

LA FORMACIÓN DE INDIVIDUOS BIOLÓGICOS: ARGUMENTOS PARA UN PLURALISMO EPISTÉMICO*

THE FORMATION OF BIOLOGICAL INDIVIDUALS: ARGUMENTS FOR AN EPISTEMIC PLURALISM

FRANCISCO JAVIER NAVARRO CÁRDENAS

Instituto de Parasitología - Facultad de Medicina, Universidad Austral de Chile
Valdivia, Chile.

fco.cardenasnavarro@gmail.com

francisco.navarro@uach.cl



RESUMEN

La biología divide la naturaleza en una pluralidad de entidades individuales (como genes, células, virus, organismos, especies). El llamado problema de la individualidad biológica puede definirse por dos preguntas centrales. Una pregunta empírica destinada a explicar cómo y por qué una colección de entidades biológicas puede conformar un individuo y una pregunta ontológica que busca responder qué es un individuo biológico en general. En esta investigación abordaré la pregunta empírica desde una aproximación pluralista y epistémica. Argumentaré que la diversidad de criterios y prácticas utilizados por la biología para individuar la naturaleza no es un estado transitorio de la investigación científica y debería conservarse.

Palabras clave: individualidad biológica; organismos; pluralismo epistémico; pregunta empírica; monismo; pregunta ontológica; representación científica.

ABSTRACT

Biology divides nature into a plurality of individual entities (e.g., genes, cells, viruses, organisms, species). The so-called problem of biological individuality can be defined by two central questions. An empirical question that asks how and why a set of biological entities can constitute an individual, and an ontological question that asks what a biological individual is in general. In this research I will focus on the empirical question from a pluralistic and epistemic approach. I will argue that the diversity of criteria and practices used by biology to individuate nature is not a transitory state of scientific research, and should be preserved.

Keywords: biological individuality; organisms; epistemic pluralism; empirical question; monism; ontological question; scientific representation.

1. INTRODUCCIÓN

La noción general de individuo biológico puede interpretarse de muchas maneras.¹ Algunos autores la utilizan como sinónimo de organismo (Clarke 2010), concepto históricamente relacionado al de ser vivo (Cheung 2010). De hecho, solemos utilizar expresiones compuestas como organismo individual u organismo vivo. Para esta investigación no será problemático asumir que todo organismo es un ser vivo o viceversa. A diferencia de átomos, moléculas y objetos “inanimados” en general, lo que biólogos y legos llaman organismos u organismos vivos (animales vertebrados siendo ejemplos paradigmáticos) suelen ser objetos que, entre otras cosas, se alimentan, crecen, reparan sus tejidos, se reproducen y evolucionan por selección natural. Por otro lado, no utilizaré el concepto de organismo como sinónimo de individuo biológico, ya que

¹ En adelante, utilizaré indistintamente las expresiones individualidad/individualidad biológica e individuo/individuo biológico.

entidades no organizmales como genes, cromosomas y especies también motivan el estudio de la individualidad biológica (e. g., Ghiselin 1974; Godfrey-Smith 2013, 2014; Hull 1976); sin mencionar el debate no zanjado sobre la organismalidad de los virus (Pradeu et ál. 2016). Siguiendo a algunos filósofos de la biología, hablaré de los organismos como un tipo de individuo biológico (e. g., Godfrey-Smith 2013; Pradeu 2016a).

Por otro lado, quienes se interesan en comprender la individualidad, al menos en gran parte de la literatura filosófica reciente, no suelen preguntarse qué es un ser vivo.² Esto puede deberse a que la pregunta por los seres vivos no suele plantearse en términos de relaciones parte-todo, a diferencia de aquella por los individuos biológicos. Definir cualidades de lo viviente no implica necesariamente poder discernir entre partes y colecciones de seres vivos individuales. Por ejemplo, podemos argumentar que las células que conforman mi cuerpo son seres vivos y al mismo tiempo carecer de criterios para decidir si soy un ser vivo individual o una colección de seres vivos celulares. Los teóricos de la vida generalmente se centran en comprender cómo se originó la vida o qué diferencia al mundo biótico del mundo meramente fisicoquímico (e. g., Bedau & Cleland 2010; Küppers 1990; Lahav 1999).

Las discusiones sobre individualidad biológica en la literatura contemporánea suelen preguntarse cómo y por qué una colección de entidades biológicas puede conformar un individuo (Bouchard & Huneman 2013; Wilson 2000). También podríamos expresarlo de la siguiente manera: qué propiedades y procesos causales hacen de un sistema físico un individuo biológico y no (o no solamente) una parte o colección de otros individuos. Por ejemplo, cómo y por qué los seres humanos somos organismos multicelulares y no una mera colección de células; qué propie-

² Ciertamente existen excepciones importantes. Por ejemplo, el libro *The Major Transitions in Evolution* (1997) de los biólogos John Maynard Smith y Eörs Szathmáry —una referencia frecuente en la literatura sobre individualidad biológica— aborda explícita y extensamente la pregunta qué es la vida. Más que establecer una distinción precisa entre teóricos de la vida y teóricos de la individualidad, intento desambiguar ciertos aspectos claves para este manuscrito, consciente del inevitable parentesco entre los conceptos de ser vivo, individuo biológico y organismo.

dades y procesos causales hacen de un grupo de organismos una especie y no una parte o colección de otras especies; cómo y por qué una colonia de insectos puede conformar un superorganismo (Hölldobler & Wilson 2009; Wilson & Sober 1989).

¿No es más sencillo decir que el problema de la individualidad intenta responder qué es un individuo biológico? En cierto sentido esta pregunta está incluida en la primera. Un biólogo que teoriza acerca de cómo ocurrió la transición evolutiva de células a individuos multicelulares nos dice, en un nivel general, que los individuos son unidades de selección natural (e. g., Buss 1987) y un ecólogo que nos habla de la protección de organismos en un ecosistema nos dice que los individuos son unidades de conservación. Estas son, sin embargo, respuestas locales adecuadas a contextos específicos. Siguiendo una motivación más filosófica, podemos preguntarnos qué es un individuo o la individualidad biológica en general (i. e., en todo contexto).

