



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN FILOSOFÍA DE LA CIENCIA
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FILOSÓFICAS
FACULTAD DE CIENCIAS
DIRECCIÓN GENERAL DE DIVULGACIÓN DE LA CIENCIA

CAUSALIDAD Y BIOLOGÍA: UNA RELACIÓN APARENTEMENTE
PROBLEMÁTICA

TESIS

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

PRESENTA:

OSCAR ABRAHAM OLIVETTI ALVAREZ

DIRECTORES:

FERNANDA SAMANIEGO BAÑUELOS, FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
DAVID SUÁREZ PASCAL, FACULTAD DE CIENCIAS

CIUDAD DE MÉXICO, OCTUBRE 2021



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Índice general

Introducción	3
1. Análisis filosóficos de la explicación	11
1.1. Causas próximas y causas últimas	11
1.2. Análisis clásicos de la explicación	15
1.3. Relevancia Estadística	18
1.4. Retomando la causalidad	21
1.5. Cosas por resolver y algunos esbozos de soluciones	24
2. Determinismo y leyes naturales	29
2.1. El nacimiento del término	32
2.2. Modelos y necesidad	33
2.3. La necesidad en las leyes	35
2.4. El estatus de las leyes de la naturaleza	40
3. El problema de la adecuación	42
3.1. Problema clásico de la adecuación	42
3.2. El modelo de explicación causal de Woodward	46
3.3. Adecuación, un concepto causal	50
Reflexiones finales	56
Referencias	60

Introducción

El objetivo de esta tesis es sustentar que el modelo de explicación causal de Woodward es adecuado para dar cuenta de las explicaciones selectivas en biología evolutiva; en particular que este modelo ofrece las herramientas teóricas para elaborar una noción satisfactoria de adecuación o aptitud [*fitness*] en su versión ecológica.

Para llevar a cabo el objetivo general, se contrastará el modelo de Woodward con otros modelos clásicos de explicación científica, mostraremos cómo es que el modelo de Woodward puede responder mejor a los retos particulares de la explicación en biología evolutiva.

Adicionalmente, es necesario definir la noción de la adecuación [*fitness*], para ello nos enfocaremos en lo que se ha denominado en la literatura como “el problema clásico de la adecuación”, que consiste en el reto de definir la noción de adecuación evitando los problemas de la definición clásica que conduce a una tautología (Paul, 1992; Rosenberg y Bouchard, 2020). Esta definición clásica nos dice que la adecuación se mide en términos de descendencia, esto es, los más aptos son los que dejan más descendencia. Sin embargo, cuando aptitud está definida como una medida de descendencia, entonces los organismos que dejan más descendencia son los que dejan más descendencia. Para solucionar esto, repasaremos tres nociones que se han propuesto para abordar este problema y apoyaremos una de ellas, que es la noción ecológica. Justificaremos que la noción ecológica de adecuación soluciona el problema de la tautología al decir que los organismos son más adecuados en tanto mejor resuelven los problemas de diseño presentados por el ambiente de selección. Esto, no obstante, no se encuentra libre de problemas, ya que por un lado no es claro cómo individuar los problemas de diseño; y por el otro, la misma noción de diseño es metafórica y poco clara. Nuestra aportación consistirá en apoyar una versión concreta de adecuación ecológica desde el marco de explicación causal de Woodward (Woodward, 2000, 2003).

Hemos escogido apoyarnos en el modelo de Woodward porque consideramos que es capaz de solventar estos problemas, al proveer las herramientas para analizar y ofrecer apoyo de manera rigurosa a una versión ecológica de la noción de adecuación. Desde este modelo de explicación causal, podemos apelar a una situación controlada —como un ambiente de laboratorio— donde sea posible intervenir en las variables ambientales que se consideren responsables de llevar a cierta especie de organismo a tener las características fenotípicas que actualmente posee. Si es posible en principio aislar de este modo la variable que ha llevado a la modificación de los organismos, entonces decimos que el organismo responde a dicha variable y de este modo se resuelve el problema de la especificidad del diseño. Esto cuenta como una intervención en el sentido definido por Woodward y permite obtener una explicación adecuada del fenómeno, que en este caso es la presencia de un rasgo fenotípico. Lo que en principio nos permite individualizar los problemas de diseño es esta intervención, que en el caso experimental se da en el laboratorio. Decimos además que aceptar esta solución tiene la ventaja de permitirnos distinguir entre un proceso de evolución por selección natural y uno por procesos no-selectivos, como la deriva génica. En el capítulo 3, se ahondará en cómo es que el modelo de Woodward permite realizar esta distinción.

Ofrecemos a continuación una exposición resumida del desarrollo del trabajo. En la primera parte del trabajo expondremos tres diferentes modelos de explicación científica. Diremos cómo el modelo de Woodward resulta más adecuado para tratar causalidad en biología evolutiva. Esto lo hacemos con base en mencionar algunos de los problemas que tienen tanto el modelo Nomológico-deductivo de Hempel y Oppenheim como el modelo de relevancia estadística de Salmon. Proponemos que el modelo de Woodward resuelve algunos de estos problemas.

El modelo de explicación de Woodward es un modelo de explicación causal y hablar de causalidad en biología evolutiva, sin embargo, es un problema con muchas aristas. En particular, Mayr (1998) traza una distinción entre biología funcional y biología evolutiva. Desde esta distinción, cada una requiere un concepto de causalidad diferente. Dice de la biología funcional que llegado a un punto solo se preocupa por un individuo y que “[d]e hecho, si aísla suficientemente el fenómeno estudiado de las complejidades del organismo, puede alcanzar el ideal de un experimento en física o en química”. Mayr señala además

que en biología funcional es posible hablar de propósito, mientras que en biología evolutiva no hay propósito. Después de esto pasa a decir por qué hablar de causalidad en biología dista de hablar de causalidad en otras ciencias. En particular porque parece ser que en ciencias que no son la biología, las explicaciones causales están ligadas a su valor predictivo. Esto sin embargo, es algo que no sucede en biología, en particular no sucede en biología evolutiva ya que los procesos evolutivos no pueden ser predichos. Nosotros en el segundo capítulo nos proponemos desligar la noción de causalidad del determinismo, de manera que podamos hablar de causalidad en biología sin que haya un compromiso con el determinismo, salvando así la intuición de que los procesos biológicos no están determinados, aún cuando haya causalidad de por medio.

Después de defender al modelo de explicación de Woodward y de deslindar a la causalidad del determinismo, nos proponemos a exponer el problema clásico de la adecuación y mostraremos cómo aplicar el modelo de Woodward puede ser fructífero para sustentar una caracterización ecológica de la adecuación. De manera clásica definimos la adecuación como una medida de descendencia. Los organismos que dejan más descendencia están mejor adecuados a su medio ambiente. El principio de selección natural nos dice que los más aptos son aquellos que dejan más descendencia. Sin embargo, al definir así la adecuación de los organismos lo que obtenemos es una trivialidad: que los organismos que dejan más descendencia son los que dejan más descendencia. Dicho de otra manera si la selección natural se define como la sobrevivencia y reproducción del más apto y si aptitud se define nuevamente en términos de sobrevivencia y reproducción, entonces la noción de selección natural resulta tautológica. El problema con que la definición sea tautológica consiste en que decimos que hay selección natural cuando está involucrada la supervivencia del más adecuado, de manera que si queremos explicar en qué consiste la adecuación es necesario ofrecer una definición que la explique sin apelar a sí misma.

Bouchard y Rosenberg (2004) sugieren que para librar a la adecuación de esta carga tautológica hay que definir la adecuación de otra manera: incorporando una noción de adecuación ecológica. Esta noción, de manera general, nos dice que el organismo más adecuado es aquél que mejor resuelve problemas de diseño. Esto en principio nos libera de la carga tautológica ya que aptitud se define en términos de resolución de problemas. Los organismos que

mejor resuelven estos problemas son los que dejan más descendencia. Asimismo, nos permite leer causalmente el concepto de adecuación, esto es, que el hecho de que resuelvan mejor los problemas de diseño impuestos por el medio ambiente, *causa* que tengan más descendencia.

La noción ecológica, como mencionamos anteriormente, requiere un desarrollo ulterior porque no es claro cómo individuar los problemas de diseño a los que se refieren Bouchard y Rosenberg en su artículo (2004). Para ahondar más en ello apelaremos a los modelos experimentales utilizados por los biólogos. Supongamos, por ejemplo, que se inserta a un depredador en el medio ambiente; pasa el tiempo y observamos que la frecuencia de organismos con extremidades más largas se incrementa a lo largo de algunas generaciones. Nosotros señalamos que si en un diseño experimental se interviene insertando el mismo depredador y obtenemos los mismos resultados, entonces es posible individuar exactamente cuál problema de “diseño” están resolviendo los organismos, al mismo tiempo que se obtiene una explicación del fenómeno acorde con el modelo de Woodward: tienen extremidades más largas porque así pueden escapar con más facilidad. Si todo esto es correcto, obtenemos una noción más clara de qué problema de diseño resuelven los organismos.

Nuestra propuesta es que utilizando el modelo manipulabilista de Woodward podemos resolver la cuestión de individuar los problemas de “diseño” que tiene la noción de adecuación ecológica (Bouchard y Rosenberg, 2004; Rosenberg y Bouchard, 2020) y que nos permite distinguir entre un proceso de evolución por selección natural de uno debido a la deriva génica. Esta solución será esbozada en términos de la replicabilidad de un evento natural en un ambiente controlado de laboratorio.

Para argumentar esto, primero se defenderá que el modelo de Woodward es un buen modelo de explicación en biología evolutiva, en contraste con otros modelos de explicación a partir de 2 criterios: 1) el modelo no involucra leyes y 2) que resuelve el problema de confundir entre correlación y causa del que peca el modelo de Salmon. Diremos además que el modelo es capaz de dar cuenta de una propuesta que resuelva el problema de la individuación de problemas de “diseño”.

Luego, debido a que se asume que hay contingencia ¹ involucrada en el proceso de selección

¹Esta asunción no está libre de ser controvertida. En el artículo de Powell (2012), el autor discute que hay algunos filósofos que toman el fenómeno de la evolución de caracteres análogos como evidencia a favor de que hay cierto grado de predicción en la teoría evolutiva. Esto en particular nos dice que podemos predecir

(Scriven, 1959; Mayr, 1998), nosotros ofrecemos un argumento en contra del determinismo defendido por Graves y compañía (1999).

Por último se expondrá el problema de la definición clásica de la adecuación y se esbozará la solución pretendida. Después se explorará la distinción de Mayr entre causas próximas y causas últimas porque nuestra solución al problema que respaldaremos depende de que haya causas próximas en las explicaciones evolutivas.

Se criticará la distinción trazada por Mayr entre causas próximas y causas últimas. Esta distinción trazada por Mayr es controvertida. En su artículo (Laland, Sterelny, Odling-Smee, Hoppitt, y Uller, 2011) los autores argumentan que esta distinción no es tajante y que las causas próximas sí que juegan un papel en la evolución de los organismos. Los autores mencionan que, por ejemplo, el fenómeno de la plasticidad fenotípica puede llevar a que un carácter sea propenso a ser seleccionado, y la plasticidad fenotípica es un fenómeno que se relaciona con el medioambiente próximo. Por tanto, la selección natural y las causas próximas no necesariamente son excluyentes. Este problema además está ligado al desarrollo de sistemas de herencia que no sean necesariamente genéticos. En palabras de Laland y Uller “Desde esta perspectiva [la de Mayr], no hay cupo para causas próximas en las explicaciones evolutivas porque sólo los genes son heredados efectivamente, previniendo que causas de desarrollo no genéticas sean causas evolutivas”² (2019). En este trabajo repasamos brevemente la discusión sobre otros mecanismos de herencia ya que nosotros creemos que es necesario adoptar causas próximas para la solución que pretendemos ofrecer.

Esta tesis toma como motivación el hecho de que las causas próximas sí están relacionadas con explicaciones evolutivas. Es por ello que creemos que podemos dar un modelo de explicación causal que funcione para la biología evolutiva. Adicionalmente, sostendremos que el modelo manipulabilista de Woodward (2000, 2003) es un buen un modelo de explicación causal apropiado para trabajar explicaciones causales, en términos de causas proximas. El

cuál será el desarrollo de los organismos. Sin embargo, hay que separar el problema del determinismo causal de la predictibilidad de un fenómeno. Es plausible que no haya determinismo, sin que esto implique que hay impredictibilidad (Hoefer, 2016), esto es el indeterminismo puede convivir con que podamos predecir fenómenos. Lo que nosotros nos proponemos defender es la tesis de que las leyes de la naturaleza no determinan cómo será cualquier tiempo futuro.

²From this perspective, there is no room for proximate causes in evolutionary explanations since only genes are inherited effectively preventing nongenetic developmental causes from becoming evolutionary causes. [Todas las traducciones en el texto son mías]

primer capítulo se encarga de esto. En él se evaluarán los diferentes modelos y se encontrarán algunos problemas que tienen tanto el modelo Nomológico-deductivo, como el modelo de Relevancia estadística. Por último se presentará al modelo de Woodward como una alternativa a estos dos modelos de explicación³. Hay que aclarar que el modelo de Woodward no está libre de problemas. Sin embargo, se atenderán algunos de los problemas, tratando de hacerlo una alternativa viable para trabajar explicación causal en biología evolutiva debido a que no necesita de leyes para su formulación y a que resuelve el problema de la confusión entre correlaciones y causas del que adolecía el modelo de relevancia estadística.

Un objetivo secundario de esta tesis es dar un argumento a favor del indeterminismo causal. A Mayr le preocupaba que las causas próximas estuvieran relacionadas con las explicaciones evolutivas, porque podía haber determinismo involucrado. Mayr (1998) en un punto señala que el biólogo funcional se ocupa de un sólo individuo y sus relaciones medioambientales, además menciona que el biólogo funcional “[...] si aísla suficientemente el fenómeno estudiado de las complejidades del organismo, puede alcanzar el ideal de un experimento en física o en química” (p. 83). Pero si es verdad que la línea trazada entre biología funcional y biología evolutiva no es tan tajante tal como señalan Laland y compañía, entonces puede haber determinismo involucrado en el proceso.

Pero no quisiéramos que el determinismo se cuele en los fenómenos biológicos. Este compromiso está motivado por la asimetría entre explicar y predecir en biología evolutiva. Esta asimetría, argumenta Scriven (1959), nos dice que si bien podemos explicar un fenómeno en biología evolutiva, con la misma información no pudimos haber predicho cómo sería este organismo. Nosotros estamos de acuerdo con lo que argumenta Scriven, por lo que creemos que hay que tomar al problema del determinismo como parte de los elementos que debe

³Resulta pertinente mencionar brevemente dos alternativas que tienen como finalidad modelar la explicación y que no serán abordadas en este trabajo. El primero es el modelo unificacionista que formularon Friedman (1974) y Kitcher (2002). La segunda falta es el modelo pragmático de van Fraassen. Dejamos de lado el modelo de Kitcher porque en su formulación las explicaciones causales no son necesarias. Dicho de otra manera, Kitcher cree que es epistémicamente problemático el concepto de causa y que este puede ser reducido a los patrones de explicación. En el modelo de Kitcher las relaciones causales son dependientes de las explicaciones, en sus propias palabras “Lo que emerge en el límite de este proceso es nada menos que la estructura causal del mundo” (What emerges in the limit of this process is nothing less than the causal structure of the world.). Dejamos de lado el modelo de van Fraassen porque es compatible con el modelo de explicación manipulabilista de Woodward, en donde la relación de relevancia es la de estar causalmente relacionados.

poder resolver un buen modelo de explicación causal.

Un determinista podría argumentar que este fenómeno es reflejo de nuestra incapacidad cognitiva para evaluar todas las variables involucradas. En el artículo de Graves y colaboradores (1999), las autoras argumentan a favor de la tesis de que el indeterminismo en biología es epistémico y que a pesar de que el nivel fundamental es determinista, la física clásica trata a su objeto de estudio como determinista, por lo que podríamos pensar que los procesos biológicos también puedan ser deterministas. Nosotros decimos que esta analogía con la mecánica clásica es problemática ya que la analogía con la física es una mala analogía. Esto lo hacemos con base en decir que las leyes de la física clásica ostentan ser necesarias, en tanto que están estructuradas como consecuencias lógicas de axiomas. Esto significa que las leyes de la física no se acercan al determinismo por razones metafísicas, sino por razones lógicas⁴.

Llegados a este punto se habrá puesto en duda la distinción de Mayr entre causas próximas y causas últimas, y se habrá defendido al modelo manipulabilista de Woodward como una alternativa a otros modelos de explicación. Consideramos que el modelo de Woodward se adecúa muy bien a cómo se trabaja en biología dado que no hay leyes en su formulación. Además rescata cómo se trabaja con experimentos en biología. También hemos dado un argumento a favor del indeterminismo causal, resolviendo la asimetría a favor de la cual argumentan tanto Scriven como Mayr.

