



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

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

# CAUSALIDAD Y BIOLOGÍA: UNA RELACIÓN APARENTEMENTE PROBLEMÁTICA

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE:  
**MAESTRO EN FILOSOFÍA DE LA CIENCIA**

PRESENTA:

**OSCAR ABRAHAM OLIVETTI ALVAREZ**

DIRECTORES:

FERNANDA SAMANIEGO BAÑUELOS  
DAVID SUÁREZ PASCAL

CIUDAD DE MÉXICO, FECHA

# Índice general

<b>1. Explicación en ciencia</b>	<b>3</b>
1.1. Causas próximas y biología evolutiva . . . . .	3
1.2. Análisis filosóficos de la explicación . . . . .	7
1.3. Relevancia Estadística . . . . .	9
1.4. Retomando la causalidad . . . . .	13
1.4.1. Cosas por resolver y algunas soluciones . . . . .	19
<b>2. ¿Qué es una ley de la naturaleza?</b>	<b>23</b>
2.1. Leyes de la naturaleza: epistemología, metafísica y los objetivos de la ciencia	24
2.2. La necesidad en las leyes . . . . .	27
2.3. La contingencia en las leyes . . . . .	29
2.4. El estatus de las leyes de la naturaleza . . . . .	30
2.5. El papel de la verdad en la investigación . . . . .	32
<b>3. Definir causalmente al fitness</b>	<b>34</b>
<b>Referencias</b>	<b>35</b>

# Capítulo 1

## Explicación en ciencia

### 1.1. Causas próximas y biología evolutiva

En este capítulo me propongo a hacer un breve repaso de algunos modelos de explicación: el modelo Nomológico-Deductivo<sup>1</sup> (ND para abreviar) de Hempel y Oppenheim , el modelo de relevancia estadística (SR para abreviar) de Salmon y por último el modelo causal de Woodward. Mi objetivo principal es repasar los problemas que tienen tanto ND y SR, todo esto con miras a presentar el modelo de Woodward como una alternativa que nos permita hacer claro cómo los investigadores explican en ciencias como la biología.

Me interesa particularmente el análisis de lo que se ha denominado inferencias causales. Las inferencias causales son un tipo de argumento en el que a partir de ciertos datos, inferimos que hay una relación causal; o bien utilizamos información causal como parte del argumento para derivar una conclusión. Lo que llamo aquí inferencias causales, abarca ambos. Un ejemplo claro del primer uso de inferencia causal es la función de la probabilidad para analizar información estadística y obtener como conclusión que hay una relación causal y no una correlación. Un ejemplo del segundo tipo es cuando digo que el vaso se cayó porque lo golpeé: mi golpear el vaso causa su caída y rotura.

Me interesa el caso en biología porque ha habido algunos problemas cuando se habla

---

<sup>1</sup>También llamado Modelo por ley de Cobertura

de causalidad. Ernst Mayr (1998) señala que ha habido discusiones acaloradas al momento de hablar de causalidad porque hay una distinción que ignoran las partes del discurso. En primer lugar Mayr distingue dos grandes campos de la biología: biología funcional y biología evolutiva.

La distinción que hace Mayr consiste en señalar que el biólogo funcional trata a su objeto de estudio como un sólo individuo y su método es principalmente la experimentación. El biólogo evolutivo por su parte, trabaja con fenómenos extendidos temporalmente y los organismos son sólo una parte de un fenómeno más grande.

Desde esta distinción, Mayr nos señala 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).

Si a todo lo anterior le conjuntamos el hecho de que Mayr está pensando la causalidad a la manera mecanicista, entonces surge un problema al hablar de causas en el área del biólogo evolutivo. Este problema surge porque, al menos como lo describe Mayr, hablar de causalidad (entendido como causas próximas) implica determinismo. Hablar de determinismo ha llevado a suponer que hay una dirección de la selección natural, entendiendo esta dirección como apuntando a diseño óptimo. Pero la selección natural no apunta a un diseño óptimo. Por tanto no hay causalidad en biología evolutiva (al menos no causas próximas). Esto se ve reflejado en la distinción que hace Scriven (1959) entre explicar y predecir en biología evolutiva. Si bien podemos explicar cómo es que un organismo llegó a tener las características que tiene, esto no implica que a partir de la misma información pudimos haber predicho las características que tiene. Esto manifiesta algo de la contingencia que involucra la selección natural.

Sin embargo, 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 CVG<sup>2</sup> (Paaby y Rockman, 2014). Además, deja de lado toda la nueva literatura que ha explorado la epigenética. Si eliminamos la causalidad del ámbito evolutivo, estos fenómenos tendrían que leerse o bien siendo parte de la biología funcional, o bien sólo como un evento más bien azaroso.

En (Uller y Laland, 2019) encontramos un ejemplo claro de estos problemas. Estudiando a las ballenas asesinas 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 a el aprendizaje social. El aprendizaje social es un caso de causa próxima, tal como lo describe Mayr.

Una estrategia es cambiar el foco de atención, alguien podría sugerir que no es interesante el hecho de por qué diferentes poblaciones de ballenas han desarrollado distintos métodos de caza por aprendizaje social, sino que la pregunta es por qué las ballenas asesinas desarrollaron la característica de ser capaces de aprender socialmente. Este nuevo enfoque regresa el análisis histórico y mantiene la distinción de Mayr.

Sin embargo, esta solución tiene problemas. En primer lugar esta solución cambia el tema de la pregunta original. El tema de la pregunta original es que los diferentes métodos de caza de las ballenas asesinas han llevado a variación entre las distintas poblaciones. 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.

Otro problema es que esta distinción relega el ámbito causal los genes, por lo que el desarrollo de características estaría relegado sólo al ámbito genético. Excluyendo gran parte de la literatura y los resultados que han arrojado ramas de la biología como la biología del desarrollo.