Podemos considerar que ambas preguntas —cómo y por qué se forman los individuos y qué son en general— conforman el problema de la individualidad biológica. La primera es una pregunta principalmente empírica que busca explicar fenómenos particulares de individuación en la naturaleza. La segunda, en cambio, puede interpretarse como una pregunta metafísica o de inspiración metafísica, esto es, acerca de la división de la realidad biológica en individuos. Por simplicidad, podemos llamarlas *pregunta empírica* y *pregunta ontológica*. Tal distinción pretende reflejar el siguiente hecho. Muchas veces, la biología es capaz de explicar diferentes aspectos de entidades individuales (i. e., entidades que, en distintos contextos de investigación, no se consideran meras partes o colecciones de individuos) sin necesidad de tener una definición unívoca de los términos con los cuales son individualizadas. Por ejemplo, el trabajo empírico sobre genes, organismos y especies ha podido realizarse pese a que la filosofía de la biología no concuerde acerca de qué es un gen, un organismo o una especie en la realidad. Podemos explicar cómo un conjunto de nucleótidos conforma un gen determinado, cómo y por qué se desarrolla un organismo, o qué cualidades definen a un grupo de animales como una sola especie, sin necesidad de establecer una respuesta unánime a la pregunta ontológica. Esto es, en parte, lo que ha motivado a algunos filósofos de la biología a sugerir que el trabajo científico no depende de la definición de dichos conceptos (Waters 2018; Wilson 2000) o que

deberíamos aceptar más de una definición científicamente competente sobre ellos (*e. g.*, Ereshefsky 1992; Kitcher 1992; Pepper & Herron 2008).

Los enfoques tradicionales para abordar el problema de la individualidad suelen catalogarse como monistas o pluralistas. *Grosso modo*, los primeros buscan criterios fundamentales que nos permitan dividir unívocamente el mundo biológico en individuos (*e. g.*, Clarke 2010; Queller & Strassmann 2009). Los segundos, en cambio, argumentan que no deberíamos restringir el estudio de la individualidad a concepciones únicas, reconociendo que la naturaleza podría dividirse en diferentes tipos de individuos (*e. g.*, Dupré 2012; Pradeu 2016b; Wilson 1999). Por ejemplo, una entidad biológica cuyas partes poseen un único genotipo podría representar un individuo genético, una entidad capaz de reproducirse y evolucionar por selección natural podría ser un individuo evolutivo, y una entidad conformada por todas las partes toleradas por su sistema inmunitario podría representar un individuo inmunológico. Dichas clasificaciones dependerían de los criterios utilizados para individuar los fenómenos biológicos de interés (*véase* Clarke 2010 y Lidgard & Nyhart 2017 para un listado de diversos criterios de individuación biológica).

En la presente investigación me centraré en analizar la pregunta empírica del problema de la individualidad biológica. En la siguiente sección, argumentaré a favor de un pluralismo epistémico según el cual la diversidad de criterios y prácticas de individuación no es un estado transitorio de la biología.³ Sugiero que la necesidad de mantener esta pluralidad reside en la imposibilidad de concebir una representación única y completa que responda a la pregunta empírica. Aún si pudiéramos tener una teoría general que nos diga qué son los individuos biológicos (*i. e.*, que responda a la pregunta ontológica), las representaciones locales seguirán siendo necesarias. Estas

³ Utilizaré la siguiente distinción entre criterio y práctica de individuación. Una *práctica* de individuación es la aplicación de uno o más criterios en un fenómeno biológico específico. Por ejemplo, un biólogo que descubre una nueva especie de ave la individualizará con base en criterios morfológicos, genéticos, comportamentales, entre otros. Aquel conjunto de criterios constituye una práctica de individuación, la cual se configura siguiendo objetivos epistémicos particulares (en este caso, describir una nueva especie biológica).

últimas nos entregan los detalles empíricos requeridos por distintos contextos de investigación para explicar la formación de individuos concretos, algo que el lenguaje abstracto de las concepciones fundamentales no puede hacer. Adicionalmente, en la sección 3, sustentaré que conviene adoptar un pluralismo epistémico cuando consideramos dos aspectos centrales de la biología y la actividad científica. Primero, la evolución siempre cambiante e impredecible a largo plazo de las interacciones biológicas (Gould 1989; Losos 2017). Esta nos muestra que no existe un estado finito de maneras en las cuales las entidades biológicas puedan agruparse y, por tanto, un estado finito de tipos de individuos por descubrir y explicar. Segundo, la parcialidad de las representaciones científicas. La ciencia abstrae o idealiza aspectos de los fenómenos que estudia para producir explicaciones adecuadas en contextos específicos (véase Mitchell 2003, 2009). Nuestras representaciones no son completas acerca de un fenómeno en el sentido de que no incluyen la totalidad de factores causales que lo producen. Esta parcialidad genera una pluralidad de representaciones locales adecuadas para explicar la formación de diversos tipos de individuos en contextos particulares. Para finalizar, abordaré brevemente algunas consideraciones pragmáticas que pueden incentivar la adopción del pluralismo en contextos políticos y sociales más amplios.

2. PLURALISMO EPISTÉMICO Y MONISMO SELECTIVO

Existen diversas respuestas a la pregunta empírica. La biología ha descubierto múltiples maneras en las cuales células, organismos y otros fenómenos biológicos interactúan para conformar entidades individuales, las cuales podemos explicar con base en una pluralidad de criterios y prácticas de individuación (véase Lidgard & Nyhart 2017). Por otro lado, no debería sorprendernos que esto ocurra pese a no existir una respuesta unánime a la pregunta ontológica. Muchos conceptos biológicos como *gen* o *especie* son interpretados de diversas maneras para llevar a cabo un trabajo empírico exitoso, aun cuando la filosofía de la biología no concuerde sobre qué es un gen y una especie en general. La existencia de múltiples criterios de individuación, dicho sea de paso, ha formado parte integral de la biología al menos desde los últimos

170 años, sin ningún consenso sobre cómo interpretar la individualidad (Lidgard & Nyhart 2017). El pluralismo epistémico que adopto sugiere que esta pluralidad no es un estado transitorio de la biología, sino la condición que nos permite explicar exitosamente la formación de individuos concretos en nuestro mundo material. No pienso que sea posible construir un marco representacional único y completo capaz de responder a la pregunta empírica en las diversas ramas de la biología.

Quisiera distinguir dos tipos de aproximaciones monistas hacia la pluralidad de criterios y las prácticas de individuación, a saber, reduccionista y selectiva. Ambas buscan una representación fundamental a partir de la cual debería estudiarse la individualidad. El monismo reduccionista plantea que todas las representaciones locales que explican la formación de individuos concretos podrían reducirse a una explicación fundamental, basada en interacciones y propiedades de constituyentes más elementales. Esta estrategia será discutida en la sección 3. Se trata de un reduccionismo fuerte que no tiene una defensa explícita en filosofía de la individualidad biológica, pero que refleja, según creo, una creencia en la interconexión causal del mundo físico que parece motivar la esperanza de muchos monistas biológicos. La estrategia selectiva, por otro lado, escoge un área de investigación como la más adecuada (*e. g.*, biología evolutiva) para explicar qué son realmente los individuos y decirnos cómo estos deberían entenderse en otras áreas de la biología, descartando aquellos criterios y prácticas de individuación no compatibles con su aproximación fundamental (*e. g.*, Clarke 2010, 2013; Queller & Strassmann 2009; Strassmann & Queller 2010).⁴ Algunos enfoques aceptan la existencia de varios tipos de individuos, pero insisten en que deberíamos estudiarlos bajo el manto de una teoría única (*e. g.*, Krakauer et ál. 2020). Uno de los problemas con el monismo reduccionista o selectivo es que requieren “tratar las relaciones entre partes, individuos y sus entornos en un alto grado de abstracción” (Love & Brigandt 2017 334-335), sacrificando los detalles empíricos que requiere la biología para explicar procesos concretos de individuación.

