

Stoa

Vol. 14, no. 27, 2023, pp. 151-171

ISSN 2007-1868

REALISMO ESTRUCTURAL EN BIOLOGÍA

Structural Realism in Biology

OSCAR ABRAHAM OLIVETTI ÁLVAREZ
Posgrado en Filosofía de la Ciencia
Universidad Nacional Autónoma de México
aolivetti22@gmail.com

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-3040-3524>

RESUMEN: Este artículo se centra en dar un recuento del realismo estructural, especialmente en presentar el debate que hay en torno a esta postura en biología evolutiva. Comenzamos repasando las motivaciones originales del realismo estructural. Debido al énfasis original en ecuaciones y que no encontramos comúnmente ecuaciones en biología, presentamos una propuesta sobre cómo adaptar al realismo estructural para esta ciencia especial. Presentamos argumentos en contra del realismo estructural en biología y defendemos a la postura de dichas complicaciones. Por último presentamos problemas que atañen al realismo estructural en general y que habría que resolver para hacer de esta una propuesta viable.

PALABRAS CLAVE: Realismo estructural · realismo estructural contingente · ecuación de Price · problema del colapso · metainducción pesimista · argumento del no-milagro

ABSTRACT: The main objective of this article is to give a brief walkthrough of structural realism in Biology. We particularly aim to present the discussion regarding the role of this form of realism in evolutionary biology. We begin by laying out the main motivations to accept the Structural realism thesis. The original structural realist thesis has an emphasis on mathematical equations, which are not usually found in evolutionary biology. To tackle this, we present French's proposal to adjust structural realism for evolutionary biology. We then introduce some of the main arguments that have been put forward against the

Recibido el 3 de marzo de 2022
Aceptado el 5 de octubre de 2022

position and briefly review some responses. Finally, we mention some general problems that structural realism needs to address in order to become a viable proposal.

KEYWORDS: Structural realism · contingent structural realism · Price equation · collapse problem · pessimistic meta-induction · no miracles argument

1. Introducción

En este artículo nos proponemos hacer un balance de la investigación en torno al realismo estructural en biología, lo cual resulta sumamente importante dado que no existe literatura sobre el tema en castellano. Este recuento se construye con la finalidad de hacer una valoración sobre los avances de la discusión y su potencial para futuros desarrollos.

La primera sección da una caracterización de las motivaciones del realismo estructural presentadas por Worrall. Sin embargo, no queda claro que el realismo estructural sea apto para ciencias como la biología ya que las estructuras de en las que se centra Worrall son las ecuaciones de la teoría. La segunda sección está dedicada a exponer la postura de French. French defiende que sí es posible ser realistas estructurales en biología evolutiva y señala que hay que adoptar alguna forma de realismo estructural contingente y discute la ecuación de Price. A partir de la defensa que hace French del realismo estructural, evaluamos dicha propuesta a la luz de los argumentos de Sahorta Sarkar; quien sugiere que no es claro que las estructuras utilizadas en biología evolutiva sean lo suficientemente resilientes como para ser realistas estructurales. Sarkar, en particular, es escéptico acerca de si hay algún programa de investigación actual en biología que esté exento del cambio futuro. Debido a que parece que todos los programas de investigación están sujetos a cambios posteriores, no es claro que el realismo estructural sirva para rastrear continuidad teórica en biología evolutiva. La última sección responde al escepticismo de Sarkar recalando la utilidad de los modelos usados en biología evolutiva, a estas posibles soluciones, presentamos algunos problemas más generales que se oponen al realismo estructural y que tienen que ser resueltos para poder adoptar libremente esta forma de realismo.

2. Un breve recuento

Worrall presenta el realismo estructural (1989) como una propuesta que tenía “lo mejor de dos mundos” (p. 111). Worrall defendió al realismo es-

tructural como una alternativa entre el realismo y el anti-realismo científicos. La preocupación de Worrall estaba motivada por dos argumentos: en primer lugar los realistas afirmaban que de ser cierto que los enunciados de la ciencia no son literalmente verdaderos, entonces todo el éxito de la ciencia sería un milagro, por lo que la mejor explicación del éxito científico es que los enunciados sean verdaderos y, por tanto, que los términos de dichos enunciados refieran correctamente¹ (Putnam 1975: 73). Este es el “argumento del no-milagro”; en segundo lugar, la llamada “Metainducción Pesimista” (que es un argumento a favor del antirrealismo), sugiere que en cambios radicales de teoría, no hay continuidad entre los términos teóricos de la teoría original y la nueva. Este argumento se basa en que dada la historia de la ciencia, muchos de los enunciados que antes dábamos por verdaderos, ahora sabemos que son falsos: por ejemplo, que la luz es una onda que se mueve por el éter. Dado que no tenemos un criterio para decidir qué términos de los que aparecen en los enunciados de la ciencia actual no refieren, entonces hay que ser escépticos sobre los referentes de los términos teóricos (Laudan 1981).

Los realistas defienden que las oraciones de la ciencia son literalmente verdaderas. Para argumentar a favor de esta tesis, algunos realistas recurren al argumento del no-milagro. Con este argumento, los realistas señalan algo como lo siguiente: 1) las teorías científicas explican fenómenos observables, 2) dichas explicaciones dependen de aceptar que los objetos (inobservables) que postulan las teorías de hecho existan, 3) la mejor explicación del éxito científico es que los objetos inobservables de la teoría de hecho existan. Este argumento apela a una inferencia a la mejor explicación para sustentar el realismo. A pesar de que una de las razones para dudar de dicho argumento pueden basarse en rechazar que la inferencia a la mejor explicación sea una inferencia que conduce a la verdad, realistas como Psillos (1999, p. 203) sugieren que debido al uso cotidiano de dicho tipo de inferencias, resultaría difícil negar su uso y éxito en contextos científicos (Saatsi 2009). El argumento de Laudan, la llamada “metainducción pesimista”, toma una estrategia diferente. La estrategia de Laudan es negar la segunda premisa del argumento del no-milagro.

¹ Esto, por supuesto, siempre que los términos singulares que aparecen en las oraciones refieran adecuadamente. La oración “Los electrones tienen carga negativa”, sólo es verdadera en caso de que haya algo a lo que la palabra “electrón” refiera.

