

Universidad Nacional Autónoma de México

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

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

**Contenidos**

[Introducción 3](#__RefHeading___Toc3677_820008980)

[Referencias 7](#__RefHeading___Toc1882_2342919792)

[Explicación en ciencia 8](#__RefHeading___Toc1558_820008980)

[Causas próximas y biología evolutiva 8](#__RefHeading___Toc1560_820008980)

[Análisis filosóficos de la explicación 12](#__RefHeading___Toc1562_820008980)

[Relevancia Estadística 16](#__RefHeading___Toc1564_820008980)

[Retomando la causalidad 19](#__RefHeading___Toc1566_820008980)

[Cosas por resolver y algunas soluciones 26](#__RefHeading___Toc1568_820008980)

[Referencias 30](#__RefHeading___Toc1570_820008980)

[¿Qué es una ley de la naturaleza? 33](#__RefHeading___Toc2406_820008980)

[El nacimiento del término 35](#__RefHeading___Toc2408_820008980)

[Modelos y necesidad 36](#__RefHeading___Toc2410_820008980)

[La necesidad en las leyes 39](#__RefHeading___Toc2412_820008980)

[El estatus de las leyes de la naturaleza 44](#__RefHeading___Toc2414_820008980)

[El papel de la verdad en la investigación 45](#__RefHeading___Toc2416_820008980)

[Referencias 47](#__RefHeading___Toc2418_820008980)

[Una definición causal de *fitness* 49](#__RefHeading___Toc3428_820008980)

[Explicaciones causales en biología 53](#__RefHeading___Toc3430_820008980)

[*fitness*, un concepto causal 59](#__RefHeading___Toc3432_820008980)

[*Fitness* y la interpretación dinámica de la Selección natural 61](#__RefHeading___Toc3434_820008980)

[Poblaciones o individuos 65](#__RefHeading___Toc3436_820008980)

[Referencias 68](#__RefHeading___Toc3438_820008980)

[Reflexiones finales 71](#__RefHeading___Toc3471_820008980)

# Introducción

Parte de la investigación científica se centra en buscar relaciones causales entre fenómenos y es una intuición común que usamos explicaciones causales para explicar fenómenos. Cuando hablamos de *inferencias causales* nos referimos a la justificación de dichas relaciones y a la justificación en la que apelamos a relaciones causales. En términos de un argumento, son aquellos argumentos en los que en la conclusión aparece una relación causal entre dos fenómenos, o bien que las premisas involucran algún tipo de relación causal. El objeto de estudio de este trabajo son las inferencias causales en biología evolutiva. En particular, cómo la información causal puede ayudarnos a resolver algunos problemas que tiene la definición clásica de *fitness*

La pregunta que queremos responder en este trabajo es: *¿el modelo de Woodward es adecuado para tratar el fenómeno de la causalidad dentro de la biología evolutiva?* La pregunta es importante porque hay una tensión en torno a cómo interpretar la teoría de la selección natural. Este problema está reflejado en (Bouchard and Rosenberg 2004) y (Walsh, Lewins, and Ariew 2002). Los primeros sostienen que la selección natural es a nivel de individuos y causal, mientras que los segundos defienden la tesis de que es a nivel de poblaciones y puramente estadística. Nosotros argumentaremos a favor de una interpretación causal.

Millstein en (2006) trata de dar una salida al problema argumentando que la selección natural es un proceso a nivel de poblaciones, pero es un proceso causal. Sin embargo, Millstein no se avoca en su artículo a decirnos qué cuenta como proceso causal y qué no. Por lo que su solución es incompleta.

Diremos que esto se debe, tal como se menciona en el artículo de Uller y compañía (2020), a que los biólogos se han preocupado poco por el problema de la causalidad y este estudio ha sido relegado a los filósofos de la ciencia. Debido a que cierto compromiso con causalidad indica qué evidencia sería apta para una hipótesis, es importante aclarar cómo se utiliza información para justificar hipótesis causales.