⁴ Lo que llamo monismo selectivo está inspirado en lo que Love & Brigandt (2017) describen como la estrategia de teorización fundamental en los enfoques monistas acerca de la individualidad.

Las leyes de la física son ejemplos paradigmáticos de este tipo de inconvenientes. Como señala Nancy Cartwright, estas no nos dicen cómo se comportan los objetos concretos de nuestro mundo material; qué realizan en el dominio específico en el cual se encuentran; “si tratamos de pensar en ellas de esta manera, son simplemente falsas” (1980 75-76). De hecho, para Hempel y Oppenheim (1948), en su modelo clásico de la ley cubriente, una de las características esenciales de una ley debía ser no contener referencia esencial (i. e., no eliminable) a objetos particulares. La pluralidad de individuaciones en biología parece ineliminable siempre que intentemos explicar cómo y por qué se forman aquellos objetos concretos que diferentes comunidades científicas deciden llamar individuos (células, mamíferos, biofilms, agrupaciones simbióticas, colonias de insectos eusociales, etc.). Lo que puede ser transitorio es el repertorio de pluralidad de una época (i. e., el conjunto de prácticas y criterios de individuación), el que simplemente podría ser reemplazado por otro parcial o totalmente distinto. De otro modo, la búsqueda de concepciones fundamentales de individualidad requiere un nivel de abstracción lo suficientemente abarcador para evitar un gran número de contraejemplos o restringir la idea de individuo a ciertas áreas de investigación “privilegiadas” que justificarían la supresión de concepciones rivales (e. g., la idea de que el estudio de la individualidad debería basarse en teorías altamente estructuradas como la teoría darwiniana de la evolución [Hull 1992]).

Consideremos a continuación un ejemplo de monismo selectivo: la teoría informacional de la individualidad (ТИИ). Desarrollada por Krakauer et ál. (2020), esta aproximación propone formalizar matemáticamente la individualidad biológica utilizando la teoría de la información o teoría matemática de la comunicación de Claude Shannon (1948). Los autores sugieren que los individuos podrían entenderse como “agregados ... que propagan información de su pasado a su futuro” (Krakauer et ál. 2020 209) y que la ventaja de utilizar la propuesta de Shannon estaría en su increíble generalidad, que permite identificar individuos en todos los niveles de organización biológica (desde lo molecular hasta lo cultural). Esto sería posible porque Shannon concibe su teoría en un alto nivel de abstracción. Muchos fenómenos podrían interpretarse, aparentemente, como flujos de información. Shannon imagina

la transmisión o comunicación de un mensaje (i. e., información o señal) a través de un canal. En un extremo del canal estaría un emisor y en el otro un receptor:

El emisor puede ser un teléfono en Madison y el receptor un teléfono en Madrid, o el emisor puede ser un padre y el receptor su descendencia. Para los teléfonos, el canal es un cable de fibra óptica y la señal son los pulsos de luz. Para los organismos, el canal es la línea germinal y la señal es la secuencia de polinucleótidos de ADN o ARN en el genoma ... El mismo esquema se puede aplicar al desarrollo, en cuyo caso el emisor es un organismo en el pasado y el receptor el mismo organismo en el futuro. Una forma en la que podemos identificar a los individuos es comprobar si estamos tratando con la misma agregación en el tiempo t y $t + 1$. Si la información transmitida hacia adelante en el tiempo está cerca del máximo, lo tomamos como evidencia de individualidad (Krakauer et ál. 2020 212).

De acuerdo con su formalización matemática, los autores proponen definir tres tipos de individuos: coloniales, organizmales y ambientalmente determinados. En términos generales, un perro de 8 años podría considerarse un individuo porque sus células poseen un material genético determinado (i. e., información en el tiempo $t + 1$) que fue transmitido fidedignamente por las divisiones celulares de su cuerpo desde que era un cachorro (i. e., información en el tiempo t). El perro propagó información (genética) de su pasado a su futuro. Como señala la cita anterior, este razonamiento puede aplicarse a muchos contextos. En biología, cualquier entidad que pueda formar copias de sí misma parece acomodarse fácilmente a la TII (e. g., genes, cromosomas, células únicas, organismos multicelulares). Aun suponiendo que esta interpretación sea adecuada para la biología,⁵ el problema es precisamente que

⁵ Para Godfrey-Smith, este esquema no se ajusta bien a todos los procesos biológicos. La evolución, por ejemplo, no funciona como un emisor que envía información genética de una generación de organismos a otra; no existe un mensaje genético establecido de antemano que sea enviado por algún canal. “La evolución simplemente ocurre y un resultado es que las células contienen algunas secuencias de ADN en vez de otras” (2014 153).

el esquema emisor-receptor es demasiado general. Donde sea que haya dos variables y los cambios de valor en la primera estén asociadas a cambios en la segunda, podré decir que una lleva información de la otra y viceversa; la teoría informacional no nos dice nada especial sobre los procesos biológicos (Godfrey-Smith 2014). Para explicar cómo y por qué una colonia de abejas, un animal vertebrado o una agrupación de bacterias surgen como individuos (*i. e.*, para responder a la pregunta empírica), la biología ha podido prescindir de una teoría informacional. Esto es posible porque la noción de información biológica omite la riqueza contextual que requieren las individuaciones altamente refinadas de la actividad científica, haciéndola inoperante en este sentido. Es un idioma representacional muy abstracto. Incluso si pudiera tener un rol explicativo, la TII no funcionaría como la explicación maestra, sino como una entre muchas concepciones (*e. g.*, individualidad genética, inmunológica, evolutiva). La falta de detalle explicativo, dicho sea de paso, es una elección explícita de los autores. Su propuesta omite características de sistemas específicos (*e. g.*, mecanismos de herencia, propiedades metabólicas o inmunitarias) porque, para ellos, “nuestro objetivo *debería ser encontrar propiedades fundamentales* de individualidad, en lugar de derivadas” (Krakauer et ál. 2020 211; énfasis añadido).