La metainducción pesimista está dirigida contra el realismo convergente. Los realistas convergentes aceptan la tesis de que las teorías literalmente interpretadas son aproximadamente verdaderas, estas teorías son verdaderas en tanto que hay referencia de los términos singulares que aparecen en los enunciados de las teorías. Más aún, Laudan menciona (en pp. 20-21) que “las teorías sucesivas en cualquier ciencia madura deben ser tales que ‘preservan’ las relaciones y los referentes aparentes de teorías anteriores (*i.e.*, teorías anteriores serían ‘casos límite’ de teorías posteriores.”² Dado que la metainducción pesimista está justificada con base en teorías exitosas cuyos términos no refieren, entonces el realista que sostenga su tesis a partir del argumento del no-milagro está en problemas. La metainducción permite rechazar el realismo convergente al negar varias de las tesis que asume dicho realista. El progreso científico está en juego porque las teorías modernas deberían asegurarse de mostrar cómo las teorías pasadas referían adecuadamente y sólo mantener partes de las teorías pasadas cuyos términos singulares referían adecuadamente. Más aún, el autor señala que “deberíamos esperar encontrar la literatura histórica de la ciencia llena de ejemplos con (a) pruebas de que teorías posteriores de hecho contienen teorías pasadas como casos límite, o (b) rechazos claros de teorías posteriores que fallen en contener a las teorías pasadas. Excepto en raras ocasiones (primordialmente ejemplos de la historia de la mecánica), uno no encuentra de manera prominente en la literatura científica ninguna de estas preocupaciones.” (p. 38)

Un realista podría insistir que no importa la verdad de los enunciados en donde aparecen términos singulares, sino sólo que los términos singulares refieran adecuadamente y que basta con la verdad aproximada de los enunciados para sostener una tesis realista. Tal como menciona Olivé, podemos hacer una distinción entre descripción y referencia. Esto significaría que los científicos pueden estar equivocados en la descripción de un objeto. Olivé (1984, p. 67) señala que

Hay progreso científico cuando se describe a las entidades y procesos reales de un modo más preciso. *Esto es lo que debe significar convergencia*. No convergencia hacia la verdad, o hacia una teoría ideal, sino *mayor precisión en la descripción*

² Todas las traducciones son nuestras.

de los sistemas reales, en sus componentes, y en sus funcionamientos.

Worrall, sin embargo, es escéptico sobre la noción de que las teorías pasadas están contenidas en las teorías modernas como *casos límite* y duda que la *verdad aproximada* salve a la tesis del realista. Worrall señala que en caso de que haya cambios radicales de teoría, la tesis realista se vuelve problemática porque es difícil para un realista mantener que a pesar de que nuestras teorías sean aproximadamente verdaderas, la ontología de la teoría es falsa. Worrall (p. 109) nos dice “¿Cómo puede haber buenas bases para sostener que nuestras teorías presentes son “aproximadamente” o “esencialmente” verdaderas, y que al mismo tiempo aparentemente haya fuertes fundamentos histórico-inductivos para considerar a dichas teorías como (probablemente) ontológicamente falsas? La noción de aproximación que usan los realistas es tan laxa que cualquier objeto puede aproximarse a cualquier otro, si esto es así, entonces por supuesto que teorías pasadas se aproximan a teorías modernas. Pero si la noción de aproximación es tan laxa, entonces es trivialmente verdadero que los objetos de la teoría pasada se aproximan a los objetos de la teoría futura. Por su parte, Worrall señala que dada la cantidad de evidencia histórica que presenta Laudan, no es cierto que las teorías modernas sean ontológicamente continuas con las teorías pasadas correspondientes. Pero si esto es cierto y no hay continuidad teórica, entonces el hecho de que la ciencia haga buenas predicciones realmente sería un milagro.

Sobre que las teorías modernas contienen a las teorías pasadas como casos límite, Worrall (1989) menciona que no queda claro cómo exactamente un objeto es un caso límite de otro. Pero de nuevo, si no hay continuidad, entonces el realismo se vuelve problemático. Agrega que si bien esta noción no está definida para objetos, sin duda está definida para ecuaciones. Una ecuación, en este sentido, es un caso límite de otra cuando uno de los valores de la nueva teoría tiende a un límite y se puede derivar una ecuación de la teoría pasada.

Bajo estas dos convicciones: por un lado que sí hay cambios teóricos en periodos de revolución y, por otro, que el argumento del no-milagro depende de la continuidad teórica, Worrall formuló el *realismo estructural*. Para solventar el problema de la continuidad y al mismo tiempo señalar que hay cambios radicales en la ontología de la teoría, los realistas es-

estructurales defienden una forma de realismo que no se compromete con los objetos de los que habla la teoría. Los realistas estructurales aceptan que hay continuidad teórica y que ésta se ve reflejada en las ecuaciones (estructuras) que se utilizan, por ejemplo, en física.³ Es decir, que aquello sobre lo que debemos ser realistas es la estructura. La estructura nos dice cuáles son las relaciones que importan y describen⁴ el comportamiento de objetos sin importar la naturaleza de los mismos.⁵

El realismo estructural ha mostrado su potencial de manera clara aplicado a dominios científicos altamente matematizados, como la física. Sin embargo, en diversas ciencias especiales donde no es igual de claro el papel de las ecuaciones, no existe una manera obvia de formular un realismo estructural. Esto es patente en el caso de la biología. Algunos realistas estructurales, han argumentado que si bien no es claro el papel de leyes y ecuaciones en teorías biológicas, es posible defender un tipo de realismo estructural para estos casos.

3. Estructuras y modelos en biología

Para el caso especial de la biología, French (2013) propone que podemos arreglar el problema que consiste en que carece de ecuaciones o leyes para

³ El ejemplo que pone Worrall es el de la continuidad entre las ecuaciones de Fresnel y las ecuaciones de Maxwell. Otro ejemplo interesante se encuentra en (Dizadji-Bahmani, Frigg y Hartmann 2010) donde presentan una reducción de la termodinámica clásica a la mecánica estadística.

