críticas descritas en los párrafos anteriores. En el siguiente apartado discutiré la versión de emergentismo que más se utiliza en las propuestas multinivel y como interactúan con las críticas tratadas.

4.3 Emergentismo y explicaciones multinivel.

Para establecer la relevancia explicativa de otros niveles que no sean el nivel basal, es conveniente tratar de proveerles una autonomía especial. Esto es, en gran medida, la verdadera intención del emergentismo. Al mismo tiempo, las explicaciones multinivel necesitan argumentar la importancia de utilizar diferentes niveles como parte del proceso explicativo en sistemas biológicos. Así que, como puede notarse, lo que queda, es ver qué

opciones tiene el emergentismo para confrontar las críticas que lo asedian, o cómo los conceptos de explicación y causalidad multinivel quedan planteados dentro del debate emergentismo vs. reduccionismo, para así definirse de forma congruente. Empecemos por el emergentismo y en el quinto capítulo retomaremos las perspectivas multinivel.

Para empezar ¿cómo es posible definir lo que significa una propiedad emergente? Autores como McDonald y Macdonald (2009) consideran que una descripción más específica de la metafísica de las propiedades emergentes es lo que posibilitaría resolver estos dilemas. Estos autores proponen que pueden existir dos ejemplos de propiedades instanciadas en un mismo evento particular, por ejemplo, un cierto evento neurológico podría ejemplificar múltiples propiedades que, sin embargo, no son idénticas con dicho evento que las instancia. Entonces, dicho evento neurológico podría ser descrito a la vez en un sentido físico y/o mental. Según los autores, esto también resolvería el problema de la causación descendente, pues las propiedades emergentes compartirían eficacia causal con las propiedades físicas del realizador físico sobre el cual están co-instanciadas ambos tipos de propiedades. Me parece, sin embargo, que este tipo de aproximación podría dejar abierta la posibilidad de encontrar un tipo de esquema reduccionista que aplicase sobre la correlación entre las propiedades co-instanciadas. Este modelo requiere pensar en términos de un tipo especial de superveniencia de las propiedades emergentes sobre las propiedades físicas, para después justificar su irreductibilidad a las propiedades físicas. Sin embargo, parece que esto podría ser muy compatible con una reducción funcional. Por otro lado, Humphreys (1997) intenta separar claramente las posibilidades causales de las propiedades emergentes de las posibilidades causales de las propiedades basales. En este caso, las propiedades emergentes se derivan de sistemas tan interconectados, que ciertas propiedades de los componentes se vuelven una sola propiedad al nivel sistémico (se “fusionan”). A causa de eso, las propiedades de la microestructura dejarían de existir como causas relevantes y lo que resulta es una propiedad emergente con capacidad causal propia. Humphreys asegura que esto es una realidad de los sistemas físicos y que puede tener corroboraciones empíricas. Por ejemplo, él piensa que el enlazamiento cuántico es una manifestación de esta fusión de propiedades, sin embargo, aún resta entender a qué otros sistemas podrían aplicarse una idea de este tipo y como podría considerarse desde las ciencias empíricas.

Otros autores parecen tratar de definir emergencia desde una perspectiva metafísicamente menos cargada. Ejemplos de esto podrían ser los modelos de emergencia dinámica de

O'Connor (1994), O'Connor y Wong (2005) y Butterfield (2011), en donde no se consideran a las propiedades emergentes como sincrónicamente supervenientes, sino como una versión de emergencia diacrónica. Por su parte, Rueger (2000) define emergencia como superveniencia sincrónica más una cláusula de robustez, determinada en función de conceptos propios del estudio matemático de sistemas dinámicos no lineales. La idea es que la emergencia no solo mantiene una relación de superveniencia con los componentes de la microestructura, sino que mantiene un comportamiento relativamente autónomo dado que, según Rueger, las propiedades emergentes poseen suficiente estabilidad estructural, al punto que les permite determinar la evolución dinámica del sistema entero. Las propiedades emergentes tienden a permanecer estables a pesar de interactuar con propiedades basales y esto hace que los sistemas dinámicos se mantengan dentro de cierto rango de comportamiento. En un gráfico de espacio fase, las propiedades emergentes quedarían definidas como un atractor matemático. También, Campbell y Bickhard (2011) resaltan esta necesidad de una definición dinámica de emergencia, al punto de hacer hincapié en que las críticas contra el emergentismo quedarían resueltas, si tan solo se considera esta relación desde el punto de vista de los procesos organizativos y no las entidades constitutivas. Desde esta posición, la causación descendente quedaría enmarcada, contrario a la crítica de Kim, como dada por las propiedades de configuración de los constituyentes, propiedad que el mismo Kim reconoce como parte del objeto entero y no de los componentes. Por esta razón, no existiría ningún tipo de circularidad causal, simplemente, la causalidad de las propiedades emergentes dependería del proceso de organización de fenómenos complejos. Campbell y Bickhard se alejan del concepto de superveniencia, pues parece abrir la posibilidad a muchas de las críticas que se esgrimen contra el concepto mismo de emergencia, y apelan a que, dicho concepto, no es necesario para caracterizar el significado de emergencia. De igual manera, Butterfield (2011) considera en su modelo dinámico, que emergencia es algo independiente de superveniencia y reducción. Finalmente, estos intentos por definir emergencia destacando el aspecto dinámico de los sistemas que exhiben comportamientos emergentes, también puede notarse en artículos científicos que buscan definir emergencia en torno a teoría de la complejidad y computabilidad (Adams et al, 2016; Cooper, 2009; Jaeger y Monk, 2014; Zenil et al, 2018).

Sin embargo ¿qué implica esta priorización de los aspectos dinámicos de los sistemas complejos como característica fundamental del comportamiento emergente? Quizás, las propuestas de Campbell y Bickhard, Butterfield y O'Connor parezcan dar una descripción de emergencia fuerte, donde las propiedades emergentes son irreducibles por principio, pero otras como la de Rueger y en general de los científicos de la complejidad, parecen más bien interesarse por aspectos propios de sistemas complejos y las dificultades concretas de predecir con precisión el desarrollo de propiedades emergentes. Estas propuestas que resaltan la complejidad de sistemas dinámicos no-lineales tienden a comprometerse con versiones relativamente débiles de emergencia, más en línea con lo que Stephan define como emergencia diacrónica de estructura (Stephan, 2002; Stephan 2006). En este tipo de emergencia débil, las propiedades emergentes quedan definidas como propiedades sistémicas determinadas por leyes de caos determinista. En sistemas altamente complejos como los sistemas biológicos, la evolución de propiedades novedosas difíciles de predecir y explicar, es común, y hace necesario referir al nivel sistémico para estudiar dichas propiedades. La intratabilidad computacional del desarrollo de los sistemas biológicos posibilita la aparición de propiedades emergentes en este sentido. A nivel práctico, el considerar el concepto de emergencia como consecuencia de la complejidad misma de sistemas dinámicos no-lineales, vuelve a las propiedades emergentes epistémicamente irreducibles.

El problema con este tipo de emergencia es que podría ser poco significativo en sentido filosófico. Por ejemplo, este tipo de emergencia no sería completamente incompatible con un reduccionismo ontológico, pues, en principio, las propiedades superiores seguirían siendo determinadas por las micropropiedades, solo que de una manera altamente compleja. Por otro lado, sí que permite rescatar un tipo de holismo epistémico, donde es importante buscar explicaciones que reconozcan la complejidad multinivel y multiescala de los fenómenos, por ejemplo, biológicos, mentales y sociales. Esto termina por ser completamente adecuado a los objetivos del programa multinivel de explicación, pues demuestra la necesidad de reconocer los aspectos emergentes de los sistemas complejos. Más aún, incluso el concepto de causación multinivel podría ya enmarcar una acepción menos metafísica de causalidad, pues conjunto a un concepto de emergencia débil, la interacción dinámica del sistema y sus partes dentro del contexto de un sistema complejo, puede denotar causalidad multinivel como una condición de retroalimentación homeostática del mismo sistema, o una determinación dinámica, o una especie de

causalidad interdependiente. Precisamente, como veremos en el siguiente capítulo, este tipo de estrategia es común para los autores que trabajan explicación multinivel, mismos que prefieren hablar de emergencia y causalidad multinivel en un sentido dinámico, más fundamentado en los aspectos epistémicos de la explicación holista que en aspectos metafísicos.

Este concepto de emergencia puede ser útil para los conceptos de explicación multinivel y causalidad multinivel, no solo por optar por una versión menos ontológica de emergencia, sino porque parece ajustarse mejor a las necesidades de las ciencias biológicas como también opina Bedau (1997). Esto es porque una posición de emergencia débil es metafísicamente más inocente que una posición fuerte, lo que, a su vez, es más compatible con una posición fisicalista y más útil para el estudio científico de los sistemas complejos. Esto es relevante para la biología, pues se asume que a nivel ontológico si existen relaciones constitutivas con los fenómenos físicos; es a nivel epistémico y metodológico que la aparición de propiedades emergentes en un sentido débil cobra importancia. La parte fundamental del emergentismo que separa a la biología de la física es la dificultad de predecir fenómenos biológicos usando simplemente conocimientos derivados de física, así como la dificultad explicar estos fenómenos apelando a los niveles más básicos.

De hecho, en biología existen varios ejemplos de investigaciones que trabajan con propiedades emergentes en este sentido débil, en el que se entiende que las propiedades emergentes son básicamente fenómenos novedosos que dependen del contexto sistémico para ser caracterizadas. Por ejemplo, en Porrás-Alfaro y Bayman (2011) se discute sobre la aparición de comportamientos adaptativos novedosos derivados de la interacción compleja de hongos endófitos con distintos organismos asociados a las comunidades vegetales. En Odenbaugh (2011) y Yin y Herfel (2011) se discute la estabilidad fuera del equilibrio de los ecosistemas como una muestra de la emergencia de retroalimentación regulativa, misma que deviene de las complejas interacciones ecológicas que ocurren a nivel ecosistema; y finalmente, Rorth (2012) nos muestra que la migración celular depende de complejas rutas de señalización, la interacción celular y la posición de las células dentro del colectivo. Esta coordinación del sistema es lo que permite que una o varias células se comporten como las “guías” de la migración celular.

La existencia de propiedades emergentes en sentido débil no quiere decir que la física y las matemáticas no lineales no puedan caracterizar patrones generales que permiten el desarrollo de dichas propiedades, pero si muestra la importancia de considerar distintos niveles de organización como epistémicamente autónomos. Qian (2010), por ejemplo, discute como los modelos de dinámica molecular en las redes génicas tienen implicaciones para el entendimiento de los sistemas dinámicos a nivel celular, los cuales que ocurren a una mayor escala de tiempo. La aparición de múltiples atractores que denotan la trayectoria de estabilidad de la dinámica molecular representa la existencia de propiedades emergentes en los sistemas bioquímicos a escala sistémica.

En resumen, el concepto de propiedad emergente no está del todo acabado, pero parece que es posible dar una respuesta positiva a sus críticas más importantes siempre que se opte por definirlo en torno a una versión débil de emergencia, tal que resalte los aspectos dinámicos de los sistemas complejos no-lineales en el sentido computacional de los mismos. Esto, además, permite proveer un concepto de emergencia más útil a la tarea científica y fértil para el desarrollo de explicaciones multinivel. Con este último ingrediente, ahora podemos analizar las distintas perspectivas de los conceptos de explicación y causalidad multinivel. Tenemos una visión con cierta oposición al reduccionismo, afinidad con el holismo y una postura que reconoce la importancia del concepto de propiedad emergente para las ciencias biológicas, en específico, una versión débil de emergencia. Con esto en mente, abordaremos distintas propuestas sobre causalidad multinivel para así entender lo que se busca recuperar de estos conceptos y como estas ideas pueden ayudarnos a lidiar con los problemas tanto del reduccionismo como del emergentismo.

5. Explicaciones y causalidad multinivel en biología.

Cómo hemos revisado, no es posible aplicar explicaciones reduccionistas a todas las disciplinas científicas ni a todos los fenómenos de interés científico, o al menos, no de forma exclusiva. La visión reduccionista de la ciencia, particularmente en biología, debe estar complementada por otros enfoques que permitan una mejor apreciación de la complejidad intrínseca de los fenómenos biológicos. Una aproximación reduccionista exclusiva puede pasar por alto la interdependencia entre sistema/parte y entre ambiente/organismo, no detallar los procesos dinámicos que dan cabida a los fenómenos orgánicos y mal interpretar procesos multinivel. Tanto la biología evolutiva como la biología del desarrollo son dos ejemplos de esto.

La propuesta emergentista busca rescatar la singularidad de los fenómenos biológicos y darle relativa autonomía, sea ontológica o sea epistemológica, con el fin de evitar tener que aplicar explicaciones reduccionistas fundamentales a la complejidad intrínseca de lo biológico. La complejidad de los sistemas biológicos no se agota desde la perspectiva reduccionista. Este enfoque plantea, también, serios problemas al momento de dar una caracterización sustantiva de lo que significa el concepto de propiedad emergente. Por su parte, las explicaciones multinivel presentan una posibilidad conceptual para dar una perspectiva holista sobre la complejidad biológica en el terreno epistemológico de las ciencias biológicas y aportar al debate del reduccionismo vs el emergentismo.