La estrategia de la TII parece suponer que el problema de la individualidad se reduce a la pregunta ontológica,⁶ lo cual considero un error. Nos propone que una concepción fundamental sobre qué son realmente los individuos sería, sino lo único, lo más importante para estudiar la individualidad. Este fundamentalismo omite que la pregunta empírica es una parte sustancial del problema; aquella que nos permite explicar en detalle muchos fenómenos de individuación. Incluso, vale la pena mencionar que esta última es la pregunta que guía la discusión de algunos autores. Smith y Szathmáry, en *The Major Transitions in Evolution* (1997), utilizan dos veces la palabra individualidad en sus más de 300 páginas de discusión y muchas veces usan

⁶ Los autores comienzan su teorización aceptando una ontología procesual: “suponemos que se piensa mejor en los individuos en términos de procesos dinámicos y no como objetos estacionarios” (Krakauer et ál. 2020 212).

la expresión individuo de manera laxa y familiar para nuestro sentido común (e. g., organismo individual, bacteria individual, molécula individual). Su interés no se concentra en responder qué es un individuo biológico sin más, sino en “cómo y por qué [la complejidad de los organismos] ha aumentado en el curso de la evolución” (Smith & Szathmáry 1997 3; énfasis añadido).

3. PLURALISMO EPISTÉMICO Y MONISMO REDUCCIONISTA

Hemos argumentado que la pluralidad de criterios y prácticas de individuación en biología nos permite explicar de manera refinada la formación de diferentes individuos, algo que el lenguaje abstracto de las concepciones monistas no podría hacer. La esperanza en el poder explicativo de la estrategia monista, no obstante, parece quedar abierta si aceptamos ciertos supuestos metafísicos acerca de la estructura causal del mundo físico. Teorías como la mecánica newtoniana o la electrodinámica de Maxwell quizás no podrían haber surgido sin una férrea creencia sobre cierta unidad o interconexión de la realidad física (Giere 2006b; Hacking 1996). El supuesto metafísico monista con el cual nos enfrentamos puede expresarse de la siguiente manera: si existe un único mundo, este debe estar formado por entidades físicas fundamentales de cuyas interacciones causales surgen todos los fenómenos. Se trata de un supuesto reduccionista bajo el cual es plausible creer que cualquier pluralidad de fenómenos podría, en principio, ser explicada si logramos descubrir aquellos procesos fundamentales que los originan. Aunque podemos estudiar un río mediante la mecánica de fluidos existiría, en principio, una explicación fundamental a nivel de las interacciones entre sus moléculas de H₂O. Igualmente, la individualidad biológica podría explicarse por interacciones y propiedades más fundamentales que darían origen a la plétora de individuos existentes. Consideremos a continuación una formulación detallada de este monismo en biología.

Réplica monista: aun si aceptamos que todas esas pequeñas parcelas de la realidad estudiadas por la biología son individuos, los procesos causales por los cuales hablamos de individuos evolutivos, genéticos, inmunológicos u otros deben estar

conectados de alguna manera que desconocemos y que da origen a la pluralidad de fenómenos biológicos. El mundo no parece ser un *collage* de estructuras y procesos inconexos. Eventualmente llegaremos a una concepción fundamental basada en una representación única y completa que explique qué es la individualidad y cómo se forman los diferentes tipos de individuos, vale decir, una concepción que no solo responda eficazmente a la pregunta ontológica, sino también a la pregunta empírica que preocupa a diferentes ramas de la biología. ¿Por qué no esperar algo así? Ciertamente, conocer el mundo biológico es una empresa de envergadura en la cual aún estamos a comienzos de camino, pero el hecho de que una representación completa parezca lejana no la convierte en un proyecto imposible. Después de todo, existen casos donde la biología ha podido explicar la relación entre distintos procesos causales mediante un solo marco representacional (*e. g.*, una teoría única). Antes de la década de 1930 no conocíamos bien cómo los procesos genéticos y evolutivos se relacionaban, hasta que el neodarwinismo pudo establecer una conexión eficaz entre la teoría de la selección natural y la genética mendeliana. Un caso aún más reciente es la biología evolutiva del desarrollo (abreviada como *evo-devo*), la cual ha permitido relacionar procesos descritos por la biología del desarrollo y por la biología evolutiva, además de combinar “herramientas, técnicas y descubrimientos de biología molecular, anatomía, fisiología, morfología funcional, biología celular, embriología, genética del desarrollo, paleontología...entre otros campos” (Robert 2008 291). La biología es una ciencia altamente cooperativa que bien podría establecer una teoría fundamental de la individualidad capaz de reemplazar a las representaciones locales de distintas disciplinas sin sacrificar su riqueza explicativa. Esto ocurrirá cuando el estado de nuestro conocimiento científico nos permita comprender las relaciones apropiadas entre los distintos procesos causales a los cuales refiere la plétora heterogénea de individuaciones utilizadas por la biología actual.

3.1. EVOLUCIÓN DE LA INDIVIDUALIDAD

Uno de los mayores motivos por los cuales no deberíamos esperar que la individualidad sea al fin explicada es que no existe un estado finito de maneras en las cuales las entidades biológicas puedan combinarse, y, por tanto, un estado finito de tipos de individuos por descubrir y explicar. El mundo biológico evoluciona y las nuevas estructuras causales a las que puede dar lugar la interacción entre células, organismos y otras entidades biológicas son impredecibles a largo plazo (Gould 1989; Losos 2017). Por ejemplo, en los dos mil millones de años de historia de la vida eucariota, la transición desde la unicelularidad a la multicelularidad ha ocurrido de manera independiente más de 25 veces (Bonner 2000; Niklas & Newman 2016; Umen 2014). Entre dichas transiciones “es imposible estimar cuántas veces la multicelularidad fue reinventada” (Bonner 2016 xiv), vale decir, cuántos intentos hizo la evolución por agrupar células individuales de múltiples maneras. El cómo y el porqué se forman los individuos será un conocimiento siempre en continuo progreso para el cual podrían ser necesarias nuevas representaciones. Requerimos de todas aquellas prácticas y criterios de individuación que puedan contribuir en nuestra comprensión de la cambiante realidad biológica.

Más aún, el repertorio actual de individuos que habitan el mundo bien pudo haber sido otro, más o menos diverso y con características totalmente novedosas. El paleontólogo Stephen Gould (1989) —a quien suele asociarse la tesis de la contingencia evolutiva o impredecibilidad de la evolución— lo expresa del siguiente modo en su experimento mental llamado reproducir la cinta de la vida:

Presione el botón de rebobinado y, asegurándose de borrar completamente todo lo que realmente sucedió, regrese a cualquier momento y lugar del pasado... Luego, deje que la cinta se ejecute nuevamente y vea si la repetición se parece en algo a la original (Gould 1989 48).

Gould utiliza esta metáfora para argumentar que si pudiéramos regresar en el tiempo, nada impide que la evolución hubiera producido un repertorio distinto de

formas biológicas. A corto plazo es posible predecir cómo evolucionarán ciertos fenómenos, pero a largo plazo “la evolución a menudo sigue su propio camino” (Losos 2017 333). Si pudiéramos reproducir la cinta de la vida, quizás el monismo biológico tendría que enfrentar un repertorio de criterios distintos al actual y sus propuestas tomarían otra forma. Smith y Szathmáry también lo expresan sucintamente: “No hay razón para considerar las transiciones únicas como el resultado inevitable de alguna ley general: uno puede imaginar que la vida podría haberse atascado en la etapa procariota o protista de la evolución” (Smith & Szathmáry 1997 3). Hoy ocupamos nuestro tiempo discutiendo la individualidad de colonias de insectos, agrupaciones microbianas, organismos modulares u otras entidades biológicas, lo cual solo es resultado de la historia evolutiva que nos tocó vivir, que pudo ser distinta y que cambiará en el futuro.