En este trabajo queremos defender la hipótesis de que el modelo de Woodward puede aclarar el uso de causalidad en biología. La causalidad es un concepto ampliamente usado para describir cómo se relacionan el medio ambiente y los organismos que habitan en él. La hipótesis es que el modelo de Woodward puede hacer más claro en términos metodológicos cómo se opera al experimentar cuando buscamos justificar hipótesis en biología. En particular hipótesis que tienen como consecuencia una relación causal. Este modelo tiene la virtud de que esclarecemos los compromisos ontológicos y metodológicos que se tienen al trabajar con hipótesis en selección natural.

El primer capítulo de este trabajo es el más expositivo y trata sobre cómo los modelos de explicación no han hecho justicia a cómo se trabaja en ciencias como la biología. Damos un breve repaso sobre las diferentes teorías de la explicación y proponemos al modelo de Woodward como una buena alternativa que rescata aspectos cruciales de la explicación en biología evolutiva, entre sus ventajas está el hecho de que este modelo de explicación no recurre a leyes. Además pretendemos esquematizar el modelo de Woodward, que consiste en que las explicaciones causales apelan a condicionales contrafácticos, y motivar que es un buen modelo porque ejemplifica y esclarece cómo se trabaja en biología evolutiva.

El segundo capítulo trata el tema de las leyes, particularmente la metafísica de las leyes. Si bien el modelo de Woodward puede capturar los aspectos epistémicos de la explicación a través de ofrecer una caracterización de causalidad, queda por discutir acerca del estatus de la causalidad y su relación con las leyes de la naturaleza. Nos interesa en particular argumentar a favor del indeterminismo causal. Los deterministas causales argumentan que dado un conjunto de variables, en conjunción con las leyes de la naturaleza, podemos predecir exactamente que pasará en el momento siguiente. Algún realista sobre las leyes puede argumentar que hay determinismo involucrado en el hecho de que haya leyes de la naturaleza[[1]](#footnote-2). Las leyes describen estas conexiones necesarias. Esto es problemático para trabajar en biología porque, por lo regular, asumimos que hay indeterminismo. De manera que no somos capaces de predecir la evolución de las especies. Si causalidad y leyes están involucradas en el determinismo[[2]](#footnote-3) entonces no es claro que podamos hablar de manera holgada sobre causalidad en biología.

El argumento en contra del determinismo causal es concentrarnos en la conjunción con las leyes de la naturaleza. Los necesitaristas argumentan que las leyes describen el comportamiento del mundo. En este sentido si las leyes describen el comportamiento del mundo y estas reflejan conexiones necesarias, entonces es suficiente con tener toda la información para afirmar que el mundo es determinista. Contra esto argumentamos a favor de un modelo antirrealista de las leyes. Argumentamos que las leyes son necesarias porque son derivaciones de axiomas. Pero esta conexión necesaria es una entre axiomas y teoremas, no una que esté en la naturaleza. Es decir, esta conexión necesaria no está dada por la metafísica sino por la lógica. Dicho todo esto podemos usar una aproximación como la presentada por Woodward para trabajar y modelar relaciones causales en biología evolutiva.

Por último, en el tercer capítulo queremos presentar cómo el modelo de Woodward, en conjunción con la práctica biológica, nos permite definir causalmente al *fitness*. Ya en el primer capítulo presentamos al modelo de Woodward como una alternativa para hablar de explicación en biología. Lo anterior, en conjunción con el indeterminismo causal, nos permite hablar de causalidad en biología.