En oposición a la visión reduccionista, se ha planteado la perspectiva de un holismo biológico que busque entender fenómenos complejos desde una perspectiva integral y sistémica (Gilbert y Sarkar, 2000; Mitchell, 2009; Noble, 2006; Fang y Casadevall, 2011). Una explicación holista debe mostrar la importancia completa del sistema como elemento causal y determinante del fenómeno, y no focalizarse solo en las partes y relaciones aisladas para la comprensión de cualquier fenómeno. De igual manera, debe reconocer la relevancia epistémica de las entidades que se encuentra por encima del nivel genético y/o molecular. Una explicación holista debe contemplar la posibilidad de dirigir el sentido causal de los fenómenos no solo de abajo hacia arriba, sino también de arriba hacia abajo y en general permitir que se puedan combinar explicaciones derivadas desde distintos niveles de organización. Esta posibilidad de explicar el fenómeno desde distintos niveles es lo que se conoce como explicación multinivel y comienza a jugar un rol de importancia

en el desarrollo de la biología moderna (Martínez et. al., 2017; Martínez y Esposito, 2013; Noble, 2006; O'Malley et. al. 2014).

El concepto de explicación multinivel está relacionado con el concepto de causalidad multinivel, mismo del que se deriva que no son solo las entidades de los niveles basales las que poseen capacidad de determinar un fenómeno, sino que también, que las entidades pertenecientes a cualquier nivel de organización implican relaciones causales (Martínez, 2013). Parte importante de esta capacidad causal es que las entidades de mayor nivel pueden también determinar a los procesos de niveles inferiores. Esto implicaría que los procesos y fenómenos a explicar no siempre tienen que derivarse desde la microestructura hacia los niveles superiores, sino que también deben explicarse desde niveles superiores hacia niveles inferiores. Esta dirección de la casualidad de arriba hacia abajo es lo que se conoce como causalidad descendente y es de vital importancia para entender que es lo que las explicaciones holistas aportan por encima las explicaciones reduccionistas. Noble (2006) reconoce que, aunado a este sentido descendente de causalidad, también podrían existir sentidos de la dirección causal que deriven desde cualquier nivel, por lo que también se deberían construir explicaciones desde los niveles medios hacia los de orden inferior y superior (*middle-out*).

Martínez y Esposito (2013) explican que la causalidad multinivel denota una relación compleja entre distintos niveles orgánicos que se basa en mecanismos de determinación dinámica, como bucles de retroalimentación y redes de interacción, e implicaría distintos sentidos causales que producen procesos y fenómenos a través de distintos niveles de organización y diferentes escalas de tiempo. Martínez y Esposito (2013) proceden a mostrar diferentes áreas de la biología donde el concepto de causalidad multinivel es de utilidad para la búsqueda de explicaciones holistas:

- a) Construcción del nicho ecológico, donde la retroalimentación activa entre organismo y ambiente motiva a pensar en causación multinivel. Esto, debido a que, para definir el nicho ecológico, no basta información genética, sino también, es necesaria información de la comunidad ecológica y la historia de vida de los organismos.
- b) El estudio de redes auto catalíticas y el estudio de procesos de selección natural requieren de perspectivas sistémicas que detallen la influencia de niveles superiores sobre niveles inferiores.

- c) La ontogenia biológica necesita ser estudiada desde un marco que sea compatible con la complejidad del desarrollo orgánico, así como con la irreductibilidad al nivel molecular, y necesita aproximaciones plurales de causalidad y explicación que vayan de arriba hacia abajo o de adentro afuera, tal que sean compatibles con la naturaleza diacrónica de los procesos ontogenéticos.
- d) El estudio de la carcinogénesis y el estudio de la plasticidad biológica necesitan una aproximación más organicista y menos reduccionista y determinista, misma que reconozca la causación multifactorial de estos fenómenos.
- e) El estudio de campos morfogenéticos en el desarrollo es contexto dependiente e implica una determinación de arriba hacia abajo. Otros autores, como O'Malley et al. (2014), también mencionan un número importante de campos de estudio que requieren análisis filosófico desde una concepción multinivel como son: el estudio de ecosistemas, microbiomas, comunidades marinas globales, abundancia de virus y ecología microbiana.

Este nuevo enfoque holista no pretende dismantelar la utilidad y pertinencia epistémica del reduccionismo, sino, y como resulta evidente, pretende dar una posibilidad pluralista al estudio de la complejidad biológica. Mitchell (2009) lo explica con creatividad en la exposición de su propuesta para un pluralismo integrativo. Sus requerimientos son los siguientes:

“Pluralismo, integrar explicaciones y modelos múltiples a distintos niveles de análisis en vez de siempre esperar una explicación reductiva de abajo hacia arriba.

Pragmatismo en lugar de absolutismo, [de forma] que se reconozca que existen varios caminos para, si se quiere parcialmente, representar la naturaleza de la naturaleza [misma]. Que representación “funciona” depende, en parte, de nuestros intereses y habilidades.

[Sustituir] un universalismo estático por [una concepción que muestre] la naturaleza esencialmente dinámica y evolutiva del conocimiento. Este rasgo requiere que encontremos nuevos modos de investigar la naturaleza y reconfigurar nuestras estrategias políticas para aplicar el conocimiento que obtengamos.” (Mitchell, 2009 p.13).

En conclusión, la perspectiva holística de explicación es necesaria, no para reemplazar las explicaciones desde los niveles básicos cuando muchas veces son útiles y pragmáticas, sino para vindicar el papel que la complejidad juega en los fenómenos biológicos. Por

esta razón, es que es necesario comprender la necesidad de un pluralismo explicativo en ciencias biológicas, como aquel propuesto por Mitchell (2009), Martínez (2017) y Martínez y Esposito (2013)²⁴.

Las explicaciones holistas deben tomar en cuenta el sistema por completo para así dar cuenta de la complejidad intrínseca de algunos fenómenos biológicos y reflejar los procesos dinámicos e interdependientes dentro de los mismos. Para lograr este cometido, es preciso desarrollar nuevos conceptos que reflejen este tipo de características. En particular, y como ya lo hemos mencionado, es necesario entender el aspecto multinivel de la causalidad en los sistemas complejos y como proveen de una perspectiva holista.

En este último capítulo, en el apartado 5.1, retomaré las propuestas de distintos autores sobre que implica explicación multinivel y cómo se entiende el concepto de causalidad multinivel, con el fin de describir como se conceptualizan dichos conceptos. Estas propuestas incluyen a: El-Hani y Emmeche (2000), Emmeche et al. (2000), Moreno y Umerez (2000), Noble (2006) y Trewavas (2006), que tratan causación descendente; El-Hani y Queiroz (2005) hablan de determinación descendente; Soto y Sonnenschein (2005), causalidad circular; Riedl (2005), causalidad retroalimentativa; Laland et al. (2008), causalidad recíproca; Ellis (2009), causalidad de arriba abajo; y finalmente Martínez y Moya (2011) que usan el término causalidad multinivel. Finalmente, en el apartado 5.2, analizaré los puntos en común de las distintas propuestas en el contexto del problema de la causalidad descendente, el debate reduccionismo vs. emergentismo y como se determinan niveles de organización en biología.

²⁴ La idea de un pluralismo que admita explicaciones holistas y reduccionistas requiere ser desarrollada con más detalle. Por supuesto, las explicaciones holistas entran en conflicto directo con las explicaciones reduccionistas, pues las segundas asumen la existencia de un nivel reductor básico y único, mientras que las primeras implican la integración de varios niveles en la construcción de una explicación compleja. El pluralismo por el que abogan algunos autores está relacionado con la posibilidad de no requerir una explicación multinivel para todo contexto científico. Esto va vinculado con un pragmatismo epistémico que permita discernir la relevancia de las explicaciones multinivel según el contexto de una investigación. Igualmente, puede tener ventajas heurísticas comenzar con hipótesis reduccionistas para luego ir delineando hipótesis multinivel. Tampoco será necesario que cada explicación multinivel implique todos y cada uno de los posibles niveles de explicación, sino solo aquellos que sean más convenientes. Por supuesto, limitar el número de niveles de explicación puede ser útil dado ciertos objetivos concretos dentro de una investigación científica, por ejemplo, cuando se busca desarrollar tecnología o intervenir algún fenómeno natural, pero lo que agrega la posición holista es no perder de vista el costo de precisión que implica no incluir modelos multinivel. La posición holista permite no exceder el alcance epistémico de una investigación reduccionista y ser conscientes de la necesidad de una interacción entre distintas perspectivas disciplinares y distintas perspectivas de investigación a distintos niveles de explicación. Esta posición es similar a lo que se explora en trabajos como el de Waters (2006) y Coffman (2011).

5.1 ¿Que es causalidad multinivel?

La explicación multinivel nos obliga a concebir cómo distintos niveles de organización determinan el porqué de los fenómenos biológicos. En este sentido, cuando nos preguntamos sobre la causa de los fenómenos biológicos, en realidad nos estamos preguntando sobre la confluencia de muchos procesos interconectados a distintos niveles. Por esta razón, es que distintos autores buscan esclarecer qué es la causalidad multinivel y resolver el problema de la causalidad descendente. Existen distintas propuestas para tratar el tema, yo describiré 11 de ellas.

Causalidad descendente. Varios autores consideran que la manera clásica de llamar a la conexión causal de niveles superiores a inferiores debe ser causalidad descendente,²⁵ aunque, como veremos, autores como Noble (2006), consideran que el mismo concepto de causalidad descendente es aplicable en distintas direcciones dentro de una explicación biológica. El-Hani y Emmeche (2000) y Moreno y Umerez (2000) proponen que la mejor manera de entender la causalidad descendente es recuperando ideas aristotélicas de causalidad. Bajo esta perspectiva aristotélica, la causalidad descendente no sería de tipo eficiente, sino formal. Esto quiere decir, que la causalidad descendente no sería una causa a nivel físico o en el sentido clásico de causa y efecto, sino una causa en sentido formal, en donde se entiende que, en los sistemas complejos, el sistema completo funciona como una entidad que condiciona las posibilidades específicas de evolución de los componentes. Los organiza, les da “forma”.

Por ejemplo, la naturaleza homeostática de una célula condiciona cómo se desarrollan los procesos bioquímicos a su interior. La célula, entonces, funciona como una entidad que se mantiene organizada a través del tiempo, organizando, también, y por consecuencia, a sus propios componentes. Es en este sentido, que los autores de estos artículos explicitan la idea de la causación descendente como causa formal. Desde esta perspectiva, los niveles superiores no influyen sobre los niveles inferiores como si los primeros fuesen causas y los segundos efectos, sino que influyen en determinar la organización final de

²⁵ El primero en mencionar el concepto de causalidad descendente fue Donald T. Campbell (1974) y posteriormente también fue desarrollado Karl Popper (1977). Ellos sentarían las bases para la definición del concepto, mismas que son muy similares a las de otros autores. La causalidad ocurre cuando la robustez de ciertos eventos y fenómenos de escala y nivel de complejidad superior determinan el arreglo de los componentes, produciendo que, para ciertos fenómenos, como son los fenómenos biológicos, las explicaciones reduccionistas no sean suficientes.

los componentes a nivel inferior, así como determinan su patrón evolutivo. Esto es muy claro en El-Hani y Emmeche (2000, p. 263):

“Las partes de un objeto mereológicamente complejo dependen del todo, puesto que sus actividades son modificadas en virtud de quedar [determinadas] de forma particular por los principios de organización observados en un todo específico. La dependencia mereológica contendría, en este sentido, otra relación (asimétrica) determinante, además de la superveniencia, y, por lo tanto, uno podría asegurar plausiblemente, el hecho que las macro propiedades no están completamente determinadas por las micro propiedades, esto a pesar de la dependencia hacia los componentes y la determinación que implica la relación de superveniencia”.

En su propuesta, El-Hani y Emmeche también buscan definir propiedad emergente como una relación de superveniencia pero que no se agota bajo este concepto, sino que queda delimitada por la capacidad restrictiva del sistema como un todo.

“Nada más se requiere para explicar una propiedad emergente que el hecho que un sistema cualquiera siempre instancia un subconjunto particular de sus posibles estados, mostrando un conjunto de propiedades que no se encuentran en las partes por sí mismas o en otras regiones del espacio de fases, donde diferentes sumas de las partes (es decir, diferentes modos de organización) ocurren. En este sentido, no hay nada misterioso acerca de fenómeno emergente, en tanto puede ser explicado, definido matemáticamente e incluso predicho.” (El-Hani y Emmeche, 2000 p. 266).

Cabe resaltar el papel que juega, en las propuestas de El-Hani y Emmeche (2000) y Moreno y Umerez (2000), la idea de la causación descendente como una condición que “construye” o delimita el comportamiento de los componentes del sistema. En la propuesta específica de Moreno y Umerez (2000) se plantea a los sistemas biológicos como una configuración específica de condiciones límite que “construyen” de forma selectiva los procesos dinámicos que los constituyen (es decir, los componentes del sistema) (Moreno y Umerez, 2000 p. 107). Este tipo de idea también puede encontrarse en artículos publicados por científicos como es el caso de Trewavas (2006), en donde el autor explica cómo la teoría en biología de sistemas debe aplicarse al estudio de plantas. Para el autor, nuevamente, la causalidad descendente opera como un tipo de condicionamiento del sistema entero, solo que él, además, rescata todos los patrones de homeostasis, comunicación y retroalimentación de las plantas, mismos que permiten el mantenimiento de la estructura biológica. Estos comportamientos ocurren a nivel del sistema y no de las partes, por lo que, para él, las propiedades emergentes (un poco en el sentido en el que lo refiere Stephan) son recurrentes del fenómeno biológico bajo el

enfoque de la biología de sistemas. Trewavas, igual que El-Hani y Emmeche (2000) y Moreno y Umerez (2000), confía en que los desarrollos en teoría de sistemas, las ciencias de la computación y las ciencias de la complejidad demuestren empíricamente el fenómeno de emergencia.