Creo que este argumento desestima fuertemente las pretensiones de una representación única y completa que explique la formación de individuos. La contingencia evolutiva nos impide responder exhaustivamente a la pregunta empírica. Nuestro monista, sin embargo, aún podría replicar lo siguiente: las entidades biológicas no suelen evolucionar cada año o década; no es que el repertorio de individuos en nuestra cinta de la vida se nos escape de las manos. ¿Qué importa si en los próximos dos millones de años las formas de vida son distintas? Aunque no podamos explicar la individualidad en dicha escala temporal, podemos hacerlo dentro de la cinta de la vida que nos tocó vivir; esto no parece una tarea imposible.

3.2. LA PARCIALIDAD DE LAS REPRESENTACIONES CIENTÍFICAS

Recordemos, una vez más, que esta réplica monista puede interpretarse como un argumento a favor del reduccionismo. Todas las explicaciones particulares de cómo se forman los individuos podrían reducirse a una única explicación fundamental, basada en interacciones y propiedades de constituyentes más elementales. Los argumentos en contra del reduccionismo científico han sido consistentemente desarrollados en filosofía de la ciencia (e. g., Cartwright 1983, 1999; Dupré 1993; Mitchell

2003, 2009). Una de las razones para desestimar esta estrategia es la parcialidad de las representaciones científicas, las cuales requieren escoger un nivel de abstracción para satisfacer diferentes objetivos epistémicos. Desde el momento en que lo hacen, dejan de ser completas respecto a la parcela de realidad que pretenden representar, omitiendo aspectos que podrían ser explicativamente relevantes en otros contextos. No “incluyen todas las características en todos los gloriosos detalles del [fenómeno] original, o serían simplemente otra instancia completa del elemento que representan” (Mitchell 2009 31), una calcografía o reproducción exhaustiva más que una representación científica. Cuando escogemos estudiar ciertos aspectos de la realidad, omitimos inevitablemente un trasfondo de factores causales que han contribuido en mayor o menor medida a producir el fenómeno que nos interesa. Esto no es algo malo, sino simplemente lo que necesitamos para producir explicaciones científicas. Si creo que ciertas especies de hormigas forman colonias que pueden describirse como superorganismos, estudiaré cómo ocurre la división de labores entre sus castas. Para ello, no necesito conocer cada reacción bioquímica que ocurre segundo a segundo en cada célula de cada hormiga individual. Por supuesto que todas esas pequeñas reacciones pueden contribuir al comportamiento global de la colonia mediante alguna cadena más o menos remota de causación. El punto es que puedo omitirlas para el nivel de abstracción que requiere mi análisis. No todos los factores causales que producen un fenómeno son explicativamente relevantes en una representación.

En ocasiones, también debemos idealizar ciertos aspectos de un fenómeno para poder explicarlo, es decir, imaginar que es más simple de lo que realmente es para ajustarlo a nuestra representación (*e. g.*, modelos evolutivos que suponen poblaciones infinitas [Godfrey-Smith 2009]). Parcelamos el mundo en representaciones locales que abstraen e idealizan aspectos de él porque es útil y en muchas ocasiones no podemos hacerlo de otro modo cuando pretendemos ganar poder explicativo y detalles empíricos. Esta parcialidad “deja abierta la posibilidad de que dos representaciones simplifiquen los fenómenos de formas incompatibles” (Mitchell 2009 31), ya que pueden no escoger el mismo conjunto de factores para construir una representación de una misma porción de la realidad. Pienso que esto deja pocas esperanzas al monismo reduccionista. Adicionalmente, cada representación incluye

supuestos (metodológicos, empíricos e incluso metafísicos) difícilmente traducibles o derivables entre sí (véase Longino 1999, 2002). Un venado es un mamífero con ciertos comportamientos para un etólogo; quizás un holobionte repleto de bacterias para un microbiólogo y un vehículo transportador de genes para un biólogo evolutivo (Dawkins 1976). Estas aproximaciones locales escogen factores distintos para representar un individuo en sus respectivos contextos de investigación.

Como bien señala nuestro monista, la biología es una ciencia altamente cooperativa. La cooperación, sin embargo, no exige reducción. Para explicar procesos de individuación podemos integrar distintos modelos y teorías sin necesidad de reducirlas a un solo idioma representacional. La biología evolutiva del desarrollo, señalada como ejemplo por la réplica monista, no es una reducción entre una rama de la biología a otra, sino una alianza estratégica destinada a solucionar problemas específicos. Brigandt (2010) ofrece un buen ejemplo de cómo ocurre la integración explicativa entre varios campos de la biología para comprender un tema particular, a saber, el origen evolutivo de las novedades.⁷ En este caso, los campos mantienen su autonomía disciplinar, pero se integran provisoriamente para esta tarea. Saber, por ejemplo, cómo surgieron las alas o la mandíbula en los vertebrados requiere explicaciones de áreas como la biogeografía, la paleontología y la morfología funcional. El reduccionismo no funciona en estos casos porque una estructura morfológica puede permanecer estable en la evolución independiente de los cambios en sus constituyentes genéticos y moleculares. En otras palabras, lo que ocurre a nivel microestructural puede no ser suficiente (o incluso necesario) para explicar por qué una estructura se mantiene en un nivel superior. La cooperación entre representaciones de distintos niveles de abstracción resulta útil en contextos como este (*i. e.*, representaciones a nivel genético, celular, morfológico, ecológico u otros).

⁷ “Una novedad evolutiva ... es una estructura morfológica o característica funcional cualitativamente nueva en un grupo de organismos que no existía en una especie ancestral. Ejemplos de novedades son la mandíbula de los vertebrados (la transición de vertebrados primitivos sin mandíbula a vertebrados con mandíbula) y la evolución de las plumas y el vuelo en las aves” (Brigandt 2010 299).

Es indiscutible que la reducción es una estrategia eficaz en las ciencias, pero no la única. Debemos reconocer en qué casos funciona y en cuales no; cuáles son sus ventajas y sus limitaciones. En lo que concierne al problema de la individualidad biológica, particularmente la pregunta empírica, sugiero que no es posible un enfoque reductivo y a la vez explicativamente completo. La biología requiere hurgar en los detalles para conocer cómo y por qué se forman distintos tipos de individuos, enfocándose en muchos sectores de la realidad biológica y estableciendo representaciones locales adecuadas a cada nivel de abstracción.