Resta por hacer una aclaración final. No se defenderá una postura sobre si las explicaciones de selección natural se dan términos de una unidad de selección particular, como individuos o poblaciones. Lo único que nos interesa es el problema de individuar cuáles son los problemas de diseño que tiene la noción de adecuación ecológica de manera general, sin importar cuál es la unidad de selección que los enfrente. Asimismo, no adoptaremos una postura en debates similares relacionados con los mecanismos e implementación de la selección natural. Sin duda estos debates tienen una relación cercana con los problemas que nos competen, sin embargo, no serán tratadas en este trabajo que busca centrarse en ofrecer un modelo de explicación causal para la biología evolutiva. No obstante, dentro de las limitaciones de

⁴Esto por supuesto puede significar que las áreas altamente matematizadas de la biología puedan ostentar el mismo tipo de determinismo que las leyes de la mecánica clásica

esta investigación consideramos que es posible plantear el problema que abordamos de una manera suficientemente neutral, de modo que sea independiente a este tipo de problemas.

Capítulo 1

Análisis filosóficos de la explicación

En este capítulo exploramos la distinción de Mayr entre causas próximas y causas últimas. Decimos porque esta distinción es problemática para después motivar un modelo explicación causal que nos permita incluir causas próximas en las explicaciones biológicas. Después de explorar esta distinción se expondrán tres modelos de explicación: el modelo Nomológico-Deductivo de Hempel y Oppenheim, el modelo de relevancia estadística de Salmon y por último el modelo manipulabilista de Woodward. Queremos motivar que el modelo que presenta Woodward se puede utilizar en biología debido a que no necesita de leyes para su formulación. Debido a que raramente las explicaciones biológicas apelan a leyes para explicar. Repasamos además el modelo de Salmon y decimos cómo el modelo de Woodward soluciona el problema de hacer pasar a las correlaciones por causas.

1.1. Causas próximas y causas últimas

Hay algunos problemas al hablar de causalidad en biología, estos harían que un modelo de explicación causal como el de Woodward parezca inadecuado a la hora de aplicarlo al caso de la biología evolutiva. Estos problemas están identificados en el artículo de Ernst Mayr (1998) donde habla de causalidad en biología evolutiva. En primer lugar, Mayr señala que hay dos grandes campos de la biología: la biología funcional y la biología evolutiva.

Según Mayr (1998) el biólogo funcional trata a su objeto de estudio como un solo individuo y su método es principalmente la experimentación. El biólogo evolutivo por su parte, trabaja

con fenómenos extendidos temporalmente y no se preocupa del ambiente próximo de los organismos.

Desde esta distinción, el autor argumenta que no es lo mismo estudiar la causalidad en ambas áreas: mientras que el biólogo funcional se ocupa de causas próximas, el biólogo evolutivo se ocupa de causas últimas. Con estas distinciones, Mayr afirma que “[...] las causas próximas son las que gobiernan las respuestas de los individuos (y sus órganos) a factores inmediatos del ambiente, mientras que las causas últimas son responsables de la evolución del programa de información del ADN [...]” (p. 86).

Mayr presenta a estos dos dominios como complementarios aunque excluye del ámbito del biólogo evolutivo las causas próximas. Dice de la biología funcional que “La técnica principal del biólogo funcional es el experimento y su aproximación es esencialmente la misma que la del físico o la del químico” (Mayr, 1998, p.83). Mientras que la biología evolutiva no es reducible a las ciencias físicas o químicas.

Pero la tesis de Mayr es controvertida. Recientemente han habido críticas a su distinción entre biología funcional y biología evolutiva. El negar que haya causas próximas en biología evolutiva excluye aspectos de la práctica biológica que son intuitivamente relaciones causales próximas. Por ejemplo, cuando hay un cambio en el medio ambiente y los organismos responden a este cambio de manera que se modifica el fenotipo para poder adaptarse, como pasa en el fenómeno de plasticidad fenotípica (West-Eberhard, 2008)¹. Además, deja de lado toda la nueva literatura que ha explorado la epigenética, por ejemplo en el fenómeno de la construcción de nicho. En este fenómeno los organismos modifican su medio ambiente. Este medio ambiente se hereda a la progenie, ya que es el lugar en el que habitarán. Este medio heredado es una causa próxima. Si eliminamos las causas próximas del ámbito evolutivo, estaríamos excluyendo estos fenómenos². Esto está relacionado con admitir nuevos mecanismos

¹Entre otros fenómenos en los que hay causas próximas y son fenómenos evolutivos están el Cryptic genetic variation en el modo GxE (Paaby y Rockman, 2014) y el Eco-Evo-Devo (Pfenning, 2016)

²En el artículo de Uller y compañía (2019) encontramos un ejemplo que pretende mostrar que las causas próximas no están excluidas del ámbito del biólogo evolutivo. Estudiando a las ballenas asesinas, los investigadores dan cuenta de que las ballenas han adaptado su dieta localmente y han desarrollado técnicas de caza particulares. Los estudios muestran que estas diferencias no se deben a variación genética, sino al aprendizaje social. El aprendizaje social es un caso de causa próxima tal como lo describe Mayr. Entonces las causas próximas sí son relevantes para la biología evolutiva ya que estas diferencias en técnicas de caza son características que pueden ser seleccionadas. Sin embargo, una estrategia para mantener la distinción entre causas próximas y causas últimas es cambiar el foco de atención, alguien podría sugerir que no es

de herencia que no son heredados por la vía sexual.

Endler (1986) en su libro "Natural selection in the Wild" ofrece una caracterización más amplia de herencia. Endler propone que el fenómeno de la herencia no depende necesariamente de la herencia genética. E indica que debe haber una relación consistente entre que algún organismo tenga una cierta característica que le permita una mejor habilidad de apareamiento, o de fertilización, o bien una mayor fecundidad y/o sobrevivencia (siempre con miras a que estas características no son necesariamente genéticas).

Ahora bien, la síntesis moderna³ fue bastante reticente en aceptar cualquier otro mecanismo de herencia que no fuera la herencia genética. Por lo que se excluyeron otros tipos de explicación y mecanismos no genéticos, o bien que no tuvieran una reducción a la genética. Ya desde hace varios años se ha explorado si es necesario incorporar nuevos mecanismos de herencia (Jablonka y Lamb, 2020). De ser esto correcto, estos nuevos mecanismos de herencia y su incorporación a la teoría tienen consecuencias importantes en qué evidencia debemos tomar para justificar hipótesis sobre selección natural y por supuesto ponen en tela de juicio la distinción que Mayr propone. En este trabajo no vamos a discutir las consecuencias filosóficas y biológicas que tiene el integrar nuevos mecanismos de herencia.

Lo que queremos hacer es motivar el que haya una aplicación del modelo de explicación causal de Woodward al ofrecer ejemplos de biología evolutiva donde hay una relación inmediata con el ambiente en el que se desarrollan los organismos. Es por ello que afirmamos que si hay herencia no genética, entonces podemos incorporar causas próximas en las explicaciones evolutivas. Más aún, si podemos incorporar causas próximas para explicaciones en selección natural, entonces no es controvertido decir que necesitamos un concepto de "causalidad" que permita incorporar dichas causas próximas. Como vimos en la sección 1.2 motivamos al modelo de Woodward como modelo causal para explicaciones evolutivas y ofrecimos un

interesante el hecho de por qué diferentes poblaciones de ballenas han desarrollado distintos métodos de caza por aprendizaje social y cómo estos han adaptado localmente su dieta, sino que la pregunta interesante es por qué las ballenas asesinas desarrollaron la característica de ser capaces de aprender socialmente. Sin embargo, esta solución tiene problemas. En primer lugar esta solución cambia el *explanandum* de la pregunta original. El *explanandum* de la pregunta original es por qué los diferentes métodos de caza de las ballenas asesinas han llevado a variación entre las distintas poblaciones de manera que han adaptado localmente su dieta. Nos interesa saber por qué las diferentes poblaciones tienen estos métodos particulares, no por qué las ballenas tienen la característica de aprendizaje social, que es una pregunta diferente.

³La síntesis moderna fue el desarrollo que tuvo la teoría de la evolución conjugada con la teoría de la herencia de Mendel

concepto de adecuación en consonancia con dicho modelo.

Una advertencia antes de continuar: el que debemos integrar una dimensión ambiental es aún un debate abierto. Por lo que en un futuro la investigación en biología puede encontrar una manera de reducir los factores ambientales a factores genéticos, lo que haría que debemos excluir la dimensión ambiental de las explicaciones evolutivas. Esta estrategia es la que siguen algunos de los biólogos que aún defienden algún tipo de neo-darwinismo. Esto sin duda es posible, pero la investigación actual en biología apunta en la otra dirección (Bateson, 2014). Hay investigaciones que de hecho incorporan una dimensión ambiental y que afirman que hay otros medios de herencia no necesariamente genéticos. Esto es indicio de que podemos hablar de causas próximas en biología evolutiva. Por lo que, en lo que resta de este trabajo, supondremos que este es el caso.

Para justificar que podamos hablar acerca de causas próximas en biología evolutiva, consideremos que a pesar de la reticencia de algunos biólogos, se han investigado sistemas de herencia distintos a la herencia genética. Por ejemplo en el libro de Jablonka y Lamb (2020), las autoras argumentan que hay diferentes mecanismos de herencia que no necesariamente están al nivel genético. Entre ellos se encuentran los mecanismos epigenéticos y la imitación del comportamiento. La construcción de nicho también es un caso en el que puede haber herencia no genética. Aún con la evidencia experimental, las autoras comentan que se ha relegado este tipo de mecanismos con el argumento de que son triviales porque no hacen una diferencia en términos evolutivos. Sin embargo, las autoras argumentan que hay evidencia de lo contrario.

Los ejemplos presentados en este capítulo no sólo pretenden ilustrar que la teoría de la causalidad de Woodward es compatible con el quehacer del biólogo evolutivo, sino que además buscan ofrecer evidencia para lo que argumentan Jablonka y Lamb, a saber, que hay una importante injerencia del medio en el que se desarrollan los organismos y que hay herencia no necesariamente genética. Esto nos lleva, contra la suposición de Mayr, a poder incorporar causas próximas en explicaciones de selección natural.

1.2. Análisis clásicos de la explicación

De manera cotidiana explicamos por qué suceden fenómenos. Nos interesa saber por qué el agua está fría mientras nos bañamos, por qué la puerta rechina cuando la abrimos, por qué nuestro automóvil hace ruidos extraños, etc.

En algunas ocasiones, nos interesa explicar fenómenos más complejos⁴ como: ¿por qué la capa de ozono tiene orificios?, ¿por qué los seres humanos somos bípedos?, ¿por qué se cumple que la suma de los cuadrados de los lados de un triángulo rectángulo, son iguales al cuadrado de la hipotenusa?, etc.

Intentos de hacer claro el concepto de explicación en ciencia se remontan al menos hasta los empiristas lógicos⁵. Hempel y Oppenheim desarrollaron –quizás el más famoso– modelo de explicación: ND. ND hace de una explicación un tipo de argumento deductivo de la siguiente manera: en las premisas debe haber una ley de la naturaleza, se fijan ciertas condiciones iniciales y se obtiene como conclusión el fenómeno a explicar. Esto nos lleva al trabajo de poder distinguir a las generalizaciones accidentales, por ejemplo, el hecho de que todas las monedas en mi bolsillo sean de \$ 5 y una generalización legaliforme como que los cuerpos en caída libre tienen un aumento de velocidad de 9.8 m por segundo cuadrado.

Nagel nos ofreció algunos criterios que debía cumplir una ley de la naturaleza, que presumiblemente no cumplen las generalizaciones accidentales: i) debe ser un universal irrestricto, es decir, que funcionara en todo momento para una cantidad potencialmente infinita de objetos; ii) en su formulación sólo debe haber vocabulario puramente cualitativo, esto con el fin de evitar que se hiciera referencia a objetos en un espacio y tiempo determinados y iii) debe haber algún tipo de relación tal que el antecedente haga necesario el consecuente. Toda esta discusión se puede revisar en el capítulo IV de (Nagel, 2006). Indicamos algunas condiciones iniciales observadas y derivamos el fenómeno a explicar como una consecuencia tanto de la ley y de las condiciones iniciales. Un criterio adicional de ND es que las leyes

⁴Con esto no queremos implicar que las explicaciones de fenómenos más complejos son a su vez más valiosas que las de fenómenos más simples. Tampoco queremos implicar que haya una distinción de tipo entre ambos conjuntos de ejemplos, el problema acerca de si tal diferencia es o bien de grados o bien de tipo no es algo que vayamos a discutir en este trabajo.

⁵Esto en la filosofía moderna. Aristóteles también dedico parte de su trabajo en los analíticos posteriores a esclarecer el concepto de explicación (Aristóteles, 2009)

sean verdaderas. Deben ser verdaderas porque en el caso contrario el antecedente es falso y el condicional asociado es trivialmente verdadero. De manera que si tenemos un antecedente falso, no es claro cómo explica el fenómeno que nos interesa.

Además de ND Hempel y Oppenheim desarrollaron un modelo Inductivo Estadístico y un modelo Deductivo Estadístico. Las particularidades de ambos es que en el deductivo estadístico partimos de una ley estadística y derivamos que el hecho va a ocurrir. Lo que tiene que suceder para que esto cuente como una explicación es que la ley estadística tiene que hacer más probable el evento. Una motivación para el desarrollo del modelo inductivo estadístico es que Hempel pretendía explicar eventos particulares utilizando probabilidades. Por ejemplo, en el caso de que tome un analgésico para calmar mi dolor de cabeza, la probabilidad de que disminuya dependerá de la frecuencia de las personas que han tomado la pastilla y han mejorado. En el deductivo estadístico se usa una ley estadística para deducir una uniformidad estadística más estrecha. Mientras que el modelo inductivo estadístico tomamos muestras individuales para hacer una generalización estadística para una población y una propiedad determinada.

Supongamos, para hacer un ejemplo, que hay una “ley” que nos dice que: para todos los analgésicos y todos los dolores de cabeza, si cualquier sujeto tomara un analgésico, entonces calmará su dolor $\forall x \forall y \forall z ((Ax \& Dzy \& Tzx) \supset Czy)$. Supongamos que de hecho yo tengo dolor de cabeza y me tomo un analgésico ($Aa \& Doc \& Toa$). Por tanto se resuelve mi problema de dolor Coc . En este ejemplo, el hecho de que mi dolor de cabeza desaparezca, depende de la ley establecida y de las condiciones iniciales, que en este caso es el hecho de que yo tengo un dolor de cabeza particular y que me tomo un analgésico. El fenómeno de que cese mi dolor de cabeza se explica a través de la ley, ya que resulta un caso particular. Es decir que esta “cubierto” por la ley.

Cabe resaltar que ND tiene algunos valores y que rescata algunas intuiciones que vale la pena señalar: que los científicos explican utilizando leyes, que hace de la explicación un argumento y es claro que en las discusiones científicas hay intercambio de argumentos.

Pero aquí ya hay varias preguntas que hacer al respecto de este modelo. Por ejemplo, algunos de los problemas que tuvo este modelo tenían que ver con la noción de ley de la naturaleza. No es obvio que todas las ciencias trabajen con leyes. La biología es un caso

bastante comentado porque ofrece explicaciones, pero no es claro que lo haga utilizando leyes (Brandon, 1997).

Esta aserción podría ser debatida. Alguien podría decir que las condiciones de Nagel no son indicadoras de una ley, y que deberíamos relajar los compromisos⁶. Supongamos, por ejemplo, que rechazamos el criterio de que debe ser un universal irrestricto. Relajando este criterio, podríamos decir que la “ley de segregación”⁷ de Mendel es un buen candidato para una ley en biología. Esto se cumple para los organismos diploides, pero no para todos los organismos.

Sin embargo, aún así no sería suficiente para salvar a ND de todos los problemas con que carga. Cartwright defiende que ni siquiera es obvio que las leyes de la física sean verdaderas ni es claro que cumplan con las condiciones que presenta Nagel (Cartwright, 1983): entre ello que sean un universal irrestricto. Según Cartwright sólo son verdaderas cuando imponemos las condiciones necesarias para que lo sean. Pero sin lugar a dudas los físicos ofrecen explicaciones. Esto indica que debemos relajar aún más los criterios.

Aún más que el problema de las leyes, ND tiene otros problemas. Las explicaciones tienen una dirección porque no sirve de nada una explicación circular, de manera que la conclusión pueda explicar a las premisas y viceversa. Un ejemplo famoso que muestra este defecto es el del asta bandera⁸. Entonces ND no sólo tiene el problema de que se necesitan leyes para la explicación, sino que además no respeta la asimetría de la explicación.

En el caso particular de la biología, si aceptamos que esta disciplina explica, entonces o bien hay que encontrar enunciados en la biología que tengan el estatus de ley, o bien desechemos el modelo de Hempel y desarrollamos nuevos modelos que permitan esclarecer cómo explicamos en biología. Muchos filósofos han desarrollado modelos alternativos y nuestro interés es explorar cuál es más adecuado para la biología.

⁶Este debatiente ficticio tendría que decirnos cuál criterio debemos relajar o eliminar

⁷Esta ley, a grandes rasgos, nos dice que en un organismo diploide, cada uno de los progenitores tiene la mitad de su código genético almacenado en sus gametos. Por lo que hay un 50 % de probabilidad de encontrar cualquiera de los genes de los progenitores en el código genético del descendiente.

⁸El ejemplo es el siguiente, supongamos que un asta bandera proyecta una sombra de cierta longitud x . Si conocemos el largo del asta bandera y sabemos el ángulo del sol, podemos calcular la longitud de la sombra. Por lo que la altura del asta explica la longitud de la sombra. Sin embargo, si sabemos la longitud de la sombra y el ángulo del sol, podemos obtener la altura del asta. Pero es absurdo pensar que el largo de la sombra explica el alto del asta. El alto del asta depende de las intenciones de quién la construyó.