Por su parte, Emmeche et al. (2000) distinguen entre tres versiones de causalidad descendente. La versión fuerte acepta la causación descendente como una causa eficiente que produce efectos directos sobre los niveles inferiores y entiende la emergencia de los niveles superiores como una distinción ontológicamente fuerte que separa claramente nuestro universo. En una causación descendente media, lo que tenemos es una causalidad, nuevamente formal, que constriñe las posibilidades de comportamiento de los componentes de sistema dado el contexto sistémico. Finalmente, la causación descendente débil sería similar a la media, pero sin la interpretación de las condiciones sistémicas como limitantes causales y, en cambio, sería interpretada como una propiedad organizacional de los sistemas complejos. En otras palabras, aquí el fenómeno de emergencia quedaría limitado a la organización de los componentes en el contexto del sistema. La diferencia con la versión media, es que la versión débil no considera a los niveles superiores como fenómenos sustanciales y la versión media sí. La interpretación de niveles superiores como condicionantes del comportamiento inferior permite interpretar a los niveles superiores como poseedores de una dinámica propia, por eso, en ese sentido, existiría una autonomía de los niveles superiores ligeramente mayor en la versión media que en la versión débil.

Emmeche et al. (2000) no deciden sobre cuál de las dos versiones, media o débil, es más útil para una descripción científica de la causalidad a varios niveles, sin embargo, como podemos notar en El-Hani y Emmeche (2000), Emmeche parece decantarse por la versión media. Algo interesante de reconocer es que estos trabajos utilizan terminología derivada del análisis de sistemas dinámicos para definir el fenómeno de emergencia. En este caso, los niveles superiores podrían ser vistos como un atractor matemático en el espacio fase de la trayectoria de un sistema dinámico. La versión media solo agregaría la concepción de “condiciones límite” como propiedades “capaces de alterar la apariencia del espacio fase”. Esta sería la marca de una propiedad emergente según Emmeche et al. (2000) y ciertamente permitiría la posibilidad de una descripción efectiva a nivel científico.

Finalmente, Noble (2006) nos habla nuevamente de la interdependencia entre distintos niveles de complejidad de los sistemas biológicos, apelando a no entenderlos exclusivamente como objetos, sino procesos activos que se mantienen y desarrollan activamente y que requieren ser analizados utilizando múltiples niveles de explicación. Él considera que no existe un nivel privilegiado sobre el que se deba construir una explicación científica, sino que se puede partir de cualquier nivel dependiendo de las necesidades de estudio. Más aún, la dirección en la que la causalidad aplica en un sistema complejo, no tiene que por definirse exclusivamente de arriba abajo o de abajo arriba, sino que también puede partir de niveles medios hacia niveles superiores e inferiores a la vez. Noble nos muestra un ejemplo de lo que quiere decir utilizando sus propias investigaciones sobre el funcionamiento del corazón humano. Puedes, por supuesto, comenzar al nivel molecular para explicar cómo los canales de sodio y potasio transmiten señales eléctricas a través de las membranas celulares de las fibras musculares, sin embargo, de igual forma deberás entender el ritmo cardíaco para explicar el ritmo del voltaje celular que a su vez retroalimenta el funcionamiento de los canales de iones. Esto te permite crear un modelo que sirve para simular al corazón completo como un fenómeno multinivel. Por buena razón, fueron sus investigaciones sobre el ritmo de apertura de los canales iónicos en el corazón, las que terminaron por volver a Noble un genuino simpatizante de las nuevas propuestas en Biología de Sistemas.

Nuevamente, tenemos una causalidad definida en función de las condiciones límite de un sistema interdependiente, y si aplicamos esta idea de multidireccionalidad de la causa formal a las demás propuestas, vemos que, en realidad, lo que se trata de expresar con el concepto causalidad descendente, es la determinación múltiple que existe entre los múltiples niveles de organización que intersectan el fenómeno biológico. Todo nivel es candidato de desarrollar una explicación desde dicho nivel, pues todo nivel es necesario para una buena simulación de un sistema complejo, y es por esta razón, que en los sistemas biológicos se puede hablar de causalidad multinivel.

Determinación descendente. El-Hani y Queiroz (2005) continúan con la intuición de que la causalidad descendente no ocurre conforme a causas eficientes sino causas formales, donde, como ya lo hemos mencionado, las condiciones del sistema constriñen las posibilidades de evolución de los componentes, condicionando, así, el comportamiento de la microestructura. Para ellos, el concepto de causa asociado a la mereología de los sistemas complejos es inadecuado, pues es más preciso entender a la causalidad

descendente, no como una cuestión de causa, sino como una cuestión de determinación explicativa. Esto tiene sentido, pues es compatible con una visión epistemológica y metodológica de lo que significa un holismo científico.

“Para explicar la relación entre causación descendente y las constricciones [del sistema], podemos comenzar por considerar que, cuando entidades de niveles inferiores componen a entidades de niveles superiores del sistema, el conjunto de posibles relaciones entre ellas esta constreñido, en tanto el sistema provoca que sus componentes tengan una distribución mucho más ordenada en el espacio-tiempo de la que tendrían en ausencia [del sistema]. Esto es verdad para el caso tanto de entidades como procesos, en tanto los procesos también provocan que los elementos involucrados [en dicho proceso] asuman una distribución particular en el espacio-tiempo.” (El-Hani y Queiroz, 2005 p. 176).

“Un conjunto dado de condiciones constrictivas que actúan sobre las partes de un todo pueden ser interpretadas, desde una perspectiva neo-Aristotélica de causalidad, como una instancia de causalidad formal. Más aún, podemos interpretar las funciones específicas que muchos componentes manifiestan mientras sus relaciones están siendo constreñidas dentro de una estructura de nivel superior (contribuyendo a la estabilidad dinámica del sistema mismo) en términos de una causalidad funcional.” (El-Hani y Queiroz, 2005 p. 177).

Cabe notar que, desde esta perspectiva, para El-Hani y Queiroz (2005), la causalidad descendente debería ser leída, preferentemente, en términos de ser un principio general de organización sistémica. Desde esta propuesta, el proceso que genera la organización estable del organismo como un sistema, antecede a las entidades, y es por eso que el concepto de causalidad descendente debe ser acomodado dentro de una filosofía de procesos. En un mundo dinámico, son los procesos que ordenan a los componentes de los sistemas, los mismos que permiten la emergencia de las propiedades y entidades que vemos a nivel sistémico (El-Hani y Queiroz, 2005 p. 183).

Para explicar en biología, requerimos también tener en cuenta el sistema entero, no sólo las partes. Independientemente de las direcciones causales que ocurren entre niveles, esto también sería cierto desde el entendido de la determinación descendente. Por otro lado, como veremos en las propuestas siguientes, los procesos retroalimentativos de los sistemas orgánicos pueden sugerir que la explicación multinivel está conectada a verdaderas dinámicas causales, que el concepto de determinación descendente no agota por completo.

Causalidad circular, causalidad recíproca y causalidad retroalimentativa. Otras propuestas consideran esta determinación cruzada entre niveles, pero destacan la interdependencia dinámica que existe entre distintos niveles dado ciertos procesos retroalimentativos o de causalidad dinámica que ocurren en sistemas biológicos. Por ejemplo, Soto y Sonnenschein (2005) analizan la perspectiva reduccionista a nivel genético y celular que se utiliza para el estudio del cáncer. Para estos investigadores, esta perspectiva falla en dar cuenta de distintas características de la carcinogénesis y consideran que una visión organicista u holista del cáncer es necesaria para obtener una explicación adecuada. Para ellos, el nivel apropiado para el estudio de la carcinogénesis es el nivel tisular, pues muchas veces son campos morfogenéticos los que condicionan la aparición de cáncer. Desde esta perspectiva, la carcinogénesis es un fenómeno emergente a nivel tisular y debe ser tratado con explicaciones multinivel. La interdependencia entre las causas y efectos, tanto de componentes como sistemas, es tan grande, que es difícil diferenciar entre causas y efectos a distintos niveles.

“Sin embargo, existen muchas interacciones que ocurren de forma simultánea para mantener la estructura de un tejido; por lo tanto, es prácticamente imposible discernir entre causa y efecto de una manera [suficientemente] precisa [como para] que se revele si [las propiedades] emergentes poseen una agencia propia.” (Soto y Sonnenschein, 2005 p. 113).

“¿Cómo puede ser estudiada la causalidad aquí? ¿Es el tejido lo que causa la formación de la membrana? Y luego ¿está la membrana basal “causando la arquitectura normal del epitelio- y, por lo tanto- también el tejido? Esto parece causación circular.” Soto y Sonnenschein, 2005 p. 113).

Esta interdependencia que acerca causas y efectos a distintos niveles, en términos de los autores, parece apuntar a una causalidad circular por paradójico que resulte. Da la impresión de que lo que Soto y Sonnenschein (2005) quieren señalar es la codeterminación dinámica que ocurre entre distintos niveles. Lo que ellos llaman causalidad circular es básicamente la causalidad multinivel que condiciona la interacción dinámica de varios niveles de organización.

Vemos algo similar en Riedl (2005) quien nos muestra cómo una gran cantidad de problemas dentro de la biología evolutiva requieren de una concepción plural de causalidad. Para él, esta causalidad debería ser considerada como una causalidad recíproca, donde nuevamente se resalta la interacción mutuamente dependiente entre varios niveles, misma que permite el desarrollo de fenómenos complejos en la biología

evolutiva. La interacción de factores genéticos, epigenéticos y ambientales es necesaria para explicar una serie de fenómenos paradójicos en biología evolutiva, desde radiaciones adaptativas, hasta órganos vestigiales. Por su parte, Laland et al. (2008) aseguran que una síntesis entre la Evo-Devo y la teoría de construcción de nichos es necesaria para entender el papel activo del desarrollo en la evolución orgánica, y también muestran cómo la interacción ambiente/organismo implica una influencia y determinación mutua, muy en línea con las ideas de Lewin y Lewontin. La evolución de estructuras que modulan la capacidad de desarrollo en los seres vivos termina por dar herramientas para que los organismos influyan su ambiente y sean ellos mismos quienes produzcan un nicho propio, lo que a su vez delimita ciertos caminos evolutivos. De igual forma, las presiones condicionantes de un nicho-ecológico específico afectan la evolución de estructuras genéticas del desarrollo, creando procesos que retroalimentan la interacción entre el organismo y el ambiente. Esto da cuenta de la noción de causalidad retroalimentativa de la que hablan Laland et al. (2008). Un ejemplo de esto sería la mosca *Eurosta solidagnis*. Las larvas de este insecto se alimentan el tallo de *Solidago sp.* Las proteínas salivares inducen la proliferación celular del tallo, lo que, a su vez, produce una agalla. Dentro de la agalla, la larva continúa alimentándose hasta que llega el invierno, momento en que esta misma comienza a producir azúcares que le sirven como anticongelante. Sin embargo, lo que dispara el mecanismo de producción son sustancias que libera la misma agalla mientras se seca el invierno. Como mencionan Laland et al. (2008), esto es un ejemplo de inducción recíproca al nivel ecológico y de causalidad recíproca al nivel evolutivo. Tanto la larva modifica el desarrollo de la planta al crear un nicho ecológico con ella, como la planta modificada, a su vez, modifica el desarrollo de la larva.

Desde este conjunto de ideas, la causalidad multinivel no solo determina, sino que tiene un papel eficiente y dinámico que parte desde el contexto sistémico y holístico de la complejidad biológica, y que se manifiesta en distintos niveles de organización, mismos que, sin embargo, interactúan a partir de procesos de retroalimentación causal.

Causalidad multinivel. Con Ellis (2009), abordamos cinco formas concretas de influencia causal entre niveles. Particularmente, cinco formas de causalidad de “arriba hacia abajo”:

- a) La primera forma la llama “causación algorítmica de arriba hacia abajo” y se refiere simplemente a la capacidad organizativa que se deriva del contexto sistémico, muy similar a lo que hemos visto en otras propuestas. Esta versión es compatible con un

reduccionismo fisicalista más criterios extra para delimitar parámetros dinámicos y de interacción entre niveles.