⁴ Es debatible el hecho de que los modelos/estructuras “describan” el comportamiento de objetos. Esto se debe a que se ha defendido que en las ciencias empíricas, se considera que los modelos son entidades extralingüísticas. Suppe (1974) señala que “[...] hemos visto que las teorías no son colecciones de proposiciones o de enunciados, sino más bien son entidades extralingüísticas que pueden ser caracterizadas o descritas por medio de formulaciones lingüísticas diferentes.” (p. 255). Si además las teorías son colecciones de modelos, entonces esto parece señalar que los modelos son entidades extralingüísticas. Sin embargo, si los modelos se caracterizan con la teoría de Tarski, que es como el mismo Suppe señala que hay que caracterizar a los modelos, entonces sí hay un componente lingüístico involucrado. Hodges (2022) en su entrada nos dice que “Algunas veces los modelos son descritos como no-lingüísticos –esto puede ser difícil de reconciliar con nuestra definición de modelos que damos en la sección 1 más arriba”, que es la definición de Tarski. Más aún, Reiss (2012), Halvorson (2012) y Worrall (1989) utilizan el término “describir” para hablar de cómo los modelos representan a su objeto. Por lo que uso este término como una forma neutral de hablar de la relación entre modelo y fenómeno. Por supuesto, hay un debate acerca de cuál es la relación entre modelos y fenómenos empíricos. Esto es un debate acerca tanto de la naturaleza de los modelos como de la relación que hay entre modelos y fenómenos. Revisar ambos debates no es el propósito del artículo, para un panorama, el lector puede revisar (Odenbaugh 2008). Gracias a un dictaminador anónimo por esta observación.

⁵ Es debatible, por supuesto, si toda forma de estructuralismo es realmente una postura realista sobre la ciencia. Esto porque algunos defensores del antirrealismo han formulado sus posturas en términos estructuralistas. Para una caracterización de esta postura véase Bueno (1997).

formular un realismo estructural. Para ello, podemos modificar el énfasis del realismo estructural para las ciencias especiales. En lugar de caracterizar los compromisos estructurales de la teoría por medio de sus ecuaciones o leyes, se deben utilizar los modelos de la teoría, en palabras de French “Por supuesto hay un montón de estructuras en biología, dichas estructuras están presentadas por medio de los modelos de las teorías relevantes y que pueden ser representadas en el meta-nivel por el enfoque semántico de las teorías.” (French 2013, p. 373).

El cambio de ecuaciones a modelos que propone French no está libre de problemas. Una de las sugerencias de French consiste en adoptar una tesis reduccionista en biología, lo que nos permitiría usar las ecuaciones de la física como estructuras para la biología. No obstante, el reduccionismo es una tesis controvertida, y además problemática. Por lo regular el reduccionismo clásico, tal como lo expone Nagel (1961) en su capítulo 11, se presenta como una derivación de las leyes de la teoría reducida, a partir de las leyes de la teoría reductora.⁶ Pero si lo que se requiere para la reducción son leyes, y asumimos que no hay leyes en biología (Brandon 1997), entonces no podemos reducir la biología a la física.⁷

Debido a que no es viable utilizar ecuaciones físicas para caracterizar los compromisos estructurales de las teorías en biología, la siguiente alternativa que ofrece French es la de empatar el realismo estructural con los modelos de la teoría biológica. Esto conlleva modificar algunos de los compromisos originales del realismo estructural para explicar cómo los

⁶ van Riel (2011) defiende que el reduccionismo de Nagel es menos estricto de lo que se ha reconstruido. Sin embargo, van Riel caracteriza el modelo de reducción de Nagel también como derivación de leyes de una teoría a otra.

⁷ Por supuesto hay más formas de reduccionismo que la derivación de leyes. Considérese el siguiente argumento: Ningún evento puede tener más de una causa suficiente ocurriendo al mismo tiempo, a menos que sea un caso genuino de sobredeterminación. Dado que el dominio físico es completo y abarca todo lo que hay, entonces cualquier explicación que apele a otro dominio diferente al de la física, estará sobredeterminada. La primer premisa de este argumento descansa en supuestos fiscalistas (que pueden rastrearse en tesis de Carnap, como la defendida en (Carnap 1959), que además tienen un peso intuitivo muy fuerte, al final todo está hecho de partículas físicas. La formulación del principio de exclusión causal y la segunda premisa están explícitamente en (Kim 1989). Sin embargo, ambas tesis han sido puestas a debate. La primer premisa del argumento ha sido debatida, por ejemplo, por Nagel (1965). La segunda premisa ha sido debatida con base en tesis afines al emergentismo y la causalidad descendente. Para una discusión detallada de estas tesis, véase (Zhong 2020). Otras versiones fiscalistas han sido exploradas, Rosenberg (2006) defiende que si bien hay reduccionismo, este no necesariamente tiene que llegar hasta el dominio físico, y a que las explicaciones moleculares en biología son completas. Gracias a un dictaminador anónimo por hacernos notar esto.

modelos de la teoría pueden jugar el papel que el realismo estructural tradicionalmente ha otorgado a las ecuaciones.

El realismo estructural señala que los objetos o entidades que aparecen en la formulación de una teoría no deberían ser el énfasis al momento de extraer sus compromisos metafísicos. La metainducción pesimista nos enseñó que durante el proceso de cambio teórico, los objetos de la teoría no permanecen, pero existe continuidad a nivel estructural. En otras palabras, debido al argumento de la metainducción pesimista, parece que deberíamos ser escépticos sobre si los términos inobservables de la teoría refieren. Sin embargo, la estructura se mantiene a través de teorías. Esta permanencia, se formaliza en una reconstrucción como un isomorfismo entre dos teorías.

Un isomorfismo es una dupla ordenada de objetos y relaciones definidas sobre dichos objetos $\langle O, R \rangle$. Para dos teorías cualesquiera, sean X y Y , decimos que las teorías son isomorfas si hay una biyección entre los objetos de ambas estructuras y para cada relación del conjunto R de una de las estructuras, hay una relación con las mismas propiedades en la otra estructura. Que sea una biyección quiere decir que todos y cada uno de los elementos del conjunto O de X está pareado con un único elemento del conjunto O de Y y que dicho mapeo es exhaustivo (Votsis 2017).

¿Cómo esta caracterización abstracta aplica en áreas como la biología? French señala que los modelos en biología difieren de las estructuras de la física en que no exhiben necesidad ni simetría. A pesar de carecer de dichas características, dichos enunciados no son meramente accidentales, sino que exhiben una mayor resiliencia. Por lo que vale la pena dar una versión estructuralista para la biología evolutiva que French llama “Estructuralismo contingente”. Es contingente porque, dichos modelos, describen fenómenos que pueden cambiar con el tiempo y las ecuaciones mismas podrían evolucionar en conjunto con los objetos que describen, en sus propias palabras, French nos dice que

Esta resiliencia, en conjunto con la contingencia evolutiva en el marco estructuralista, nos lleva a una forma de ‘estructuralismo contingente’ en el sentido que, a diferencia de las estructuras en física, donde el realista estructural típicamente sostiene que el progreso científico nos llevará a la estructura última y fundamental del mundo, las estructuras biológicas serán tem-

poralmente específicas, cambiando su naturaleza fundamental bajo el impacto de la evolución (French 2013, p. 373).