1.3. Relevancia Estadística

El modelo de Salmon estaba motivado por resolver algunos problemas de ND. Salmon desarrolla su modelo de explicación basado en la noción de relevancia estadística, además de señalar explícitamente que en su modelo las explicaciones no son argumentos. Salmon expone su modelo como una solución a los problemas que tiene ND. En el modelo de Salmon, no necesita haber un aumento en la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno para explicar por qué ocurre. Además, de acuerdo a cómo formula su modelo, la explicación deductiva es un caso límite (cuando la probabilidad de ocurrencia es igual a 1) de la relación de relevancia estadística. Por lo que es más parsimonioso que el modelo de Hempel (Salmon, 1970).

En la sección 4 de su artículo, Salmon motiva su discusión al tratar de resolver el problema del caso único. Este problema parece funesto para la interpretación frecuentista de la probabilidad (que es la interpretación que Salmon favorece a lo largo de su artículo) y su uso en explicación. Salmon cree que no es así. Para justificar esto, desarrolla un aparato teórico para tratar con dicho problema. Una parte importante de su solución es hacer una distinción entre la clase de referencia y la clase de atributo. La clase de referencia es aquella que nos ayuda a partir el espacio de posibilidades en lo que sospechamos es lo que hace una diferencia en la estadística. La clase de atributo está asignada por la pregunta que hacemos. Por ejemplo, supongamos que queremos explicar por qué hoy hubo una tormenta. La clase de atributo es el conjunto de las tormentas el día de hoy. La clase de referencia puede ser el que los barómetros marquen un cierto número o bien la caída en la presión atmosférica en los últimos días. Si al condicionar nuestro evento a una de estas dos clase de referencia, descubrimos que una de ellas es relevante para el hecho de que hoy haya llovido, entonces esto explica por qué hoy hubo una tormenta.

Para evitar la vaguedad de la noción intuitiva, esta diferencia está definida en términos probabilísticos de la siguiente manera: si $P(A|B) \neq P(A|B \& C)$ entonces C hace una diferencia para la ocurrencia del evento A y es gracias a este “hacer una diferencia” que podemos explicar la ocurrencia del evento A a partir de la ocurrencia del evento C.

Este modelo tiene algunos detalles importantes: debemos ser capaces de hacer una “partición homogénea” del evento o fenómeno a explicar. Que sea una partición homogénea significa

que dado un objeto O y un evento E , debemos ser capaces de seccionar todas las propiedades relevantes de O con respecto a E . Esta partición debe ser exhaustiva, es decir, que no falte alguna partición y no podamos agregar nuevas propiedades al conjunto. Además, cada una de estas particiones debe ser mutuamente excluyente (Woodward, 2019).

Para ejemplificar esto, retomemos el caso de mi dolor de cabeza: llamemos “A” al evento en el que disminuye mi dolor de cabeza y llamemos “B” al evento en el que tomo la pastilla. Ahora queremos explicar por qué disminuye mi dolor dado que tomo la pastilla $P(A|B)$, esto lo lograremos haciendo una partición homogénea del evento “B”. Buenos candidatos para ello son: $C_1 =$ “no soy alérgico al medicamento que me tomé”, $C_2 =$ “que la pastilla de hecho sea un analgésico y no una menta”, [...], $C_n =$ “X”. Si alguna de estas propiedades modifica la probabilidad en la ocurrencia de “A”, entonces tenemos una explicación de “A”. En palabras de Galavotti “En esta perspectiva lo que cuenta para la explicación no es la alta probabilidad, como lo requería Hempel, sino estar en posición de afirmar que la distribución de probabilidad asociada con el *explanandum* refleja la información más completa y detallada que tenemos disponible”⁹ (Galavotti, 2018).

Este modelo resuelve algunos de los problemas que tenía el modelo de explicación que desarrolló Hempel: la noción de explicación que desarrolla Salmon no echa mano de leyes y, por tanto, no tiene el problema de distinguir entre leyes y generalizaciones accidentales¹⁰. Evitar hablar de leyes es más adecuado para usar dicho modelo con aquellas ciencias en las que no es obvio que las haya. Por otro lado tenemos que desechar la intuición de que explicar es ofrecer un argumento (aunque el costo no parece muy alto).

Con todo esto, el modelo aún tiene problemas relacionados con nuestra noción de causa. Salmon reconoce que este método es sensible al problema de hacer pasar las correlaciones por relaciones de dependencia. Salmon menciona algo acerca de cómo utilizar su método para rastrear relaciones causales, apelando a los estados de baja entropía y a la relación temporal entre el evento a explicar y la clase de referencia. Por ejemplo, si vemos un estado de baja entropía, podemos asumir que este estado es el temporalmente previo porque es muy poco

⁹In this perspective what counts for the sake of explanation is not high probability, as required by Hempel, but being in a position to assert that the probability distribution associated with the explanandum reflects the most complete and detailed information attainable.

¹⁰Aunque sí echa mano de generalizaciones estadísticas.

probable que la entropía disminuya. Esto porque no son frecuentes (muy cercano a 0) los estados naturales de baja entropía. Los estados macro se comportan de manera análoga a los estados micro, por lo que la ocurrencia de un evento altamente improbable indica que hay un estado temporalmente previo que lo causó.

Pero aún restan problemas que resolver. Es común el eslogan de “correlación no implica causalidad” y el problema con la teoría de Salmon es que hace que las correlaciones que tienen una causa común sean explicativas o que no seamos capaces de rastrear la causa que explica el fenómeno. Por ejemplo, si mi dolor de cabeza se debe a que no he tomado agua y sin darme cuenta me tomo una pastilla del frasco que es un dulce entonces cuando lo tomé con agua quizás mi dolor disminuya. Que mi dolor disminuya está correlacionado con mi tomar la pastilla, pero no es su causa.

En el caso de causa común, el ejemplo del barómetro es ilustrativo: sabemos que siempre que una tormenta se avecina, hay un cambio en el barómetro. Pero no decimos que el hecho de que haya un cambio en el barómetro causa que una tormenta se avecine, esto tiene que ver con el cambio en la presión atmosférica.

Para tratar de resolver estos problemas, podemos comprometernos con causalidad (que es metafísica y epistémicamente problemático) o bien desechar el modelo sin más. Woodward tomó la primer estrategia: si algo es explicativo, es porque rastrea las causas de un fenómeno.

Problemas de correlación llevaron no sólo a Woodward, sino también a Salmon a decidir que una noción de causalidad era necesaria si queríamos ofrecer un buen análisis de la explicación ¹¹. Como nos dice Psillos “Si las relaciones de Relevancia Estadística son explicativas, entonces tienen que capturar las dependencias causales correctas entre el *explanandum* y el *explanans*”¹² (Psillos, 2009, p. 255). En la siguiente sección nos dedicamos a exponer la solución que sugiere Woodward

¹¹Salmon, por ejemplo, desarrolla un modelo alternativo: su modelo causal-mecánico (Salmon, 1994).

¹²For if the relevant SR [Statistical Relevance] relations are to be explanatory, they have to capture the right causal dependencies between the *explanandum* and the *explanans*

1.4. Retomando la causalidad

El paso para asumir causalidad como la condición de relevancia adecuada, ayuda a solventar problemas como el de asimetría. Es claro que el asta explica el largo de la sombra porque el asta causa la sombra y no viceversa. Además, en el caso del barómetro, podemos indicar que hay una causa común al cambio del barómetro y al hecho de que haya una tormenta, esto es, la baja presión atmosférica, por lo que evitamos casos de correlación espuria. Esto incentiva a asumir la tesis de que la causalidad puede ser una clase de relevancia adecuada para resolver estos problemas.

Sin embargo, antes de continuar explorando a la causalidad como una solución a estos problemas, vale la pena hacer una distinción. esta distinción, defendida por Anjum y Mumford en (2018), es la de mantener separados los aspectos epistémicos de los aspectos ontológicos de la causalidad. Si bien, las preguntas que son englobadas por el conjunto de los problemas ontológicos, *e. g.*, ¿es la causalidad una relación o un proceso? y si bien es una relación ¿cuáles son los objetos *relata* que pueden entrar en esta relación?, son preguntas que nos dan una pista de esta distinción, pero está lejos de ser una distinción completamente tajante. No es tajante porque dependiendo de cómo respondamos a “¿qué es la causalidad?” tendrá repercusiones en cómo respondemos a “¿cómo obtenemos evidencia de relaciones causales?” y viceversa.

Según Anjum, una razón para mantener separados ambos dominios es que es claro que en el ámbito legal esta distinción es importante. Su ejemplo del crimen perfecto ilustra esta distinción: pensemos en un crimen perfecto. Por definición un crimen perfecto es aquel que no deja ninguna evidencia. Sin embargo no podemos pasar de que no hay evidencia del crimen al hecho de que no hubo crimen en absoluto.

Una razón más para esta distinción es que al colapsar los problemas epistémicos con los problemas ontológicos, podemos caer en un tipo de operacionalismo. Por ejemplo, sabemos que diferentes métodos en ciencia tratan de buscar si hay causalidad: doble ciegos en medicina, aumento de probabilidades en economía, etc. Si cada uno de los métodos que tenemos para buscar causalidad tiene contraejemplos y no hacemos la distinción entre los rasgos epistémicos y ontológicos de la causalidad, entonces podemos llegar a afirmar que no hay una

única cosa que sea la causalidad, sino que son varias. Woodward además de una teoría de la explicación causal, nos ofrece una teoría acerca de qué es la causalidad. Woodward ofrece un análisis no reduccionista de la causalidad, al sugerir que las intervenciones posibles son lo que nos da un análisis de la causalidad. Pero además su análisis de explicación causal nos dice cómo rastrear causas, que es un asunto marcadamente epistémico.

No queremos negar la tesis del pluralismo causal¹³, y tampoco queremos afirmar la tesis del monismo causal. No queremos afirmar que el modelo de Woodward captura a todas las relaciones causales, sólo nos comprometemos a afirmar que captura algunas relaciones causales. Queda pendiente una defensa de si las relaciones causales que captura son todas las relaciones causales. Es decir, este trabajo es agnóstico con respecto a ese problema.

Esto parece una salida muy fácil al problema. Sin embargo, en esta sección queremos argumentar que el modelo de Woodward tiene valores que podemos rescatar y que son útiles a cómo de hecho se trabaja en ciencia. Aún si la teoría de Woodward no captura todos los fenómenos causales, sin duda nos ayuda a explicar una parte de estos, tal como la misma Cartwright concede (2007, cap. 7). Esto significa que podemos estar seguros de que captura un subconjunto de las relaciones causales. Sin afirmar que es la única manera, ni afirmando que el complemento difiere en tipo. Esto es una razón suficiente para tratar de aplicarlo a lo que nos importa en este trabajo.

Continuando con la presentación del modelo de explicación manipulabilista de Woodward, hay que hablar de David Lewis, quien desarrolló (1973a) un análisis contrafáctico de la causalidad. El análisis de Lewis es a primera vista problemático por dos razones: la primera razón es que depende de la noción de mundos posibles cercanos. Esta noción es vaga y Lewis sugiere que hay una diferencia gradual entre el mundo más cercano al actual y el actual. Es decir hay una infinidad de mundos posibles dentro de este rango. Por lo que cualquier diferencia entre el mundo actual y otro mundo posible es un corte arbitrario. La segunda razón es que hay que asumir la tesis del realismo modal, que afirma que los mundos posibles son concretos y esto infla la ontología.

El modelo de Woodward retoma parte de la postura causal de Lewis. Woodward también se apoya de los enunciados contrafácticos para decir que este proceso es en lo que consiste una

¹³Una defensa del pluralismo causal nos la ofrece Cartwright (2007).

relación causal. Al poder “intervenir”, los enunciados contrafácticos nos indican cuál sería el cambio en una variable dado que modificamos el valor de otra variable. Es importante señalar que Woodward no está comprometido con que las intervenciones sean obra de un agente. Sin embargo no es necesario que se comprometa con el realismo modal. Para salir de esta primera dificultad, Woodward sugiere que podemos explorar alguna semántica alternativa, entre algunas opciones están los diagramas de Markov (Woodward, 2021).

Con estas distinciones en mano, podemos comenzar a exponer la teoría causal de Woodward siguiendo su artículo (2000) y su posterior libro (2003). Woodward retoma a la causalidad como un elemento importante en la explicación y desarrolla una teoría acerca de cómo podemos rastrear causas y por qué estas son explicativas. En sentido estricto, Woodward nos ofrece una respuesta a *cómo* podemos rastrear relaciones causales. Como dijimos anteriormente, puede que esto sólo capture una parte, pero sin duda captura algo, de lo que es causalidad.

En el capítulo 3 comentaremos con más detalle en qué consiste el modelo de Woodward para poder relacionarlo con algunos experimentos realizados en biología, por lo que aquí nos remitimos a las generalidades del modelo. En primer lugar el modelo nos dice que una relación es explicativa cuando hay una relación causal de por medio. Esta relación causal entre variables está definida por la noción de intervención. El modelo, nos dice Woodward, cuenta como explicación los casos en donde al intervenir el valor de una variable, el valor de otra variable cambia en consecuencia. La única manera de que esto cuente como una relación causal es que podamos intervenir en una variable, digamos A y es sólo a través de esta intervención que la variable, digamos B , cambie en consecuencia. Pongamos un ejemplo.

Supongamos que una nueva píldora minimiza los dolores de cabeza. Esta píldora actúa disminuyendo la sensibilidad de dolor en todo el cuerpo, entonces si la tomara, disminuirá mi dolor. El cambio en el dolor de cabeza debe estar directamente relacionado con la toma de la píldora y no con que, por ejemplo, haya tenido un accidente que cercenó mi cabeza (algo que seguramente habría eliminado mi dolor). También tiene que ver con el posible evento en el que si no me hubiera tomado la píldora, entonces no hubiera disminuido mi dolor de cabeza, aquí la parte modal del modelo. Esta parte modal es lo que nos permite generalizar al modelo de Woodward para que seamos capaces de observar qué intervenciones posibles

llevarán cambios en la variable que nos interesa.

A pesar de que el modelo de Woodward tiene algunas virtudes, también tiene algunos problemas. En el siguiente apartado nos dedicamos a exponer algunos de los problemas de este modelo y nos proponemos a hacer un esbozo de solución. No esperamos resolver los problemas, sino sólo apuntar en una dirección que puede resolver estos problemas.

1.5. Cosas por resolver y algunos esbozos de soluciones

Hasta aquí hemos dado un repaso muy breve de tres modelos de explicación. Empezamos por el modelo Nomológico-Deductivo de Hempel y discutimos los problemas más famosos que se le han detectado. Nos centramos en el problema de las leyes porque en ciencias especiales no es claro que haya enunciados que cumplan los criterios para ser una ley de la naturaleza (al menos no cumplen el conjunto de criterios de Nagel). Después expusimos el modelo de Salmon y mencionamos algunos de sus problemas. Algo importante que hay que señalar del primer modelo de Salmon es que el método mediante el que explicamos un fenómeno es, en parte, defectuoso: porque puede haber casos donde tomamos por cierta una explicación, pero al final descubrimos que hay una causa común (como el caso del barómetro), por tanto no tendríamos una explicación.

El modelo de Woodward resuelve el problema de ND porque no necesita que haya leyes para ofrecer una explicación. Además resuelve los problemas del modelo de Salmon ya que evita casos de causa común al ser tan astringente en las condiciones de lo que cuenta como una intervención. Por lo que hasta ahora parece ser una buena opción para hacer claro cómo las ciencias especiales explican.

Ojalá hayamos encontrado la panacea. Pero el modelo de Woodward aún tiene problemas que necesitamos resolver para que sea más adecuado. En primer lugar, esta noción de explicación depende fuertemente de contrafácticos. Woodward nos dice que una parte importante de la explicación es poder responder a preguntas contrafácticas, pensando en el caso en el que intervenimos en uno de los valores (si me tomo la píldora) para analizar que pasa con el otro valor (mi dolor de cabeza). Y los contrafácticos se han tomado con delicadeza porque no es claro cómo estamos justificados sobre nuestro conocimiento modal.

¿Qué son los enunciados contrafácticos? Un enunciado contrafáctico es un enunciado condicional en el que el antecedente se presenta contrario a los hechos. Por ejemplo “si yo me tirara de un séptimo piso, entonces moriría”. Ahora bien, ¿qué hace verdadero a este condicional? Según la teoría de Lewis, este condicional es verdadero si en los mundos posibles suficientemente parecidos a este (mundos posibles cercanos), mi doble-lewisiano (contraparte) se tira de un séptimo piso y se muere.

Aquí cabe hacer una distinción de dos cuestiones que involucran a los enunciados modales. Hay al menos dos cuestiones involucradas a los enunciados contrafácticos. Por un lado hay una cuestión semántica respecto a qué los hace verdaderos o falsos. Por otro lado, hay una cuestión epistémica acerca de cómo tenemos acceso a este tipo de enunciados. Dicho de otro modo, ¿cómo justificamos nuestro conocimiento modal?