- b) La segunda forma la nombra como “control de información no adaptativo”. En este caso, las entidades de nivel superior influyen en las entidades de nivel inferior a modo de obtener metas específicas mediante la existencia de bucles retroalimentativos de información, de tal forma que se mantenga la homeostasis del sistema. Este tipo de causalidad de arriba abajo es prevalente en fisiología, por ejemplo.
- c) La tercera forma es la selección adaptativa, en donde existe una selección de entidades dentro de un contexto ambiental, por ejemplo, las células del cuerpo o los individuos de una población animal. Este tipo de causalidad podría entenderse como un bucle de retroalimentación con un “meta-propósito” que sería mantenido por un criterio de adecuación. Este sería un sistema de adaptación y no de control como en el caso de un sistema homeostático. En un sistema de adaptación no controlado, la adecuación, dirigida por procesos estocásticos, produce un resultado evolutivo, mientras que, en los sistemas no adaptativos de control, lo que existe son mecanismos internos modulados para mantener cierto estado preferido. La evolución orgánica y el funcionamiento de redes neurales serían ejemplos de este tipo de causalidad.
- d) La cuarta forma de causalidad, Ellis la denomina como control de información adaptativo e implica una combinación del control por retroalimentación y selección adaptativa. En este caso, los procesos de control están dados por mecanismos homeostáticos pero el estado “objetivo” del sistema no está fijo, sino que cambia y se construye frente a un esquema de adaptación. Esta condición llevaría al sistema a ser flexible y conducirse como si tuviera aprendizaje frente a variables ambientales. Un ejemplo clásico de este tipo de causalidad es el aprendizaje por condicionamiento en animales.
- e) Finalmente, el quinto tipo de causalidad de arriba hacia abajo sería una causación inteligente, en donde tendríamos sistemas retroalimentativos de control combinado con sistemas adaptativos de aprendizaje inteligente. Este tipo incluye la mente humana en sus ámbitos individuales y sociales.

Para Ellis (2009), estos cinco tipos de causalidad de arriba abajo componen formas específicas en las que se puede conceptualizar la causalidad descendente entre niveles,

como poseyendo cierto grado de capacidad causal eficiente, mismo que es dado por mecanismos de acción interdependiente en la dinámica de los procesos del sistema. Ellis da argumentos interesantes para considerar que no existe un cierre causal completo a nivel físico. Precisamente, los ejemplos que da de causalidad de arriba abajo implican una determinación e influencia concreta de entidades de nivel superior sobre entidades de nivel inferior, y segundo, porque un cierre causal completo a nivel físico parece implicar un determinismo inaceptable en un mundo dinámico y capaz de evolucionar: Este determinismo fuerte también es incompatible con la producción de ciencia humana ¿si no somos capaces de decidir entre teorías alternativas de forma racional, entonces cómo podemos hablar de ciencia? La elección racional de teorías implica cierta capacidad de discernimiento que, a su vez, deriva cierto nivel de agencia autónoma en el nivel mental.

De acuerdo con Ellis (2009), esta multidireccionalidad de los procesos causales en sistemas complejos es compatible con las explicaciones multinivel de Noble. Para Ellis, hay explicaciones que funcionan de abajo hacia arriba, arriba hacia abajo y explicaciones que funciona dentro de un mismo nivel de organización. Más aún, similar a Noble, Ellis parece asumir que cualquier nivel de organización dentro de un sistema orgánico o mental puede ser utilizado como punto de partida para una explicación conveniente, y que, desde dicho nivel, es posible trazar direcciones de explicación en múltiples sentidos.

Otra propuesta que aborda esta manifestación multinivel de la causalidad en sistemas complejos, particularmente los biológicos, es la de Martínez y Moya (2011). Estos autores analizan la forma en que se ha conceptualizado el papel causal de la selección natural en la teoría de la evolución biológica, y proponen una aproximación conceptual multinivel. Desde su perspectiva, la selección natural tiene un papel, no solo negativo (eliminando características deletéreas), sino también positivo al constreñir el *pool* genético de la siguiente generación de individuos. De esta forma, la selección natural configura las posibilidades de variabilidad genética que conforma la siguiente generación, lo que a su vez condiciona el camino evolutivo que se puede seguir. Desde esta conceptualización, la selección natural sería un tipo de causa descendente que afecta la configuración de la microestructura genética de los organismos. Esto define una dinámica multinivel dentro del proceso evolutivo que involucra tanto causación ascendente como causación descendente. En el sentido ascendente, los procesos moleculares y ontogénicos que permiten la variabilidad orgánica en una población producen un *pool* genético y fenotípico sobre el que la selección natural puede actuar (Figura 3). En sentido

descendente, la selección natural reconfigura las posibilidades dentro del *pool* genético, afectando las posibilidades evolutivas de la siguiente generación.

“La causación descendente explica exitosamente el tipo de causación multinivel que opera en el proceso de selección natural, al mismo tiempo que captura el actuar creativo y cumulativo de esta. Por esta razón, es útil incorporar este tipo de causación en cualquier definición de selección natural que busque explicar el poder creativo que posee. Esta reformulación del concepto de selección natural esta basada en la inclusión del concepto de causación descendente. Nosotros creemos que nuestra propuesta no solo recupera la intuición darwiniana de que la selección natural es una fuerza creativa, sino que simultáneamente fortalece y avanza el trabajo de autores post-darwinianos que han afirmado lo mismo. Al resaltar la co-determinación mutua entre niveles de organización durante el proceso de selección natural hemos recuperado y articulado una perspectiva multinivel que estaba ausente en discusiones previas.” (Martínez y Moya, 2011 p. 9).

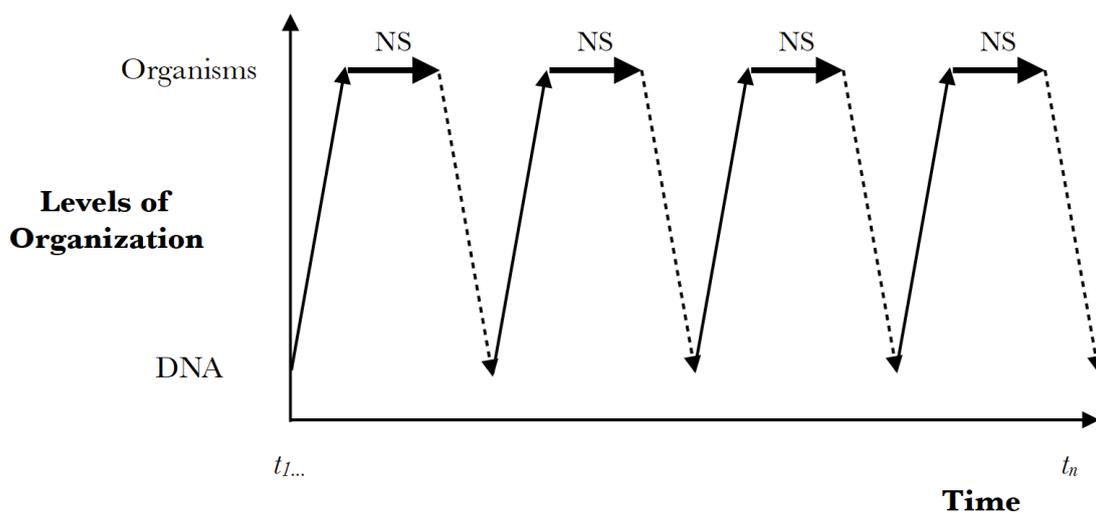


Figura 3. Este diagrama tomado de Martínez y Moya (2011 p. 9) muestra la presentación conceptual de estos autores, sobre la selección natural en un gráfico ilustrativo. Las líneas oscuras ascendentes representan la construcción de un fenotipo a partir de un genotipo en sentido causal ascendente. Luego las líneas horizontales representan la acción “constrictiva” de la selección natural sobre los fenotipos a nivel poblacional. Finalmente, las líneas punteadas descendentes representan la reducción, en sentido descendente, del espacio genotípico producto de la selección natural a nivel fenotipo. Esto ocurre de manera repetitiva a través del tiempo conduciendo a la evolución biológica como un fenómeno de causalidad multinivel.

El concepto de explicación multinivel comienza a desarrollarse en continuo con el debate abierto entre emergentismo y reduccionismo. Un concepto clave dentro de la propuesta para el desarrollo de estos esquemas de explicación holista, es precisamente una

reformulación de las posibilidades causales multinivel dentro de la perspectiva de sistemas complejos. Como he descrito en este apartado, existe una gran cantidad de autores que trabajan tratando de dar consistencia conceptual a esta idea. He mostrado 11 ideas diferentes al respecto de lo que significa el concepto de causalidad multinivel, y, como es evidente, muchas de estas propuestas poseen varias características en común, así como ideas que difieren de manera sustancial. En el siguiente apartado me ocuparé en analizar las ideas principales que componen estas propuestas, y de forma comparada, concluir bajo la óptica del debate general que se ha desplegado contra el reduccionismo biológico en los últimos años.

5.2 Causalidad multinivel: ideas generales.

Cómo hemos revisado, existen varios autores que piensan que el concepto de causalidad en sistemas complejos, particularmente en los sistemas orgánicos, debería ser reformulado como un concepto plural que no este enmarcado dentro de la perspectiva reduccionista sino dentro de una prospectiva holista. Este tipo de perspectiva acepta la existencia de redes causales complejas que explican la organización compleja de las entidades y fenómenos biológicos y que permiten a los sistemas biológicos organizarse conforme a la intersección de múltiples niveles de organización. Con ánimo de recuperar estas intuiciones, es que muchos de los autores revisados, proponen distintas formas de conceptualizar la naturaleza multidireccional e interdependiente de la causalidad en sistemas biológicos. Es momento de compararlos y analizar cómo abordan distintas cuestiones relacionadas al tema de la causalidad múltiple. Para ello, abordaré tres ideas generales:

- a) Cómo tratan de dar sentido al problema de la causalidad descendente.
- b) Qué implicaciones tienen estas propuestas para el debate emergentismo vs reduccionismo.
- c) Qué ideas se pueden intuir, a partir de estas propuestas, respecto de los niveles de organización en biología.

Causalidad. Un tema primordial dentro causalidad multinivel es definir de forma sustantiva qué es y cómo opera la causalidad descendente que va de niveles sistémicos a niveles basales. Una característica común de las propuestas analizadas es la de definir la causalidad descendente, ya no como una causa eficiente, sino como una causa formal. Esto es claro en propuestas como las El-Hani y Emmeche (2000), Moreno y Umerez

(2000) y Trewavas (2006). Para evitar la aparente circularidad del concepto de causación descendente, estos autores buscan reformular el concepto de causalidad, ahora no como un tipo de causa que produce los componentes de la microestructura, sino como una causa que delimita el rango de comportamiento de los componentes basales. De esta forma, se evitan los problemas expuestos por Kim al respecto de la causalidad descendente. Bajo esta perspectiva, la función causal del sistema es la de dar un contexto de condiciones iniciales que organizan el comportamiento dinámico y evolutivo de los componentes básicos. Esto plantea a las entidades y fenómenos de orden superior, ya no como productores simultáneos de los niveles inferiores, pero si como determinantes activos en la interacción organizada de los componentes, por lo que, la aparente circularidad de la causación descendente, se rompe.

Sin embargo, El-Hani y Queiroz (2005) apuntan, con buena razón, que esta conceptualización pareciera tener más que ver con el aspecto organizativo del sistema como un todo que con las capacidades causales de los niveles superiores. En este sentido, es que El-Hani y Queiroz (2005) hablan de reemplazar el término causalidad por el término determinación descendente, pues, la función del contexto sistémico opera, en realidad, como la de un principio organizativo. Muy similar, es la propuesta de Craver y Bechtel (2007), en donde se entiende que no se puede hablar de causalidad descendente sin incurrir en una circularidad indeseable que además es innecesaria, pues las relaciones constitutivas son tan útiles para dar cuenta de las interacciones multinivel como la relación de causalidad. En el caso de estos autores, solo los mecanismos basales crean causas verdaderas y los niveles superiores solo afectan los mecanismos basales al alterarse con ellos la red completa de mecanismos que están integrados.

Personalmente, la idea de El-Hani y Queiroz (2005) me parece correcta, es decir, considero que parte de lo que vuelve irreducibles a los sistemas complejos, en particular en el caso de la biología, es precisamente esta función organizadora del contexto sistémico. Por otro lado, creo que lo que falta por recuperar de esta idea es la realidad de la interacción entre distintos niveles. Sin duda que el contexto sistémico organiza y constriñe el comportamiento de los componentes, pero esto ocurre dado la existencia de mecanismos más o menos identificables dado un contexto sistémico. En el caso de Craver y Betchel, creo que no toman en cuenta que aquello a lo que nos referimos como “nivel superior”, puede ser más que un simple conjunto de mecanismos. Un organismo, por ejemplo, opera como una unidad con muchas de sus funciones instanciadas solo en el

nivel sistémico. Un ejemplo de esto es la visión, fenómeno que implica órganos, células y reacciones moleculares. Por supuesto, hay mecanismos integrados, pero lo que no se puede apreciar al hablar de simples relaciones constitutivas es, otra vez, la interconexión que existe entre niveles. Existen mecanismos que están dirigidos “hacia abajo” cuando el ojo forma una señal que a su vez estimula células nerviosas que después producen una señal que es procesada en el área visual del cerebro. Esto también ocurre en ecología cuando, procesos que ocurren al nivel de bioma, afectan los procesos evolutivos de una especie; o en evolución, cuando procesos epigenéticos regulados por el ambiente que determinan las posibilidades adaptativas de los organismos en la adultez (Bräutigam et al., 2013). Estos mecanismos, a pesar de existir, no significan un reduccionismo salvaje, en tanto dependen de una exploración interdependiente y holista de los componentes y el sistema entero. Esto nos conduce a otro conjunto de propuestas.