A pesar de que podamos sustituir las leyes por modelos y formular un marco estructuralista para la biología, difícilmente tenemos las simetrías que nos permiten vincular una ecuación con otra para señalar que hay preservación durante el cambio teórico. Lo que sí podemos encontrar son características de alto nivel para las estructuras biológicas, a partir de las cuales derivar modelos específicos (esto lo discutiremos más adelante en la siguiente sección). Para ilustrar un caso de este tipo de características de alto nivel, French discute la ecuación de Price. La ecuación de Price describe en términos estadísticos cómo opera la selección natural, por lo cual se le ha conocido como el Álgebra de la evolución (p. 374).

$$(1) \quad \Delta z = Cov(w, z) + Ew(\Delta z)$$

Recordemos que la selección natural sucede cuándo hay variación entre organismos de una población, de manera que haya un rasgo que tenga un subconjunto de dicha población que ofrezca una ventaja reproductiva. Si además dicho rasgo es heredable, entonces decimos que hay selección natural, puesto que esto favorecerá que el rasgo ventajoso esté más presente en la población en generaciones posteriores.

La ecuación de Price captura justamente estos dos rasgos. En ella se señala que el cambio de un rasgo en una población de organismos depende de la *covarianza* que hay entre ese rasgo y la cantidad de descendencia de organismos con dicho rasgo. El segundo término de la ecuación nos dice cómo este rasgo varía entre padres y descendientes. Cuando no hay cambios en el rasgo específico z , el segundo término es igual a 0 y obtenemos la ecuación simplificada de Price.⁸ Esta ecuación es lo suficientemente abstracta para que su rango de aplicación se extienda a varios dominios: desde el cambio de un rasgo fenotípico, hasta cambios en el comportamiento de los organismos. Por lo que parece rescatar la motivación para el realismo estructural: independientemente de los objetos sobre los que cuantifica dicha ecuación, esta estructura permanece constante.

⁸ Esta ecuación define cómo el rasgo se vuelve más presente en una población sin apelar a alguna noción causal. Esto a veces se utiliza como argumento para defender la naturaleza estadística de la teoría de la selección natural. Al menos eso parece señalar Brodie (2014).

El ejemplo ilustra los compromisos del realismo estructural: hay una estructura que define ciertas relaciones entre objetos y dichas relaciones se mantienen aún cuando el dominio de objetos es distinto, se sostienen las relaciones y los objetos están pareados uno a uno dada la ecuación. A pesar de esto, como veremos a continuación, sigue habiendo problemas en el estructuralismo aplicado a la biología.

4. Problemas del Realismo estructural en biología

El primer problema es que el estructuralismo pretende evitar las conclusiones de la metainducción pesimista, al ser escépticos sobre los objetos que postula la teoría, mientras que somos realistas sobre las estructuras. French (2013, p. 15) señala que una consecuencia del realismo promiscuo de Dupré es que nos permite que las teorías biológicas no se centren en los individuos y menciona que “Esta caracterización de objetos sugiere que no hay necesidad del ‘realismo promiscuo’ dado que podemos adaptar una forma dinámica de estructuralismo que nos permitiría ser realistas acerca de las estructuras biológicas relevantes”⁹. Sarkar señala a esto que si bien no es una crítica muy fuerte, pareciera que French ha motivado su antirrealismo de objetos a partir del realismo promiscuo de Dupré “[...] las únicas defensas publicada del realismo estructural en biología (French 2011, 2012) descansan en la crítica de Dupré y O’Malley de que la individualidad biológica delimita un conjunto único de objetos biológicos”¹⁰ (Sarkar 2020, p. 43). Pero, como el mismo Sarkar señala, el realismo promiscuo de Dupré no es una tesis antirrealista acerca los objetos en biología. Lo que niega el realismo promiscuo de Dupré es que no hay, de forma sincrónica, una descripción única del conjunto de los organismos y no se compromete con como estos organismos continuarán a través del cambio teórico, que es lo que le interesa al realista estructural. Dicho en palabras de Dupré:

Mi punto de vista es que el pluralismo está basado, no en la negación de que hay distinciones naturales ocurriendo bajo las cuales fundamentar clases discretas, sino en la creencia de que hay demasiadas y que pueden sobreponerse y cruzarse. Por ello, no

⁹ This characterisation of objects suggests that there is no need for ‘promiscuous realism’ since we can adapt a (dynamical) form of structuralism which will allow us to be realist about the relevant biological structures.

¹⁰ the only published defenses of structural realism in biology (French 2011, 2012) rely on Dupré and O’Malley’s (2007, 2009) critique of biological individuality as delimiting a unique set of (biological) objects

hay nada que nos prevenga de ser un pluralista y un realista al creer que hay muchas maneras de clasificar fenómenos, y muchas o todas ellas pueden reflejar divisiones reales e importantes de la naturaleza.¹¹ (Dupre 2021, p. 26.)

Si, como señala Sarkar, la motivación del realismo estructural depende del “realismo promiscuo” de Dupré, entonces hay que motivar la tesis de una manera diferente. Esto no quiere decir que French acepta el realismo promiscuo de Dupré, sino sólo que motiva su compromiso de deshacernos de los individuos de la teoría.

Sarkar menciona que la caracterización estructuralista de French basada en la ecuación de Price es que no es un gran ejemplo de continuidad en biología. Si bien se ha presentado como el teorema fundamental de la selección natural, la fórmula depende de cambios evolutivos, por lo que en un futuro podría no describir los fenómenos que pretendía describir originalmente. Pero el realismo estructural estaba motivado por hacer claros nuestros compromisos ontológicos (estructurales), que se mantienen aún durante cambios radicales de teoría, por tanto, la ecuación de Price tampoco es un objeto para basar el realismo estructural en biología.