El trato semántico de los contrafácticos depende de los mundos posibles. Siendo el de Lewis la explicación más famosa para este tipo de enunciados (1973b), estos condicionales en la teoría de Lewis dependen de aceptar el realismo modal. El realismo modal es, a grandes rasgos, la tesis que afirma que existen los mundos posible a los que nos referimos. Esto es, existen de la misma manera en la que existe el mundo en el que estamos nosotros, pero están causalmente aislados de nuestro mundo.

Pero si están causalmente aislados, ¿cómo podemos justificar nuestro conocimiento modal? Si bien Lewis hace un análisis semántico de estos enunciados al darnos un criterio para decir cuándo son verdaderos o falsos, no tenemos claro cómo justificamos nuestro conocimiento de ellos. Uno de los objetivos es no asumir compromisos que no tienen un vínculo claro con la evidencia. Lo que hace que esta semántica de los contrafácticos no cumpla el requisito y, por tanto, habría que desecharla. En un capítulo, (Woodward, 2003, cap. 5) se dedica a los contrafácticos. Aquí Woodward nos dice que los contrafácticos relevantes para la explicación son aquellos que tienen una interpretación intervencionista. De esta manera podemos responder a preguntas del tipo “¿qué si las cosas hubieran sido diferentes?” como en el ejemplo de la píldora y mi dolor.

A pesar de ello, la exposición que hace Woodward no dice claramente qué semántica asume para las oraciones contrafácticas, por lo que asumimos que continúa usando la semántica de Lewis. Al ser estas una parte importante del análisis causal de Woodward y estar

relacionado con la noción de explicación, es necesario ver qué alternativas podemos explorar. ¿Cómo sabemos que es verdad el condicional “si me hubiera tirado de un séptimo piso, entonces hubiera muerto”? Una manera de hacer esto y no comprometer el significado de los contrafácticos, es hacer verdadero el condicional en nuestro mundo actual¹⁴.

Esta forma de tratar a estos enunciados es una sugerencia para una teoría epistémica que haga claro cómo estamos justificados en nuestro conocimiento modal. Podríamos pensar, por ejemplo, que hacer verdadero el enunciado es analizar la información que hay disponible acerca de caídas a esa altura y contar el porcentaje de personas que mueren. En este sentido, cada uno de los eventos contaría como un mundo posible: en algunos se muere quien se tira, quizás en otros no. La relación de acceso se da en términos de ser el mismo tipo de situación. Roca-Royes en (2017) presenta un marco teórico que nos permite hacer esta generalización. Esta teoría epistémica la llama empirismo modal por hacer que nuestro conocimiento modal dependa de cosas que pasan en el mundo actual. La sugerencia de Roca-Royes es justificar las modalidades *de re* en términos de similitud. Ella sugiere que nuestro conocimiento de posibilidades es anterior a cualquier otro conocimiento modal. Sabemos, por ejemplo, que la mesa se **puede** romper porque en este mismo mundo hay mesas lo suficientemente similares que se han roto. Esta relación de similitud nos informa que es lo que puede pasar con otras mesas similares porque sabemos que actualidad implica posibilidad.

La noción de similitud involucrada en este análisis de los enunciados modales nos ofrece una solución “empírica” al problema de los enunciados modales. Roca-Royes menciona además que nuestro conocimiento modal puede estar informado no sólo por una mesa particular que se rompió, sino por un conjunto grande de mesas lo suficientemente similares que se han roto. Esto suma a la intuición inicial de que el revisar los casos en los que hay gente que se ha caído del séptimo piso y muere, es información relevante para saber que es posible caer de un séptimo piso y morir. En algunos casos, analizar el contrafáctico consistirá en diseñar un experimento en el cual podamos intervenir para modificar los valores. En ambos casos es clara cuál es la relación de acceso y de cercanía.

Debido a la definición de intervención, el hecho de ser capaces de replicar el experimento, nos da un modelo distinto en el que fijamos las condiciones y sólo modificamos la variable que

¹⁴Esta es una sugerencia que presentan Anjum y Mumford en (Mumford y Lill Anjum, 2013).

nos interesa explicar. La teoría de Lewis, a diferencia de la de Kripke, no requiere identidad estricta a través de mundo, los dobles lewisianos son objetos lo suficientemente parecidos sin ser idénticos a los del mundo actual. Entonces replicar un experimento en donde intervinimos la misma variable, y que dicho experimento no sea numéricamente idéntico podría ser una semántica alternativa para los contrafácticos. No dependemos de mundos posibles sino de situaciones posibles.

Por supuesto esta solución empírica de nuestro conocimiento modal no está libre de problemas. Esta teoría padece de los problemas que generalmente asociamos a nuestro conocimiento inductivo, esto es, que o bien no está justificado, o bien hay que asumir algún postulado (la regularidad de la naturaleza) para poder justificarlo. Volviendo al antiguo problema de Hume. Por otro lado está el problema de definir exactamente qué queremos decir con “similitud” entre diferentes objetos ya que varios de ellos instancian diferentes propiedades y no es claro cuál de ellas hay que elegir: ¿es relevante que sean mesas de la misma tienda?, ¿que sean del mismo material?, ¿que sean el mismo modelo de mesa?, etc.

Es importante aclarar la epistemología de los contrafácticos porque es central para la teoría de la explicación que presenta Woodward. La explicación consiste en decir qué causa que un evento ocurra. Pensar en una manera de intervenir en la variable que sospechamos es la culpable, y preguntarnos qué pasaría en este caso; y si en este caso en el que modificamos la variable que sospechamos el la culpable y ocurre el evento que estamos estudiando, entonces tenemos una explicación causal de dicho evento.

Sin embargo, queda pendiente generalizar el punto para las explicaciones causales de fenómenos singulares, porque fenómenos irrepetibles como la transición de la vida a la tierra, el big bang o la revolución mexicana, no son experimentalmente repetibles y la evidencia disponible para derivar conclusiones (por ejemplo, viendo qué paso en otras revoluciones del mundo), es vaga. En estos casos se padece el problema de exactamente qué propiedad tienen que instanciar para decir que son caso similares. No es lo mismo que hacer un diseño experimental que podamos repetir en condiciones parecidas. Perdemos expresividad, pero ganamos una epistemología más clara que además encaja con cómo se trabaja en ciencias.

Por último hay que decir algo sobre las leyes. En el modelo de Woodward, las leyes no son necesarias para explicar. En (Woodward, 2000) Woodward menciona que la explicación

tiene que estar estrechamente relacionada al cambio. Hay leyes que no están relacionadas al cambio, por tanto las leyes no son explicativas. Más aún, algunas generalizaciones explicativas (relacionadas al cambio) no son leyes. Por tanto, las leyes no son suficientes ni necesarias para la explicación. Sin embargo, en una publicación posterior (2003) Woodward nos dice que hay sin duda algunas leyes que explican y que ND y su modelo intervencionista pueden convivir: una ley es sólo el caso límite de una generalización.

Hasta este momento hemos expuesto que el modelo de Woodward es una alternativa para la explicación en ciencias especiales como la biología, en particular porque no echa mano de leyes, además de que al ser tan estricto con los criterios de qué cuenta como una intervención, resuelve el problema de la causa común que tiene el modelo de Relevancia estadística. Pero aún tenemos un problema con respecto a dejar que las causas próximas sean parte de las explicaciones en biología evolutiva. En su artículo a Mayr (1998) le preocupaba que hubiera una distinción entre las causas próximas y últimas porque esta distinción hace que la biología evolutiva sea especial, en el sentido de que es diferente a otras ciencias como la física en dónde hay fenómenos determinados. Todo esto sin tener que echar mano de alguna entelequia. A Mayr le interesa hacer esta distinción debido a que parece sugerir que los conjuntos de causas próximas sí son deterministas, mientras que la biología evolutiva no lo es.

En el siguiente capítulo nos proponemos a armar un caso en contra de que la causalidad implica determinismo. El determinismo se define como la tesis que afirma que podemos predecir exactamente que sucederá en un tiempo t_n a partir de t_{n-1} en conjunción con las leyes de la naturaleza. Nosotros nos proponemos a ir en contra de que las leyes indican conexiones necesarias en el mundo, debilitando así la tesis determinista.

Capítulo 2

Determinismo y leyes naturales

En el capítulo anterior exploramos distintos análisis de la explicación científica. Todo lo anterior está relacionado con los aspectos epistémicos de la ciencia. Sin embargo, se puede argumentar que tanto causa como efecto son conceptos intrínsecamente deterministas. Pensemos, por ejemplo en el debate acerca del determinismo. Los deterministas nos dicen que el conjunto de variables en t_n , en conjunción con las leyes de la naturaleza, causa a t_{n+1} . Si causalidad implica determinismo, entonces debemos excluir a las relaciones causales de nuestras explicaciones en biología dada la asimetría entre explicar y predecir. Es en este segundo capítulo nos ocuparemos de dichos aspectos metafísicos de la causalidad y cómo esto está relacionado con las leyes de la naturaleza.

Suponemos que es correcto lo que dice Scriven y que que explicar y predecir son asimétricos, al menos en lo que concierne a la biología evolutiva. Puede argumentarse, con razón, que esta asimetría en conjunción con el uso de probabilidades en la biología evolutiva es un síntoma de nuestras limitaciones cognitivas. Al final podría ser que este proceso sea determinista, pero carecemos del conocimiento necesario para poder determinarlo. Esta es la vía que siguen Graves y compañía (1999). En su artículo ellas mencionan que puede que al nivel fundamental los procesos sean indeterministas. Pero al nivel macro la física se acerca asintóticamente al determinismo.

Debido a que no hay, en la física una “percolación” de los estados indeterministas micro que haga que los estados macro sean a su vez indeterministas y que el nivel macro se acerca asintóticamente al determinismo y dado que los procesos biológicos pertenecen al nivel macro,

entonces en biología también nos acercamos asintóticamente al determinismo. Por lo que el estatus indeterminista de la teoría es un reflejo de nuestras limitadas capacidades cognitivas.

Más aún, Graves y compañía nos dicen que hay ventajas metodológicas en aceptar que el nivel biológico es determinista: motiva a los investigadores a buscar por variables ocultas que permitan explicar los fenómenos biológicos para los que aún no tenemos información completa.

Su posición a favor del determinismo biológico descansa, al final, de pasar la carga de la prueba a sus contrincantes. Asumiendo que el nivel macro los estados físicos se acercan asintóticamente al determinismo. Nosotros en este capítulo queremos argumentar que esta aproximación es sólo aparente porque el determinismo que ostentan algunas de las leyes no es de carácter metafísico sino lógico.

La causalidad y las leyes de la naturaleza son temas estrechamente relacionados en filosofía de la ciencia. Nosotros dijimos en el capítulo anterior que las leyes no son necesarias para la explicación. Sin embargo, aquellas que toman una postura realista de las leyes podría argumentar que las leyes describen conexiones necesarias y que con la teoría de Woodward simplemente estamos dejando de lado este aspecto.

Hay al menos tres grandes posturas en el debate acerca de las leyes de la naturaleza (Borge y Cani, 2019). Por un lado, están los humeanos sobre las leyes: quienes afirman que las leyes no describen conexiones necesarias en el mundo. Ellos afirman la tesis de que las leyes no gobiernan cómo el mundo se comportan sino que las leyes sobrevienen de la regularidad de los hechos. Por otro lado los necesitaristas afirman que las leyes de la naturaleza son descripciones de cómo el mundo de hecho se comporta, por lo que la modalidad de las leyes refleja una propiedad del mundo: hay conexiones necesarias en el mundo. Por último están los disposicionalistas. Los disposicionalistas ponen énfasis en las propiedades que tienen los objetos, para ellos, lo que hacen las leyes de la naturaleza es relacionar propiedades. Los disposicionalistas afirman que las propiedades no son inertes, sino modalmente activas.

Dependiendo de lo que tomemos como primitivo, habrá repercusiones en otros debates sobre metafísica de la ciencia. Si tomamos *necesidad* como primitivo y las leyes se encargan de describir relaciones necesarias entre objetos, entonces podemos decir que las leyes describen relaciones causales. Estas relaciones serán a su vez necesarias tal como son descritas por

las leyes naturales. Más aún, un antihumano sobre las leyes puede argumentar a favor del determinismo causal. Debido a que ya ofrecimos razones para tomar al modelo de Woodward como una buena teoría de la explicación, ahora queremos posicionarnos sobre el aspecto metafísico de las leyes de la naturaleza que defenderemos a la par del modelo de Woodward.

Esto es importante porque regularmente se toma como evidencia a favor de las tesis anti-humeanas el hecho de que las leyes son enunciados que describen las conexiones necesarias del mundo. En esta postura las leyes no son sólo descripciones, sino que gobiernan cómo el mundo se comporta (Bhogal, 2020). Otra postura defenderá necesidad al nivel de las propiedades, estos son los disposicionalistas. La alternativa humeana, contraria a estas dos posturas, es el famoso mosaico del que habla Lewis¹. Los humeanos, como Lewis, argumentan que hay una relación de superveniencia entre el mosaico humeano y las leyes de la naturaleza.

Podemos llevar a cabo muchas de nuestras tareas epistémicas sin tener que recurrir a leyes. Es decir que en lo siguiente nos dedicaremos a reflexionar sobre la parte metafísica de las leyes, no sobre su carácter en tanto dispositivos útiles para explicar. Hay que tener en cuenta que regularmente se dice que las leyes capturan conexiones causales entre fenómenos. Por lo que lo que digamos aquí sobre las leyes, tiene consecuencias en nuestras teorías de la causalidad.

Nuestro argumento es modesto. Procedemos de la siguiente manera: primero exponemos que el nacimiento del término “ley de la naturaleza” indica que los necessitaristas deben secularizar el término. Luego proponemos los criterios de Nagel como una buena manera de secularizar el término. Después exponemos dos casos que intuitivamente diríamos que son leyes de la naturaleza. Argumentamos que la necesidad que expresan estas leyes no es algo que esté en el mundo, sino que depende de los modelos en los que se inscriben. Esto es que son necesarias sólo dentro del modelo descrito, si cambiamos alguna parte del modelo, entonces cambia la ley en consecuencia. Dicho de otra manera, la necesidad está acotada a nuestros compromisos con el modelo. El argumento concluye en que si bien pueden ser necesarias dentro de un modelo, las leyes no rastrean relaciones necesarias en el mundo natural. Lo que llamamos “leyes de la naturaleza” son aplicaciones de un formalismo particular y es de este

¹El mosaico humeano se refiere a la configuración espacio-temporal de eventos concretos: un evento sucede, y después otro evento sucede.

formalismo del que surge una necesidad aparente.

2.1. El nacimiento del término

El concepto de “ley de la naturaleza” ha estado presente en los debates filosóficos acerca de la metafísica de la ciencia, la epistemología de la ciencia y los objetivos de la ciencia. Nos interesa, por un lado, una caracterización de qué **son** las leyes; por otro lado cómo nos sirven para explicar y cómo obtenemos evidencia de ellas (tanto su papel en la explicación como los métodos de obtención de evidencia son debates marcadamente epistémicos); aunado a esto, también se suele afirmar que el objetivo de la ciencia es buscar las leyes de la naturaleza.

Pasando al uso del término, el término ley de la naturaleza comenzó a ser utilizado a principios del siglo XVII. En su origen el término estuvo ligado a la teología y a la jurisprudencia (Giere, 2006, 1999). Evidencia de esta relación con la jurisprudencia la encontramos en la entrada de leyes de la naturaleza en la enciclopedia de d’Alambert y Diderot (d’Argis, 2002). Más aún, en la entrada se menciona que primero se llegó a pensar que las leyes naturales son aquellas impuestas por Dios para la buena conducta de los seres humanos. Si se actúa de acuerdo a los deseos de Dios, entonces las acciones son buenas. Además, Dios dota con conocimiento a los seres humanos. Los seres humanos al estar dotados de conocimiento, somos capaces de conocer esas leyes al examinar la naturaleza. Esto nos da evidencia del origen del término y su uso: en el siglo XVII las leyes de la naturaleza son las leyes de Dios, y en esto recae la afirmación de que sean necesarias.

Si el término de ley de la naturaleza está ligado a la teología, los anti-humeanos tendrían algo que decir al respecto de esto: dudamos que alguna anti-humana actual quiera aceptar que las leyes de la naturaleza son las leyes de Dios. Hay al menos dos soluciones que se nos ocurren. La primera es aceptar que ley de la naturaleza es de hecho un término teológico, o bien decir que, si bien el origen de las leyes es iluminador, no captura el significado de “ley de la naturaleza” que nos interesa ahora. Después de todo, los términos cambian y no se está utilizando el término “leyes de la naturaleza” en el sentido que lo entendemos actualmente.

En particular, nosotros estaríamos de acuerdo con esta última línea de argumentación. El hecho de que el origen del término esté cargado de teología (y, por tanto, desearíamos excluirlo

de la investigación científica actual), no implica que sea así necesariamente. Es decir, se puede secularizar el término. Una manera de descargar a la teología del término es adoptando como alternativa las características que da Nagel: i) debe ser un universal irrestricto, es decir, que funciona en todo momento para una cantidad potencialmente infinita de objetos; ii) en su formulación sólo debe haber vocabulario puramente cualitativo, esto con el fin de evitar que se haga referencia a objetos en un espacio y tiempo determinados y iii) debe haber algún tipo de relación tal que el antecedente haga necesario el consecuente. Si esto es correcto, entonces lo que resta es ver si existen enunciados que funcionen a la manera descrita por Nagel. Dedicaremos la siguiente sección a ello.