En el caso de Soto y Sonnenschein (2005), Riedl (2005) y Laland et al. (2008), estos autores nos muestran que las interacciones entre niveles ocurren a partir de sistemas de retroalimentación o mecanismos de señalización, y que muchos de estos patrones no sólo dependen de las condiciones a nivel molecular o genético, sino también del estado medioambiental, de las posiciones celulares, y del funcionamiento de entidades de orden superior, cómo pueden ser: tejidos, órganos, organismos enteros, poblaciones y comunidades. Lo que estas propuestas buscan destacar es la realidad de la interdependencia que existe entre entidades y estructuras a muy distintos niveles de organización. Esta condición de interdependencia vuelve difícil separar causas de efectos, y a su vez, construye a un tipo de causalidad multinivel que es difícil de reducir a un solo nivel de explicación.

Estas nociones de causalidad, llámese retroalimentativa, recíproca o circular, pueden contrastarse con las perspectivas que definen a la causalidad descendente como un tipo de causa formal. En el primer caso, el segundo grupo de propuestas parece admitir una red causal donde sí existe interacción causa y efecto entre niveles, pero, que, a su vez, implica una red tan compleja y diversa, que resulta más fácil percibirla como una “imbricación” de causas y efectos que conectan a todos los niveles en múltiples direcciones. El primer grupo, en cambio, parece optar por describir la causalidad descendente como una causa formal de corte organizativo contextual. Aún así, podría pensarse que las primeras y las segundas no son del todo incompatibles, desde que las primeras parecen plantear a la causalidad descendente como una especie de causa

organizadora o principio organizador, pero también es posible pensar que lo que fundamenta esa capacidad estructuradora y constrictiva del contexto sistémico es precisamente la interdependencia y conexión múltiple entre niveles, misma que es explicitada por las segundas. Llámense circuitos de retroalimentación o transferencia de información, o causalidad circular o recíproca, la realidad es que los componentes dependen de la estructura del todo, porque los organismos como un todo tienen la capacidad de mantener sus componentes ordenados dado distintos mecanismos biológicos. Por ejemplo, de manera muy general, Ellis (2009) nos muestra patrones abstractos desde lo que se pueden apreciar esos “mecanismos” de interacción multinivel en el ámbito de la filosofía de la biología y la filosofía de la mente. Esta tensión entre la descripción más formal de causalidad descendente por parte de unos autores y la descripción en apariencia más eficiente de los segundos, no es tan grave si vemos que lo están tratando de describir autores como Soto y Sonnenschein (2005), Riedl (2005), Laland et al. (2008), Ellis (2009) y Martínez y Moya (2011) son los mecanismos de control que permiten la causación formal de la que hablan Emmeche et al. (2000), El-Hani y Emmeche (2000), Moreno y Umeréz (2000) y El-Hani y Queiroz (2005).

La clave de las propuestas Soto y Sonnenschein (2005), Riedl (2005) y Laland et al. (2008) es la importancia que otorgan a la interdependencia entre niveles dentro de los fenómenos biológicos. Diferentes niveles aportan distintos contextos y distintos modos de interacción que, al final, condicionan la estructura biológica de los fenómenos. Este tipo de visión también está patente en Noble (2006) con sus ejemplos sobre el estudio de fenómenos médicos complejos, y en Mitchell (2009), con sus ideas sobre modelos para fenómenos complejos en medicina y sociología. Aunque, estrictamente, muchas de las propuestas revisadas se centran en el análisis del concepto de causalidad descendente, lo que en realidad se está buscando recuperar es la posibilidad de una conceptualización dinámica de la interacción que existe entre niveles superiores e inferiores de fenómenos complejos. En un nivel más profundo, lo que buscan mostrar es la multidireccionalidad de los factores causales en sistemas biológicos, mismos que se configuran conforme a varios niveles y escalas de organización, y cuya existencia depende de la codeterminación continua entre niveles. Algo de esto es lo que vemos en los trabajos de Ellis (2009) y Martínez y Moya (2011), donde nos muestra la funcionalidad de la causalidad multinivel. Al final, mucho de las ideas de Noble sobre la dirección de la explicación y la causación en fenómenos biológicos, parece ser aplicable a la mayoría de las demás propuestas.

Finalmente, es importante reflexionar un poco sobre que significa causalidad dentro de las propuestas multinivel. Por un lado, pareciera que algunos autores están apoyando una visión trascendentalista en donde, la causalidad que opera entre niveles, es una causalidad abstracta delimitada por relaciones matemáticas entre variables. Esta interpretación podría hacerse de los trabajos de Emmeche et al. (2000), El-Hani y Emmeche (2000), Moreno y Umerez (2000) y El-Hani y Queiroz (2005). Con otros autores, como Soto y Sonnenschein (2005), Riedl (2005) y Laland et al. (2008), es menos claro que este sea el caso e incluso algunas de sus ideas parecen ser también compatibles con perspectivas inmanentistas. La posición trascendentalista permite una aproximación menos conflictiva al problema de la circularidad de la causalidad multinivel, mientras que la inmanentista provee de una visión más clara de los mecanismos que operan entre niveles. Quizás el concepto mismo de causalidad multinivel implica ampliar como se entiende la causalidad en dirección a una propuesta trascendentalista pero resaltando los mecanismos que modulan la organización de sistemas complejos de acuerdo a sus niveles de complejidad. Por supuesto, siempre permanece la posibilidad, como ya mencionamos, de que sea simplemente más sencillo descartar el término causalidad, siempre que se quiera hablar de las interacciones multinivel. Sin embargo, parece que el proyecto de los autores revisados tiende a optar por no descartarla para así mostrar las interacciones complejas, dinámicas y en distintos sentidos, que ocurren en prácticamente todos los fenómenos biológicos.

Reduccionismo y emergentismo. Es claro que todos estos autores revisados están abogando por un nuevo pluralismo que complemente las explicaciones reduccionistas en biología. Sin duda, todos estos autores entienden la explicación reduccionista como parte intrínseca de la explicación científica, pero reconocen que no siempre es adecuada para hablar de la complejidad natural. Es necesario combinar estas actitudes metodológicas con otras más holistas que proyecten la importancia fundamental de la interacción multinivel. Es claro, que todos estos autores consideran que distintos fenómenos naturales son demasiados complejos para quedar agotados desde reduccionismos simples o muy estrictos, particularmente aquellos fenómenos que son el objeto de estudio de las ciencias biológicas, sociales y cognitivas. Más aún, todos estos autores se comprometen con una autonomía epistémica de las ciencias especiales frente a las ciencias físicas, pues en realidad las ciencias especiales están encargadas de niveles de organización de mayor escala que no son perfectamente reducibles a las leyes y entidades físicas. Esto ocurre,

dado que la complejidad de los sistemas biológicos es mayor y su manifestación implica el reconocimiento de entidades y comportamientos propios de los sistemas enteros, y no sólo de las partes.

Prácticamente todas estas propuestas asumen que existe algún tipo de cualidad emergente que define el dominio de lo vivo. Todos estos autores consideran que en realidad existen propiedades emergentes que definen los sistemas biológicos, y que estas, son marca de complejidad intrínseca del fenómeno de lo orgánico. Todos estos autores parecen aceptar la existencia de propiedades emergentes, cuando menos, entendidas como propiedades sistémicas no completamente reducibles a las propiedades de los componentes. Lo primero que cabe resaltar, es que estos autores mantienen la actitud común de no pensar el fenómeno emergente, en biología, en su sentido ontológico, mismo sentido que podría ser compatible, incluso, con algún dualismo de sustancia. Todos estos autores son fisicalistas como ya es tradición en propuestas emergentistas. Más aún, parece que se decantan por tipo de emergentismo epistémico, en donde las propiedades emergentes del sistema no están dadas por una irreductibilidad por principio, sino que dependen de la estructura dinámica y multidependiente que existe entre las propiedades sistémicas y las propiedades de los componentes. Parece que la posición emergentista de estas propuestas tiende a ser más compatible con una versión débil o media de emergencia como lo define Stephan (2002 y 2006). Conforme a Stephan, las propiedades emergentes son propiedades sistémicas dadas por los subcomponentes más la estructura organizacional, más las relaciones que se desprenden de la misma estructura organizacional. Esta versión débil de emergencia no requiere de una irreductibilidad sincrónica por principio, pero le basta que exista impredictibilidad de facto dada una emergencia diacrónica y estructural. Este tipo de emergencia débil está menos cargada a nivel metafísico, sin embargo, no es completamente opuesta a un reduccionismo moderado. En este sentido, esta versión de emergencia no discutiría la posibilidad de un reduccionismo en algún sentido ontológico profundo, pero sí negaría la posibilidad de un reduccionismo epistémico efectivo.

El-Hani y Emmeche (2000) y El-Hani y Queiroz (2005) buscan definir propiedades emergentes en un sentido matemático, mismo que hemos observado en otros autores como Rueger (2000), Adams et al (2016) y Zenil et al (2018). Este tipo de propuestas resaltan la existencia de propiedades emergentes como una característica de los sistemas dinámicos no-lineales, lo que también posibilita una definición efectiva de emergencia a nivel matemático y computacional (Cooper, 2009; Jaeger y Monk, 2014). Esta visión,

perfila a las propiedades emergentes como un producto derivado de complejidad matemática y computacional. En las propuestas específicas de El-Hani y Emmeche (2000) y El-Hani y Queiroz (2005), el concepto de propiedad emergente quedaría definido conforme a instancias de las teorías matemáticas que se usan en sistemas complejos. Dentro de un espacio fase, los sistemas orgánicos, mismos que tienden a estabilizarse dentro de cierto rango de posibilidades, deberían ser representados con un atractor matemático. Dado esto, el sistema mismo se configuraría como un atractor conforme la trayectoria dinámica de dicho sistema, y las propiedades emergentes de este, quedarían definidas conforme a esta trayectoria en función de la naturaleza de las propiedades de organización de los componentes y el sistema.

Esta manera de entender el fenómeno de emergencia en biología es compatible con las ideas de Stephan. Para él, la mejor manera de entender lo que son las propiedades emergentes es con una teoría de la emergencia diacrónica estructural; teoría que, básicamente, está cifrada en función de la imposibilidad práctica de predecir la evolución de un sistema dentro de un patrón de caos determinista.

Uno de los aspectos más complicados de esta versión de emergencia es que parece muy simple a nivel filosófico. Esta versión de emergencia es realmente compatible con un reduccionismo clásico más un par de cláusulas de comportamiento dinámico. Esta misma situación es reconocida por Emmeche et al. (2000), quien considera que una causalidad descendente débil se puede definir como la simple dinámica organizacional de un sistema complejo dentro de un espacio fase. Esto ocurre, en tanto que, lo que definiría la aparición de propiedades emergentes sería el simple comportamiento organizacional del atractor matemático, restando sustancia a la interacción interdependiente de distintos niveles de organización. Sin embargo, cabe plantear dos cosas. La primera, es que para mantener una posición emergentista a nivel epistémico y metodológico en ciencias biológicas, en realidad no necesitamos mucho más que eso. Incluso si las propiedades emergentes no son más que propiedades sistémicas dentro de un patrón organizativo, si estas propiedades limitan la posibilidad irrestricta de explicaciones *bottom-up*, entonces esto es suficiente para mostrar la utilidad de una visión holista y sistémica dentro del estudio de la complejidad biológica. Recordemos que, como mencionan varios autores, lo que busca recuperar la explicación multinivel es una actitud epistémica y metodológica sobre cómo entender el quehacer científico de la biología. Por otro lado, la segunda cuestión a considerar, es ¿qué tanto debemos pensar este tipo de conceptualización emergentista

como trivial? La realidad es que si consideramos las propiedades emergentes como un aspecto organizacional de los sistemas dinámicos (como una propiedad estructural de los sistemas orgánicos representada como un atractor), lo que realmente se recupera, es la naturaleza dinámica y multinivel de la complejidad biológica. El simple hecho de conceptualizar sistemas biológicos dentro del marco de un caos determinista y entender a los sistemas biológicos como sistemas metaestables que se mantienen dentro de un rango de variación definido por un atractor matemático, prueba que estos sistemas se comportan de una forma dinámica e interdependiente, tal que permite a las variables involucradas generar un comportamiento organizado, derivando, entonces, una emergencia significativa capaz de interactuar determinantemente en la estructura de los componentes²⁶.