Un ejemplo que podría ilustrar más esto que menciono es el experimento de las mariposas *Bycyclus anynana*. En (Frankino, Zwaan, Stern, y Brakefield, 2007), los investigadores prueban la hipótesis de que el tamaño de las alas de las mariposas se debe en mayor medida a selección

---

<sup>2</sup>Entre otros fenómenos en los que hay causas próximas y son fenómenos evolutivos están la plasticidad fenotípica (West-Eberhard, 2008) y el Eco-Evo-Devo (Pfenning, 2016)

natural y no a restricciones de desarrollo del organismo. Aunque las restricciones de desarrollo guían el tipo de alometrías posibles, la selección natural actúa para favorecer un tipo sobre otro según los resultados del artículo.

Para ver qué tanto afecta selección natural en la alometría de *Bicyclus Anynana*, seleccionaron artificialmente a los individuos para guiar el desarrollo de las alometrías que tuvieran las alas posteriores más grandes y las alas anteriores más chicas; además también seleccionaron artificialmente a aquellos individuos con las alas posteriores más chicas y las alas anteriores más grandes. Llegado un punto, se dieron cuenta de que estas mariposas podían tener una variación de tamaños exagerada, diferente a los que vemos en la naturaleza.

Debido a que estas alometrías no son imposibles y que no están completamente determinadas por restricciones de desarrollo, la selección natural es el proceso principal que determina las alometría que observamos en el entorno natural.

Para solucionar estos problemas y poder integrar los nuevos resultados, parece necesario dar una interpretación causal, en términos de causas próximas, de algunos fenómenos evolutivos. Una de las premisas de Mayr es que causalidad implica determinismo, esto al asumir que la causalidad es a la manera en que lo describen los mecanicistas clásicos. En esta parte me propongo a negar dicha premisa adoptando al modelo de Woodward como modelo causal. El modelo de Woodward nos permite analizar fenómenos y concluir de este análisis si hay una relación causales entre fenómenos. Otra virtud es que permite que la causalidad no sea determinista y nos dice cómo usando su análisis explicamos fenómenos. Además, me parece claro que el modelo que nos presenta Woodward encaja con la metodología que usan los biólogos al probar hipótesis.

Ha habido varios intentos de analizar la explicación en ciencia siendo ND quizás el más famoso. Este modelo se desarrolló durante el periodo de lo que llamamos “positivismo lógico”. Los positivistas lógicos eran escépticos de la causalidad por influencia del argumento de Hume. Esto llevó a excluir a la causalidad de ND y a relegarla como un fenómeno genuinamente empírico. Sin embargo, la causalidad es un concepto útil al momento de dar explicaciones. Muchas de nuestras explicaciones exitosas consisten en señalar la causa de un

fenómeno. En lo que sigue, me dedico a dar un breve repaso por diferentes análisis de la explicación científica. Estos análisis y sus problemas llevaron a muchos filósofos a retomar causalidad para los análisis de la explicación.

## 1.2. Análisis filosóficos 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 abro, por qué mi automóvil hace ruidos extraños, etc.

En algunas ocasiones, nos interesa explicar fenómenos más complejos<sup>3</sup>: ¿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 lógicos<sup>4</sup>. Hempel desarrolló –quizás el más famoso– modelo de explicación: el modelo Nomológico Deductivo [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<sup>5</sup>, indicamos algunas condiciones iniciales observadas y derivamos el fenómeno a explicar como una consecuencia tanto de la ley como de las condiciones iniciales. Algo que cabe notar de ND es que las leyes que son parte de las premisas deben ser verdaderas, ya que de no serlo, el condicional que tiene como consecuente la conclusión es trivialmente verdadero. De manera

---

<sup>3</sup>Con esto no quiero implicar que las explicaciones de fenómenos más complejos son a su vez más valiosas que las de fenómenos más simples. Tampoco quiero 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 vaya a discutir en este trabajo.

<sup>4</sup>Esto en la filosofía moderna. Aristóteles también dedico parte de su trabajo en los analíticos posteriores a esclarecer el concepto de explicación (Aristóteles, 2009)

<sup>5</sup>Nagel nos ofreció algunos criterios que debía cumplir una ley de la naturaleza: i) debe que 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).

que si tenemos un antecedente falso, no es claro cómo explica el fenómeno que nos interesa.

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 de rescatar algunas intuiciones que vale la pena señalar: que los científicos explican utilizando leyes, hace de la explicación un argumento y es claro que en las discusiones científicas hay intercambio de argumentos. Si queremos explicar, sólo basta con conseguir un conjunto muy grande de leyes y la deducción nos dará todo lo demás.

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. Por ejemplo, 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.

Esta aserción podría ser debatida. Alguien podría decir que las condiciones de Nagel no son indicadoras de una ley, y que deberíamos relajar los compromisos<sup>6</sup>. Supongamos, por ejemplo, que rechazamos el criterio de que debe ser un universal irrestricto. Relajando este criterio, podríamos decir que la “ley de segregación”<sup>7</sup> de Mendel es un buen candidato para una ley en biología.

Sin embargo, aún así no sería suficiente para salvar a ND de todos los problemas con que

---

<sup>6</sup>Este debatiente ficticio tendría que decirnos cuál criterio debemos relajar o eliminar

<sup>7</sup>Esta 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.



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, ya que según Cartwright sólo son verdaderas cuando imponemos las condiciones necesarias para que lo sean. Pero sin lugar a dudas los físicos ofrecen explicaciones.

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 bandera<sup>8</sup>. 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 obtenemos nuevo conocimiento en biología. Muchos filósofos han desarrollado modelos alternativos y mi interés es explorar cuál es más adecuado para la biología.

### 1.3. Relevancia Estadística

Kitcher, a mi parecer, expone de manera clara la discusión (Kitcher, 2002). El modelo de explicación pragmático de van Fraassen consiste en armar una tripleta ordenada cuyos elementos son una clase de contraste, el tema de la pregunta, y la relación de relevancia (Fraassen, 1977). Kitcher nos dice que el modelo de van Fraassen es útil para exponer claramente cuál debería ser el objetivo de cualquier modelo de explicación. Exponer este objetivo consiste en decir cuál es la condición de relevancia adecuada<sup>9</sup>.

---

<sup>8</sup>El 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.