2.2. Modelos y necesidad

Comencemos tomando un ejemplo de la biología. En Losos *et al.*(2004) se quiere investigar qué sucede con el proceso evolutivo de la especie *Anolis sagrei* cuando se introduce un depredador, en específico el *Leiocephalus carinatus*. *A. sagrei* es un tipo de lagartija, mientras que *L. carinatus* es un tipo de lagarto, ambos habitantes de las islas de Cuba.

Sucede que al introducir a este depredador, que habita principalmente en el suelo, el *A. sagrei* tiende a habitar lugares más altos y sus extremidades se desarrollan de manera tal que le permitan escalar. Esto responde a la pregunta ¿por qué *A. sagrei*, que suele ser una lagartija que habita en los suelos, comenzó a desarrollar extremidades que le permitan escalar? Cuya respuesta es “porque se introdujo un depredador que principalmente habita en el suelo”.

La anterior es una explicación según el modelo de Woodward: introducir a un depredador, genera un cambio en la presa. Además, la práctica científica acepta esta explicación como tal. A pesar de ello, no hay leyes en su formulación y no parece plausible generar una ley a partir de este caso particular. Sin embargo, aún queda el hecho de que podrían ser suficientes para la explicación y, por tanto, favorecer a la postura anti-humana. El argumento de esta sección descansa en que las leyes no capturan conexiones necesarias como lo requiere el anti-humano.

Para hacer una distinción entre leyes y generalizaciones accidentales, supongamos por

ejemplo que tengo una leve obsesión con las monedas de \$1 y que en mi bolsillo siempre llevo al menos 5 monedas de \$1. En este caso, el enunciado “todas las monedas del bolsillo de Abraham son de \$1” sería verdadero, pero no lo consideramos una ley. Un caso que parece tener las características de ser una ley es el siguiente: cuando afirmamos que todos los trozos de cobre se dilatan al calentarse. Con esta afirmación, queremos decir algo más que “no hay un pedazo de cobre que no se dilate al calentarse”. Se quiere capturar cierto tipo de conexión entre el que algo sea de cobre y que se dilate al calentarse. Esta conexión, al menos en la literatura clásica, es necesidad: el hecho de que el material sea cobre, hace necesario que se dilate al calentarse. Este enunciado es distinto a mi ejemplo de las monedas. Los anti-humeanos dirán que el enunciado sobre el cobre es una ley de la naturaleza, mientras que el enunciado sobre las monedas no lo es.

La postura de Nagel sobre las leyes tiene como componente una relación en la que el antecedente hace necesario al consecuente. Es por ello que Nagel dice que lo que hace falta en casos como el del cobre es hacer una demostración de la necesidad de dicha conexión. No es claro que en los casos de las monedas y el de *A. sagrei* tengamos una ley. El caso del cobre parece ser un mejor candidato de ley de la naturaleza. Sin embargo, esta relación de necesidad nos lleva a un problema. Según Nagel, las leyes son necesarias, pero además tenemos la intuición de que las disciplinas científicas trabajan empíricamente². Nagel mismo menciona que no sería deseable que la ciencia proceda en términos de prueba necesaria a la manera en como lo hace la geometría (Nagel, 2006, cfr., p. 53) porque se perdería el componente empírico de la ciencia. Esto significa, para Nagel, que: o bien las leyes son necesarias y perdemos el componente empírico de la ciencia, o bien las leyes no son más que contingentes y mantenemos el compromiso empírico de la ciencia.

Suponiendo que el enfoque de Nagel es una buena manera de secularizar el término “ley de la naturaleza”, queremos decir que el dilema que Nagel presenta es un falso dilema. Hay casos históricos que intuitivamente diríamos que son leyes de la naturaleza, que proceden a la manera geométrica y que además no pierden el componente empírico. Nos centraremos en

²Por supuesto que este argumento descansa sobre la suposición de que necesidad y aprioricidad son equivalentes. Esto es algo que actualmente no asumimos gracias a que Kripke en sus conferencias ofreció argumentos a favor de que hay necesidad *a posteriori*. Sin embargo, nos parece relevante solucionar este dilema que presenta Nagel ya que es la noción de ley con la que estamos trabajando.

mostrar dos casos que harán que este dilema desaparezca. Esto a su vez presenta un caso contra quien defienda una tesis anti-humana de las leyes, ya que diremos que la necesidad involucrada es parte de la prueba y no algo que esté en la naturaleza.

No es grave el hecho de que se trabaje con generalizaciones contingentes. En lo expuesto en el capítulo anterior argumentamos en favor de que un buen modelo de explicación es el que nos presenta Woodward. Este modelo no necesita leyes a la manera tradicional, es decir, enunciados universales verdaderos y con contenido empírico. Sin embargo, aún resta atacar la fuerte intuición de que las leyes son necesarias. Creemos que esta aparente necesidad no es algo propio de los objetos que están relacionados en las leyes, sino del método con el cual las construimos. Creemos que la aparente necesidad se debe justo a la construcción geométrica de algunas de las leyes: en especial las de Arquímedes y Galileo. Pero esta necesidad en las leyes no es el tipo de necesidad que necesita la anti-humana para sostener su postura. Recordemos que la anti-humana pone el carácter modal de las leyes en las relaciones entre objetos.

2.3. La necesidad en las leyes

Empecemos por explorar la afirmación de Nagel de que el proceder científico perdería su parte empírica si procediera como lo hace la geometría. Cuando decimos que algo procede a la manera geométrica, por lo general nos referimos al método que utiliza Euclides en los *Elementos* (Euclid, 2008). Cuando decimos que algo procede a la manera geométrica, estamos sosteniendo la tesis de que cualquier consecuencia del sistema es derivable de las definiciones y las nociones comunes a las que se refiere Euclides. Todos los libros que conforman los *Elementos* tienen la misma estructura. En particular, nos interesa el libro 5 que es donde Euclides expone la teoría de proporciones.

Detengámonos por un momento y pensemos a la teoría de proporciones como un modelo formal. Es decir que cuando interpretamos a la teoría³, mantenemos las relaciones sintácticas entre los enunciados. Euclides comienza el libro 5 dándonos un conjunto de definiciones y es

³El proceso en el que sustituimos las variables de las que habla Euclides por constantes. En el caso de Galileo las constantes son distancia y tiempo, en el caso de Arquímedes las constantes son pesos y distancias. Este proceso es una interpretación de la teoría

a partir de estas definiciones que extrae una serie de teoremas.

La teoría de proporciones fue utilizada por Arquímedes y tiempo después por Galileo para derivar teoremas para su teoría “sustituyendo” los objetos de los cuales habla la teoría de proporciones con otro tipo de objetos. Nuestra apuesta es que la teoría de proporciones es un modelo formal al que se puede interpretar con diferentes objetos y que al ser expresadas en la teoría formal, la necesidad surge de su calidad de teoremas⁴.

Tarski definió en términos formales qué es un modelo y cómo esto nos ayuda a aclarar el concepto de consecuencia lógica (Tarski, 1956). Tarski se preocupa por al menos tratar de recuperar dos nociones importantes del concepto de consecuencia lógica: necesidad y forma (Torrente, 2000). Tarski busca que todos los esquemas con la misma forma lleven a las mismas consecuencias. Pero además, hay un sentido importante en que esto es así necesariamente: no es posible que las premisas sean verdaderas, tenga una forma válida y que la conclusión sea falsa. Por lo que hay un componente modal en las derivaciones dentro de modelos formales.

Mencionamos esto de Tarski porque hay una analogía con la teoría de proporciones. Sabemos que de las definiciones que Euclides postula, se siguen los teoremas que deriva en su libro 5. Los modelos de esta teoría son cualquier teoría que pueda ser expresada en términos de la teoría de proporciones. Si esto es verdad, entonces no es un misterio de dónde proviene la intuición de que las leyes son necesarias, son necesarias porque dependen de un aparato formal y las derivaciones son teoremas⁵. La parte empírica depende sólo de con qué constantes sustituyamos las variables. Es decir que la naturaleza *necesaria* proviene de ser derivaciones, mientras que la parte empírica proviene de hacer las sustituciones con objetos.

A continuación discutimos dos ejemplos que muestran que la necesidad proviene directamente de la teoría de proporciones. Galileo en la tercera jornada prueba 6 teoremas acerca del movimiento uniforme y demuestra que si un móvil con movimiento uniforme recorre dos

⁴Recordemos que una derivación no hace necesario al enunciado. Supongamos por ejemplo que hoy traigo puesto un sombrero. Esto implica que hay algo que trae un sombrero. Sin embargo no implica que necesariamente algo trae un sombrero. Lo que es necesario es el esquema argumental, es decir si asumimos la verdad del antecedente, entonces se sigue el consecuente. Esto es lo que queremos decir en analogía con el caso de la teoría de proporciones euclideana.

⁵Este argumento, sin embargo, asume que los axiomas de los que derivamos los teoremas no dependen de algún tipo de necesidad metafísica. Si esto fuera así, entonces esta propiedad se heredaría a los teoremas y volvemos a nuestro predicamento inicial: que hay determinismo. Por supuesto que aquí el argumento funciona sólo si negamos que hay necesidad metafísica involucrada en los axiomas. Esto relega el problema a hablar sobre el estatus de los axiomas. Como ese no es el objetivo del trabajo referimos al lector a (Linnebo, 2017).

espacios, esos espacios serán entre sí como las velocidades (Galileo, 2003, p. 215). Todo esto expresado en términos de la teoría de proporciones.

Galileo comienza la exposición de la tercera jornada de los *Diálogos Acerca de Dos Nuevas Ciencias* dando una definición y cuatro axiomas del movimiento uniforme. Galileo define al *movimiento uniforme* como aquel movimiento que en los mismos periodos de tiempo recorre el mismo espacio. Es decir que si tenemos una línea dividida en segmentos iguales, durante cada uno de estos segmentos por los que pasa un móvil, el tiempo transcurrido es igual para todos los segmentos.

A partir de esta definición, Galileo nos presenta una serie de *axiomas* que dependen de la anterior definición. En estos axiomas, se dan una relación de desigualdad entre las magnitudes involucradas en el movimiento uniforme. El primer axioma señala que si dos objetos, digamos A y B tienen el mismo movimiento uniforme, entonces si A se desplaza durante más tiempo, la distancia recorrida también será mayor a la de B . Nos dice también que para el mismo movimiento uniforme, si el tiempo transcurrido es mayor, también lo será la distancia. Después de estos axiomas, Galileo se dispone a demostrar una serie de teoremas.

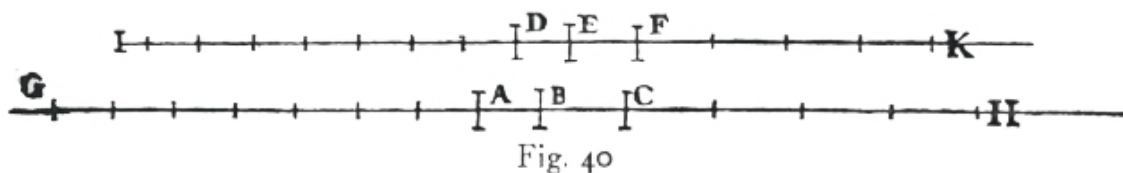
Supongamos que los axiomas y las definiciones ofrecidas por Galileo son verdades analíticas y que, por tanto, son necesarios. Por el momento dejamos de lado la cuestión de si esta necesidad se debe a que en realidad son analíticos, o bien hay una cuestión empírica involucrada. Si los axiomas y definiciones son necesarios, se sigue necesariamente que las distancias son proporcionales a los tiempos, como muestra el siguiente ejemplo.

En el primer teorema Galileo demuestra que si un móvil con movimiento uniforme recorre dos distancias, esas distancias serán entre sí como los tiempos (Galileo, 2003, p. 215). Galileo nos pide que consideremos que un móvil recorre con velocidad constante dos distancias. Se nos pide que consideremos una distancia AB y una distancia BC . Consideremos además los tiempos correspondientes para atravesar ambas distancias DE y EF respectivamente. Extendamos los segmentos BA y BC , de manera que AG y CH sean múltiplos de AB y BC respectivamente. Extendamos a su vez los tiempos DE y EF hacia FK y DI , donde FK y DI son múltiplos iguales de AG y CH respectivamente.

DE es el tiempo que tarda un móvil en recorrer la distancia AB y debido a que el movimiento es uniforme, entonces cualquier equimúltiplo arbitrario de AB , en este caso AG ,

DI será el tiempo total que tarda en recorrer AG . Entonces si $AG > BH$, $DI > FK$; si $AG = BH$, $DI = FK$; si $AG < BH$, $DI < FK$. Por tanto, según la definición cinco⁶ del libro V de Euclides (Euclides, 1956) $AB : BC$ tiene la misma razón que $DE : EF$ y son proporcionales dada la definición seis del mismo libro, que es lo que se quería probar.

Esto quiere decir que si son necesarios los axiomas y de los axiomas se sigue que los tiempos son proporcionales a las distancias, entonces este último resultado es a su vez, necesario. Pensemos en otro ejemplo.



El segundo ejemplo es lo que hace Arquímedes en *Sobre el equilibrio de los cuerpos planos* (Archimedes, 1897). Arquímedes utiliza la teoría de proporciones para probar una serie de teoremas que relacionan a los pesos y a las distancias. El libro comienza con una serie de postulados. Entre los postulados de Arquímedes encontramos que: pesos iguales a distancias iguales estarán en equilibrio. Si dos objetos están en equilibrio y se agrega más peso a uno de los lados, entonces se inclinará hacia el cual se le agregó el peso. Si dos pesos están en equilibrio y quitamos peso de uno de los lados, entonces se inclinará hacia el lado donde el peso se mantuvo. El primer teorema nos dice que si hay dos pesos a distancias iguales, entonces los pesos son iguales. Si hay dos pesos diferentes a distancias iguales, entonces se inclinará hacia el de mayor peso. Prueba: quítese del peso mayor la diferencia entre ambos, entonces se equilibrarán y, si volvemos a poner el peso que hemos quitado, se balanceara hacia el que se agregó el peso.

Si estamos ante el mismo fenómeno y una vez aceptamos las definiciones y axiomas tanto de Galileo como de Arquímedes, entonces aceptamos los resultados. En analogía con lo expuesto por Tarski hay un carácter de necesidad involucrado al ser derivaciones que dependen de la teoría que Euclides desarrolla en el libro V de los elementos. Si estamos

⁶“Decimos que las magnitudes tienen la misma razón, la primera a la segunda y la tercera a la cuarta, cuando múltiplos iguales de la primera y la tercera, en conjunto: o bien exceden, o bien son iguales, o bien son menores que múltiplos iguales de segunda y la cuarta”

jugando en el mismo terreno y aceptamos⁷ los axiomas y definiciones que cada uno de ellos propone, tendríamos que decir o bien que alguna de las premisas es falsa, o bien que la derivación es incorrecta. Pero la prueba de Galileo no tiene pasos incorrectos. La otra opción nos lleva directo a un problema en filosofía de las matemáticas acerca de lo que constituye un buen axioma, que es un problema que requiere un trato más extenso del que podemos ofrecer aquí. Lo único que queremos poner de relieve es que la necesidad de las leyes (al menos los ejemplos mostrados aquí) proviene de que son derivaciones de una teoría formal, a la que le hicimos un modelo, por tanto, la necesidad no es algo intrínseco al mundo natural.

Nagel afirma que requerir que las ciencias procedieran a la manera de pruebas geométricas, implicaba que se perdiera el componente empírico de la ciencia (que es una fuerte intuición acerca del proceder de la ciencia). Argumentamos que los ejemplos de Galileo y de Arquímedes muestran que esta necesidad no es propia del mundo natural, sino de una teoría formal. Siendo los casos de Galileo y Arquímedes instancias que toman la teoría formal y sustituyen variables por constantes para hacer un modelo. Es en la parte interpretativa de la teoría que mantenemos su carácter empírico y es en la parte de la derivación que mantenemos su carácter de necesidad. Esto quiere decir que las leyes de la naturaleza no son necesarias porque haya algo en la naturaleza que implique conexiones necesarias, por lo que la tesis anti-humeana carece de evidencia para afirmar que la causalidad implica una conexión necesaria.

Esto nos lleva directamente a afirmar el otro disyunto del dilema de Nagel, esto es, el humeanismo acerca de las leyes, y al negar que haya conexión necesaria. Este punto de acción no es tan grave porque, como mencionamos en el capítulo anterior, no necesitamos tener generalizaciones universales para poder explicar. Según la teoría de Woodward es suficiente con tener generalizaciones que sean invariantes.

⁷Aquí hay una relación entre aceptar como verdaderos los axiomas. Esto se debe a que es sólo cuando aceptamos que son verdaderos que podemos hacer la derivación del consecuente. No nos meteremos en el tema de los axiomas y sus condiciones de evaluación. Lo que queremos poner de relieve es que es cuando asumimos la verdad de los axiomas que podemos derivar a los teoremas que prueban tanto Galileo como Arquímedes.