Por otro lado, Emmeche et al. (2000), El-Hani y Emmeche (2000) y El-Hani y Queiroz (2005) también utilizan la noción de constricción o determinación para explicar el poder causal de la causalidad descendente y también qué es una propiedad emergente. Bajo esta perspectiva, los niveles superiores serían los niveles “organizadores”; niveles que condicionan el comportamiento de los componentes a nivel inferior. Emmeche et al. (2000) hablan de forma más detallada sobre este tema. Para él, esta conceptualización de la causalidad descendente, como una propiedad de los niveles superiores que determina

²⁶ Como aclaración de este punto, cuando distintos autores hablan de las propiedades emergentes como parte de los fenómenos complejos, y plantean que las propiedades emergentes representarían atractores en un espacio fase a nivel sistémico, lo que quieren decir es que, si graficamos ciertos patrones organizativos del sistema, eventualmente, se formará un atractor que se mantiene en el rango de una propiedad novedosa, misma propiedad que puede denominarse como propiedad emergente. Esto es más claro en el trabajo de Stephan, donde él considera que las propiedades emergentes son producto del desarrollo evolutivo de sistemas complejos dinámicos gobernados por procesos caóticos no deterministas. Bajo esta premisa, y dado que mínimas variaciones en las condiciones iniciales de estos sistemas producen resultados impredecibles, Stephan considera que las propiedades emergentes son un subproducto de este comportamiento, en el sentido que la evolución de estos sistemas produce genuinas estructuras organizativas novedosas. Esto, precisamente, es lo que él llama emergencia diacrónica estructural. En este punto, sin embargo, seguimos parados en el terreno de la emergencia estructural, que, aunque interesante para analizar la complejidad de distintos sistemas a nivel científico, aún implica un reduccionismo de facto en tanto los únicos en los que se recarga un esquema causal efectivo continúan siendo los componentes del sistema. Ahora, incluso esta idea no es completamente incompatible con un esquema de explicación multinivel, pues las propiedades sistémicas seguirían siendo parte importante de la explicación como un nuevo factor a nivel de la organización diacrónica del sistema. Lo que quedaría comprometido en esta perspectiva, sin embargo, sería el papel de la causalidad multinivel como un concepto útil dentro de explicación multinivel. Por otro lado, si a esta noción de emergencia agregamos las perspectivas mencionadas sobre causalidad descendente o determinación descendente en un sentido formal, cómo que las propiedades sistémicas ordenan conforme a un contexto general, y además, sumamos a estas ideas, perspectivas sobre interacción homeostática, retroalimentativa y coordinada entre propiedades y entidades del sistema y propiedades y entidades a nivel componentes, entonces ya estamos pisando el terreno de la explicación multinivel por causalidad multinivel.

o constriñe los niveles inferiores, eleva una versión débil de causalidad descendente a una versión media. Desde la perspectiva de una propiedad emergente, dada en relación a un concepto de causación descendente débil, la influencia de los niveles superiores sobre los inferiores no es directa y está más vinculada a la propia organización de los componentes, dentro de un contexto dinámico; sin embargo, desde la perspectiva de una causación descendente media, los niveles superiores poseen una influencia formal directa sobre los inferiores, funcionando como los elementos que determinan o constriñen los posibles estados de distribución a niveles inferiores. Esto se trata más a detalle con El-Hani y Emmeche (2000). Para estos autores, definir qué es una propiedad emergente no se agota con el concepto de superveniencia. Una relación superveniente sobre los niveles inferiores no es el único tipo de relación involucrada en los fenómenos emergentes. Las propiedades emergentes están definidas, precisamente, por su capacidad de influir causalmente en los niveles inferiores, por medio de causas formales estructuradas por relaciones que constriñen los posibles estados evolutivos y dinámicos de dichos niveles inferiores. Para estos autores, la relación asimétrica de superveniencia de las propiedades emergentes no alcanza para producir una causalidad descendente, sin embargo, y, por otro lado, al agregar como concepto la posibilidad de una relación de causalidad formal, entonces se completa una relación causal simétrica entre niveles.

Como podemos ver, los niveles superiores funcionan como elementos de organización causal caracterizados por propiedades emergentes que condicionan este tipo de interacción, pero ¿qué mecanismos están detrás de esta interdependencia? Esta cuestión nos lleva a las propuestas de Soto y Sonnenschein (2005), Riedl (2005) y Laland et al. (2008). En estos trabajos no se aborda una caracterización completa de una teoría emergentista, sin embargo, hay pistas que nos indican cómo se conectan el concepto de causalidad multinivel con la posibilidad de un emergentismo efectivo. En los trabajos de estos autores, la clave de la causalidad multinivel es la interdependencia de los distintos niveles que interactúan a partir de procesos retroalimentativos y recíprocos. Esta forma de conceptualizar la causalidad multinivel es compatible, hasta cierto punto, con las ideas analizadas con anterioridad. Si concebimos las propiedades emergentes como propiedades sistémicas que influyen o determinan los posibles estados de los componentes de niveles inferiores, entonces el tipo de causalidad que Soto y Sonnenschein (2005), Riedl (2005) y Laland et al. (2008) están proponiendo, se da, precisamente, porque existen propiedades que se instancian a nivel sistémico que

permiten el tipo de conexión multinivel del que están hablando. Esto se muestra, por ejemplo, en Noble (2006), donde el tipo de propiedades que controlan el funcionamiento de la microestructura cardíaca se encuentran instanciadas al nivel tisular y de órgano; en Trewavas (2006), quien habla de las ventajas metodológicas de identificar propiedades a nivel sistema en estudios botánicos; o en Soto y Sonnenschein (2005), autores que muestran que una mejor manera de entender el proceso de carcinogénesis es fijarse en propiedades de los tejidos, no solo de las células. De igual forma, se encuentran en Ellis (2009), quien analiza tipos generales de mecanismos de causalidad multinivel, mismos que implican propiedades sistémicas emergentes, y en Martínez y Moya (2011), donde los autores muestran cómo los procesos de un nivel superior (selección a natural a nivel poblacional) conducen las posibilidades evolutivas del nivel inferior (*pool* genético).

¿Estos mecanismos implican que se puede, en ciertos contextos, proveer de explicaciones mecanicistas para entender la complejidad biológica? Seguramente. Recordemos que una explicación mecanicista no necesariamente tiene que ser reduccionista. Una explicación de los mecanismos que conectan propiedades sistémicas con propiedades de los componentes es apropiada. El problema de este tipo de explicaciones en biología ocurre cuando solo se busca construir la dirección de la explicación de arriba abajo, considerando las partes aisladas fuera de un contexto interdependiente. De hecho, una cualidad de la noción de mecanismos que es compatible con la explicación multinivel es que el conjunto de un mecanismo puede quedar definido de forma plural, dependiendo del fenómeno y el sistema de interés. Las explicaciones multinivel también buscan este tipo de pluralismo que permite construir la dirección de la explicación desde múltiples niveles hacia otra multiplicidad de niveles.

Otra forma de verlo es como Buss (1997). El proceso de la evolución orgánica implica, muchas veces, una tendencia hacia la complejidad organizativa. Conforme esta aumenta, se empiezan a delinear nuevos niveles de organización que terminan fungiendo como nueva frontera del sistema; esto, a su vez, genera que un nuevo plano de selección aparezca y se desarrollen propiedades emergentes que pertenecen al nuevo nivel de organización. Por ejemplo, conforme las relaciones mutualistas entre células hospederas y células comensales se hicieron más cercanas, eventualmente se produjo un tipo de simbiosis que permitió la selección conjunta del simbiote, lo que a su vez, derivó en la aparición de células eucariotas. Posteriormente, las interacciones entre células eucariotas como colectivo, se hicieron cada vez más complejas, lo que finalmente derivó en la

emergencia de la multicelularidad. Este tipo de desarrollos novedosos del proceso evolutivo son sumamente difíciles de predecir y a lo más nos es posible simular aproximaciones. La física no lineal y la biología en sistemas podrán darnos pistas de como se generan los procesos evolutivos abiertos, pero la emergencia de nuevos niveles de organización muchas veces requiere de análisis sistémicos y, muchas otras veces, se asocian con la aparición de disciplinas científicas nuevas que se enfocan al fenómeno desde distintos niveles de explicación. A partir de eso, se vuelve necesario la integración de esquemas holistas de explicación y el uso de puentes inter disciplinares.

Como revisión final, se puede el concepto de propiedad emergente juega un rol real en estas propuestas de causalidad multinivel, sin embargo, el compromiso de estas propuestas está recargado sobre una versión débil de emergencia. En esta versión, se habla de propiedades emergentes estructurales que no son irreducibles por principio, pero sí son irreducibles a nivel epistémico, y se consideran las cualidades de estas propiedades como factores que organizan y constriñen los subcomponentes. Por un lado, se plantea esta forma de emergencia como una emergencia débil que deriva de la complejidad misma del sistema y da contexto sistémico, y por otro, como propiedades sistémicas que estructuran mecanismos de control sobre los subcomponentes del sistema. Como puede observarse, ambas ideas son muy cercanas, pero lo que es cierto es que en general se está apelando por un tipo de emergencia estructural, en donde las relaciones complejas de los componentes más las interacciones interdependientes que se dan con los procesos que ocurren a una escala superior, son el origen de propiedades irreducibles a componentes basales y que deben ser analizadas dentro de su propia jerarquía. La emergencia diacrónica estructural, como la denomina Stephan, es realmente compatible con lo que estas propuestas de causalidad multinivel están buscando capturar. Estos autores buscan caracterizar conceptos holistas útiles para un estudio plural de los fenómenos biológicos. El optar por un concepto de emergencia fuerte, puede anclar a estos autores a un debate metafísico complicado. Por el contrario, el concepto de propiedad emergente sin duda puede ser de utilidad metodológica al contrastar epistémicamente los aportes de cada disciplina científica; así como para reconocer qué cualidades sistémicas son importantes y relevantes para concretar una explicación holista en cualquier contexto necesario. El concepto mismo de causalidad multinivel está enmarcado en esta intención epistémica y metodológica de mostrar la interdependencia entre parte y todo en el contexto de

disciplinas cuyos objetos de estudio tienen un comportamiento no-lineal, como es el caso de la biología, la psicología y la sociología, entre otras.

Niveles de organización en Biología. Un tópico final sobre el que es importante tener algunas consideraciones es la diferenciación de los fenómenos biológicos en niveles de organización. Este concepto es esencial para el avance de los conceptos de explicación multinivel y causalidad multinivel. La realidad es que la mayoría de los autores que se revisan en este trabajo, dan por sentado que existen distintos niveles que componen la realidad en grados ascendentes de complejidad organizacional. Como hemos visto anteriormente, este concepto, en sí, es foco de debate y todavía no es claro que se tenga una definición aceptada del mismo.

Dado que los autores revisados no profundizan en este tema, no podré sacar demasiadas conclusiones, pero creo que es importante reflexionar un tanto al respecto. Como sabemos, existen muchos distintos niveles de organización que no necesariamente coinciden en escala. A nivel físico, estamos hablando desde el nivel de las micro partículas hasta las grandes escalas cósmicas. A escalas tan dispares, las leyes y comportamientos físicos, resultan totalmente distintos. Por otro lado, a escalas mesoscópicas es donde mejor se observan estos patrones organizacionales de complejidad ascendentes. Pasamos de las sustancias químicas simples a sustancias poliméricas, de ahí a biomoléculas y en poco estamos en el nivel de los organismos unicelulares. Después, empiezan los organismos multicelulares, algunos con tejidos, órganos y sistemas fisiológicos completos, y de ahí entramos al terreno de la ecología y la evolución, con poblaciones, comunidades y ecosistemas. En medio de todo eso, también tenemos los niveles de los que se encargan las ciencias cognitivas, y en el caso particular del ser humano, podemos centrarnos en el estudio de la mente humana, y todavía sigue la antropología, sociología, economía y más campos de estudio que coinciden con distintos niveles de la diversidad existente en nuestro mundo. Como es natural observar, el modelo anillado y lineal de niveles de organización puede resultar demasiado simple para catalogar los muy diversos aspectos que componen nuestra realidad. Además, por más que se puedan identificar particiones claras sobre cómo catalogar nuestra realidad, muchas veces, los límites entre niveles de organización adyacentes, no son completamente claros, y distintas disciplinas científicas, pueden operar en el mismo nivel u operar a varios niveles. Es por esta razón, que, por obvio que parezca, el concepto mismo de nivel de organización es, en realidad, complicado.

¿Pero cuál es la función del concepto de los niveles de organización? Este puede ser útil para comprender, precisamente, la interacción compleja de fenómenos que ocurren a escalas muy diferentes, tanto en la jerarquía de complejidad como en escala de tiempo distinto. No es lo mismo entender los factores que producen el cáncer a nivel molecular que a nivel tisular, ni es lo mismo entender los factores genéticos que propician la evolución, que entender los factores geológicos que la modelan.

Las propuestas revisadas puede que no intenten definir el concepto de nivel de organización, pero proponen cosas interesantes sobre causalidad multinivel. En primera instancia, nos hablan de niveles inferiores y superiores de manera general, pero no ahondan de que forma se pueden caracterizar niveles específicos y como pueden ser enumerados. El concepto mismo de causalidad que están intentando delinear, por otro lado, nos muestra que la interacción entre niveles depende de un tipo de causalidad recíproca, circular, o retroalimentativa entre fenómenos (emergentes) que ocurren desde el contexto de un sistema X, mismos que determinan el comportamiento de los componentes que componen dicho sistema. Incluso, en las propuestas de Emmeche et al. (2000), El-Hani y Emmeche (2000) y El-Hani y Queiroz (2005), podemos notar que se piensa que las propiedades sistémicas son capaces de ordenar o influir causalmente en los componentes del sistema, en tanto proveen de una causalidad que da “forma”, o más bien, determina las posibilidades estructurales de los componentes. De igual manera, nunca especifican que exista un nivel preferencial para marcar lo que se entiende como el sistema entero. Da la impresión que estas propuestas dejan abiertos los límites reales de lo que puede ser definido como un nivel de organización. Parece, entonces, que, en este sentido, lo que define los niveles de organización es, en sí mismo, la interacción de propiedades emergentes a una escala, con propiedades basales a otra, conforme a este tipo de causalidad de dirección múltiple, de la que trata este trabajo.