<sup>9</sup>van Fraassen acepta que su modelo es compatible con los modelos de Salmon y Hempel al momento de evaluar si una respuesta es correcta. Esto sucede porque la relación de relevancia se puede definir de varias maneras (van Fraassen, 1980).

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 desarrolla su modelo como una solución a los problemas que tiene ND y la formulación Inductiva estadística también desarrollada por Hempel. 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 porqué 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 hace más probable el 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 Galavoti “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”<sup>10</sup> (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 contingentes<sup>11</sup>. 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 problemas 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

---

<sup>10</sup>In 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.

<sup>11</sup>Aunque sí echa mano de generalizaciones estadísticas.

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. 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 metafísicamente 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<sup>12</sup>. 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*”<sup>13</sup> (Psillos, 2009, p. 255)

---

<sup>12</sup>Salmon, por ejemplo, desarrolla un modelo alternativo: su modelo causal-mecánico (Salmon, 1994).

<sup>13</sup>For 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, esto es hay dirección temporal de causa a efecto. 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 un par de distinciones. La primera distinción importante defendida por (Anjum y Mumford, 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 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 que 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. A pesar de que este trabajo es sobre causalidad, quisiera aclarar que no me centraré en los aspectos propiamente ontológicos, aunque tendré que decir algo en este respecto. Al tomar el modelo de Woodward como una buena teoría de la explicación y la causalidad para la biología evolutiva, no quiero negar la tesis pluralismo causal<sup>14</sup>, y tampoco quiero afirmar la tesis del monismo causal. Es decir, este trabajo es agnóstico con respecto a ese problema.

Esto parece una salida muy fácil al problema. Sin embargo, en esta sección quiero 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 es una razón suficiente para tratar de aplicarlo a lo que me importa en este trabajo.

La segunda distinción importante es el humeanismo/anti-humeanismo de las tesis sobre causalidad. Hume famosamente argumentó que las cuestiones de hecho están relacionadas por causa y efecto. La relación de causa y efecto viene de la experiencia. Ahora, ¿cómo justificamos las inferencias basadas en experiencia? Es aquí donde Hume argumenta que no hay manera en que podamos concluir que eventos similares seguirán ocurriendo en un futuro, ya que esta inferencia ni está basada en la experiencia, ni es demostrable *a priori*. Por lo que nuestras inferencias basadas en la relación de causa y efecto no están justificadas (Hume, 2017).

Hume resuelve este problema apelando a que estas inferencias están basadas en el hábito de ver que de un eventos ocurriendo, otro evento ocurre. Hume nos dice que la idea de causalidad engloba al menos cuatro propiedades: antecendencia temporal de la causa al efecto, contigüidad, regularidad sin conexión necesaria y la causa es diferente al efecto. En particular la tesis de que no hay conexión necesaria es a lo que llamamos en metafísica una tesis humeana. La negación de esto es el anti-humeanismo. Más aún, la tesis de Hume es

---

<sup>14</sup>Una defensa del pluralismo causal nos la ofrece Cartwright (2007).

reduccionista. Es reduccionista en el sentido en el que reduce a la causalidad al hábito. Este hábito tiene ciertas propiedades y excluye a la necesidad del análisis<sup>15</sup>.

David Lewis (1973a) hizo un análisis contrafáctico de la causalidad que además es consistente con las tesis defendidas por Hume. 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 relación causal. 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). Además, en el modelo causal de Woodward, el corte entre mundos posibles y el mundo actual es menos vago. Este corte es menos vago debido a la definición de intervención. Por lo que este modelo causal no infla la ontología y nos da un análisis contrafáctico de la causalidad. Por tanto, es preferible.

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 tanto a *cómo* podemos rastrear relaciones causales como a *qué* es la causalidad. Como dije anteriormente, puede que esto sólo capture una parte, pero sin duda captura algo, de lo que es causalidad.

---

<sup>15</sup> Hay que notar que Hume está reduciendo los aspectos ontológicos de la causalidad a los aspectos epistémicos. Debido a que la única evidencia que tenemos es el hábito de que a ciertos eventos les siguen ciertas causas y esto no es evidencia de que haya conexión necesaria, entonces la causalidad no implica necesidad.

En la postura de Woodward, son importantes las nociones de “invarianza” e “intervención”. Estas son importantes porque a partir de estas nociones 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 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 las explicaciones exitosas) 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 cualquiera, que A explique B significa que hay una relación causal que liga la ocurrencia de A con la ocurrencia de B. Esto es sólo cuando al controlar A, podemos manipular B. Por lo que las posibles modificaciones que hagamos a A y los cambios que eso produzca en B nos ofrecen una explicación del evento B. 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 relacionado sólo con los cambios en A y no deberíamos poder explicar el cambio en B cambiando a B por sí sola. 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 relacionado con cambios en el valor de A de manera que sin cambios en A, no habría habido cambios en B; ii) mediante R debemos ser capaces de hacer una “generalización” tal que dicha generalización nos debe decir cómo en los casos invariantes (que son casos en los que bajo ciertas restricciones si ocurre A, entonces ocurre B); iii) A hace un cambio en B y el cambio en B no debe darse por cualquier otra ruta; iv) No hay causas diferentes a A que cambien a B (ya sea una causa común o alguna otra razón) todo debe estar acotado de acuerdo a i-iv (Woodward, 2000, p. 201). Todo esto constituye



la noción de intervención. Si diseñamos una manera en la que podamos intervenir en A, y dicha intervención cumple las características i-iv, entonces tenemos una explicación de la ocurrencia de B.

Por 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.

Un ejemplo más elaborado de esto y que pone de manifiesto que no es necesario un agente que intervenga es el caso de cómo la luz y la temperatura afecta el proceso de florecimiento en plantas del género *Arabidopsis*. En (Ausin, Alonso-Blanco, y Martínez-Zapater, 2005) los autores argumentan a favor de la hipótesis que afirma que el proceso de florecimiento es un proceso altamente plástico. Los datos arrojan que en el caso de *Arabidopsis*, hay al menos dos factores que modifican la velocidad con la que este género florece: temperatura y luz. En el caso de la temperatura se ha observado que si se somete a los especímenes a temperaturas bajas (aunque no al punto de congelamiento), el proceso de florecimiento se acelera. En el caso de la luz, 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 el florecimiento. La parte en la que el observador cae en cuenta de que hay al menos una correlación, también cuenta como una intervención.