2.4. El estatus de las leyes de la naturaleza

Afirmar que las “leyes de la naturaleza” no son necesarias no es tan controversial como lo parece a primera vista. Esto no es terreno completamente inexplorado. Por ejemplo, Cartwright (1983) argumenta que las leyes de la física son literalmente falsas y que sólo se cumplen en casos muy concretos en los que se dan las condiciones adecuadas para que la ley ocurra tal como se describe. Fuera de estos casos, difícilmente veremos a la naturaleza comportarse como describen las leyes de la naturaleza. Esta autora asegura que es esto lo que le da la fuerza explicativa a la teoría. Cartwright asegura que la ley de la gravitación universal es falsa ya que siempre hay otras fuerzas actuando y que es sólo cuando se agrega la cláusula *ceteris paribus* que dicha ley es verdadera. Pero al hacer que la ley sea verdadera perdemos poder explicativo.

Elgin presenta un punto semejante al de Cartwright. Elgin (2004) señala que estamos en un dilema cuando hablamos de verdad en ciencia: o bien hacemos más laxos nuestros compromisos con la verdad, o bien aceptamos que la ciencia es deshonesto y epistémicamente deficiente. Elgin nos presenta varios casos en los que los científicos aceptan “falsedades” porque tienen virtudes cognitivas, en contraste con tener una descripción literalmente verdadera. En algunas ocasiones nos interesa interpretar datos o dar cuenta de fenómenos aún cuando no sea una descripción literalmente verdadera. Una manera de clarificar esto es el caso que nos presenta la autora sobre la ley de Snell. La ley de Snell nos dice que el ángulo de refracción de la luz, cuando un rayo de luz pasa de un medio a otro, es el ángulo de incidencia multiplicado por el índice de refracción del primer medio y esto es igual al ángulo de refracción multiplicado por el índice de refracción del segundo medio. Elgin señala que esta ley es útil, pero es falsa porque no se cumple para todos los casos, sino sólo para aquellos casos en que los medios de propagación son isotrópicos.

En este caso Elgin nos dice que si bien la ley es falsa, la utilizamos porque tiene un valor epistémico que perderíamos si buscáramos que la ley fuera verdadera (por ejemplo, acotando el dominio de discurso sólo al caso de los medios isotrópicos), estas virtudes dependen de su falsedad y de qué tanto se desvía de una descripción literalmente verdadera de la realidad. Al darnos cuenta de dicha desviación, aprendemos algo sobre los medios por los que atraviesa

la luz.

Ambas posturas tienen un fuerte compromiso con el hecho de que las leyes de la naturaleza son literalmente falsas. Creo que podemos hacer sentido de esta falsedad con el marco desarrollado en este capítulo. En primer lugar, la conclusión es que las leyes son necesarias en tanto que son derivaciones. Hay otro tipo de generalizaciones que no son necesarias, como en el ejemplo de *Anolis sagrei*. Debido a que las leyes no son necesarias en virtud de reflejar conexiones necesarias del mundo natural, entonces es claro que las leyes pueden fallar, por ejemplo, cuando desechamos alguno de los axiomas o definiciones.

En este capítulo tratamos de defender que hay indeterminismo causal, esto con el objetivo de proponer al modelo de explicación causal de Woodward como un modelo apto para trabajar en biología evolutiva. Este modelo no necesita de leyes en su formulación, además con lo mencionado en este capítulo hablar de causalidad no implica determinismo, lo que deja libre la vía para poder hablar de causalidad en biología evolutiva.

Capítulo 3

El problema de la adecuación

En este capítulo nos dedicamos a explicar cuál es el problema clásico de la adecuación. Nos proponemos presentar tres soluciones al problema clásico de la adecuación, diremos por qué algunas de ellas tienen problemas, para luego argumentar que la noción de adecuación ecológica es la más conveniente. Posteriormente elaboraremos una versión mejorada de la noción de adecuación ecológica utilizando el modelo manipulabilista de Woodward. Por último, debido a que nuestra propuesta apela a causas próximas en la explicación de fenómenos evolutivos, queremos hacer una crítica a la distinción trazada por Mayr entre causas próximas y causas últimas.

3.1. Problema clásico de la adecuación

La adecuación es un concepto central en la teoría de la evolución por selección natural. Cuando explicamos un fenómeno de evolución por selección natural, apelamos a que algunos de los organismos de una población tienen características que les ofrecen una ventaja con respecto a otros individuos de la misma población. Esta característica que les ofrece ventaja tiene que ser heredable para que pueda ocurrir selección natural. Es entonces cuando decimos que los individuos con esta característica son más adecuados en su medio ambiente.

A pesar de ser un concepto central en la teoría de la evolución por selección natural, hay al menos una cuestión filosófica importante sobre el concepto de adecuación. Esta cuestión es el problema de la tautología que está vinculado a la noción clásica de adecuación. El

problema reside en que si se formula el principio de selección natural como la supervivencia y reproducción del más adecuado, mientras que adecuación está definido en términos de dejar más descendencia o sobrevivencia, entonces obtenemos que la selección natural equivaldría a la supervivencia y reproducción de los organismos que deja más descendencia o sobreviven mejor. Dicho en palabras de Diane Paul “[s]i adecuación está definido en términos de éxito de sobrevivencia y éxito reproductivo, entonces el enunciado de que sobrevive el más apto, está aparentemente vacío de contenido” ¹ (1992)

Para solucionar este problema Kenneth Waters (1986), nos dice que hay que mostrar como es que podemos definir a la adecuación de manera tal que sea independiente a la medida de descendencia que deja un organismo. Creemos que podemos hacer esto ofreciendo una definición en términos causales de la adecuación, que además apoya a una noción ecológica. ¿Por qué es importante desarrollar un concepto de adecuación que no sea tautológico? Porque el concepto de adecuación es central a la teoría de la evolución por selección natural. Si el concepto se define de la manera clásica entonces la selección natural no se puede comprobar empíricamente. Nosotros defenderemos que la selección natural sí es empírica y que, por tanto, no es tautológica.

Una de las soluciones para este problema es tomar a la adecuación como un primitivo de la teoría y de esta manera salvarnos del problema de la tautología. Esta solución haría que adecuación no estuviera definida en la teoría y que desaparezca el problema de la tautología. Sin embargo, queremos que el concepto nos sea de utilidad en explicaciones sobre selección natural. Un primitivo sin definir no ayuda para usar el concepto de forma que expliquemos por qué los más aptos son los que dejan más descendencia. Por tanto, necesitamos otra solución a este problema. Tres opciones famosas restan para atacar este problema. Podemos interpretar la adecuación como una propensión, como una frecuencia relativa, o bien interpretar a la adecuación como un concepto ecológico.

El concepto de adecuación como frecuencia relativa es algo que aparece en el artículo de Walsh y compañía (2002). Ellos mencionan que hay que medir la adecuación en términos frecuentistas, a saber, como la razón entre aquellos que sobreviven sobre el número total de

¹If fitness is defined as success in surviving and reproducing, the statement that the fittest survive is apparently emptied of content.

organismos, nos da una manera clara de fijar las probabilidades de que un organismo con cierta característica deje más descendencia. Sin embargo, esta solución tiene el defecto de que definimos a las frecuencias como un límite al que se tiende cuando el número de organismos es infinito. Pero las poblaciones que se estudian en biología no son infinitas. Por tanto, las frecuencias relativas no son de utilidad en este caso.

Otra opción es hacer del concepto de adecuación una propensión. Esto trata de resolver el problema anterior. En lugar de definir la adecuación como el límite de las frecuencias relativas, nos centramos en las propiedades físicas de los organismos y es a partir de las propiedades físicas que determinamos las frecuencias relativas (Mills y Beatty, 1979). Esta es la propuesta de Mills y Beatty. En particular, Mills y Beatty relativizan la adecuación a una variable ambiental y a las diferencias físicas que hay entre organismos. Por supuesto, no se pueden tomar en cuenta todas las posibles variables que hay en un medio ambiente. Es por ello que Mills y Beatty hablan en términos de un medio ambiente hipotético.

Pensemos, por ejemplo, en una analogía. Un dado con 6 lados tiene las propiedades físicas que nos permiten decir que cada cara tiene $1/6$ de probabilidad de caer en una tirada. Esta probabilidad y, dadas las propiedades físicas del dado, nos da la propensión que ostenta este aparato en particular, esto es que “a la larga” cada tirada caerá un sexto de las veces. La estrategia de Mills y Beatty consiste, entonces, en volver la adecuación una propiedad disposicional en conjunto con una variable medioambiental. Esto quiere decir que los organismos ostentan una probabilidad de dejar cierto número de descendientes de acuerdo a su configuración fisiológica y morfológica en el medioambiente en el que se desarrollan.

Hay un par de conceptos que hay que desempacar en la noción de adecuación como propensión, por un lado, las propiedades disposicionales son aquellas que sólo se expresan cuando se realiza un proceso. Por ejemplo, el azúcar es soluble en agua, sin embargo, no observamos la solubilidad en el agua a menos que de hecho pongamos el azúcar en agua. En analogía, los organismos tendrán la propensión de dejar n número de descendientes sin que de hecho se reproduzcan. Esta probabilidad estaría definida a partir de las características físicas del organismo (o tipo de organismo) en cuestión y del ambiente en el que habita. La definición de adecuación según los propensionistas es: x es más apto que y en un ambiente $E =_{df}$ x tiene una probabilidad más alta de dejar más descendencia que y . Esta solución

sugiere que es de la composición física que se desprenden las frecuencias que el frecuentista observaría cuando el límite tiende a infinito.

Esta definición nos libra de la carga tautológica que tiene la definición original de adecuación. Sin embargo, en esta definición queda por aclarar exactamente cómo medir la probabilidad de que x deje mayor descendencia que y . Es decir, cómo podríamos determinar las frecuencias relativas sólo a partir de la composición física de los organismos. En el caso del dado su composición nos indica cuál será la frecuencia, pero un organismo difícilmente se compara con un dado debido a la gran cantidad de variables que están involucradas en la naturaleza. Una opción es volver a la definición frecuentista y medir la frecuencia relativa en un número muy grande de generaciones. La ley de los grandes números nos dirá cuál será la probabilidad a “la larga” de que un organismo deje más descendencia que otro. Esto nos hace regresar al problema anterior. Esta lectura no es apta para ayudarnos a explicar, porque nos importa que podamos medir la adecuación de un organismo en generaciones finitas y no que la propensión dependa de lo que suceda “a la larga”. Si la propensión depende de lo que pasará a “la larga” y esto es potencialmente infinito, entonces no tendremos acceso epistémico a dicha propensión².

Otra opción, que es la que nosotros creemos correcta, es colapsar la definición propensionista con una caracterización ecológica de la adecuación. Al hacer esto, podríamos medir la adecuación en términos de cómo ciertas características se comportan en el medio ambiente y resuelven problemas de diseño (Rosenberg y Bouchard, 2020; Bouchard y Rosenberg, 2004). Creemos que la variable medioambiental es necesaria porque un mismo tipo de organismo puede tener diferentes medidas de adecuación dependiendo del medio ambiente en el que se encuentre. Esta noción de adecuación nos permite resolver el problema de la tautología y tiene la ventaja de que no depende de utilizar frecuencias relativas y que, por tanto, no dependa de que haya poblaciones infinitas.

Sin embargo, esta noción de adecuación está lejos de estar libre de problemas. Uno de ellos siendo que depende de una metáfora poco clara: ¿exactamente qué queremos decir

²Una segunda opción, que no discutiremos en este trabajo, es optar por una interpretación subjetiva de la probabilidad y asignar a cada organismo una medida según le parezca al biólogo evolutivo. Esto no es totalmente arbitrario, podemos argumentar que un investigador con suficiente información puede asignar una medida de probabilidad subjetiva que refleje las probabilidades de un organismo de dejar cierto número de descendientes. Para un trabajo más detallado de estas tesis, véase (Suárez, 2021).

con “resolver problemas de diseño”? Para poder evitar la tautología y defender una noción ecológica de adecuación, quisiéramos hacer una propuesta: que podemos definir causalmente la adecuación de un organismo utilizando la maquinaria que nos ofrece Woodward. Con esto queremos decir que en un ambiente controlado, podemos individuar el problema de diseño que se resuelve, al intervenir en las variables ambientales y ver si el cambio generado apunta a lo que vemos en la naturaleza.

La teoría ofrecida por Woodward, decimos nosotros, puede aclarar cuáles son los “problemas de diseño” que resuelven los organismos al poder cambiar una variable en el laboratorio y observar lo que vemos en la naturaleza. Esto lo haremos apoyándonos en el argumento que exponen Bouchard y Rosenberg (2004) donde defienden una noción ecológica de adecuación. Sin embargo, ellos defienden que para poder evaluar la adecuación hay que hacer una comparación, dos a dos, de todos los individuos de la población. Debido a que hay poblaciones no transitivas, como las descritas por Sinervo y Lively (1996), esta comparación dos a dos tiene que hacerse para todos y cada uno de los individuos de la población (Millstein, 2006). Creemos que adoptar el modelo de Woodward tiene la ventaja de no necesitar hacer una comparación dos a dos de todos los individuos en la población, al mismo tiempo que nos permite distinguir entre evolución por selección natural y evolución por deriva génica.

Antes de continuar con la defensa de un criterio ecológico de adecuación, queremos presentar el modelo de Woodward. Creemos que el modelo de Woodward es consistente con cómo se trabaja en biología evolutiva. Nos apoyamos en un par de ejemplos para decir que la metodología del modelo de explicación causal de Woodward nos ofrece un criterio de explicación aplicable a los experimentos realizados en biología evolutiva.

3.2. El modelo de explicación causal de Woodward

En la postura de Woodward, son importantes las nociones de “invarianza” e “intervención”. Estas son importantes porque a partir de ellas se define una generalización que, a pesar de no ser una ley de la naturaleza, es explicativa. Si el modelo de Woodward logra hacer lo que se propone, entonces tendremos un modelo de explicación que no apele a leyes y, por tanto, más adecuado para ciencias como la biología. Además, retomando el tema de la causalidad,

evitamos la simetría de la que pecaba el modelo de Hempel y resolvemos los problemas de correlación del modelo de Salmon. Además, es claro que muchas de nuestras explicaciones exitosas (si bien no todas) son causales.

Grosso modo Woodward nos dice que explicar tiene que ver con hacer explícitas las relaciones causales entre dos variables: sean “*A*” y “*B*” dos eventos cualesquiera, decimos que el evento *A* explica al evento *B* cuando hay una relación causal que liga la ocurrencia de *A* con la ocurrencia de *B*. Esto es sólo cuando al intervenir en *A*, el valor de *B* cambia en consecuencia. El hecho de que haya una intervención no implica que tenga que haber un agente. Intervención está definido de manera que fenómenos naturales en los que sucede un evento *A* y esto a su vez modifica el valor de otro evento *B* cuenta como una intervención en el modelo de Woodward.

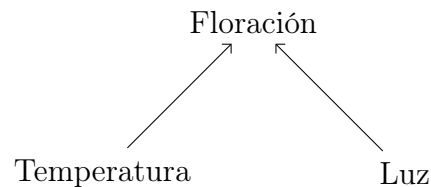
Para asegurar que esta relación es causal, este cambio en *B* debe estar producido sólo mediante los cambios en *A* y no deberíamos poder explicar el cambio en *B* por intervención directa. Esto quiere decir que si, por ejemplo, al rastrear causas de *B*, estas deben estar relacionadas con *A*, de manera que no modifiquemos directamente a *B*. De manera más esquemática la noción de explicación de Woodward es definir una relación *R* tal que $R < A, B >$ esté constreñida por las siguientes características: i) cambios en el valor de *B* deben estar directamente relacionados con cambios en el valor de *A* de manera que sin cambios en *A*, no habría habido cambios en *B*³; ii) mediante *R* debemos ser capaces de hacer una “generalización” tal que dicha generalización nos describe el comportamiento del sistema en los casos donde la relación es invariante (que son casos en los que bajo ciertas restricciones si ocurre *A*, entonces ocurre *B*)⁴; iii) *A* hace un cambio en *B* y el cambio en *B* no debe darse por ninguna otra ruta; iv) no hay causas diferentes a *A* que cambien a *B* (ya sea una causa común o alguna otra razón) (Woodward, 2000, p. 201). Todo esto constituye la noción de intervención. Si diseñamos una manera en la que podamos intervenir en *A*, que cambié el valor de *B* en consecuencia y dicha intervención cumple las características i-iv, entonces

³Este criterio es evidentemente modal

⁴Supongamos por ejemplo que quiero saber bajo qué condiciones un vaso que se cae, se rompe. Podríamos variar la altura de la caída, así como el material sobre el que cae. Si, por ejemplo, tiráramos un vaso en un colchón, a 10 cm de altura, no se romperá; si lo tiráramos de una altura de dos metros en un piso de concreto, seguro se romperá. Esto quiere decir que la relación entre tirar un vaso y que se rompa en consecuencia es invariante bajo algunos valores de altura y del material sobre el que cae.

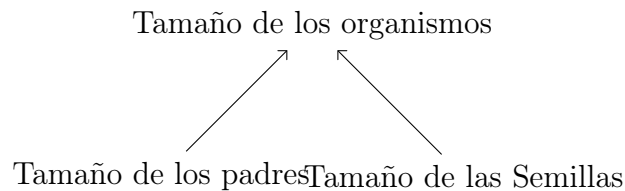
tenemos una explicación **causal** de la ocurrencia de B .