Este tipo de reflexión sobre lo que significa un nivel de organización es compatible con lo que se propone en el concepto de explicación multinivel. Como hemos visto, el enfoque de explicación multinivel es una aproximación pluralista al estudio de la complejidad propia de las ciencias especiales, y en ese sentido, no busca definir, de manera estricta, un nivel privilegiado sobre el cual implementar el fundamento último de una explicación. Más aún, permite que exista cierto grado de libertad para definir niveles de organización de relevancia epistémica, lo que, en realidad, es útil para el desarrollo de nuevas disciplinas científicas. Por otro lado, esto no quiere decir que el concepto de nivel de

organización sea enteramente subjetivo, pues depende de dinámicas complejas que implican entidades que ocurren a escalas distintas, e implica que existen escalas que poseen propiedades exclusivas que funcionan como un contexto organizativo, mismo que permite la existencia de mecanismos que controlan la organización de todos los subcomponentes, por medio de mecanismos homeostáticos o de retroalimentación. Al final de cuentas, la complejidad orgánica intersecta muchas escalas y contextos distintos de comportamiento natural, y eso es una realidad de nuestro universo.

En este sentido, quizás, un modo útil de mirar a los niveles de organización sea una combinación de los conceptos de Wimsatt, quien precisamente los caracteriza en función de interacciones a nivel espacio-fase (visión que es compatible con varias de las propuestas revisadas) y los conceptos de la teoría de niveles de mecanismos, que es compatible con una visión plural y causal de niveles de organización. Por supuesto, la exploración de estos conceptos requiere de un trabajo aparte y no serán tratados a detalle en este trabajo presente.

Finalmente, como se ha analizado durante este trabajo, los conceptos de explicación y causalidad multinivel continúan desarrollándose como ideas filosóficas. En este trabajo, he revisado distintas propuestas al respecto con el fin de encontrar nociones en común. En la sección de conclusiones recapitularé dichas ideas.

6. Conclusiones.

Los fenómenos biológicos son particularmente complejos y su ocurrencia atraviesa una gran cantidad de niveles de complejidad. Esta complejidad multinivel vuelve necesario definir conceptos epistémicos novedosos que nos permitan estudiar las nuevas metodologías científicas que se desarrollan para trabajar con los desafíos modernos. Comencé este trabajo hablando del dominio marcado de las filosofías reduccionistas en el ámbito de la biología y mostré que este dominio es injustificado. Las metodologías reduccionistas en biología deben ser complementadas con estrategias de estudio holístico, mismas estrategias servirán para producir explicaciones biológicas que contemplen el abanico amplio de las organizaciones biológicas. Esto es importante para que las explicaciones biológicas puedan dar cuenta de los factores internivel.

Para el desarrollo de explicaciones holistas multinivel, se ha propuesto el concepto de causalidad multinivel, misma idea que pretende recuperar la naturaleza dinámica, interdependiente y multiconectada de los fenómenos biológicos a lo largo de todos sus niveles de organización. En el presente trabajo, se ha analizado el trabajo filosófico y conceptual de 11 publicaciones que reflexionan sobre este concepto de causalidad. Dicho análisis se ha centrado en:

- a) El problema de la causación descendente en sistemas con propiedades emergentes,
- b) El debate entre emergentismo y reduccionismo y
- c) El concepto de niveles de organización en biología.

Como conclusión, el concepto de causalidad multinivel está enmarcado en una reformulación del concepto de causación descendente en el sentido de causa formal de Aristóteles, y se compromete con una versión media de lo que significa la causalidad descendente. En estas propuestas, se acepta la existencia real de propiedades emergentes pero asociadas a una versión débil de emergencia, lo que es suficiente para mostrar la importancia de un análisis dinámico y multinivel de lo biológico. El concepto de causalidad multinivel es principalmente epistémico, aunque reconoce una interconexión real de los múltiples niveles de organización que conforman el mundo de lo vivo. Su principal objetivo es el de esclarecer los alcances metodológicos y epistémicos del reduccionismo biológico, así como proveer de conceptos útiles para pensar a los fenómenos biológicos complejos. Cabe resaltar que los conceptos de causalidad y explicación multinivel no son completamente incompatibles con el reduccionismo,

particularmente con el reduccionismo ontológico. Su objetivo principal es el de complementar con una visión holística para la biología. Finalmente, estos conceptos presentan una realidad ordenada por niveles de organización, pero cuyos límites son difusos, y promueve una aproximación plural y pragmática al estudio del mundo orgánico.

Los conceptos aquí expuestos, se analizan de propuestas que siguen en desarrollo, y el presente trabajo es un intento por esbozar que ofrecen y con qué contextos conceptuales se enfrentan. Aunque aún existe un enorme camino de trabajo filosófico que recorrer con estas ideas, es posible que signifiquen aportes para el estudio filosófico de un mundo científico contemporáneo, en el que el estudio de la complejidad está cobrando una importancia abrumadora; un mundo donde la perspectiva sistémica y holística es cada vez más importante y donde la tecnología moderna exige nuevas herramientas para la reflexión. Estas nuevas perspectivas sin duda abren camino a una nueva filosofía de la ciencia en biología, mismas en la que será importante desarrollar nociones holísticas y multinivel.

7. Referencias.

- Adams, A., H. Zenil, Davies P. C. W., S. I. Walker, 2016, “Formal Definitions of Unbounded evolution and Innovation Reveal Universal Mechanisms for Open-Ended Evolution in Dynamical Systems”, *Scientific Reports*, 7(1): 1-37.
- Allen, G., 2005, “Mechanism, vitalism, and organicism in late nineteenth and twentieth-century biology: The importance of historical context” *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, 36: 261–283.
- Allen, T. F. H., T. W. Hoekstra, 1990, “The confusion between scale defined levels and conventional levels of organization in ecology”, *Journal of Vegetation Science*, 1: 5-12.
- Aranda, A., 1997, “La Complejidad y la Forma”, México, Fondo de Cultura Económica.
- Ayala F. J., 1974, “Introduction”, in: Ayala F. J. Dobzhansky T. (eds), *Studies in the Philosophy of Biology*, Berkeley: University of California Press, vii-xvi.
- Beadke, J., S. F. Mc Manus, 2018, “From seconds to eons: Time scales, hierarchies, and processes in evo-devo”, *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Science*, in press.
- Beatty, J., 1990, “Evolutionary anti-reductionism: historical reflections”, *Biology and Philosophy*, 5: 197–210.
- Bechtel, W., 2008, “Mental Mechanisms. Philosophical Perspectives on Cognitive Neurosciences”, London: Routledge.
- Bechtel, W. y J. Mundale, 1999. “Multiple Realizability Revisited: Linking Cognitive and Neural States,” *Philosophy of Science*, 66: 175–207.
- Bedau, M. A., 1997, “Weak Emergence”, *Philosophical Perspectives: Mind, Causation, and World*, 11: 375-399.
- Bickle, J., 1998. *Psychoneural Reduction: The New Wave*, Cambridge, MA: MIT Press.
- Bickle, J., “Multiple Realizability”, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (edición primavera 2019), Edward N. Zalta (ed.), URL= <https://plato.stanford.edu/archives/spr2019/entries/multiple-realizability/>.
- Brandon, R., 1996, “Reductionism versus holism versus mechanism”, en: *Concepts and methods in evolutionary biology*, Cambridge: Cambridge University Press, 179–204.
- Bräutigam, K., et al., 2013, “Epigenetic regulation of adaptive responses of forest tree species to the environment”, *Ecology and Evolution*, 3(2): 399-415.

- Brigandt, I., 2015, "Evolutionary Developmental Biology and the Limits of Philosophical Accounts of Mechanistic Explanation", en: Pierre-Alain Braillard y Christophe Malaterre, *Explanation in Biology: An Enquiry of the Diversity of Explanatory Patterns in the Life Sciences*, Dordrecht, Springer.
- Brigandt, I., y A. Love, "Reductionism in Biology", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (edición primavera 2017), Edward N. Zalta (ed), URL = <<https://plato.stanford.edu/archives/spr2017/entries/reduction-biology/>>.
- Brooks D. S., J. DiFrisco y W. C. Wimsatt, 2020, "Levels of organization: the architecture of the scientific image", Introducción editorial en: *Levels of Organization in the Biological Science*, MIT Press.
- Buss, L. W., 1987, "The Evolution of Hierarchical Organization", en: *The Evolution of Individuality*, Princeton University Press, 172-197.
- Butterfield, J., 2011, "Emergence, Reduction and Supervenience: A Varied Landscape", *Found Phys*, 41: 920-959.
- Campbell, D. T., 1974, "(Downward Causation) in Hierarchically Organized Biological Systems", en: F. J. Ayala, T. Dobzhansky, *Studies in the Philosophy of Biology*, 179-186.
- Campbell, R. J., M. H. Bickhard, 2011, "Physicalism, Emergence and Downward Causation", *Axiomathes*, 21:33-56.
- Casanueva, M, 2017, "Leyes mecanismos y modelos en biología: el caso de la genética mendeliana", *Scientiae Studia*, (15): 243-262.
- Causey, Robert L., 1977, *Unity of Science*, Dordrecht: Reidel.
- Churchland, P. S., 1994, "Can Neurobiology Teach Us Anything about Consciousness?", *Proceedings and Addresses of the American Philosophical Association*, 67(4), pp. 23-40.
- Churchland, P. M, 1989, "A Neurocomputational Perspective: The Nature of Mind and the Structure of Science", MIT Press.
- Coffman, J., 2011, "On Causality in Nonlinear Complex Systems: The Developmentalist Perspective", en: C. Hooker (ed.), *Philosophy of Complex Systems*, Elsevier/North Holland, 288-309.
- Cooper, S. B., 2009, "Emergence as a computability-theoretic phenomenon", *Applied Mathematics and Computation*, 215: 1351-1360.
- Craver, C. F., W. Bechtel, 2007, "Top-down causation without top-down causes", *Biology and Philosophy*, 22:547-563.

- Craver, C. F., 2002, “Interlevel experiments and multilevel mechanisms in the neuroscience of memory”, *Philosophy of Science* 69, S83-S97.
- Craver, C. F., 2007, “Explaining the Brain”, Oxford: Oxford University Press.
- Craver, C. F. y T. James, “Mechanisms in Science”, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (edición verano 2019), Edward N. Zalta (ed), URL = <<https://plato.stanford.edu/archives/sum2019/entries/science-mechanisms/>>
- Chong L. y L. B. Ray, 2002, “Whole-istic Biology”, *Science*, 295: 1661.
- Delehanty, M., 2005, “Emergent properties and the context objection to reduction”, *Biology and Philosophy*, 20: 715–734.
- Dennett, D., 1995, “Darwin’s dangerous idea” New York: Simon and Schuster.
- Dupré, J., 1993, *The disorder of things: metaphysical foundations of the disunity of science*, Cambridge, MA: Harvard University Press.
- El-Hani, C., C. Emmeche, 2000, “On Some theoretical grounds for an organism centered biology: property emergence, supervenience, and downward causation”, *Theory in Biosciences*, 119: 234-275.
- El-Hani, C., J. Queiroz, “Downward determination”, *Abstracta*, 1(2): 162-192.
- Ellis, G., 2009, “Top-down causation and the human brain”, in: Murphy, N., G. Ellis, T. O’Connor, *Downward causation and the neurobiology of free will*, Berlín, Springer, 63-82.
- Emmeche, C., S. Koppe, F. Stjernfelt, 2000, “Levels, emergence, and three versions of downward causation” In: Andersen, E. et al., *Downward causation: minds, bodies, and matter*, Aarhus: Aarhus University Press.
- Eronen, M. I., 2011, “Reduction in Philosophy of Mind”, University of Osnabrück (Tesis Doctoral), pp. 1661.
- Eronen, M. I., 2013, “No Levels, No Problems: Downward Causation in Neuroscience”, *Philosophy of Science*, 80(5): 1042-1052.
- Eronen, M. I, 2015, “Levels of Organization: A Deflationary Account”, *Biology and Philosophy*, 30(1): 39-58.
- Eronen, M., y D. S. Brooks, “Levels of Organization in Biology”, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (edición 2018), Edward N. Zalta (ed.), URL = <https://plato.stanford.edu/archives/spr2018/entries/levels-org-biology/>.