Hay un problema cuando definimos que el organismo más apto es aquél que deja más descendencia. Si el organismo más apto es el que deja más descendencia y aptitud está definido en términos de dejar más descendencia, entonces *fitness* es tautológico. Rosenberg menciona que para librar a la selección natural de esta carga tautológica hay que definir al *fitness* de otra manera: incorporando una noción de *fitness* ecológico. Esta noción integra el ambiente en el que se desarrollan los organismos y cómo estos resuelven problemas de “diseño”. Esto en principio nos libera de la carga tautológica ya que aptitud se define en términos de resolución de problemas. Son los organismos que mejor resuelven estos problemas los que dejan más descendencia. Esto nos permite leer causalmente el concepto de *fitness* a la vez que podemos medirlo en términos de sus consecuencias, a saber, en el número de descendientes.

Sin embargo, la noción de diseño requiere un desarrollo ulterior, además de que no es claro cómo individuar los problemas de diseño a los que se refieren Bouchard y Rosenberg en (2004). Para solventar esto, nosotros apelamos a los modelos experimentales utilizados para reunir evidencia. Supongamos, por ejemplo, que insertamos a un depredador en el medio ambiente. Pasa el tiempo y observamos que los organismos que son depredados han desarrollado extremidades más largas que les permiten moverse más rápido. Si en un diseño experimental intervenimos insertando el mismo depredador y obtenemos los mismos resultados, entonces podemos individuar exactamente cuál problema de “diseño” están resolviendo los organismos, al mismo tiempo que obtenemos una explicación del fenómeno según 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 *fitness*.

La pregunta es importante porque en lo referente a la biología evolutiva, se considera que el medio ambiente en el que habita el organismo tiene influencia en la selección de caracteres, por ejemplo, el tamaño de órganos y extremidades. Esta influencia puede ser descrita en términos de una relación causal. Describir esta influencia de este modo, indica qué evidencia es pertinente para justificar el fenómeno a investigar. El modelo de Woodward nos parece adecuado por el énfasis que hace en la intervención, lo que casa bien con el hecho de que agentes concretos puedan realizar experimentos de laboratorio que sirvan para justificar las hipótesis que pueden generar al observar el entorno natural.

Bouchard, Frederic, and Alexander Rosenberg. 2004. “Fitness, Probability and the Principles of Natural Selection.” *British Journal for the Philosophy of Science* 55 (4). Oxford University Press.

## Referencias

Graves, Leslie, Barbara L. Horan, and Alex Rosenberg. 1999. “Is Indeterminism the Source of the Statistical Character of Evolutionary Theory?” *Philosophy of Science* 66 (1). University of Chicago Press: 140–57. <https://doi.org/10.1086/392680>.

Millstein, Roberta L. 2000. “Is the Evolutionary Process Deterministic or Indeterministic? An Argument for Agnosticism.” <http://philsci-archive.pitt.edu/4544/>.

———. 2006. “Natural Selection as a Population-Level Causal Process.” *British Journal for the Philosophy of Science* 57 (4).

Uller, Tobias, and Kevin Laland. 2020. *Evolutionary Causation: Biological and Philosophical Reflections*.

Walsh, Denis, Tim Lewins, and André Ariew. 2002. “The Trials of Life: Natural Selection and Random Drift.” *Philosophy of Science* 69 (3). The University of Chicago Press: 429–46. <https://doi.org/10.1086/342454>.}

# Explicación en ciencia

## Causas próximas y biología evolutiva

En este capítulo nos proponemos a hacer un breve repaso de algunos modelos de explicación. Comenzamos por el modelo Nomológico-Deductivo[[3]](#footnote-4) (ND para abreviar) de Hempel y Oppenheim (1948), luego presentamos el modelo de relevancia estadística (SR para abreviar) de Salmon y por último el modelo causal de Woodward. Nuestro 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.

Nos 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 llamamos 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 decimos que el vaso se cayó porque lo golpeamos: nuestro golpear el vaso causa su caída y rotura.

Más aún, nos interesa el caso en biología porque ha habido algunos problemas cuando se habla de causalidad en este terreno. 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 solo 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 proceso 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).