A pesar del escepticismo de Sarkar, el autor se propone analizar varias propuestas que pueden motivar el realismo estructural en biología. Su argumento para cada uno de los casos es que la resiliencia de dichas estructuras no es suficiente para justificar el realismo estructural en biología. Un pasaje clave es cuando Sarkar menciona que:

Mientras tanto, al día de hoy, hay mucho terreno para dudar de la pertinencia de la ecuación de Price – más aún, y quizás más importante, *está lejos de ser claro qué sucederá con dicha ecuación en las teorías post-genómicas de la herencia*.¹² Es un salto de fe asumir que será resiliente como lo demanda el realismo estructural. Pero aún, ninguna otra ley biológica ofrece mejores prospectos para el realismo estructural. (Sarkar 2020, p. 46).

Este es un punto que ya había hecho notar Elizabeth Lloyd (1992), expresando un punto similar al de Sarkar: no sabemos qué vaya a suceder con las estructuras biológicas en el futuro porque dichas estructuras están

¹¹ “In my view pluralism is grounded not on the denial that there are any naturally occurring distinctions on which to ground discrete kinds, but on the belief that there are too many, and they may overlap and cross-cut. Hence, there is nothing to prevent one from being a pluralist and a realist, from believing that there are many ways of classifying phenomena, and that many or all of them may reflect real and important divisions in nature”. Las traducciones son mías.

¹²El énfasis es mío.

sujetas a cambios, Lloyd dice “[...] debido a que son¹³ basadas genéticamente, y toda relación o rasgo que dependa de la genética está sujeta a cambios evolutivos.” Esto por supuesto depende de *si es verdad* que la ecuación de Price cuantifica sobre genes y dado que la síntesis extendida ha sido renuente a aceptar otros métodos de herencia además del genético (Jablonka y Lamb 2020), entonces la ecuación de Price está a su vez sujeta a cambios.

Esto último es problemático para el estructuralismo porque aunque la ecuación de Price sea una estructura, no es resiliente como para ser continua durante cambios teóricos. A pesar de ello, Sarkar decide explorar un par de alternativas. El autor dice que recientemente hay proyectos en biología que no dependen de el realismo de objetos, sino de estructuras. Esto se hace con el uso de multi-grafos dirigidos. Estos multi-grafos dirigidos parecen ofrecer la resiliencia suficiente al cambio teórico como para ser una mejor manera de motivar el realismo estructural en biología. Él menciona que tanto el *holismo teleológico* como el *emergentismo estructural*¹⁴ utilizan multi-grafos dirigidos para modelar los fenómenos que estudian. Sarkar, sin embargo, es escéptico sobre cómo estas líneas de investigación serán desarrolladas a futuro.

El argumento que presenta Sarkar es que estas líneas de investigación dependen de aceptar una forma de antirreduccionismo. Si bien, él es escéptico acerca de cómo habrá que modificar las estructuras de dichos programas en el futuro, es decir que o bien el reduccionismo o bien el antirreduccionismo pueden resultar triunfantes, es muy pronto para decidir si estos proyectos no están sujetos a los cambios que la misma teoría de la evolución pueda tener. Por tanto, la resiliencia de las estructuras que utilizan estos proyectos para modelar fenómenos está restringida y acotada al cambio en dichos programas, por tanto no son estructuras resilientes para defender un realismo estructural en biología.

La respuesta final de Sarkar es que el realismo estructural en biología evolutiva debería tomarse con “medida”, porque tanto la ecuación de Price, como otros programas de investigación que empatan con el estructuralis-

¹³En este caso, Lloyd está hablando del principio de Hardy-Weinberg y de las leyes de Mendel, pero dada la cita de Sarkar, esto también aplica a la ecuación de Price.

¹⁴El emergentismo estructural, a diferencia del *holismo teleológico*, no involucra un factor intencional.

mo, no tienen la resiliencia suficiente para preservarse durante el cambio radical de teorías.

El escepticismo de Sarkar parece ser un grave problema para el realismo estructural en biología. Sin embargo, French ya nos había alertado que los modelos en biología no son tan resilientes como sucede con los modelos en la física. Es por ello que French sugería que adoptásemos una suerte de realismo estructural contingente. Esto, sin embargo, deja abierta la duda de si aún podríamos considerar a esto un tipo de realismo y no una versión estructural del antirrealismo. Recordemos que el realismo estructural estaba motivado por el hecho de que en cambios de teoría, lo que se preserva es la estructura, pero si dichas estructuras cambian a su vez, no queda claro cómo ser realistas con respecto a dicha estructura.

5. Posibles desarrollos

Sin duda, los modelos son una parte importante del trabajo que realizan los biólogos. Lloyd nos dice que

La principal razón para afirmar que los modelos deben ser considerados en cualquier descripción de la estructura de la teoría evolutiva es que los modelos son la herramienta teórica primaria utilizada por los biólogos evolutivos. Los biólogos presentan sus teorías en términos de modelos y es a partir de ellos que producen conclusiones utilizando dichos modelos (Lloyd 1992, p. 9).

Pongamos un ejemplo de modelo diferente a la ecuación de Price, esto se discute en (Erwin 2008) donde el autor describe cómo un modelo económico puede ser útil para explicar fenómenos biológicos. De manera sucinta, el autor describe que el crecimiento económico depende de la creación de bienes que sean al mismo tiempo no-rivales y no-excluyentes. Que los bienes sean no-rivales significa que varios agentes pueden ser usuarios de dicho bien sin intervenirse unos a otros. Que sean no-excluyentes es que haya disponibilidad suficiente para que los agentes puedan acceder a dicho bien. Ahora, lo que describe el artículo es que este modelo puede ser utilizado para describir qué bienes tienen mayor impacto macroevolutivo. Bienes como la luz solar y el oxígeno parecen cumplir dicha función. Esto, por supuesto mantiene las relaciones, sin importar los objetos de los que se hable, en este caso, los bienes particulares y no agentes, sino organismos.

Como ilustran tanto el ejemplo anterior, como la ecuación de Price y lo mencionado por Lloyd, los biólogos trabajan constantemente con modelos

para explicar fenómenos. Sin embargo, a partir del ejemplo mencionado en el párrafo anterior, no queda claro cómo persiste la motivación del realismo estructural, ya que no es un caso donde la estructura sea constante en cambios teóricos, a menos que digamos que la biología y la economía son partes de una teoría continua que se ha modificado.