Finalmente, si fuera posible una representación única que explique la individualidad aún podríamos decir tres cosas. Primero, ¿cómo asegurar que es la única perspectiva científica concebible? (Giere 2006a, 2006b). El pluralismo estaría garantizado si pudiera haber más de una explicación completa de la individualidad basada en idiomas representacionales incompatibles. Segundo, la estrategia reduccionista no parece una opción amigable para quien pretende enmarcar el problema en manos de la biología. Después de todo, si la formación de individuos puede explicarse con base en procesos biológicos fundamentales, dichos procesos, a su vez, serían reducibles a procesos físicos fundamentales. Es la consecuencia lógica del supuesto metafísico de nuestro monista. Si el reduccionismo no exige detenerse en manos de la biología, ¿por qué hablar de individualidad biológica en vez de individualidad física? ¿Qué tendría de biológica una descripción de los individuos en términos de, supongamos, átomos o quarks? Quizás nuestro monista debería pensar seriamente si seguir siendo un monista biológico o volcar la mirada a la física para satisfacer su anhelo de completitud representacional. Y, por último, incluso si el perspectivismo y la reducción microfísica no fueran inconvenientes, la mejor estrategia del monismo podría ser adoptar un pluralismo epistémico provisorio. Aceptar y evaluar meticulosamente muchas prácticas y criterios de individuación podría blindar de contraejemplos a cualquier proyecto unificador, ya que tendríamos un mayor número de concepciones a partir de las cuales arbitrar y eventualmente robustecer las aproximaciones monistas. Creo que es un ejercicio intelectual virtuoso y un acto de humildad epistémica observar la mayor cantidad de enfoques que nos permita nuestro entendimiento. Hasok Chang ofrece una buena analogía sobre este punto:

Dado que no sabemos qué línea de investigación nos conducirá en última instancia a nuestro destino [en nuestro caso, una representación única y completa que explique la individualidad], debemos mantener varias líneas abiertas ... si estamos buscando a alguien perdido en el desierto y no sabemos en qué dirección se ha ido, ¿reuniríamos a todas las personas disponibles en un grupo de búsqueda y las enviaríamos en la dirección que conjeturamos es más probable? ¿O esparciríamos un poco a la gente? (Chang 2012 271).

Tolerar el pluralismo implicaría no eliminar anticipadamente los criterios y prácticas de individuación que sean epistémicamente exitosos para la actividad científica actual (i. e., cuya utilización contribuya a conocer diversos aspectos del mundo biológico). En principio, como desconocemos cuál es el camino que nos llevaría a la individualidad fundamental (sea lo que eso signifique), cada individuación es una ruta de búsqueda promisorio. Dicha tolerancia, interesantemente, podría conducir al monismo hacia una consecuencia incómoda. Una teoría que explique la formación de individuos no es algo que, de ser posible, se construya de la noche a la mañana. Dado el tamaño de nuestra ignorancia sobre el mundo biológico⁸ y la diversidad de maneras en las cuales se forman los individuos ya conocidos, un pluralista provisorio probablemente lo será toda su vida; vale decir, en los hechos, será un pluralista permanente. En términos metafóricos, podría ser que nuestra búsqueda de completitud representacional en este mar de pluralidad sea tan improbable como encontrar una aguja en un pajar.

⁸ Investigaciones recientes sugieren que el 86 % de las especies existentes en la Tierra y el 91 % de especies oceánicas aún son desconocidas (Mora et ál. 2011).

3.3. BREVES CONSIDERACIONES PRAGMÁTICAS

Aceptar que pueden existir múltiples maneras de explicar la individualidad y concebir distintos tipos de individuos puede tener importantes consecuencias prácticas en el desarrollo de políticas medioambientales. Por ejemplo, ¿de qué hablamos cuando afirmamos que es necesario proteger *especies* en un ecosistema o proteger *organismos* de la manipulación genética? La definición que demos en estos casos no es irrelevante. Como individuamos el mundo en organismos y especies determina qué entidades biológicas son vistas como legítimas unidades de protección. El pluralismo en estos casos podría funcionar (y funciona muchas veces) como un imperativo de responsabilidad, dictaminando que deberíamos aceptar todas aquellas concepciones de individuo que permitan proteger al medioambiente de consecuencias nocivas. Interpretados como posturas normativas para políticas ambientales, enfoques monistas como los de Clarke (2010, 2013) o Queller y Strassmann (2009) son sumamente riesgosos, ya que podrían implicar la desprotección de entidades biológicas importantes que no se acomodan a su concepción fundamental. Ambos enfoques, por ejemplo, no legitiman como individuos a holobiontes y muchos biofilms, cuya protección podría tener importantes consecuencias biotecnológicas y conservacionistas (Carthey et ál. 2020; Hughes et ál. 2015; Redford et ál. 2012; Trevelline et ál. 2019).

Consideremos dos breves ejemplos sobre la importancia del pluralismo en políticas regulatorias: la pluralidad en los conceptos de especie y organismo.

- *Especies*: existen diversas definiciones de especie en las legislaciones medioambientales de distintos países (Allendorf & Luikart 2007). Coates et ál. (2018) señalan que esta pluralidad ha permitido la protección de la diversidad genética y que incluso cuando la biología identifica múltiples linajes o poblaciones dentro de una sola especie, convendría dividirla en unidades de conservación intraespecíficas (e. g., subespecies, variedades). Dicho en nuestros términos, convendría dividir el mundo en un mayor número de individuos para ser protegidos. Expertos en metagenómica también han reconocido la importancia de ser

flexibles y “posiblemente más pluralistas” en la definición de distintos conceptos de especie para propósitos regulatorios (National Research Council Committee on Metagenomics 2007 36).

- *Organismos*: el Protocolo de Cartagena es un acuerdo internacional sobre política medioambiental desarrollado por el Convenio para la Diversidad Biológica. Su objetivo es garantizar estándares de protección en lo que respecta a la modificación biotecnológica de los organismos. Para ello, define organismo vivo como “cualquier entidad biológica capaz de transferir o replicar material genético, incluidos organismos estériles, virus y viroides” (Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica 2000 4). Los objetivos proteccionistas del protocolo requieren evitar vacíos regulatorios que podrían implicar daño a la biodiversidad, lo cual justifica una definición amplia que otorgue un estatus de organismo a la mayor cantidad posible de entidades biológicas.