Pongamos un ejemplo: la luz y la temperatura, por separado, afectan el proceso de floración en plantas del género *Arabidopsis*. En el artículo de Ausin, Alonso-Blanco y Martínez-Zapater (2005), los autores desarrollaron un modelo experimental en el que observaron que tanto la temperatura como la luz afectan cómo florecen las plantas del género *Arabidopsis*. Para el experimento se sometió a los especímenes a temperaturas bajas (aunque no al punto de congelamiento) y observaron cómo el proceso de floración se acelera en consecuencia. Esto, según la metodología de Woodward, nos permite concluir que hay una relación causal entre la temperatura y la floración. En el caso de la luz, se observó que los especímenes reaccionan a la luz roja, a la luz roja lejana (longitudes de onda entre 700 y 750 nm) y a la luz azul. Cuando hay bajos niveles de estas tres, se promueve la floración. Esto indica que hay una relación causal entre los bajos niveles de este tipo de luces y la floración. Para esto, se interviene en las condiciones de temperatura y de luz para poder concluir que hay una relación causal.

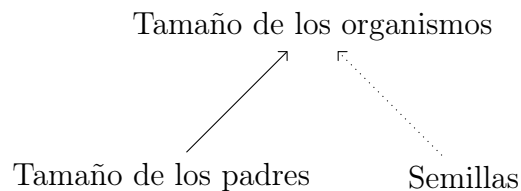


Pensemos en el experimento realizado por Amarillo Suárez y Fox (2006) como un ejemplo adicional. Hay insectos que se desarrollan dentro de un hospedero. Se tiene evidencia de que el hospedero en el que se desarrollan las crías tiene influencia en el tamaño de los insectos. En el artículo de Amarillo-Suárez y Fox, se explora cómo el hospedero del *Stator limbatus* tiene injerencia en el tamaño de los organismos. Este insecto se puede hospedar en más de 70 árboles diferentes, pero para realizar el experimento se seleccionaron dos árboles por las características de sus semillas el *Acacia greggi* y el *Pseudosamanea guachapele*. Las particularidades de estos árboles son que el *Acacia greggi* tiene unas semillas más grandes que el *Pseudosamanea Guachapele*. Se analizó cómo varía el tamaño de los insectos cuando el hospedero es un árbol u otro. Para controlar por variables como la competencia en el estado larvario, se puso a cada una de las crías en una sola semilla. Además, se seleccionaron tres grupos de insectos, el grupo de arriba, el grupo control y el grupo de abajo. Se hizo selección

artificial para que el grupo de arriba fuera, en promedio, más grande que el grupo de control, mientras que el grupo de abajo fuera, en promedio, más chico que el grupo de control. El resultado experimental mostró que cuando este insecto se hospeda en el árbol con las semillas más grandes, los organismos son de mayor tamaño. Este mayor tamaño es independiente al tamaño de los progenitores. Según las autoras del artículo esto indica plasticidad fenotípica. Esto quiere decir que hay al menos dos maneras de intervenir en el tamaño de los organismos. La más obvia es el tamaño de los padres, la segunda son las semillas que tiene el hospedero. Al eliminar como factor el tamaño de los padres, podemos intervenir directamente en qué hospedero poner a los organismos.



El siguiente diagrama pretende mostrar que hemos eliminado como factor causal el tamaño de los padres de los organismos.



Si después se observa que a pesar de que las alturas de una generación eran, en promedio, iguales en los dos árboles y que las nuevas generaciones de organismos son más grandes en el árbol con las semillas más grandes, entonces podemos afirmar que hay una relación causal en términos de la metodología de Woodward. En términos de lo que afirma la teoría de Woodward, hay una relación causal entre el medio ambiente y los organismos que lo habitan. Más aún, hay intentos de exponer que un enfoque manipulabilista puede ser de utilidad en las explicaciones por selección natural (MacColl, 2011).

Con respecto a la noción de invarianza, Woodward nos dice que cualquier generalización que describa una relación entre dos o más variables es invariante si se sostiene aún cuando

se modifican otras condiciones. Esta noción de invarianza es lo que permite hacer generalizaciones de la relación entre dos variables. Porque si hay una relación causal entre A y B y dicha relación se sostiene aún cuando otras variables se modifican, entonces podemos decir que para cualquier A y B habrá la misma relación causal. Cuando esto se cumple, tenemos un indicio de que es posible manipular y controlar la variable independiente para ver qué cambios hay en la variable dependiente (Woodward, 2000).

Sin duda el modelo de Woodward tiene muchas virtudes. Primero tiene una aplicación clara para las ciencias especiales ya que no parte de la noción de ley, sino que construye generalizaciones como “invarianza bajo intervenciones”. Woodward resuelve los problemas que tenía el modelo de Salmon al poner más restricciones en lo que deberíamos hacer cuando buscamos relaciones de dependencia causal. Otra virtud es que la noción de intervención encaja con el hecho de que en las investigaciones se llevan a cabo experimentos y que es a partir de ello que obtenemos información que indica si hay o no una relación entre variables.

3.3. Adecuación, un concepto causal

Como dijimos anteriormente la adecuación es un concepto central de la teoría de la evolución por selección natural. En particular, decimos que la adecuación es medida en términos de descendencia y esto quiere decir que la selección natural opera en este tipo⁵ de organismo cuando, en ausencia de otros factores (por ejemplo, deriva génica) un organismo del tipo deja más descendencia que otro.

El concepto de adecuación como propensión tiene el problema de cómo tenemos acceso epistémico a dichas propensiones. Mencionan Mills y Beatty (1979) que esto se puede hacer de acuerdo a las características físicas de un organismo, tomando como variable el medio ambiente. Esto sugiere que un organismo que tenga un nivel de adecuación x en un ambiente dado tendrá un nivel diferente en otro medio ambiente. Pero es en cómo determinamos este nivel de adecuación que está el problema porque no podemos controlar todas las variables que pueden actuar en el medio ambiente en el que se desarrolla el organismo.

Nosotros queremos decir que el nivel de adecuación de un organismo se puede determinar

⁵En este caso hablamos de **tipos** de organismos, esto es, que compartan cierta característica física.

sólo en los resultados de un diseño experimental. Esta posibilidad de realizar experimentos, aunque no es indispensable, nos permite en este caso incorporar la noción de intervención de Woodward. Es decir en el medioambiente del laboratorio. Esto nos daría acceso a las propensiones de los organismos, resolviendo el problema de la definición propensionista. La parte causal en esta noción de adecuación estaría definida de la mano del intervencionismo de Woodward al interactuar con las variables dentro del laboratorio. Si todo esto es correcto, entonces tenemos una noción empírica de adecuación, al mismo tiempo que nos deshacemos del problema de la tautología. Nos deshacemos de este problema porque los más aptos son aquellos que resuelven mejor problemas de diseño (y que, como resultado, son los que dejan más descendencia).

Motivamos en la sección anterior cómo el modelo nos ayuda para extraer información causal a través de los diseños experimentales y la manera en que podemos intervenir en las variables y observar cómo se modifican otras variables. Al poder hacer esto, podemos definir la adecuación a través de estos modelos experimentales. Es en estos modelos en dónde podemos observar cómo se desarrollan los organismos al interactuar con el medio ambiente. Al intervenir en las diferentes variables, podemos determinar cuál es la causa de que un tipo de organismos resulte ventajoso. Todo esto en un ensamble de laboratorio y sin necesidad de hacer una comparación dos a dos de cada uno de los individuos. En este sentido la adecuación de un tipo de organismo se sigue midiendo en tanto número de descendientes. La ventaja es que en el diseño experimental podemos ver la tendencia del organismo, determinando así la característica ventajosa. Al ser una intervención, esta explicación cuenta como causal en términos de la maquinaria que nos ofrece Woodward.

Esto nos permite decir exactamente cuál es el organismo más apto dependiendo del medio ambiente en el que se desarrolla, lo que tiene la ventaja de que tenemos una medida de adecuación que explica por qué unos organismos tienen ciertas características y si estas características son mejores para resolver problemas de “diseño” que otras características en la población. Esto nos deja con una definición de adecuación que no es tautológica y que es explicativa. El valor explicativo se desprende de estar inserto en el modelo de Woodward. El modelo también nos permite que la definición sea causal. Por lo anterior nos parece que esta definición de adecuación es mejor que la propensionista.

Aceptar esta definición de adecuación tiene las ventajas de dar un concepto más claro. Este concepto está relativizado a variables medioambientales. Al mismo tiempo nos permite leer causalmente la adecuación al decir exactamente cuál es la característica ventajosa que permitió resolver los problemas de diseño impuestos por el medioambiente. Esta definición además nos permite explicar cuál es el factor relevante para la sobrevivencia de los organismos.

Adicionalmente tiene la consecuencia de que la única manera en que podemos medir qué organismos son más aptos es cuando ya hay una cierta adaptación en el diseño experimental. Pensemos, por ejemplo, en el caso de *A. sagrei* y *L. carinatus*. En este diseño experimental se observa una tendencia al crecimiento de extremidades que les permitan escalar. Los organismos que mejor resuelven este problema y que, por ello, dejan más descendencia son aquellos con extremidades más largas. Aquí tenemos una explicación apelando a la selección natural. Pero es sólo en este diseño experimental y una vez observada esta tendencia que podemos decir que los más aptos, en este medioambiente particular, son los que desarrollan extremidades más largas.

Ahora bien, hay un debate entre cuál es la mejor manera de interpretar la teoría de la evolución por selección natural. Por un lado Bouchard y Rosenberg argumentan en favor de una interpretación dinámica (es decir que involucra fuerzas) (2004); por otro lado Walsh, Lewens y Ariew (2002) argumentan que la teoría no es sobre fuerzas, sino sobre consecuencias puramente estadísticas. Si aceptamos la noción de adecuación en términos de lo dicho anteriormente, ¿qué consecuencias hay para el debate de la interpretación de la selección natural?

Walsh y compañía argumentan a favor de una interpretación estadística de la teoría de la selección natural. Ellos nos piden que pensemos, por ejemplo, en un grave al que dejamos caer de cierta altura. En este caso, podemos describir las fuerzas que hacen que caiga y podemos predecir el lugar en el que el grave de hecho va a caer. Por otro lado, se nos pide que pensemos en un conjunto de monedas que dejamos caer. El hecho de que una x cantidad de monedas caiga en cara y una y cantidad caiga en cruz, no depende de las fuerzas actuando en cada moneda particular. Lo que observamos es consecuencia de la estructura de la población.

En ambos casos hay dos tipos diferentes de error. El error en el caso de un grave que

cae dependerá de que no tomamos en cuenta todas las fuerzas actuando para ser capaces de predecir el lugar de caída. En el caso de las monedas, el error es intrínseco a la probabilidad de las monedas. Debido a esta diferencia entre teorías dinámicas y teorías estocásticas, cabe la pregunta de cómo interpretamos a la teoría de la evolución.

Walsh y compañía asumen que ambos tipos de interpretación son excluyentes. Su argumento descansa en que cuando buscamos una explicación por selección natural, apelamos a las estadísticas de la población que estamos observando. Para argumentar en favor de una interpretación estadística de la selección natural, primero hacen un caso a favor de la interpretación estadística de la deriva génica. Para esto, argumentan que la noción de deriva génica implica una noción de azar. Aunado a lo anterior, los autores asumen que cuando hablamos de fuerzas, caemos directamente en el determinismo. Debido a que hay un factor de azar en cómo se estudian las poblaciones, entonces la deriva génica no es un proceso sobre fuerzas. Si esto es verdad, “si todos los hechos fueran conocidos, cualquier proceso que cause un cambio en las frecuencias de una característica contaría como un proceso de selección. En consecuencia, no habría un proceso llamado ‘deriva génica’ ” (2002, p. 457) ⁶.

Pero el consecuente en esta afirmación, continúa el argumento, es falso. Si esto es verdad, entonces la deriva génica no es una explicación que apele a fuerzas y, por tanto, es un proceso estadístico. Para el caso a favor de la interpretación estadística de la selección natural, Walsh y compañía argumentan que cuando buscamos una explicación por selección natural, apelamos a propiedades estadísticas de la población y no a las muertes y nacimientos individuales. Esto asume además que la única manera en que pueden estar involucradas las fuerzas en la selección natural es al nivel de individuos particulares.

Hay razones para rechazar algunos supuestos que hacen los autores. La primera razón es que no es excluyente la distinción entre una teoría dinámica y una teoría estadística. Al menos es claro por el modelo de Woodward que podemos apelar a propiedades de una población, intervenir en las variables y extraer información causal acerca de las fuerzas que llevaron a que la población en general tuviera cierta tendencia. Esto quiere decir que podemos extraer relaciones causales a partir de una tendencia estadística y a través de un diseño experimental.

⁶If all the facts were known, any process that causes a change in trait frequencies would be counted as a selection process. Consequently, there is no such process or force as “random drift”

En el diseño experimental tomamos información de la estadística de la población y extraemos una conclusión causal. Por tanto, no son excluyentes ambos tipos de teorías.

Por otro lado, dado lo dicho en la sección anterior, decimos que cuando actúa selección natural en una población, esperamos que algunos de los organismos sean más aptos que otros en un medio ambiente al resolver mejor los problemas de diseño impuestos por el ambiente. Cuando decimos que deriva génica actúa en una población es porque la población de alguna manera se ha desviado de lo que habíamos esperado fueran los organismos más aptos, esto es, hay un “error de muestreo”. Por decirlo de otra manera, cuando observamos una tendencia en nuestro diseño experimental y lo que observamos se desvía de lo que de hecho ocurre naturalmente, entonces apelamos a una explicación por deriva génica. De manera que la deriva génica no es una fuerza, sino una consecuencia estadística (Walsh y cols., 2002). Adicionalmente, cuando pedimos una explicación en términos de selección natural buscamos una explicación causal (Lange, 2013), sin embargo, cuando esta explicación causal falla debido a algún evento y la expectativa que teníamos del crecimiento de la población se ve afectada, entonces apelamos a una explicación por deriva génica. Esta es una explicación realmente estadística porque no pedimos una explicación que apele a causas. Es decir que es una consecuencia puramente estadística.

En la sección anterior dijimos por qué es ventajoso aceptar una interpretación ecológica de adecuación. Entre las razones estuvo que es un concepto de adecuación que es explicativo, pero además nos permite distinguir entre deriva génica y selección natural en el sentido explicado anteriormente.

Para resolver el problema de la definición tautológica de adecuación, apelamos a una noción ecológica de adecuación. Creemos además que adoptar al modelo de Woodward para solucionar este problema nos permite distinguir entre un proceso por selección natural y uno por deriva génica. Sin embargo, hay al menos dos conceptos poco claros en la definición anterior. La comparación dos a dos en una población puede volverse complicada tomando en cuenta el tamaño de la población. Para poblaciones grandes este proceso podría tardar un tiempo indefinido. Sin embargo, la definición propuesta en esta sección salva este problema al permitir explicar cuál es el tipo de organismo más apto recreando las presiones ambientales en un diseño experimental y observando la tendencia de la población. Esto, en principio, nos

libra de hacer una comparación dos a dos de individuos.

El segundo concepto poco claro es el de “diseño”. Esto puede sugerir que la selección natural está guiada por un diseñador. Sin embargo, podemos apoyarnos en lo que dice Ayala, quien argumenta que uno de los grandes aportes de Darwin es haber descrito un mecanismo en el cual podemos hablar de diseño sin que haya un diseñador (Ayala, 2004). Si podemos hablar en estos términos, entonces hablar de diseño en los organismos nos permitirá, en la propuesta de Bouchard y Rosenberg y en la nuestra, hacer una evaluación en términos de cómo los organismos resuelven problemas de diseño. Esto nos da una pauta para hablar de que el medio ambiente es un factor causal en las explicaciones evolutivas. Esto, en conjunción con lo que proponemos, es un buen método para obtener información causal para sustentar hipótesis, nos permite hacer una distinción entre deriva génica y selección natural. Además, el método de Woodward para rastrear relaciones causales nos permite evitar la comparación dos a dos del concepto ecológico que presentan Bouchard y Rosenberg. Este proceso queda cubierto por el diseño experimental en el que recreamos las condiciones ambientales que sospechamos hacen una diferencia en la supervivencia de los organismos. Es cuando los organismos resuelven estos problemas de diseño que apelamos a una explicación por selección natural. Cuando hacemos el conteo poblacional y no observamos lo que se esperaba, entonces apelamos a una explicación por deriva génica. Esto, creemos, resuelve los problemas diagnosticados por Bouchard y Rosenberg. Sin embargo, hay algunos problemas al hablar de causalidad en biología. Estos problemas están expuestos por Mayr (1998). En la siguiente sección discutiremos los problemas que hay al hablar de causalidad en selección natural.

En esta tesis defendimos que hay causas próximas en las explicaciones evolutivas. El poder involucrar causas próximas en las explicaciones evolutivas nos permite utilizar un modelo de explicación causal como el que presenta Woodward para modelar las explicaciones en biología evolutiva en términos de cómo el medio ambiente hace una diferencia y cómo esto lleva a los organismos a ser parte del proceso de selección natural. Dijimos además que el modelo de Woodward nos ayuda a resolver uno de los problemas que tiene la noción de adecuación ecológica, esto es, individualar los problemas de diseño de los que habla la noción ecológica de adecuación.