Este ejemplo muestra que no necesariamente debe haber un agente interviniendo directamente en los factores relevantes. Sin duda, se pueden recrear diferentes condiciones en el laboratorio. Por ejemplo, supongamos que un observador cayó en cuenta de que sus plantas florecían más rápido cuando estaban bajo una sombra que al sol directo. Esto podría ayudar a diseñar condiciones en las que el observador replique lo que accidentalmente observó. Puede entonces crear condiciones en las que mantenga la temperatura igual y que modifique la luz que llega

a la planta. O bien puede mantener la luz fija y variar la temperatura. Si todo esto además cumple con las características que pide Woodward, podemos concluir que hay una relación causal.

Cabe aclarar que dichas intervenciones deben ser posibles. Por ejemplo puedo preguntarme qué pasaría en el caso en el que no me tomara la píldora. Si realmente es la píldora lo que hace que cese mi dolor de cabeza, entonces me seguirá doliendo en el caso en el que no me la tome. Puedo preguntarme también qué pasaría en caso de que el componente de la píldora fuese diferente al que de hecho es.

Puedo preguntarme porqué un cuervo es negro, y puedo preguntarme qué debería cambiar para que el cuervo tuviera un color diferente. Pero sería absurdo preguntarme qué pasaría si en lugar de ser “este” cuervo fuera un cardenal. En este último caso no hay una manera clara de moldear a este cuervo para hacerlo un cardenal. Por lo que ésta pregunta queda excluida por la cláusula de posibilidad.

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<sup>16</sup>(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

---

<sup>16</sup>Woodward menciona que estas intervenciones no implican que haya un ser humano realizándolas, sino que sólo son posibles intervenciones.

partir de ello que obtenemos información que indica si hay o no una relación entre variables.

### 1.4.1. Cosas por resolver y algunas soluciones

Hasta aquí he dado un repaso muy breve de tres modelos de explicación. Empezamos por el modelo Nomológico-Deductivo de Hempel y discutí los problemas más famosos que se le han detectado. Me centré en el problema de las leyes porque en ciencias especiales no es claro que ciertos enunciados cumplan los criterios para ser una ley de la naturaleza (al menos no cumplen el conjunto de criterios de Nagel). Después expuse el modelo de Salmon y mencioné algunos de los 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 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.

Hasta ahora parece que hemos 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).

¿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, seguro moriría”<sup>17</sup>. Ahora bien, ¿qué hace verdadero a este condicional? Según la teoría de Lewis, este condicional es verdadero si en los mundos posibles

---

<sup>17</sup>Esto debe leerse como un condicional necesario  $\Box \rightarrow$ . Es decir que en todos los mundos a los que tenemos acceso en los que está el antecedente, también está el consecuente.

suficientemente parecidos a este, mi doble-lewisiano se tira de un séptimo piso y se muere.

Esto es problemático porque el trato semántico de los contrafácticos depende de los mundos posibles. Siendo el de Lewis el trato más famoso de los contrafácticos (1973b), el trato semántico de estos condicionales en depende de aceptar el realismo modal. El realismo modal es, a grandes rasgos, la tesis de 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.

Sin embargo, uno de los objetivos era no asumir compromisos ontológicos que no tienen un vínculo claro con la evidencia. Lo que hace que esta semántica de los contrafácticos no cumpla el requisito. Woodward tiene un capítulo dedicado a los contrafácticos (Woodward, 2003, cap. 5). 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.

Sin embargo, no queda claro exactamente cuál sería la semántica de oraciones contrafácticas, que son una parte importante del análisis causal de Woodward. ¿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 actual. Esto es una sugerencia para tratar de explorar semánticas alternativas a la de mundos posibles. 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. En algunos casos, analizar el contrafáctico consistirá en diseñar un experimento en el cual podamos intervenir para modificar los valores, como en el ejemplo de cómo la luz y la temperatura afecta el florecimiento de las plantas.

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

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 intervenimos la misma variable, y que no es numéricamente idéntica, podría ser una semántica alternativa para los contrafácticos, al menos como los entiende Woodward.

Es importante aclarar la semántica 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 de dicho evento. En este caso no serían mundos posibles sino modelos posibles.

Sin embargo, con esta restricción perdemos las explicaciones causales de fenómenos singulares. Las perdemos porque fenómenos irrepetibles como la transición de la vida a la tierra 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. No es lo mismo que hacer un diseño experimental que podamos repetir en condiciones parecidas. Perdemos expresividad, pero ganamos una semántica más clara que además encaja con cómo se trabaja en ciencias.

Aquí quiero hablar de dos problemas extras el de sobre-determinación y el problema de validez externa.

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. Es decir que si algo es explicativo, entonces nos dice algo sobre el 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 bien ND y su modelo intervencionista pueden convivir: algunas ocasiones será más útil un modelo que otro.

En primer lugar, lo que dice acerca de la relación al cambio, asume la cuestión. Parte central del argumento de Woodward es justamente presentarnos cómo el cambio y la intervención son explicativos. En el siguiente capítulo me dispongo a argumentar en favor de una teoría antirrealista acerca de las leyes de la naturaleza.

18

---

<sup>18</sup>Con esto no quiero afirmar que las pruebas matemáticas son una forma de explicación. No estoy tomando una posición en este debate, para una noción de explicación en esta área, véase (Lange, 2015).

## Capítulo 2

# ¿Qué es una ley de la naturaleza?

Regularmente se toma como evidencia a favor del regularismo nómico

El concepto de “ley de la naturaleza” ha estado presente en los debates filosóficos sobre la ciencia, particularmente en discusiones acerca de la metafísica de la ciencia, objetivos de la ciencia y en epistemología de la ciencia. Según Giere (1999), el término “ley de la naturaleza” empezó a ser usado durante el siglo XVII. El autor señala que muchas de las intuiciones que se tienen sobre las leyes (generales, objetivas, verdaderas y necesarias) nacen de cómo se entendieron las leyes durante dicho siglo. Durante este periodo, se sostenía que las leyes de la naturaleza son regularidades dictadas por Dios; en este sentido las leyes son necesarias, objetivas, generales y verdaderas.