Una sugerencia es que podríamos deshacernos de la motivación original del realismo estructural, la cual pretende salvar la continuidad en casos de cambio teórico. Podría ser suficiente el requisito más sencillo en el cual la estructura es lo único de lo que podemos tener conocimiento sin afirmar la tesis de que durante el cambio teórico hay continuidad estructural. Alguien que defendiera esta tesis podría argumentar que los cortes ontológicos centrados en objetos no son lo suficientemente precisos y es por ello que habría que centrarnos en la estructura la teoría. El realismo estructural fue motivado originalmente por la preocupación de preservar elementos de las teorías a pesar del cambio teórico, pero algunas versiones del realismo estructural, como el “upward path” [camino ascendente] que describe Psillos (2009) no necesariamente están comprometidas con esta tesis.¹⁵

Más aún, el escepticismo de Sarkar sobre que la ecuación de Price fuera una estructura resiliente dependía de que no somos capaces de saber si dicha ecuación tendrá que ser modificada en caso de aceptar que hay sistemas de herencia no genéticos. Sin embargo, una de las ventajas que tiene la ecuación de Price es que no se compromete sólo con un sistema de herencia. Ésta es una representación abstracta de la selección y no es evidente que sólo cuantifique sobre genes. Jablonka y Lamb (2020) han argumentado que hay diferentes sistemas de herencia y se perfila un cambio en la teoría de la selección natural al aceptar nuevos mecanismos de herencia¹⁶ (Jablonka y Lamb 2020). Más aún, hay defensas que afirman que la ecuación de Price puede incorporar dichos sistemas de herencia y funcionar como una estructura que unifica varios sistemas de herencia ((Helanterä & Uller, 2010). Esto parece indicar que la ecuación de Price

¹⁵ Hay que contextualizar la caracterización de Psillos del estructuralismo. Psillos concluye en su artículo que la mejor motivación para el realismo estructural es justamente la que tenía Worrall: hay continuidad en cambios radicales de teoría. Psillos señala que el realismo estructural que tome la ruta ascendente no es plausible ya que no hay manera de saber si hay una función uno a uno entre las estructuras que postulamos y las estructuras del mundo.

¹⁶ Es discutible si esto realmente conlleva a modificar la teoría de la evolución, y no sólo a extenderla. Para un rápido panorama de esto, el lector puede revisar (Laland 2014).

sí tiene la resiliencia suficiente para apoyar un realismo estructural en biología.

Además, Lloyd sugiere que el principio de la selección natural, presentado por autores como Lewontin (Levins y Lewontin 1985, p. 79) funciona como una teoría de orden superior a partir de la cual se pueden derivar diferentes modelos que describen fenómenos concretos. Esto, señala Lloyd, significa que hay una estructura de orden superior a partir de la cual se pueden hacer especificaciones empíricas que generen instancias de dicho esquema. Para esto, sólo debemos ajustar el modelo original, de manera que pueda representar fielmente un sistema concreto (cf. Lloyd 1992, especialmente la sección 2.3). Además, esta caracterización de la selección natural es lo suficientemente abstracta como para poder involucrar diferentes sistemas de herencia, que es la preocupación que resalta Sarkar, lo que podría indicar que esta estructura es lo suficientemente resiliente para ser realistas estructurales.

Cambiando a otra línea de problemas, el realismo estructural tiene que resolver otras dificultades como las que menciona Sterpetti (2016). El autor señala que aún si el realismo estructural puede resolver problemas realistas en biología evolutiva, hay problemas más generales que resolver. Uno de los problemas que menciona el autor es que presentar a las teorías a partir de un conjunto de modelos, depende de no presentar a las teorías como lo describía la concepción heredada. Quienes defienden la concepción heredada de las teorías sostuvieron que las teorías científicas son entidades lingüísticas. Dicha visión afirma que el vocabulario de las teorías puede dividirse en el vocabulario lógico, el vocabulario teórico y el vocabulario observacional. Otra tesis involucrada es que el vocabulario teórico se reduce al vocabulario observacional. En este sentido, el objetivo de la filosofía de la ciencia es reconstruir dichas teorías en un lenguaje axiomático que tenga las divisiones de vocabulario mencionadas anteriormente. Este conjunto de tesis también se ha descrito como la concepción sintáctica de las teorías. Para un recuento más detallado de la evolución de estas tesis véase Suppe (1974).

La alternativa más prominente y dado el énfasis en modelos que hace French para una forma de realismo estructural en biología evolutiva, es la visión semántica de las teorías. Los semanticistas defienden que las teorías no son entidades lingüísticas. En primer lugar, parece que cualquier realista aceptaría una teoría correspondentista de la verdad. Esto significaría

que los modelos de la teoría corresponden de alguna manera con el mundo. Pero debido a que las teorías no son entidades lingüísticas según los semanticistas y la teoría correspondentista más desarrollada (Tarski 1936) está definida para lenguajes formales: ¿cómo exactamente hay una correspondencia entre el mundo y las estructuras (modelos) que hacen a la teoría?

Esto significa que los realistas estructurales tienen la tarea de especificar cuál es la relación entre modelos y el mundo. Un problema adicional es el que Sterpetti (Sterpetti 2016, p. 8) llama el “problema del colapso”. Por lo general, los realistas estructurales mencionan que el isomorfismo entre estructuras es la relación adecuada entre modelos y el objeto que quieren representar, sin embargo, la relación de isomorfismo está definida para dos estructuras formales. Si esto es verdad, entonces querría decir que al final la estructura del mundo es formal.

Para responder la primer cuestión, parece que hay que presuponer una relación de correspondencia entre el mundo y la teoría. Los realistas estructurales pueden señalar que el modelo es una *copia* del objeto que representa. Pero hay muchas maneras formalmente correctas de describir fenómenos del mundo, por lo que no queda claro cuál de las estructuras disponibles *copia* correctamente dicha estructura. Una posible solución sería insistir que si bien hay muchas maneras formalmente correctas de describir fenómenos, hay una única manera *privilegiada* de hacer dicha descripción, o bien mostrar cómo distintos modelos formalmente correctos son equivalentes.

Si bien esto es un problema para el realismo estructural en general, parece más problemático para el realismo estructural en biología. Debido al amplio uso de diferentes modelos para describir fenómenos evolutivos, no es claro que haya una manera *privilegiada* de hacerlo. Si bien podemos insistir que en un futuro podría haber un modelo para cada fenómeno, esto es sólo una apuesta a futuro. Más aún, con respecto al problema de la representación, los modelos utilizados, como en el caso del ejemplo señalado anteriormente, no son modelos que representen a su objeto de manera perfectamente fiable. En palabras de Reiss “‘el ‘problema de la validez externa’ es el problema de hacer una inferencia confiable acerca de sistemas de interés que se tienen como meta [*target*] cuando, por cualquier razón, el sistema meta [*target*] no es estudiado directamente, sino de manera indirecta al examinar un sistema-modelo o un conjunto de sistemas-modelos”

(Reiss 2019). Este problema de representación nos lleva a una de las preocupaciones de Sarkar; si una de las motivaciones para el realismo estructural es hacer explícitos los compromisos ontológicos que implica la teoría, entonces las idealizaciones (que por lo regular son partes del modelo) no son suficientes para exponer dichos compromisos.