Más aún Mayr presenta a estos dos dominios como mutuamente excluyentes. En un punto llega a decir de la biología evolutiva que “El animal o planta o microorganismo con el que trabaja no es más que un eslabón en la cadena evolucionista del cambio de formas, y ninguno de estos eslabones tienen ninguna validez permanente” (p. 84). A su vez dice de la boilogía funcional que “La técnica principal del biólogo funcional es el experimento y su aproximación es escencialmente la misma que la del físico o la del químico” (p.83). Tomamos lo anterior como evidencia textual de que Mayr piensa que hay determinismo involucrado en la investigación del biólogo funcional. Esta distinción pretende salvar a la biología evolutiva de una tesis comprometida con el determinismo, por lo que 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 lleva a suponer que hay una dirección de la selección natural. Pero la selección natural no tiene una dirección. La selección natural no es un proceso dirigido hacia un fin específico. Por tanto no hay causalidad en biología evolutiva (al menos no causas próximas). Scriven (1959) hace una distinción que, nos parece, apunta hacia la misma conclusión de Mayr. Scriven señala que no hay simetría 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 de hecho 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[[4]](#footnote-5) (Paaby and Rockman 2014). 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 la causalidad del ámbito evolutivo, estaríamos excluyendo estos fenómenos.

En (Uller and Laland 2019) encontramos un ejemplo claro de estos problemas. Estudiando a las ballenas asesinas, nos damos cuenta que 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.

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 interesante 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 *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. 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.

Un ejemplo que podría ilustrar aún más esto que mencionamos es el experimento de las mariposas *Bycyclus anynana*. En (Frankino et al. 2007), los investigadores prueban la hipótesis de que el tamaño de las alas de las mariposas se debe en mayor medida a selección 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 alometrías que observamos en el entorno natural. Esta explicación es en términos de causas próximas ya que apelan al medioambiente inmediato.

Para solucionar estos problemas y poder integrar los nuevos resultados, es 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, 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 causal entre fenómenos. Otra virtud es que es agnóstico respecto a que la causalidad no sea determinista. Además, nos 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 modelo 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 cómo 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, nos dedicamos 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.

## 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 abrimos, por qué nuestro automóvil hace ruidos extraños, etc.

En algunas ocasiones, nos interesa explicar fenómenos más complejos[[5]](#footnote-6): ¿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[[6]](#footnote-7). 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. Esto nos lleva al trabajo de poder disitnguir 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 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 . Supongamos que de hecho yo tengo dolor de cabeza y me tomo un analgésico . Por tanto se resuelve mi problema de dolor . 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.

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[[7]](#footnote-8). Supongamos, por ejemplo, que rechazamos el criterio de que debe ser un universal irrestricto. Relajando este criterio, podríamos decir que la “ley de segregación”[[8]](#footnote-9) 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, 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. Esto indica que debemos relajar aún más los criterios. Algo que defenderemos es que las leyes no son necesarias para la explicación.

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[[9]](#footnote-10). 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 desechamos 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.

Los otros modelos de Hempel presentados también presentan algunos problemas: para el inductivo estadístico es necesario tener eventos con alta probabilidad de tal manera que hagan más probable a la conclusión. Dado este requisito este modelo no puede incluir casos en los que esperamos que suceda con menor probabilidad un evento. El modelo deductivo estadístico es una instancia de ND así que hereda los problemas de ND. Además no siempre tenemos a nuestra disposición eventos con un alto índice de probabilidad y necesitamos dar cuenta de casos donde la probabilidad de hecho es baja.

## Relevancia Estadística

Kitcher expone de manera clara la discusión en (2002), enmarcando a los diferentes modelos de explicación bajo el modelo pragmático de van Fraassen. 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. Este objetivo consiste en decir cuál es la condición de relevancia adecuada[[10]](#footnote-11).