La entrada de leyes de la naturaleza en la enciclopedia de d’Alambert y Diderot (d’Argis, 2002) discute el tema de las leyes naturales en el terreno de la jurisprudencia<sup>1</sup>. 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; las acciones son moralmente deleznales en caso contrario. Pero además, al dotar de conocimiento a los seres humanos, podemos conocer esas

---

<sup>1</sup>Aunque no se está utilizando el término “leyes de la naturaleza” en el mismo sentido en el lo entienden Hempel y Nagel, hay algunas intuiciones que coinciden. Hacer una comparación acerca de si el concepto de “leyes de la naturaleza” usado por Hempel y Nagel tiene su origen en la jurisprudencia es algo que excede los límites de este trabajo

leyes al examinar la naturaleza<sup>2</sup>.

Es por ello que hay que rescatar las referencias históricas para echar luz sobre el debate de las leyes de la naturaleza. En la primera sección trato de motivar cómo es que las leyes de la naturaleza juegan un papel importante en las discusiones filosóficas acerca de la ciencia. En la segunda sección presento un dilema que plantea Nagel sobre la naturaleza de las leyes, después exploro ambos disyuntos del dilema. Las últimas secciones tratan de ofrecer una teoría epistémica que no dependa del concepto de ley de la naturaleza y que dé cuenta de la investigación científica.

## 2.1. Leyes de la naturaleza: epistemología, metafísica y los objetivos de la ciencia

Hempel y Oppenheim en (1948) mencionan que en general el *objetivo* de la ciencia es responder a preguntas “¿por qué?” y no simplemente a preguntas “¿cómo?”. Pero para responder a las preguntas “¿por qué?” es necesaria una ley general. De manera tal que explicar sea una derivación que va de la ley al fenómeno en cuestión, es decir, explicar es subsumir un resultado a una ley más general. En este sentido, el artículo de Hempel y Oppenheim es un ejemplo claro de como se ligan a las leyes con un rasgo epistémico, porque en su modelo de explicación (donde explicar es un término epistémico), depende de que haya leyes de la naturaleza.

No sólo eso, además en el artículo aseguran que el objetivo de la ciencia es dar respuestas a preguntas “¿por qué?”, pero no a preguntas “¿cómo?”. Esto es, la ciencia no sólo describe el comportamiento de un fenómeno, sino que nos dice por qué sucede. Debido a que explicar está ligado a las leyes de la naturaleza, entonces el objetivo de la ciencia también está relacionado con el concepto de ley, como dicen los autores “[t]hus, here again, the question ‘Why does the phenomenon happen?’ is construed as meaning ‘according to what general laws, and by

---

<sup>2</sup>En términos mundanos podríamos sugerir que así es como surge la intuición de que las leyes sean de alguna manera parte del entramado del mundo, es decir, necesarias. Pero esto es sólo una especulación que no discutiré más allá de este comentario.



virtue of what antecedent conditions does the phenomenon occur?”. (Hempel y Oppenheim, 1948, p. 136)

En el trabajo de Hempel y Oppenheim hay varias afirmaciones que se ponen a discusión. En primer lugar la formulación de Hempel indica que las leyes son una característica necesaria para explicar un fenómeno. Sin embargo, somos capaces de ofrecer explicaciones que no necesitan ligarse una ley para contar como tales, por ejemplo, explicar que mi teclado se descompuso porque dejé caer agua sobre él. Por tanto, este criterio no es necesario. Puede sugerirse que este criterio se restringe sólo a explicaciones científicas, pero aún así no es claro que todas las disciplinas científicas utilicen leyes en sus explicaciones, *e.g.*, la biología. Sin embargo, creemos que sin duda la biología trata de darnos explicaciones acerca de fenómenos naturales. Por ejemplo en (Losos, Schoener, y Spiller, 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*. Sucede que al introducir a este depredador, que habita principalmente en el suelo, el *A. Sagrei* tiende a habitar lugares más altos y comienza a desarrollar sus extremidades para que le permita 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”, por tanto, es una explicación en el sentido que pide Hempel. A pesar de ello, no hay leyes en su formulación y no parece plausible generar una ley a partir de este y otros casos porque puede haber otras presiones selectivas actuando<sup>3</sup> en el proceso evolutivo del *A. Sagrei* por ejemplo, cuando se introduce cualquier otro depredador.

En segundo lugar, Hempel nos dice que el objetivo de las diferentes ciencias es dar explicaciones, pero según Hempel y Oppenheim, algo cuenta como una explicación sólo cuando el fenómeno se puede subsumir bajo una ley general. Pero asumimos que hay explicaciones científicas genuinas sin necesidad de apelar a una ley general, como en el caso de algunas explicaciones biológicas. Por lo que el criterio de Hempel tendría que excluir estas explicaciones como explicaciones científicas genuinas, pero esto es absurdo.

---

<sup>3</sup>Por ejemplo podría darse el caso de que el depredador acabe por completo con la población, lo que sería un caso de deriva génica

Mucho de lo que Hempel discutió fue tomado y refinado posteriormente por algunos filósofos. Se ha discutido largo y tendido acerca del tema debido a que hay una fuerte intuición de que la ciencia en general trabaja con leyes. Nagel, por ejemplo, dedica una parte de (Nagel, 2006) a hacer explícito qué es una ley de la naturaleza. Algunos de los criterios que enumera son: i) debe que 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, de esta manera se pretende capturar la relación causal de la ley.

Nagel discute por qué estos criterios son adecuados, al motivar la distinción entre enunciados universales que son leyes, de aquellos enunciados universales que no lo son. 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 porque es una generalización accidental. El criterio de causalidad está involucrado en estas características porque, al afirmar que todos los trozos de cobre se dilatan al calentarse, 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 con que se dilate al calentarse. Esta conexión entre dos propiedades se ha tratado de esclarecer en términos lógicos, causales o de dependencia física.