Reflexiones finales

Llegados a este punto hemos propuesto que el modelo de Woodward nos puede ayudar a resolver el problema de individuar los “problemas de diseño” que tiene la noción ecológica de adecuación. En el primer capítulo de este trabajo expusimos tres modelos de explicación científica. Ofrecimos razones a favor de preferir el modelo de Woodward debido a que no necesita leyes en su formulación. En el segundo capítulo de este trabajo ofrecimos un argumento a favor del indeterminismo causal al debilitar el compromiso de que las leyes son metafísicamente necesarias.

Por último, ofrecimos una caracterización de adecuación que no es tautológica: la adecuación ecológica. Además ofrecimos un esquema de solución al problema de individuar los problemas de diseño utilizando el modelo de Woodward.

En este capítulo integramos al modelo de Woodward con la práctica experimental para aclarar el concepto de adecuación. Defendimos que, para resolver el problema de que el concepto de adecuación es tautológico, hay que leer causalmente el enunciado “los más aptos dejan más descendencia” afirmando que los más aptos son aquellos que mejor resuelven problemas de diseño impuestos por el medio ambiente.

Para medir la adecuación, afirmamos que hay que modelar el entorno natural de una población en un ambiente de laboratorio. Si lo observado en el laboratorio difiere de nuestros valores estimados, entonces decimos que ha habido deriva génica. Si lo observado es consistente con lo estimado, entonces apelamos a una explicación por selección natural.

En el primer capítulo de este trabajo defendimos por qué el modelo que presenta Woodward tiene ventajas frente a otros modelos alternativos de explicación. En primer lugar el modelo de Woodward es una teoría de la explicación causal que no requiere de leyes en su

formulación, por lo que nos parece que es útil para trabajar en biología dadas sus características particulares. Además, refleja algo de la práctica experimental de los biólogos. Asumir esta solución pretendida tiene además la ventaja de que nos permite distinguir entre un proceso de selección natural y un proceso por deriva génica.

El segundo capítulo de este trabajo se centró en mostrar cuáles son las ventajas del modelo de explicación causal de Woodward frente a otros modelos de explicación. En particular, nos centramos en mostrar las ventajas frente al modelo Nomológico-Deductivo y el modelo de Relevancia estadística de Salmon. Buscamos posicionar al modelo de Woodward como una alternativa a estos dos modelos y tratamos de ofrecer una solución a los problemas que tiene el mismo modelo de Woodward, en particular el problema de cómo tenemos acceso epistémico a los enunciados contrafácticos.

A pesar de haber hecho claro nuestro punto, aún quedan problemas que hay que resolver para poder afirmar con convicción mucho de lo dicho en este trabajo. Por ejemplo, hemos afirmado que podemos utilizar el modelo de Woodward para justificar relaciones causales en biología evolutiva. Lo hicimos apelando a que en un ambiente de laboratorio es posible intervenir variables. Estas intervenciones harán que ciertos individuos se reproduzcan con más éxito que otros y es analizando esta población en el laboratorio que aventuramos una conclusión causal.

Aún queda justificar cómo tenemos acceso epistémico a enunciados contrafácticos. No defendimos explícitamente cuál sería la semántica de estos enunciados, con respecto a la epistemología hicimos una sugerencia a partir del trabajo de Roca-Royes. La sugerencia hecha en este trabajo fue que podíamos tener acceso a través del diseño experimental. Esto quiere decir, que hacemos verdaderos los contrafácticos en el mundo actual (cabe aquí mencionar si en este sentido aún deberíamos llamarlos contrafácticos). Esto sugiere que tenemos acceso a los contrafácticos a través de la replicación experimental. Sin embargo, esta sugerencia tiene problemas acerca de qué se considera lo suficientemente análogo para poder entonces obtener conocimiento de los contrafácticos.

Quedan entonces pendientes al menos dos cuestiones importantes en lo que respecta a este trabajo. Queda pendiente el desarrollo de una semántica de contrafácticos apropiada. Una cuyos compromisos ontológicos sean menores que los del realismo modal. Por otro lado

queda la evaluación de la teoría epistemológica propuesta en este trabajo, en particular tratar de resolver algunos de los problemas que presenta.

Sin embargo, aún hacía falta una defensa de por qué la causalidad no implica determinismo. Aún si la teoría de Woodward es una buena teoría de la explicación, ésta también pretende elucidar el concepto de lo que es una causa. Esto nos lleva directo a las teorías de la causalidad, en particular a los aspectos metafísicos de la causalidad. Por lo regular se divide a las teorías de la causalidad en humeanas y anti-humeanas⁷. Siendo las anti-humeanas las que afirman la tesis de que hay conexiones necesarias en la naturaleza. En la segunda parte de este trabajo argumentamos, en contra de Graves y compañía, a favor de la tesis de que la causalidad no implica conexiones necesarias, dando apoyo a las tesis humeanas de la causalidad.

Para defender esto, comenzamos notando que las teorías anti-humeanas de la causalidad toman a las leyes naturales como evidencia de que hay conexiones necesarias en el mundo. Nos concentramos en presentar una alternativa argumentando que la necesidad en la naturaleza es aparente. Esta necesidad aparente surge del hecho de que las llamadas leyes naturales son modelos particulares de un sistema formal, y por supuesto que una buena derivación formal hace necesaria su conclusión. Pero esta necesidad es una propiedad de la teoría formal, no de la naturaleza misma.

Creemos que en este trabajo hemos posicionado al modelo de Woodward como una alternativa para describir explicaciones causales en biología evolutiva. Creemos además que hemos expuesto lo suficiente como para que hablar de causalidad en biología no sea tan problemático como resulta al principio. Creemos que esta preocupación de Mayr se debía a que la causalidad se entendía en términos mecanicistas y que estaba involucrado cierto riesgo de determinismo que no encontramos en biología evolutiva. A pesar de esto, nosotros creemos que la solución que ofrecemos en base en el modelo de explicación de Woodward tiene sus limitaciones. En particular, falta un desarrollo de la epistemología de contrafácticos que nos ayude a resolver el problema de cómo sabemos cuáles enunciados contrafácticos son verdaderos. Aquí hicimos sólo un esbozo de solución, pero ahondar en este problema nos ayudará a

⁷Aquí seguimos la distinción que hace Schrenk en (2017) en donde divide a las tesis de la causalidad en Humeanas y no-humeanas. Siendo las no-humeanas las que afirman la tesis de que no hay conexiones necesarias en el mundo.

desarrollar mejor el modelo para que se adecúe a nuestros compromisos epistémicos. Llenar este hueco es algo que pretendemos seguir investigando a futuro.

Referencias

- Amarillo-Suárez, A. R., y Fox, C. W. (2006, noviembre). Population differences in host use by a seed-beetle: local adaptation, phenotypic plasticity and maternal effects. *Oecologia*, 150(2), 247–258. Descargado de <https://doi.org/10.1007/s00442-006-0516-y>
- Anjum, R. L., y Mumford, S. (2018). *Causation in science and the methods of scientific discovery*. Oxford: Oxford University Press.
- Archimedes. (1897). *On the equilibrium of planes book i*. Cambridge University Peess.
- Aristóteles. (2009). *Posterior analytics, book 1* (D. C. Stevenson, Ed.). Descargado de <http://classics.mit.edu/Aristotle/posterior.1.i.html>
- Ausin, I., Alonso-Blanco, C., y Martínez-Zapater, J.-M. (2005, 02). Environmental regulation of flowering. *The International journal of developmental biology*, 49, 689-705. doi: 10.1387/ijdb.052022ia
- Ayala, F. (2004). Design without designer. En W. Dembski y M. Ruse (Eds.), *Debating design: From darwin to dna*. Cambridge University Press.
- Bateson, P. (2014, junio). New thinking about biological evolution. *Biol J Linn Soc*, 112(2), 268–275. Descargado de <https://doi.org/10.1111/bij.12125>
- Bhagal, H. (2020, agosto). Humeanism about laws of nature. *Philosophy Compass*, 15(8), e12696. Descargado de <https://doi.org/10.1111/phc3.12696>
- Borge, B., y Cani, R. (2019, diciembre). Laws of nature: Metaphysics and epistemology. *Principia: an international journal of epistemology*, 23(3), 367–372. Descargado de <https://doi.org/10.5007/1808-1711.2019v23n3p367> doi: 10.5007/1808-1711.2019v23n3p367
- Bouchard, F., y Rosenberg, A. (2004). Fitness, probability and the principles of natural selection. *British Journal for the Philosophy of Science*, 55(4).
- Brandon, R. N. (1997). Does biology have laws? the experimental evidence. *Philosophy of Science*, 64(4), 457. doi: 10.1086/392621
- Cartwright, N. (1983). *How the laws of physics lie*. Oxford University Press.

- Cartwright, N. (2007). *Hunting causes and using them: Approaches in philosophy and economics*. Cambridge University Press.
- d'Argis, A.-G. B. (2002). Law of nature, or natural law. En *The encyclopedia of diderot & d'alembert collaborative translation project*. Michigan Publishing. Descargado de <http://hdl.handle.net/2027/spo.did2222.0000.021>
- Elgin, C. (2004). True enough. *Philosophical Issues*, 14(1), 113–131. doi: 10.1111/j.1533-6077.2004.00023.x
- Endler, J. A., y May, R. M. (1986). *Natural selection in the wild*. Princeton University Press. Descargado de <https://books.google.com.mx/books?id=MYk1XbelDssC>
- Euclid. (2008). *The elements* (R. Fitzpatrick, Ed.). Richard Fitzpatrick. Descargado de https://www.ebook.de/de/product/7216845/richard_fitzpatrick_euclid_s_elements.html
- Euclides. (1956). *Book v* (1.^a ed.; T. L. Heath, Ed. y Traduc.). Dover Publications.
- Friedman, M. (1974). Explanation and scientific understanding. *Journal of Philosophy*, 71(1), 5–19. doi: 10.2307/2024924
- Galavotti, M. C. (2018). Wesley salmon. En E. N. Zalta (Ed.), *The stanford encyclopedia of philosophy* (Fall 2018 ed.). Metaphysics Research Lab, Stanford University. <https://plato.stanford.edu/archives/fall2018/entries/wesley-salmon/>.
- Galileo. (2003). Tercera jornada (J. San Román Villasante, Traduc.). En T. Isnardi (Ed.), *Diálogos acerca de dos nuevas ciencias* (1.^a ed.). Losada.
- Giere, R. N. (1999). *Science without laws*. University of Chicago Press.
- Giere, R. N. (2006). *Scientific perspectivism*. University of Chicago Press.
- Graves, L., Horan, B. L., y Rosenberg, A. (1999, marzo). Is indeterminism the source of the statistical character of evolutionary theory? *Philosophy of Science*, 66(1), 140–157. Descargado de <https://doi.org/10.1086/392680> doi: 10.1086/392680
- Hofer, C. (2016). Causal Determinism. En E. N. Zalta (Ed.), *The Stanford encyclopedia of philosophy* (Spring 2016 ed.). Metaphysics Research Lab, Stanford University. <https://plato.stanford.edu/archives/spr2016/entries/determinism-causal/>.
- Jablonka, E., y Lamb, M. (2020). *Inheritance systems and the extended evolutionary synthesis*. Cambridge University Press. doi: <https://doi.org/10.1017/9781108685412>
- Kitcher, P. (2002). Explanatory unification and the causal structure of the world. En Y. Balashov y A. Rosenberg (Eds.), *Philosophy of science: Contemporary readings* (p. 71-91). Routledge.

- Laland, K. N., Sterelny, K., Odling-Smee, J., Hoppitt, W., y Uller, T. (2011). Cause and effect in biology revisited: Is mayr's proximate-ultimate dichotomy still useful? *Science*, *334*(6062), 1512–1516. Descargado de <https://science.sciencemag.org/content/334/6062/1512> doi: 10.1126/science.1210879
- Lange, M. (2013). Really statistical explanations and genetic drift. *Philosophy of Science*, *80*(2), 169–188. Descargado de <https://doi.org/10.1086/670323> doi: 10.1086/670323
- Lewis, D. (1973a). Causation. *Journal of Philosophy*, *70*(17).
- Lewis, D. (1973b). *Counterfactuals*. Blackwell.
- Linnebo, O. (2017). *Philosophy of mathematics*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Losos, J. B., Schoener, T. W., y Spiller, D. A. (2004). Predator-induced behaviour shifts and natural selection in field-experimental lizard populations. *Nature*, *432*, 505-508. Descargado de <https://doi.org/10.1038/nature03039>
- MacColl, A. D. C. (2011, octubre). The ecological causes of evolution. *Trends in Ecology & Evolution*, *26*(10), 514–522. Descargado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169534711001753>
- Mayr, E. (1998). Causa y efecto en biología. En A. Barahona y S. MArtínez (Eds.), *Historia y explicación en biología* (p. 82-95).
- Mills, S. K., y Beatty, J. H. (1979, junio). The propensity interpretation of fitness. *Philosophy of Science*, *46*(2), 263–286. Descargado de <https://doi.org/10.1086/288865> doi: 10.1086/288865
- Millstein, R. L. (2006). Natural selection as a population-level causal process. *British Journal for the Philosophy of Science*, *57*(4).
- Mumford, S., y Lill Anjum, R. (2013). *Causation: A very short introduction*. Oxford University Press.
- Nagel, E. (2006). *La estructura de la ciencia* (1.^a ed.). Barcelona: Paidós.
- Paaby, A., y Rockman, M. (2014). Cryptic genetic variation: Evolution's hidden substrate. *Nature Reviews Genetics*, *15*(4), 247–258.
- Paul, D. (1992). Fitness: historical perspectives. En E. Keller y E. Lloyd (Eds.), *Keywords in evolutionary biology* (p. 115-119). Harvard University Press.
- Pfenning, D. (2016). Ecological Evolutionary Developmental Biology. En R. Kliman (Ed.), *Encyclopedia of evolutionary biology*. Elsevier.
- Powell, R. (2012). Convergent evolution and the limits of natural selection. , *2*(3), 355–373. Descargado de <https://doi.org/10.1007/s13194-012-0047-9> doi: 10.1007/

- s13194-012-0047-9
- Psillos, S. (2009). *Causation and explanation* (1.^a ed.). Acumen Publishing.
- Roca-Royes, S. (2017). Similarity and possibility: an epistemology of *de re* possibility for concrete entities. En B. Fischer y F. Leon (Eds.), *Modal epistemology after rationalism* (1.^a ed.). Springer.
- Rosenberg, A., y Bouchard, F. (2020). Fitness. En E. N. Zalta (Ed.), *The Stanford encyclopedia of philosophy* (Spring 2020 ed.). Metaphysics Research Lab, Stanford University. <https://plato.stanford.edu/archives/spr2020/entries/fitness/>.
- Salmon, W. (1970). Statistical explanation. En *The nature and function of scientific theories*.
- Salmon, W. (1994). Causality without counterfactuals. *Philosophy of Science*.
- Schrenk, M. (2017). *Metaphysics of science: A systematic and historical introduction*. London & New York: Routledge.
- Scriven, M. (1959, agosto). Explanation and prediction in evolutionary theory. *Science*, 130(3374), 477. Descargado de <http://science.sciencemag.org/content/130/3374/477.abstract> doi: 10.1126/science.130.3374.477
- Sinervo, B., y Lively, C. M. (1996). The rock-paper-scissors game and the evolution of alternative male strategies. , 380(6571), 240–243. Descargado de <https://doi.org/10.1038/380240a0> doi: 10.1038/380240a0
- Suárez, M. (2021). *Philosophy of probability and statistical modelling*. Cambridge: Cambridge University Press. Descargado de <https://www.cambridge.org/core/elements/philosophy-of-probability-and-statistical-modelling/C12D7946AE6E7224C08A0667DCB58A10> doi: 10.1017/9781108985826
- Tarski, A. (1956). On the concept of logical consequence. En *Logic, semantics, metamathematics*. Oxford University Press.
- Torrente, M. G. (2000). *Forma y modalidad: una introducción al concepto de consecuencia lógica*. Buenos Aires: Eudeba.
- Uller, T., y Laland, K. (2019). Evolutionary causation. En T. Uller y K. Laland (Eds.), *Evolutionary causation: Biological and philosophical reflections*.
- Walsh, D., Lewins, T., y Ariew, A. (2002, septiembre). The trials of life: Natural selection and random drift. *Philosophy of Science*, 69(3), 429–446. Descargado de <https://doi.org/10.1086/342454> doi: 10.1086/342454
- Waters, C. K. (1986, junio). Natural selection without survival of the fittest. *Biology and Philosophy*, 1(2), 207–225. Descargado de <https://doi.org/10.1007/BF00142902>

-
- West-Eberhard, M. (2008). Phenotypic plasticity. En S. E. Jørgensen y B. D. Fath (Eds.), *Encyclopedia of ecology* (p. 2701-2707). Oxford: Academic Press. Descargado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780080454054008375>
- 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. (2003). *Making things happen: A theory of causal explanation*. Oxford University Press.
- Woodward, J. (2019). Scientific explanation. En E. N. Zalta (Ed.), *The stanford encyclopedia of philosophy* (Winter 2019 ed.). Metaphysics Research Lab, Stanford University. <https://plato.stanford.edu/archives/win2019/entries/scientific-explanation/>.
- Woodward, J. (2021). *Causation and mechanisms in biology*. Descargado de <http://philsci-archive.pitt.edu/18628/>