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 y la formulación Inductiva estadística desarrollados 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 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 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 y un evento , debemos ser capaces de seccionar todas las propiedades relevantes de con respecto a . 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 , esto lo lograremos haciendo una partición homogénea del evento “B”. Buenos candidatos para ello son: = “no soy alérgico al medicamento que me tomé ”, = “que la pastilla de hecho sea un analgésico y no una menta”, [...], = “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”[[11]](#footnote-12) (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 accidentales[[12]](#footnote-13). 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 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 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 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.[[13]](#footnote-14) 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*”[[14]](#footnote-15) (Psillos 2009, 255)

## 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 un par de distinciones. La primera 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. Al tomar el modelo de Woodward como una buena teoría de la explicación y la causalidad para la biología evolutiva, no queremos negar la tesis del pluralismo causal[[15]](#footnote-16), 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.

La segunda distinción importante es si la causalidad involucra al determinismo. 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. 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: la causa precede temporalmente al efecto, contigüidad, regularidad sin conexión necesaria y la causa es diferente al efecto. Más aún, la tesis de Hume es 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[[16]](#footnote-17).

David Lewis (1973a) hizo un análisis contrafáctico de la causalidad que 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 realimso 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).

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 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 “” y “” dos eventos cualquiera, decimos que el evento explica al evento cuando hay una relación causal que liga la ocurrencia de con la ocurrencia de . Esto es sólo cuando al manipular , el valor de 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 y esto a su vez modifica el valor de otro evento cuenta como una intervención en el modelo de Woodward.

Para asegurar que esta relación es causal, este cambio en debe estar relacionado sólamente con los cambios en y no deberíamos poder explicar el cambio en por intervención directa. De manera más esquemática la noción de explicación de Woodward es definir una relación tal que esté constreñida por las siguientes características: i) cambios en el valor de deben estar directamente relacionado con cambios en el valor de de manera que sin cambios en , no habría habido cambios en [[17]](#footnote-18); ii) mediante 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 , entonces ocurre )[[18]](#footnote-19). iii) hace un cambio en y el cambio en no debe darse por ninguna otra ruta; iv) No hay causas diferentes a que cambien a (ya sea una causa común o alguna otra razón), por último todo debe estar acotado a i-iv (Woodward 2000, 201). Todo esto constituye la noción de intervención. Si diseñamos una manera en la que podamos intervenir en , que cambié el valor de en consecuencia y dicha intervención cumple las características i-iv, entonces tenemos una explicación **causal** de la ocurrencia de .

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, and 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.

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, etc. Puedo también preguntarme por qué 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. Puedo hacer que en el cuarto haya un cardenal y no un cuervo, pero no puedo hacer que “este” cuervo se convierta en un cardenal. Son casos como los anteriores los que acotan las intervenciones posibles.

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 y y dicha relación se sostiene aún cuando otras variables se modifican, entonces podemos decir que para cualquier y 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.

### Cosas por resolver y algunas 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 cuáles serían sus condiciones de verdad.

¿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.

Esto es problemático porque el trato semántico de los contrafácticos depende de los mundos posibles. Siendo el de Lewis el trato más famoso de 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.

Sin embargo, uno de los objetivos es 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 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, no queda claro exactamente cuál sería la semántica de oraciones contrafácticas. Al ser estas una parte importante del análisis causal de Woodward, 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 actual[[19]](#footnote-20). Esta forma de tratar a estos enunciados es una sugerencia para 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. Y la relación de acceso es el acceso que tenemos a dicha evidencia. 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. En ambos casos es clara cuál es la relación de acceso y de cercanía.

Si bien el modelo de Woodward es útil para decir cuándo hay una relación causal y cuando no, aún deja de lado cómo es que comenzamos a indagar sobre cierto tipo de relaciones. Esto es, el modelo de Woodward toma como valores ciertas relaciones y nos ofrece una maquinaria para decir si dicha relación es causal o no. Pero, ¿cómo sabemos en principio que variables están relacionadas? Una sugerencia es que la búsqueda de relaciones es algo que se deja a los investigadores particulares, es decir se deja esta parte al contexto de descubrimiento. Lo que hace el modelo de Woodward es operar en el contexto de justificación diciendo si dichas relaciones son o no causales. Esto parece también ser algo que sugiere Hanson en su segundo capítulo en (1958).