Este tipo de conexión está relacionado con aspectos metafísicos de la ciencia. Algunos han tratado de capturar esta conexión en términos causales, en términos de contrafácticos y algunos han sido escépticos acerca de esta conexión. En particular, Nagel discute en la siguiente sección la conexión lógica entre ambas propiedades. Parece que hay quienes sostienen que esta conexión es de carácter necesario en tanto es suficiente saber el efecto para saber qué lo causó, asumiendo que tenemos una ley que describe este comportamiento. Sin embargo, esta postura asume que hay una conexión necesaria ya que esta sería la única

manera de justificar nuestro conocimiento de las causas a partir de los efectos. Es por ello que Nagel dice que lo que hace falta es una demostración de la necesidad de dicha conexión.

Sin embargo, el mismo autor 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 la intuición de que la ciencia es fundamentalmente empírica. Sin embargo, negar dicha conexión necesaria implicaría que la ciencia se ocupa sólo de verdades contingentes y que las llamadas “leyes” que asumimos como verdaderas serían sólo leyes en apariencia. Por lo que tenemos un dilema: o bien las leyes son necesarias y perdemos el componente empírico de la ciencia, o bien las leyes no son más que contingentes y las llamadas “leyes de la naturaleza” lo son sólo en apariencia.

Hasta aquí he tratado de motivar que la discusión sobre las leyes está involucrada en muchos de los debates filosóficos sobre la ciencia. Esto particularmente es lo que hace difícil tratar con el problema de las leyes, ya que parece que la postura que tengamos con respecto de qué son las leyes de la naturaleza, nos compromete con una u otra postura acerca de los objetivos de la ciencia, las características epistémicas de la ciencia o con alguna postura metafísica de la ciencia. Por último presenté un dilema que Nagel encuentra con respecto a qué hacer en caso de que las leyes sean o no necesarias. En el siguiente apartado me propongo a analizar uno de los cuernos del dilema.

## 2.2. 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. Esta afirmación suena plausible, sin embargo, cabe recordar que el desarrollo científico dependió en gran parte de la teoría de proporciones. Puesto de manera burda, se investigaba si algo que se quisiera medir podía expresarse en términos de la teoría de proporciones y, por tanto, considerarse una magnitud.

Por ejemplo, Arquímedes y su trabajo acerca del equilibrio de los cuerpos planos donde nos dice cómo el peso es una magnitud en función de la proporción entre las distancias que

hay desde el punto de equilibrio. Incluso Galileo en la tercera jornada prueba 6 teoremas acerca del movimiento uniforme y que demuestra que si un móvil con movimiento uniforme recorre dos espacios, esos espacios serán entre sí como las velocidades (Galileo, 2003, p. 215). Todo esto expresado en términos de la teoría de proporciones.

No cabe duda que los resultados son necesarios al ser derivaciones que dependen de la teoría que Euclides desarrolla en el libro V de los elementos<sup>4</sup>. Si quisiéramos negar el resultado al que llega Galileo, tendríamos que decir que o bien la teoría de proporciones, o bien algún paso de la prueba son incorrectos. Pero la prueba de Galileo no tiene pasos incorrectos. La otra opción sería afirmar que la teoría de proporciones lleva a malos resultados y que, por ello, no es una buena herramienta. Queda en manos de quien afirme esto mostrar que es una mala herramienta.

Aún más, Galileo se propone a mostrar que las adquisiciones de velocidad son iguales cuando la altura es igual. Para ello, Salviati (Galileo, 2003, p. 232) nos dice que si fijamos un clavo en la pared [Punto A] y de este se amarra un grave que tiene un punto máximo [Punto B], y digamos que hay una línea horizontal perpendicular a la línea AB que Cruza desde D hasta C. Si levantamos el grave desde el punto B hasta el punto C, el *momentum* adquirido desde c hasta B será suficiente para que el grave suba desde B hasta D, de esta manera describiendo un arco simétrico CBD. Si Hacemos que la distancia de A a B sea más corta [llamemos a esta nueva línea EB], y levantamos el grave hasta un punto en la línea perpendicular [punto F], el *momentum* del grave hará que la curva descrita pase por FB y suba de nuevo hasta la línea perpendicular en un punto que esté a la misma distancia que F, pero al lado opuesto de la línea EB. De este experimento se concluye que los *momenta* adquiridos son iguales si las alturas son iguales. Salviati menciona además que este experimento no dista mucho de ser una demostración necesaria, lo que sugiere que es importante para Galileo proceder a la manera geométrica justificando los pasos en la teoría

---

<sup>4</sup>Podría objetarse que los resultado de Galileo no sólo dependen de la teoría de proporciones, sino también de un elemento externo, a saber, la definición de movimiento uniforme. Sin embargo, en este punto estoy de acuerdo con Duhem (Duhem, 1976) en que difícilmente podríamos refutar una definición. Si llegamos a encontrar un fenómeno al que no se aplica la definición (por ejemplo un movimiento acelerado), lo único que se puede decir es que simplemente ese no es un movimiento uniforme, pero esto no se podría presentar como evidencia de que la definición de movimiento uniforme es incorrecta.

de proporciones.

Estos ejemplos muestran que en ciencia se pueda proceder a la manera geométrica. Este método se parte de ciertos enunciados y podemos llegar a resultados por medio de una herramienta que asegure que dichos resultados son correctos. Pero esto no implica que perdamos un componente empírico. No lo perdemos porque no sólo parece que a Galileo le importa proceder al modo geométrico, sino que busca que estos resultados se apliquen a problemas concretos. Aún más, estos resultados son generalizaciones de la recaudación de datos al experimentar con planos inclinados, como se sugiere en (Galileo, 2003, p. 231).

En el siguiente apartado me dedico a explorar el segundo cuerno del dilema que nos presentó Nagel e intentaré justificar la conclusión de que no es necesaria una teoría general que capture todas las características de lo que es una “ley de la naturaleza” para rescatar los criterios epistémicos que distinguen a la ciencia.