Con respecto al problema del colapso, hay dos opciones disponibles. Sterpetti expone una propuesta de Psillos y una de French. La primera propuesta acepta que hay que inflar nuestra ontología para incorporar objetos abstractos. Sin embargo, los objetos abstractos son causalmente inertes y, Sterpetti (2016, p. 9) señala que las explicaciones científicas son prominentemente causales. Para solventar esto, habría que aceptar un principio que cierre la brecha entre explicaciones causales y no-causales. Sterpetti refiere que Psillos tiene un principio para cerrar dicha brecha: si hay un objeto que juegue un papel indispensable en explicaciones de una ciencia bien fundada, entonces dicho objeto es real. Sterpetti argumenta que esto no resuelve el problema ya que ahora parece que nuestro criterio de existencia es el poder explicativo de una teoría y no es verdad que toda teoría con gran poder explicativo sea un buen criterio de existencia.¹⁷

La segunda propuesta para este problema es aceptar que hay causalidad en el mundo, que en esto radica la diferencia entre objetos abstractos y concretos y que nuestros modelos reflejan fielmente dicha estructura. El problema que señala Sterpetti respecto a este argumento es que para poder justificar esta relación entre estructura formal y la estructura del mundo, French tiene que apelar a una forma del argumento del no-milagro que señale que las leyes y la estructura causal están el mundo. Sterpetti dice que el principal atractivo del realismo estructural es que podía dar cuenta del éxito científico sin requerir del argumento del no-milagro. No queda claro que dicho argumento sea problemático para el realista estructural, dada la presentación que hicimos de Worrall al inicio de este artículo. Según la presentación de Worrall, el realismo estructural no busca evitar el argumento del no-milagro. En cambio, un realista estructural quiere señalar que el hecho de que haya continuidad de teorías es la fuente prin-

¹⁷ Este compromiso realista, al mismo tiempo que cerramos la brecha entre explicaciones causales y no causales podría solventarse con una aproximación intervencionista, dada la naturaleza expositiva de este artículo no ahondaremos más en esta tesis, pero el lector puede revisar el trabajo de Woodward, especialmente (2018) y (2000).

principal del argumento del no-milagro y trata de salvar la continuidad teórica al ser realistas sobre las estructuras, no sobre los objetos de la teoría.

Una cuestión, quizás más importante radica en que si buscamos una forma privilegiada de modelos que representen a su objeto, podemos apelar a modelos que reflejen la estructura causal y decir que dichos modelos causales son los modelos privilegiados. Sin embargo, como menciona Sterpetti, esto lleva directamente al problema de la naturaleza de la selección natural. Hay un debate en torno a si deberíamos interpretar a la teoría como una teoría causal o una teoría puramente estadística y esto es un debate abierto (Pence 2021).

Estos problemas, por supuesto, están ligados a preocupaciones más generales del tipo ¿de qué manera las teorías representan el mundo? Estas cuestiones de representación dependen a su vez de qué teoría de la verdad sea la correcta y de otros problemas relacionados con el objetivo de las ciencias.¹⁸

Por último, no queda claro exactamente qué forma de realismo estructural habrá que defender para las teorías biológicas. Si tomamos la sugerencia de French de optar por un realismo estructural contingente, cabe preguntarse si esto sigue siendo una forma de realismo y no una forma de antirrealismo. Además, dado el énfasis que hace French en los modelos de la teoría, quedan aún problemas de representación que un realista estructural tendría que resolver.

6. Conclusiones

En este artículo comenzamos haciendo una caracterización del realismo estructural y sus principales motivaciones. Lo siguiente que hicimos fue caracterizar las tesis de French de cómo el realismo estructural sirve para plantear el realismo estructural para teorías biológicas. Mencionamos brevemente que French afirma que hay que adoptar una forma de realismo “contingente”. A esto, señalamos que no es claro cómo esta forma de realismo estructural puede seguir llamándose propiamente “realismo” y señalamos que fácilmente se puede convertir en una tesis antirrealista. Lo

¹⁸ Como una nota marginal se podría defender que el objetivo de la ciencia no es la de describir correctamente el mundo, sino defender que el objetivo de la ciencia es algún otro compromiso epistémico. Por otra parte, podríamos decir que el objetivo de la ciencia sí es la de describir correctamente el mundo, pero que la teoría de la verdad no es la correspondentista y describir cómo ambas tesis encajan. Esto, por supuesto, necesita ser explorado de manera independiente a si el realismo estructural es plausible para nuestras teorías biológicas.

siguiente fue evaluar la propuesta de French a la luz de los retos puestos por Sarkar. El autor menciona que los modelos en biología no tienen la resiliencia suficiente como para poder caracterizar el realismo en biología en términos del realismo estructural. Sarkar, además, señala que la motivación detrás de la postura de French no está bien guiada. La postura de Sarkar, por supuesto, es escéptica con respecto a la posibilidad de adoptar al realismo estructural en biología. Por último, resaltamos la utilidad de los modelos utilizados por los biólogos y señalamos como un realista estructural podría defender sus tesis frente a los argumentos presentados. Por último señalamos algunos problemas más generales que tiene el realismo estructural y el realismo estructural en biología de manera particular. A esto último, indicamos que podemos deshacernos de las motivaciones originales del realismo estructural y cambiar por una motivación menos estricta, esto es, sin afirmar la tesis de continuidad teórica. Consideramos que el realismo estructural puede ser una forma de realismo que es aplicable a las ciencias biológicas ya que nos ofrece una nueva perspectiva a pesar de los problemas mencionados en el artículo. Lo que hemos expuesto aquí es más que nada una invitación para que la comunidad filosófica hispanohablante se una al debate en torno al realismo estructural en biología.