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 dicho experimento no sea numéricamente idéntico, podría ser una semántica alternativa para los contrafácticos.

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 causal 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, 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. 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[[20]](#footnote-21).

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: una ley es sólo el caso límite de una generalización.

Hasta este momento hemos expuesto que el modelo de Woodward es una alternativa útil para la explicación en ciencias especiales como la biología. Sin embargo, esto no tiene que implicar que es una buena teoría de la causalidad. Dicho en otros términos:

En las teorias de *causalidad probabilista*, nuestro objetivo es dar una conceptualización de relaciones causales que son inherentemente probabilistas, estocásticas o indeterministas. Así que viene bien hablar de ‘causalidad indeterminista’. En las *teorías probabilistas* de la causalidad nuestro objetivo es dar una caracterización probabilista u ofrecer modelos de relaciones causales que pueden ser o no ellas mismas probabilistas. En este segundo caso podemos o bien admitir que existen casos de causalidad determinista y casos de causalidad indeterminista, o podemos sostener que toda relación causal es determinista, pero que nuestros modelos de relaciones causales es probabilista porque o bien no tenemos conocimiento completo o bien debido a errores de medida[[21]](#footnote-22). (Illari and Russo 2014, 82–83)

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 a partir de 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.

## Referencias

Anjum, Rani Lill, and Stephen Mumford. 2018. *Causation in Science and the Methods of Scientific Discovery*. Oxford: Oxford University Press.

Aristóteles. 2009. *Posterior Analytics, Book 1*. Edited by Daniel C. Stevenson. <http://classics.mit.edu/Aristotle/posterior.1.i.html>.

Ausin, Israel, Carlos Alonso-Blanco, and José-Miguel Martínez-Zapater. 2005. “Environmental Regulation of Flowering.” *The International Journal of Developmental Biology* 49 (February): 689–705. <https://doi.org/10.1387/ijdb.052022ia>.

Cartwright, Nancy. 1983. *How the Laws of Physics Lie*. Oxford University Press.

———. 2007. *Hunting Causes and Using Them: Approaches in Philosophy and Economics*. Cambridge University Press.

Fraassen, Bas C. Van. 1977. “The Pragmatics of Explanation.” *American Philosophical Quarterly* 14 (2). [North American Philosophical Publications, University of Illinois Press]: 143–50. <http://www.jstor.org/stable/20009661>.

Fraassen, Bas van. 1980. *The Scientific Image*. Oxford University Press.

Frankino, W. Anthony, Bas J. Zwaan, David L. Stern, and Paul M. Brakefield. 2007. “INTERNAL and External Constraints in the Evolution of Morphological Allometries in a Butterfly.” *Evolution* 61 (12). John Wiley & Sons, Ltd: 2958–70. <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.2007.00249.x>.

Galavotti, Maria Carla. 2018. “Wesley Salmon.” In *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, edited by Edward N. Zalta, Fall 2018. <https://plato.stanford.edu/archives/fall2018/entries/wesley-salmon/>; Metaphysics Research Lab, Stanford University.

Hanson, Norwood Russell. 1958. *Patterns of Discovery: An Inquiry into the Conceptual Foundations of Science*. Cambridge University Press.

Hempel, Carl, and Paul Oppenheim. 1948. “Studies in the Logic of Explanation.” *Philosophy of Science* 15 (2). Association for Symbolic Logic: 135–75. <https://doi.org/10.1086/286983>.

Hume, David. 2017. *Enquiring Concerning Human Understanding*. Edited by in the version by Jonathan Bennett presented at www.earlymoderntexts.com.