## 2.3. La contingencia en las leyes

En la sección pasada presenté lo que me parece un contraejemplo al condicional involucrado en el dilema que presenta Nagel. Nagel afirmaba que al hacer 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). Los ejemplos de Galileo muestran que a pesar de que la ciencia proceda a la manera de pruebas geométricas, no implica que se pierda el componente empírico de la misma.

Entonces parece que hay que afirmar el otro disyunto, esto es, que las leyes son contingentes. Si esto es correcto, entonces las llamadas “leyes de la naturaleza” son tales sólo en apariencia. Sin embargo, la conclusión del apartado anterior –que hay casos en la que se procede a manera de una prueba y no se pierde el componente empírico– entra en conflicto con el segundo cuerno del dilema. Supongamos que en efecto las leyes son contingentes, pero lo que Galileo hace es una prueba y esto es un caso en que hay una ley necesaria. Por lo que terminamos en el absurdo de que las leyes son necesarias y contingentes.

Sin embargo, esta contradicción es sólo aparente y surge de tratar de dar una teoría general acerca de las cualidades que definen lo que son las leyes de la naturaleza. Porque no es claro que haya un consenso acerca de a qué se le llama ley de la naturaleza. Dijimos que el término fue originalmente acuñado durante el siglo XVII. Pero como dice Cohen en la introducción a la *Principia* (Newton, 1999) no había un consenso sobre a qué enunciado se le llama “ley de la naturaleza”. Por ejemplo, Cohen menciona que Huygens llamó “hipótesis” a un enunciado que es similar a la primera ley de Newton. Y tampoco olvidemos que Newton llama “axiomas o leyes” a lo que ahora reconocemos como las leyes de Newton. Esto hace que en este caso suceda algo análogo a lo que sucede con el término “axioma”: es utilizado por diferentes autores de distinta manera y no hay un consenso claro incluso en la época de Newton donde comenzó a acuñarse el término (Heath, 2015).

Entonces podemos considerar casos particulares en los que llamamos leyes a casos donde se procede a la manera geométrica y otros casos en los que sólo consideramos un proceso contingente y lo podemos llamar ley de la naturaleza. La contradicción surge cuando se busca una teoría general sobre las llamadas “leyes de la naturaleza” que incorpore todos los casos. Sin embargo, al no haber un claro consenso, quizás haya que abrazar la posibilidad de que el término no es más que una etiqueta.

## 2.4. El estatus de las leyes de la naturaleza

Afirmar que el término “ley de la naturaleza” no es más que una etiqueta no es una afirmación 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 ocurra como se describe. Fuera de estos casos, difícilmente veremos a la naturaleza comportarse como describen las leyes de la naturaleza. Cartwright asegura que es esto lo que le da la fuerza explicativa a la teoría. Un ejemplo que utiliza es el de la ley de gravitación universal. Cartwright asegura que esta ley es falsa ya que siempre hay otras fuerzas actuando y que es sólo cuando se agrega la cláusula de “siempre y cuando no haya otras fuerzas

interactuando” 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 virtudes cognitivas que perderíamos si buscáramos que la ley fuera verdadera (por ejemplo, acotando el cuantificador sólo a los casos 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.

Pero si lo que dicen Cartwright y Elgin es correcto, entonces una teoría de la verdad correspondentista no es un buen candidato para una teoría de la verdad en ciencia. Podemos defender que una teoría de la verdad correspondentista es adecuada, sin embargo, los seres humanos somos cognitivamente deficientes y el error está en nuestras capacidades cognitivas. Haciendo que el problema no sea la correspondencia entre los enunciados y aquello que describe, sino que el problema está sólo a nivel de los enunciados que usamos. Debido a que nos valemos de la mejor explicación que hay disponible, el mundo está dispuesto a ser descubierto, pero los humanos aún no llegamos a una buena descripción. Es sólo en el futuro

cuando tengamos una mejor teoría que ésta será una descripción literalmente verdadera. Sólo en ese caso, una teoría correspondentista saldrá ilesa de este embrollo.

Detengámonos un momento en las afirmaciones de Cartwright y Elgin. Ambas autoras hacen de la verdad un objetivo secundario de la ciencia y que parecen hacer del “poder explicativo” el valor epistémico fundamental<sup>5</sup>. Pero dudo que cualquier persona que haya dedicado su vida a la investigación se refiera a su trabajo como “aproximadamente verdadero” o “literalmente falso”, por lo que aún hay algo que explicar acerca de cómo la verdad juega un papel en la investigación científica.

## 2.5. El papel de la verdad en la investigación

En un artículo reciente (Pritchard, 2019), Pritchard argumenta que el paso de tener a la verdad como un valor epistémico secundario no resuelve los problemas que pretende. Pritchard explora la tesis de que la verdad es el valor epistémico por excelencia y desarrolla un argumento que trata de resolver los problemas que parece tener la afirmación “la verdad es el único valor epistémico fundamental”.

Una razón para decir que la verdad no es fundamental, o bien no es el único valor importante, parece ser el hecho de que cualquiera que valore la verdad, valorará todas las verdades por igual. Por poner un ejemplo burdo, seguro hay una respuesta correcta a la pregunta ¿cuántos ladrillos hay en las paredes de mi casa?, pero sería ocioso perseguir esta respuesta. Debido a que hay una respuesta verdadera a la pregunta y debido a que no parece que sea valioso seguirla, por tanto no tiene valor. Pero si no tiene valor en absoluto, entonces que algo sea verdad no es suficiente para la investigación. Por lo que parece claro que la verdad sólo es una parte en la búsqueda del conocimiento y hay que tomar en cuenta otros valores<sup>6</sup>.

---

<sup>5</sup>Haría falta revisar exactamente a qué se refieren con poder explicativo. Si se refieren a que estos enunciados ayudan a explicar cómo suceden los fenómenos, entonces tendrían que describir correctamente el comportamiento de los fenómenos. Pero esto sólo lo podemos asegurar si la descripción es verdadera. Volviendo de nuevo al problema del que trataban de deshacerse.