En términos generales, reconocer la importancia de mantener una pluralidad de representaciones sobre la individualidad nos ayuda a construir una imagen más realista de la actividad científica, una imagen que nos enseña qué podemos y no podemos esperar de ella. Esto es vital para ajustar adecuadamente las expectativas que la sociedad tiene sobre los resultados científicos (Mitchell 2009). El pluralismo epistémico puede ser un buen antídoto contra la falsa creencia de que la biología y otras ciencias son creadoras de soluciones perfectas o respuestas infalibles. La evolución de la individualidad discutida en la sección 3.1 nos ofrece buenos ejemplos de este antídoto. Pensemos brevemente en los virus. Estas diminutas estructuras son más que simples entidad microscópicas que flotan en el aire y pueden entrar a nuestro cuerpo. Son individuos que evolucionan, mutando constantemente debido al intercambio de genes con otros organismos o a presiones ambientales. ¿Por qué no debe causarnos sospecha que las autoridades sanitarias realicen campañas anuales de vacunación contra la influenza? o ¿por qué no debería frustrarnos que la vacunación masiva no elimine una pandemia viral de la noche a la mañana? Precisamente porque los virus no son individuos inalterables que podamos representar de manera exhaus-

tiva de una vez y para siempre. Sus constantes cambios genéticos dan origen a nuevas variantes que requieren ser explicadas. Una gripe estacionaria y una pandemia nunca son producidas por variantes únicas. Las estrategias del tipo una explicación - una solución no existen en escenarios como estos. ¿Acaso la biología no funciona o existen burócratas perversos que planean insertarnos microchips? No. Simplemente ocurre que el mundo biológico suele resistirse a explicaciones únicas y soluciones perfectas. Si nuestras expectativas sobre esta y otras prácticas de individuación se ajustaran a una actitud pluralista y científicamente informada, quizás podríamos resistir de mejor manera la persuasión de los negacionistas científicos de turno. Nuestros múltiples criterios utilizados para individuar la naturaleza reflejan nuestro intento por aprehender de la mejor manera posible la cambiante realidad biológica.

4. CONCLUSIONES

He sugerido que la pluralidad de criterios y prácticas de individuación utilizados por la investigación biológica debería conservarse siempre que intentemos explicar cómo y por qué se forman los individuos concretos de nuestro mundo material, esto es, siempre que intentemos responder a la pregunta empírica que preocupa a muchos teóricos de la individualidad. Este pluralismo epistémico no niega la esperanza metafísica del monista, es decir, sus intentos por encontrar criterios únicos para responder qué es la individualidad biológica, simplemente niega que dicho proyecto fundamentalista pueda reemplazar el rol explicativo de las representaciones locales utilizadas para individuar de múltiples maneras la naturaleza. En esta investigación he intentado mostrar que las teorizaciones altamente abstractas que omiten la riqueza contextual de las explicaciones biológicas, la parcialidad de nuestras representaciones científicas y la evolución constante de las formas biológicas son algunos de los motivos por los cuales no es posible una representación única y completa que explique la formación de individuos.

TRABAJOS CITADOS

- Allendorf, Fred y Gordon Luikart. *Conservation and the Genetics of Populations*. Hoboken: Blackwell Publishing, 2007.
- Bedau, Mark A. y Carol E. Cleland. *The Nature of Life: Classical and Contemporary Perspectives from Philosophy and Science*. Cambridge: Cambridge University Press, 2010.
- Bonner, John Tyler. *First Signals*. Princeton: Princeton University Press, 2000.
- _____. “Foreword: The Evolution of Multicellularity”. *Multicellularity: Origins and Evolution*. Eds. Karl J. Niklas y Stuart A. Newman. Cambridge: MIT Press, 2016. xi-xix.
- Bouchard, Frédéric y Philippe Huneman. *From Groups to Individuals: Evolution and Emerging Individuality*. Cambridge: MIT Press, 2013.
- Brigandt, Ingo. “Beyond Reduction and Pluralism: Toward an Epistemology of Explanatory Integration in Biology”. *Erkenntnis* 73.3 (2010): 295-311. <<https://doi.org/10.1007/s10670-010-9233-3>>
- Buss, Leo W. *The Evolution of Individuality*. Princeton: Princeton University Press, 1987.
- Carthey, Alexandra J. R. et ál. “Conserving the Holobiont”. *Functional Ecology* 34.4 (2020): 764-776. <<https://doi.org/10.1111/1365-2435.13504>>
- Cartwright, Nancy. “Do the Laws of Physics State the Facts?” *Pacific Philosophical Quarterly* 61.1-2 (1980): 75-84. <<https://doi.org/10.1111/j.1468-0114.1980.tb00005.x>>
- _____. *How the Laws of Physics Lie*. Oxford: Oxford University Press, 1983.
- _____. *The Dappled World: A Study of the Boundaries of Science*. Cambridge: Cambridge University Press, 1999.
- Chang, Hasok. *Is Water H₂O? Evidence, Realism and Pluralism*. Berlin: Springer Science & Business Media, 2012.
- Cheung, Tobias. “What Is an ‘Organism’? On the Occurrence of a New Term and its Conceptual Transformations 1680-1850”. *History and Philosophy of the Life Sciences* 32.2-3 (2010): 155-194.

- Clarke, Ellen. "The Problem of Biological Individuality". *Biological Theory* 5.4 (2010): 312-325. <https://doi.org/10.1162/BIOT_a_00068>
- _____. "The Multiple Realizability of Biological Individuals". *Journal of Philosophy* 110.8 (2013): 413-435.
- Coates, David J. et ál. "Genetic Diversity and Conservation Units: Dealing with the Species-Population Continuum in the Age of Genomics". *Frontiers in Ecology and Evolution* 6.165 (2018). <<https://doi.org/10.3389/fevo.2018.00165>>
- Dawkins, Richard. *The Selfish Gene*. Oxford: Oxford University Press, 1976.
- Dupré, John. *The Disorder of Things: Metaphysical Foundations of the Disunity of Science*. Cambridge: Harvard University Press, 1993.
- _____. *Processes of Life: Essays in the Philosophy of Biology*. Oxford: Oxford University Press, 2012.
- Ereshefsky, Mark. "Eliminative Pluralism". *Philosophy of Science* 59.4 (1992): 671-690. <<http://dx.doi.org/10.1086/289701>>
- Ghiselin, Michael T. "A Radical Solution to the Species Problem". *Systematic Zoology* 23.4 (1974): 536-544. <<http://dx.doi.org/10.2307/2412471>>
- Giere, Ronald. *Scientific Perspectivism*. Chicago: University of Chicago Press, 2006a.
- _____. "Perspectival Pluralism". *Scientific Pluralism*. Eds. Stephen H. Kellert, Helen E. Longino y C. Kenneth Waters. Minnesota: University of Minnesota Press, 2006b. 26-41.
- Godfrey-Smith, Peter. "Abstractions, Idealizations, and Evolutionary Biology". *Mapping the Future of Biology*. Eds. Anouk Barberousse, Michel Morange y Thomas Pradeu. Berlin: Springer, 2009. 47-56.
- _____. "Darwinian Individuals". *From Groups to Individuals: Evolution and Emerging Individuality*. Eds. Frédéric Bouchard y Philippe Huneman. Cambridge: MIT Press, 2013. 17-36.
- _____. *Philosophy of Biology*. Princeton: Princeton University Press, 2014.
- Gould, Stephen Jay. *Wonderful Life: The Burgess Shale and the Nature of History*. New York: W. W. Norton & Company, 1989.
- Hacking, Ian. "The Disunities of the Sciences". *The Disunity of Science. Boundaries, Contexts, and Power*. Eds. Peter Galison y David J. Stump. California: Stanford University Press, 1996. 37-74.