Illari, Phyllis, and Federica Russo. 2014. *Causality: Philosophical Theory Meets Scientific Practice*. Oxford University Press.

Kitcher, Phillip. 2002. “Explanatory Unification and the Causal Structure of the World.” In *Philosophy of Science: Contemporary Readings*, edited by Yuri Balashov and Alex Rosenberg, 71–91. London: Routledge.

Lewis, David. 1973a. “Causation.” *Journal of Philosophy* 70 (17). Oxford Up.

———. 1973b. *Counterfactuals*. Blackwell.

Mayr, Ernst. 1998. “Causa Y Efecto En Biología.” In *Historia Y Explicación En Biología*, edited by Ana Barahona and Sergio MArtínez, 82–95.

Mumford, Stephen, and Rani Lill Anjum. 2013. *Causation: A Very Short Introduction*. Oxford University Press.

Nagel, Ernest. 2006. *La Estructura de La Ciencia*. 1st ed. Barcelona: Paidós.

Paaby, Annalise B., and Matthew V. Rockman. 2014. “Cryptic Genetic Variation: Evolution’s Hidden Substrate.” *Nature Reviews Genetics* 15 (4). Nature Publishing Group: 247–58.

Pfenning, David. 2016. “Ecological Evolutionary Developmental Biology.” In *Encyclopedia of Evolutionary Biology*, edited by Richard Kliman. Elsevier.

Psillos, Stathis. 2009. *Causation and Explanation*. 1st ed. Stocksfield: Acumen Publishing.

Reiss, Julian. 2012. “The Explanation Paradox.” *Journal of Economic Methodology* 19 (1).

———. 2019. “Against External Validity.” *Synthese* 196 (8). Springer Verlag.

Salmon, Wesley. 1970. “Statistical Explanation.” In *The Nature and Function of Scientific Theories*.

———. 1994. “Causality Without Counterfactuals.” *Philosophy of Science*.

Scriven, Michael. 1959. “Explanation and Prediction in Evolutionary Theory.” *Science* 130 (3374): 477. <https://doi.org/10.1126/science.130.3374.477>.

Uller, Tobias, and Kevin Laland. 2019. “Evolutionary Causation.” In *Evolutionary Causation: Biological and Philosophical Reflections*, edited by Tobias Uller and Kevin Laland.

West-Eberhard, M.J. 2008. “Phenotypic Plasticity.” In *Encyclopedia of Ecology*, edited by Sven Erik Jørgensen and Brian D. Fath, 2701–7. Oxford: Academic Press. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780080454054008375>.

Woodward, James. 2000. “Explanation and Invariance in the Special Sciences.” *British Journal for the Philosophy of Science* 51 (2). Oxford University Press: 197–254. <https://doi.org/10.1093/bjps/51.2.197>.

———. 2003. *Making Things Happen: A Theory of Causal Explanation*. Oxford University Press.

———. 2019. “Scientific Explanation.” In *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, edited by Edward N. Zalta, Winter 2019. <https://plato.stanford.edu/archives/win2019/entries/scientific-explanation/>; Metaphysics Research Lab, Stanford University.

———. 2021. “Causation and Mechanisms in Biology.” <http://philsci-archive.pitt.edu/18628/>.

# ¿Qué es una ley de la naturaleza?

En el primer capítulo de este trabajo expusimos brevemente algunas teorías filosóficas de la explicación. Además, hicimos una distinción entre métodos para investigar relaciones causales y los aspectos metafísicos de la causalidad. Ofrecimos razones para tomar a la teoría de Woodward como una buena teoría que describe métodos para investigar relaciones causales. Más aún, la presentamos como una alternativa deseable para trabajar explicación en biología.

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 , en conjunción con las leyes de la naturaleza, causa a . 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.