<sup>6</sup>El problema de tratar a todas las verdades como igual es un problema al con el que Elgin intenta motivar su teoría, véase el primer capítulo de (Elgin, 2017)



Sin embargo, este problema aparece cuando sólo tomamos en cuenta que es una proposición la que está en juego. Digamos que tengo dos respuestas correctas a dos preguntas diferentes, llamémoslas P y Q. Una de las preguntas es trivial y la otra es “de más peso”. Si lo único que estuviera en juego fuesen P y Q, entonces tendríamos el problema mencionado antes. Pero no es claro por qué cualquiera que acepte que la verdad es un valor fundamental debería aceptar esto. Podría argumentarse que no importa sólo que una proposición sea verdadera, sino que las proposiciones vinculadas a ella también lo sean. Si el resultado permite obtener más verdades, entonces será un resultado más valioso. Pritchard apela a la teoría de virtudes epistémicas<sup>7</sup> y hace que este último punto dependa del agente y no de los valores que perseguimos en la búsqueda de conocimiento, lo que hace que podamos asumir que el valor epistémico fundamental es la verdad.

Este desarrollo que hace Pritchard podría ayudar a explicar cómo es que la verdad juega un papel en la investigación científica, independiente al hecho de que haya o no leyes de la naturaleza, que, como se dijo en la sección 1.3, probablemente no sea algo más que una etiqueta.

---

<sup>7</sup>Las virtudes epistémicas son capacidades de los agentes que se desarrollan con el hábito. Entre algunas podemos nombrar: que el agente sea observador, que preste atención a la evidencia, que tenga buena memoria, etc. Esto hace que las otras virtudes que probablemente juegan un papel como valores epistémicos, estén dependan del agente y no de valores como los que describen las tesis de Cartwright y Elgin.

## Capítulo 3

### Definir causalmente al fitness

# Referencias

- Anjum, R. L., y Mumford, S. (2018). *Causation in science and the methods of scientific discovery*. Oxford: Oxford University Press. Descargado de <https://oxford.universitypressscholarship.com/10.1093/oso/9780198733669.001.0001/oso-9780198733669>
- 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
- 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>
- Duhem, P. (1976). Physical theory and experiment. En S. G. Harding (Ed.), *Can theories be refuted? essays on the duhem-quine thesis* (pp. 1-40). Dordrecht: Springer Netherlands. Descargado de [https://doi.org/10.1007/978-94-010-1863-0\\_1](https://doi.org/10.1007/978-94-010-1863-0_1)
- Elgin, C. (2004). True enough. *Philosophical Issues*, 14(1), 113-131. doi: 10.1111/j.1533-6077.2004.00023.x
- Elgin, C. (2017). *True enough*. Cambridge: MIT Press.
- Fraassen, B. C. V. (1977). The pragmatics of explanation. *American Philosophical Quarterly*, 14(2), 143-150. Descargado de <http://www.jstor.org/stable/20009661>
- Frankino, W. A., Zwaan, B. J., Stern, D. L., y Brakefield, P. M. (2007, diciembre). Internal and external constraints in the evolution of morphological allometries in a butterfly. *Evolution*, 61(12), 2958-2970. Descargado de <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.2007.00249.x> doi: 10.1111/j.1558-5646.2007.00249.x
- 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.<sup>a</sup> ed.). Losada.
- Giere, R. N. (1999). *Science without laws*. University of Chicago Press.

- Heath, T. (2015). *Mathematics in aristotle*. Taylor & Francis.
- Hempel, C., y Oppenheim, P. (1948). Studies in the logic of explanation. *Philosophy of Science*, 15(2), 135–175. doi: 10.1086/286983
- Hume, D. (2017). *Enquiring concerning human understanding* (in the version by Jonathan Bennett presented at [www.earlymoderntexts.com](http://www.earlymoderntexts.com), Ed.).
- Kitcher, P. (2002). Explanatory unification and the causal structure of the world. En Y. B. A. Rosenberg (Ed.), *Philosophy of science: Contemporary readings* (p. 71-91). Routledge.
- Lange, M. (2015, junio). Depth and Explanation in Mathematics†. *Philosophia Mathematica*, 23(2), 196–214. Descargado 2020-12-14TZ, de <https://doi.org/10.1093/philmat/nku022> doi: 10.1093/philmat/nku022
- Lewis, D. (1973a). Causation. *Journal of Philosophy*, 70(17).
- Lewis, D. (1973b). *Counterfactuals*. Blackwell.
- 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>
- Mayr, E. (1998). Causa y efecto en biología. En A. Barahona y S. Martínez (Eds.), *Historia y explicación en biología* (p. 82-95).
- Nagel, E. (2006). *La estructura de la ciencia* (1.<sup>a</sup> ed.). Barcelona: Paidós.
- Newton, I. (1999). *The principia: Mathematical principles of natural philosophy* (B. Cohen, Ed.). University of California Press.
- Paaby, A., y Rockman, M. (2014). Cryptic genetic variation: Evolution’s hidden substrate. *Nature Reviews Genetics*, 15(4), 247–258.
- Pfenning, D. (2016). Ecological Evolutionary Developmental Biology. En R. Kliman (Ed.), *Encyclopedia of evolutionary biology*. Elsevier.
- Pritchard, D. (2019). Intellectual virtues and the epistemic value of truth. *Synthese*. Descargado de <https://doi.org/10.1007/s11229-019-02418-z> doi: 10.1007/s11229-019-02418-z
- Psillos, S. (2009). *Causation and explanation* (1.<sup>a</sup> ed.). Acumen Publishing.
- Salmon, W. (1970). Statistical explanation. En *The nature and function of scientific theories*.
- Salmon, W. (1994). Causality without counterfactuals. *Philosophy of Science*.
- 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
- Uller, T., y Laland, K. (2019). Evolutionary causation. En T. Uller y K. Laland (Eds.), *Evolutionary causation: Biological and philosophical reflections*.
- van Fraassen, B. (1980). *The scientific image*. Oxford University Press.
- 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/>