Agradecimientos Agradezco a los editores invitados por la oportunidad de poder publicar este artículo, especialmente al Dr. Alejandro Vázquez del Mercado que me ayudó durante el proceso de escritura y con quien pude discutir una parte sustancial del artículo. Agradezco además a Cristina Flores, Raymundo Meza y Óscar Monroy con quienes pude discutir varias de las secciones del artículo. Agradezco también al dictaminador anónimo por sus valiosos comentarios.

7. Referencias

- Brandon, R. N., (1997), "Does biology have laws? the experimental evidence". *Philosophy of Science*, 64, S444–S457.
- Brodie III, E. D., (2014), "Phenotypic selection on quantitative traits", en *The Princeton Guide to Evolution*. Princeton University Press.
- Bueno, O. (1997). "Empirical adequacy: A partial structures approach". *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, 28(4), 585-610.
- Carnap, R. (1959). "Psychology in physical language", en A. J. Ayer (Ed.), *Logical Positivism* (pp. 165-198). The Free Press.

- Dizadji-Bahmani, F., Frigg, R., & Hartmann, S. (2010). "Who's afraid of Nagelian Reduction?" *Erkenntnis*, 73(3), 393–412. doi: 10.1007/s10670-010-9239-x
- Erwin, D. H. (2008). "Macroevolution of Ecosystem Engineering, Niche Construction, and Diversity". *Trends in Ecology and Evolution*, 23(6), 304-310.
- French, S., (2013), "Eschewing entities: Outlining a biology-based form of structural realism", en V. Karakostas & D. Dieks (2013, Springer.
- Halvorson, H., (2012), "What scientific theories could not be", *Philosophy of Science*, 79(2), 183–206. doi: 10.1086/664745
- Helanterä, H., & Uller, T., (2010), "The Price equation and extended inheritance", *Ann Arbor, Michigan: Michigan Publishing, University of Michigan Library*.
- Hodges, W. (2022). "Model theory". En E. N. Zalta (Ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring 2022 ed.). Metaphysics Research Lab, Stanford University. <https://plato.stanford.edu/archives/spr2022/entries/model-theory/>.
- Jablonka, E., Lamb, M. J. (2020), *Inheritance systems and the extended evolutionary synthesis*, Cambridge University Press.
- Kim, J., (1989), "The myth of non-reductive materialism", *Proceedings and Addresses of the American Philosophical Association*, 63(3), 31–47. doi: 10.2307/3130081
- Laland, K., Uller, T., Feldman, M., Sterelny, K., Müller, G. B., Moczek, A., . . . Strassmann, J. E. (2014). "Does evolutionary theory need a rethink?", *Nature*, 514(7521), 161–164.
- Laudan, L., (1981), "A confutation of convergent realism", *Philosophy of Science*, 48(1), 19–49. doi: 10.1086/288975
- Levins, R., & Lewontin, R. (1985), *The dialectical biologist*, Harvard University Press.
- León, O., (1984), "Sobre el realismo convergente", *Crítica. Revista Hispanoamericana de Filosofía*, 16(48), 53-78. doi: <https://doi.org/10.22201/iifs.18704905e.1984.554>
- Lloyd, E. A., (1994), *The structure and confirmation of evolutionary theory*, Princeton University Press.
- Nagel, E., (1961), *The structure of science: Problems in the logic of scientific explanation*. New York, NY, USA: Harcourt, Brace & World.
- Nagel, T., (1965), "Physicalism", *Philosophical Review*, 74 (July), 339–56. doi: 10.2307/2183358
- Odenbaugh, J., (2008), "Models", en S. S. A. Plutynski (Ed.), *A companion to the philosophy of biology*. Blackwell Publishing.
- Olivé, L., (1984), "Sobre el realismo convergente", *Crítica: Revista Hispanoamericana de Filosofía*, pp. 53-78.
- Pence, C. H., (2021), *The causal structure of natural selection*, Cambridge University Press.
- Psillos, S., (1999), *Scientific realism: How science tracks truth*, Routledge.
- Psillos, S., (2009), "Is structural realism possible?", en *Knowing the structure of nature: Essays on realism and explanation*, Palgrave Macmillan.
- Putnam, H., (1975), "What is mathematical truth?", en *Mathematics, matter and method* (Vol. 1, p. 60-79). Cambridge University Press.
- Reiss, J., (2012), "The Explanation Paradox", *Journal of Economic Methodology*, 19(1), 43–62. doi: 10.1080/1350178X.2012.661069

- Reiss, J., (2019), "Against external validity", *Synthese*, 196 (8), 3103–3121. doi: 10.1007/s11229-018-1796-6
- Rosenberg, A., (2006), *Darwinian reductionism, or, how to stop worrying and love molecular biology*, University of Chicago Press.
- Saatsi, J., (2009), "Form vs. content-driven arguments for realism", en P. D. Magnus & J. Busch (Eds.), *New waves in philosophy of science*, Palgrave-Macmillan.
- Sarkar, S., (2020), "Structural realism in biology", *Croatian Journal of Philosophy*, 20(1), 35–62.
- Sterpetti, F., (2016), "Scientific realism, the semantic view and evolutionary biology", en E. Ippoliti, F. Sterpetti, & T. Nickles (Eds.), *Models and inferences in science* (pp. 55–76), Cham: Springer International Publishing.
- Suppe, F., (1979), *La estructura de las teorías científicas*, Editora Nacional.
- Tarski, A., (1936), "The concept of truth in formalized languages", en A. Tarski (Ed.), *Logic, semantics, metamathematics* (pp. 152–278), Oxford University Press.
- van Riel, R., (2011), "Nagelian reduction beyond the Nagel model", *Philosophy of Science*, 78(3), 353–375. doi: 10.1086/660300
- Votsis, I., (2017), "Structural realism and its variants", en *The routledge handbook of scientific realism*. Routledge.
- Woodward, J., (2000), "Explanation and invariance in the special sciences", *British Journal for the Philosophy of Science*, 51(2), 197–254. doi: 10.1093/bjps/51.2.197
- Woodward, J., (2018), "Some varieties of non-causal explanation", en A. Reutlinger & J. Saatsi (Eds.), *Explanation beyond causation: Philosophical perspectives on non-causal explanations*, Oxford University Press.
- Worrall, J., (1989), "Structural realism: The best of both worlds?", *Dialectica*, 43(1-2), 99–124. doi: 10.1111/j.1746-8361.1989.tb00933.x
- Zhong, L., (2020), "Taking emergentism seriously", *Australasian Journal of Philosophy*, 98(1), 31–46. doi: 10.1080/00048402.2019.1589547