- Fang, F. C., A. Casadevall, 2011, “Reductionist and Holistic Science”, *Infection and Immunity* (texto editorial), 79(4): 1401-1404
- Fodor, J. A., 1974, “Special sciences: Or, the disunity of science as a working hypothesis. *Synthese*, 28: 97-115.
- García-Dieser, V., 2009, “Interruptores, baterías y redes: el manejo de complejidad en la regulación genética”, Universidad Autónoma de México (Tesis Doctoral), pp. 278.
- Glennan, S.S., 1996, “Mechanisms and the nature of causation”, *Erkenntnis*, 44: 49–71
- Glennan, S. S., 2002, “Rethinking Mechanistic Explanation”, *Philosophy of Science*, 69: S342–S353.
- Green, S., M. Şerban, R. Scholl, N. Jones, I. Brigandt, and W. Bechtel, 2017, “Network analyses in systems biology: new strategies for dealing with biological complexity”, *Synthese*, doi: 10.1007/s11229-016-1307-6
- Greene, M., 1987, “Hierarchies in Biology”, *American Scientist*, 75(5): 504-510.
- Gilbert, S.F., and S. Sarkar, 2000, “Embracing complexity: organicism for the 21st century”, *Developmental Dynamics*, 219: 1–9.
- Griesemer, J. R., 2000, “The Units of Evolutionary Transition”, *Selection*, 1(1-3): 67-80.
- Guttman, B. S., 1976, “Is Levels of Organization” a Useful Concept?”, *BioScience*, 26(2): 112-113.
- Hempel, C.G., and P. Oppenheim, 1965 [1948], “Studies in the logic of explanation”, in C.G. Hempel, *Aspects of scientific explanation and other essays in the philosophy of science*, New York: Free Press, 245–290.
- Hewlett, M., “True to Life? Biological Models of Origin and Evolution”, en: N. Murphy, W. R. Stoeger, *Oxford University Press*, 158-172.
- Horgan, T., 1993, “Nonreductive Materialism and the Explanatory Autonomy of Psychology”, in S. Wagner and R. Warner (eds.), *Naturalism: A Critical Appraisal*, Notre Dame, IN: University of Notre Dame Press, 295–320.
- Horst, S., 2007, “Beyond Reduction: Philosophy of Mind and Post-Reductionist Philosophy of Science”, Oxford University Press, 240 pp.
- 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.

- Humphreys, P., 1997, "How Properties Emerge", *Philosophy of Science*, 64: 1-17.
- Hüttemann A. y Love A. C., 2011, "Aspects of Reductive Explanation in Biological Science: Intrinsicity, Fundamentality, and Temporality", *British Journal for Philosophy of Science*, 62: 519-549.
- Jaeger, J., N. Monk, 2014, "Bioattractors: dynamical systems theory and the evolution of regulatory processes", *J. Physiol*, 592: 2267-2281.
- Kaiser, M. I., 2011, "The limits of reductionism in the life sciences", *History and Philosophy of the Life Sciences*, 33: 453-476.
- Kaiser, M. I., 2015, "Reductive Explanation in the Biological Sciences", Cham: Springer.
- Kemeny, J.G. & 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 Physical World", Cambridge, MA: MIT Press.
- Kim, J., 1999, "Making Sense of Emergence", *Philosophical Studies: An International Journal for Philosophy in the Analytic Tradition*, 95 (1/2): 3-36.
- Kim, J. 2006, "Emergence: Core ideas and issues", *Synthese*, 151: 547-559.
- Laland, K., J. Odling-Smee, S. Gilbert, 2008, "EvoDevo and Niche-construction: building bridges", *Journal of Experimental Biology*, 310B:1-18.
- 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.
- Levins, R., R. Lewontin, 1985, "The Dialectical Biologist", Harverda University Press, 303 pp.
- Lewis, D., 1969, "Review of *Art, Mind, and Religion*," *Journal of Philosophy*, 66: 23-35.
- Liu Y., et al, 2013, "Multilevel omic data integration in cancer cell lines: advanced annotation and emergent properties", *Systems Biology*, 7(14): 13 pp.
- Machamer P., Darden L. y Craver C. F., 2000, "Thinking about Mechanisms", *Philosophy of Science*, 67: 1-25.
- Martínez, M., 2013, "Causalidad y la Síntesis Extendida: nuevos marcos conceptuales para la biología del siglo XXI", *Revista de filosofía aurora*, 25(36): 129-154.

- Martínez, M., E. García, C. Bernal, 2017, “Reduccionismo, leyes naturales y complejidad: diferentes estrategias de investigación y explicación científica”, *SCIENTIAE studia*, 15(2): 243-262.
- Martínez, M., M. Esposito, 2013, “Multilevel Causation and the Extended Synthesis”, *Biol. Theory*, 12pp.
- Martínez, M., A. Moya, 2011, “Natural selection and multilevel causation”, *Philosophy and Theory in Biology*, 3: e 202.
- Mazzocchi, F., 2012, “Complexity and the reductionism-holism debate in systems biology”, *WIREs Syst Biol Med*, doi: 10.1002/wsbm.1181.
- McDonald C., G. Macdonald, 2010, “Emergence and Downward Causation”, *Emergence in Mind*, Oxford University Press.
- Mc Manus, F., 2012, “Development and mechanistic explanation”, *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Science*, 43: 532-541.
- Mitchell, S., 2000, “Dimensions of scientific law”, *Journal of the Philosophy of Science*, 67: 242-65.
- Mitchell, S. D, 2009, “Unsimple Truths: Science, Complexity and Policy”, Chicago y London, The University of Chicago Press, 154pp.
- Moreno, A., J. Umerez, “Downward causation at the core of living organization”, In: Andersen, E. et al., *Downward causation: minds, bodies, and matter*, Aarhus: Aarhus University Press, 2000.
- Nagel, E., 1949, “The meaning of reduction in the natural sciences” en: R. C. Stauffer (ed.), *Science and civilization*, Madison: University of Wisconsin Press, 99-138.
- Nagel, E., 1961, “The structure of science: problems in the logic of scientific explanation”, New York: Harcourt, Brace & World.
- Newman, S. A., 2011, “Complexity in Organismal Evolution”, en: C. Hooker (ed.), *Philosophy of Complex Systems*, Elsevier/North Holland, 335-354.
- Nicholson, D., 2010, “Organism and Mechanism: A Critique of Mechanistic Thinking in Biology”, disertación de Doctorado, University of Exeter, 232 p.
- Nicholson, D. J., 2012, “The concept of mechanism in biology”, *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, 43:152-163.
- Noble, D., 2006, “The Music of Life: Biology Beyond the Genome” Oxford, Oxford University Press, 168pp.

- Novikoff, A. B., 1945, "The Concept of Integrative Levels and Biology", *Science*, 101(2618): 209-215.
- Odenbaugh, J., 2011, "Complex Ecological Systems", en: C. Hooker (ed.), *Philosophy of Complex Systems*, Elsevier/North Holland, 421-439.
- O'Connor, T., 1994, "Emergent Properties," *American Philosophical Quarterly*, 31: 91-104.
- O'Connor, T., 2000, "Persons and Causes (Cápítulo 6)", *Oxford University Press*.
- O'Connor, T., Hong Yu Wong, 2005, "The Metaphysics of Emergence", *Noûs*, 39: 658-678.
- O'Connor, T., Hong Yu Wong, 2015, "Emergent Properties", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (edición de verano), Edward N. Zalta (ed.), URL= <https://plato.stanford.edu/archives/sum2015/entries/properties-emergent/>.
- Okasha, S., 2006, "Evolution and the levels of selection", Oxford: Oxford University Press.
- O'Malley, M. A., I. Brigandt, A. C. Love, J. W. Crawford, J. A. Gilbert, R. Knigh, S. D. Mitchell, F. Rohwer, 2014, "Multilevel Research Strategies and Biological Systems", *Philosophy of Science*, 81(5): 811-828.
- Oppenheim, P. y H. Putnam, 1958, "Unity of Science as a Working Hypothesis", en: H. Feigl, M. Scriven y G. Maxwell (eds.), *Concepts, Theories, and the Mind-Body Problem*, (Minnesota Studies in the Philosophy of Science, 2), Minneapolis: University of Minnesota Press, 3-36.
- Pepper, S., 1926, "Emergence," *Journal of Philosophy*, 23: 241-245.
- Popper, K., J. C. Eccles, 1977, "The Self and Its Brain: An Argument for interactionism", *Springer International*, 597 pp.
- Porrás-Alfaro, A., P. Bayman, "Hidden Funji, Emergent Properties: Endophytes and Microbiomes", *Annual Review of Phytopathology*, 49: 219-315.
- Potochnik, A. y B. McGill, 2012, "The Limitations of Hierarchical Organization", *Philosophy of Science*, 79(1): 120-140.
- Putnam, H, 1967, "Psychological Predicates", in W.H. Capitan and D.D. Merrill (eds.), *Art, Mind, and Religion*, Pittsburgh: University of Pittsburgh Press, 37-48.

- Quian, H., 2010, “Cellular Biology in Terms of Stochastic Nonlinear Biochemical Dynamics: Emergent Properties, Isogenetic Variations and Chemical System Inheritability”, *Journal of Statistical Physics*, 141: 990-1013.
- Riedl, R., 2005, “A Systems theory of evolution”, In: Höhle, V., C. Illies, “*Darwinism and philosophy*” Indiana: University of Notre Dame Press, p. 121-142.
- Robert, J.S., 2004, *Embryology, epigenesis, and evolution: taking development seriously*, New York: Cambridge University Press.
- Rorth, P., 2012, “Fellow travellers: emergent properties of collective cell migration”, *Embo reports*, 13(11): 984-991.
- Rosenberg, A., 2006, “Darwinian reductionism: or, how to stop worrying and love molecular biology”, Chicago: University of Chicago Press.
- Rowe, J. S., 1961, “The Level-of-Integration Concept and Ecology”, *Ecology*, 42(2): 420-427.
- Rueger, A., “Physical Emergence, Diachronic and Synchronic”, *Synthese*, 124(3): 297-322.
- Sarkar, S., 1992, “Models of reduction and categories of reductionism”, *Synthese*, 91: 167-194.
- Schaffner, K., 1967, “Approaches to reduction”, *Philosophy of Science*, 34: 137-147.
- Schaffner, K., 1976, “Reductionism in biology: prospects and problems” en: R. S. Cohen y A. Michalos (eds.), *Proceedings of the 1974 meeting of the Philosophy of Science Association*, Dordrecht: D. Reidel, 613-632.
- Schaffner, K., 1993, “Discovery and explanation in biology and medicine”, Chicago: University of Chicago Press.
- Shapiro, Lawrence, 2000. “Multiple Realizations,” *Journal of Philosophy*, 97: 635–654.
- Sklar, L., 1999, “The reduction(?) of thermodynamics to statistical mechanics, *Philosophical Studies*, 95, 187-202.
- Smart, J., 1959, “Sensations and Brain Processes”, *Philosophical Review*, 68: 141–156.
- Sorger P. K., 2005, “A Reductionist’s Systems Biology”, *Current Opinion in Cell Biology*, 304:3-7.
- Stephan, A., 1997, “Armchair arguments against Emergentism”, *Erkenntnis* 46: 305-314.

- Stephan, A., 2002, "Emergentism, Irreducibility, and Downward Causation", *Grazer Philosophische Studien*, 65: 77-93.
- Stephan, A., 2006, "The dual role of "emergence" in the philosophy of mind and in cognitive science", *Synthese*, 151:485-498.
- Soto, A., C. Sonnenschein, 2005, "Emergentism as a default: cancer as a problem of tissue organization", *Journal of Biosciences*, 30(1):103-118.
- Thalos, M., 2013, "Without Hierarchy: The Scale Freedom of the Universe", Oxford: Oxford University Press.
- Trewavas, A., 2006, "A brief history of systems biology", *Plant Cell*, 18(10): 2420-2430.
- Van Riel, R. y R. Van Gulick, "Scientific Reduction", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (edición primavera 2019), Edward N. Zalta (ed.), URL = <https://plato.stanford.edu/archives/spr2019/entries/scientific-reduction/>
- Waters, K., 2006, "A Pluralist Interpretation of Gene-Centered Biology", en: S. H. Kellert, H. E. Longino, C. K. Waters (eds.), *Scientific Pluralism*, Minnesota Studies in the Philosophy of Science, Minnesota University Press, 190-214.
- Wimsatt, W. C., 1976, "Reductionism, levels of organization, and the mind-body problem, en: Globus et al. (eds.) *Consciousness and the Brain. A Scientific and Philosophical Inquiry*, New York: Plenum Press, 205-267.
- Wimsatt, W., 1994, "The ontology of complex systems: levels of organization, perspectives, and casual thickets", *Canadian Journal of Philosophy*, S20, 207-214.
- Wimsatt, W. C., 2000, "Emergence as non-aggregativity and the biases of reductionism(s)", *Foundations of Science*, 5: 269-297.
- Wimsatt, W. C., 2006, "Reductionism and its heuristics: Making methodological reductionism honest", *Synthese*, pp. 31.
- Wimsatt, W.C., 2007, "Re-engineering philosophy for limited beings: piecewise approximations to reality", Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Wolkenhauer, O., y A. Muir, 2011, "The Complexity of Cell-Biological Systems", en: C. Hooker, *Philosophy of Complex Systems*, Elsevier/NH, Handbook of the Philosophy of Science (10): 355-365.
- Wright, C. D. y W. Bechtel, 2007, "Mechanisms and psychological explanation", en: P. Thagard (ed.) *Handbook of Philosophy of Psychology and Cognitive Science*, Amsterdam: Elsevier, 31-79.

Yin, G., W. Herfel, 2011, “Constructing Post-Classical Ecosystems Ecology”, en: C. Hooker (ed.), *Philosophy of Complex Systems*, Elsevier/North Holland, 389-420.

Zangwill, N., 1992. “Variable Reduction Not Proven.” *Philosophical Quarterly*, 42: 214–218.

Zenil, H., F. Hernández-Quiroz, S. Hernández-Orozco, 2018, “Undecidability and Irreducibility Conditions for Open Ended Evolution and Emergence”, *Artificial Life*, 24: 56-70.