- Hempel, Carl y Paul Oppenheim. "Studies in the Logic of Explanation". *Philosophy of Science* 15.2 (1948): 135-175.
- Hölldobler, Bert y Edward O. Wilson. *The Superorganism: The Beauty, Elegance, and Strangeness of Insect Societies*. New York: W. W. Norton & Company, 2009.
- Hughes, Kevin A. et ál. "Protection of Antarctic Microbial Communities – 'out of Sight, out of Mind' ". *Frontiers in Microbiology* 6.151 (2015). <<https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00151>>
- Hull, David L. "Are Species Really Individuals?" *Systematic Biology* 25.2 (1976): 174-191. <<https://doi.org/10.2307/2412744>>
- _____. "Individual". *Keywords in Evolutionary Biology*. Eds. Evelyn Fox Keller y Elisabeth A. Lloyd. Cambridge: Harvard University Press, 1992. 181-187.
- Kitcher, Philip. "Gene: Current Usages". *Keywords in Evolutionary Biology*. Eds. Evelyn Fox Keller y Elisabeth A. Lloyd. Cambridge: Harvard University Press, 1992. 128-131.
- Krakauer, David et ál. "The Information Theory of Individuality". *Theory in Biosciences* 139.2 (2020): 209-223. <<https://doi.org/10.1007/s12064-020-00313-7>>
- Küppers, Bernd-Olaf. *Information and the Origin of Life*. Cambridge: MIT Press, 1990.
- Lahav, Noam. *Biogenesis: Theories of Life's Origin*. Oxford: Oxford University Press, 1999.
- Lidgard, Scott y Lynn K. Nyhart. "The Work of Biological Individuality: Concepts and Contexts". *Biological Individuality*. Chicago: University of Chicago Press, 2017. 17-62.
- Longino, Helen E. "Toward an Epistemology for Biological Pluralism". *Biology and Epistemology*. Eds. Richard Creath y Jane Maienschein. Cambridge: Cambridge University Press, 1999. 261-286.
- _____. *The Fate of Knowledge*. Princeton: Princeton University Press, 2002.
- Losos, Jonathan B. *Improbable Destinies: Fate, Chance, and the Future of Evolution*. New York: Riverhead Books, 2017.
- Love, Alan C. y Ingo Brigandt. "Philosophical Dimensions of Individuality". *Biological Individuality*. Eds. Scott Lidgard y Lynn K. Nyhart. Chicago: University of Chicago Press, 2017. 318-348.

- Mitchell, Sandra. D. *Biological Complexity and Integrative Pluralism*. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.
- _____. *Unsimple Truths: Science, Complexity, and Policy*. Chicago: University of Chicago Press, 2009.
- Mora, Camilo et ál. “How Many Species Are There on Earth and in the Ocean?” *PLOS Biology* 9.8 (2011): e1001127. <<https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001127>>
- National Research Council Committee on Metagenomics: Challenges and Functional, Applications. “The National Academies Collection: Reports Funded by National Institutes of Health”. *The New Science of Metagenomics: Revealing the Secrets of Our Microbial Planet*, National Academies Press (US). National Academy of Sciences, 2007.
- Niklas, Karl J. y Stuart A. Newman. *Multicellularity. Origins and Evolution*. Cambridge: MIT Press, 2016.
- Pepper, John W. y Matthew D. Herron. “Does Biology Need an Organism Concept?” *Biological Reviews* 83 (2008): 621-627. <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-185X.2008.00057.x>>
- Pradeu, Thomas et ál. “Understanding Viruses: Philosophical Investigations”. *Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 59.1 (2016): 57-63. <<https://doi.org/10.1016/j.shpsc.2016.02.008>>
- Pradeu, Thomas. “Organisms or Biological Individuals? Combining Physiological and Evolutionary Individuality”. *Biology & Philosophy* 31.6 (2016a): 797-817. <<https://doi.org/10.1007/s10539-016-9551-1>>
- _____. “The Many Faces of Biological Individuality”. *Biology and Philosophy* 31.1 (2016b): 761-773. <<https://doi.org/10.1007/s10539-016-9553-z>>
- Queller, David C. y Joan E. Strassmann. “Beyond Society: The Evolution of Organismality”. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 364.1533 (2009): 3143-55. <<https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0095>>
- Redford, Kent H., et ál. “Conservation and the Microbiome”. *Conservation Biology: the Journal of the Society for Conservation Biology* 26.2 (2012): 195-197. <<https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2012.01829.x>>

- Robert, Jason Scott. "Evo-devo". *The Oxford Handbook of Philosophy of Biology*. Ed. Michael Ruse. Oxford: Oxford University Press, 2008. 291-309.
- Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica. *Protocolo de Cartagena sobre seguridad de la biotecnología del Convenio sobre la Diversidad Biológica*. Montreal: Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica, 2000.
- Shannon, Claude E. "A Mathematical Theory of Communication". *The Bell System Technical Journal* 27.3 (1948): 379-423.
- Smith, John y Eors Szathmary. *The Major Transitions in Evolution*. Oxford: Oxford University Press, 1997.
- Strassmann, Joan E. y David C. Queller. "The Social Organism: Congresses, Parties, and Committees". *Evolution* 64.3 (2010): 605-16. <<https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.2009.00929.x>>
- Trevelline, Brian K. et ál. "Conservation Biology Needs a Microbial Renaissance: a Call for the Consideration of Host-Associated Microbiota in Wildlife Management Practices". *Proceedings of the Royal Society B* 286, 1895 (2019): 20182448. <<https://doi.org/10.1098/rspb.2018.2448>>
- Umen, James G. "Green Algae and the Origins of Multicellularity in the Plant Kingdom". *Cold Spring Harbor perspectives in Biology* 6.11 (2014): a016170. <<https://doi.org/10.1101/cshperspect.a016170>>
- Waters, C. Kenneth. "Ask not 'What Is an Individual?' " *Individuation, Process, and Scientific Practices*. Eds. Otavio Bueno, Ruey-Lin Chen y Melinda Bonnie Fagan. Oxford: Oxford University Press, 2018. 91-113.
- Wilson, David Sloan y Elliott Sober. "Reviving the Superorganism". *Journal of Theoretical Biology* 136.3 (1989): 337-356. <[https://doi.org/10.1016/S0022-5193\(89\)80169-9](https://doi.org/10.1016/S0022-5193(89)80169-9)>
- Wilson, Jack. *Biological Individuality: The Identity and Persistence of Living Entities*. Cambridge: Cambridge University Press, 1999.
- _____. "Ontological Butchery: Organism Concepts and Biological Generalizations". *Philosophy of Science* 67.1 (2000): S301-S311. <<https://doi.org/10.1086/392827>>