La causalidad y las leyes de la naturaleza son temas estrechamente relacionados en filosofía de la ciencia. Nosotros dijimos en el primer capítulo 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 and Cani 2019). Por un lado, están los humeanos sobre las leyes: quienes afirman que las leyes no describen conexiones necesarias en el mundo. Podemos pensar a los humeanos como la postura anti-realista de las leyes. 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 antihumeano 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 Lewis[[22]](#footnote-23). Los humeanos, como Lewis, argumentan que hay una relación de superviniencia 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 necesitaristas 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. 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 formalismo del que surge una necesidad aparente.

## 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-humeana 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 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.

## 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-humeana. El argumento de esta sección descansa en que las leyes no capturan conexiones necesarias como lo requiere el anti-humeano.

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 al 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 empíricamente. 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 mostrar dos casos que harán que este dilema desaparezca. Esto a su vez presenta un caso contra quien defienda una tesis anti-humeana de las leyes, ya que diremos que la necesidad involucrada es parte de la prueba y no algo que esté el 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-humeana para sostener su postura. Recordemos que la anti-humeana pone el carácter modal de las leyes en las relaciones entre objetos.

## 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 teoría[[23]](#footnote-24), manetenemos las relaciones sintácticas entre los enunciados. Euclides comienza el libro 5 dándonos un conjunto de definiciones y es 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 qeu al ser expresadas en la teoría formal, la necesidad surge de su calidad de teoremas[[24]](#footnote-25).

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

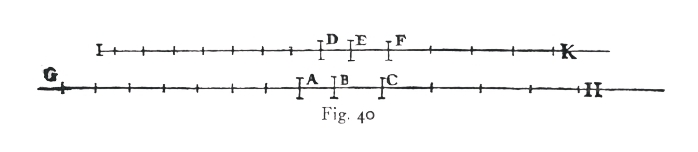
Galileo comienza la exposición de la tercera jornada de los *Diálogos Acerca de Dos Nuevas Ciencias* dando una definición y cuatro axiomas del movimiento uniforme. Galileo define al *movimiento uniforme* como aquel movimiento que en los mismos periodos de tiempo recorre el mismo espacio. Es decir que 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 parir de esta definición, Galileo nos presenta una serie de *axiomas* que son consecuencias 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 y tienen el mismo movimiento uniforme, entonces si se desplaza durante más tiempo, la distancia recorrida también será mayor a la de . 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 necesarios. Con esto queremos decir que al menos se pueden expresar en cualquier mundo posible para evitar el compromiso de si describen o no correctamente el comportamiento dle mundo. 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, 215). Galileo nos pide que consideremos que un móvil recorre con velocidad constante dos distancias. Se nos pide que consideremos una distancia y una distancia . Consideremos además los tiempos correspondientes para atravesar ambas distancias y respectivamente. Extendamos los segmentos y , de manera que y sean múltiplos de y respectivamente. Extendamos a su vez los tiempos y hacia y , donde y son múltiplos iguales de y respectivamente.

es el tiempo que tarda un móvil en recorrer la distancia y debido a que el movimiento es uniforme, entonces cualquier equimúltiplo arbitrario de , en este caso , será el tiempo total que tarda en recorrer . Entonces si , ; si , ; si , . Por tanto, según la definición cinco[[25]](#footnote-26) del libro V de Euclides (Euclides 1956) tiene la misma razón que 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 axciomas 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 fenómenos 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 jugando en el mismo terreno y aceptamos[[26]](#footnote-27) 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, entonces vamos al indeterminismo en causalidad. Este punto de acción no es tan grave porque, como mencionamos en el primer capítulo, no necesitamos tener generalizaciones universales para poder explicar. Según la teoría de Woodward es suficiente con tener generalizaciones que sean invariantes.

## 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 deshonesta 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. Esto les concede el punto a Cartwright y Elgin.

Sin embargo, 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[[27]](#footnote-28). Si bien concedemos a Cartwright y Elgin que las leyes sólo son literalmente verdaderas cuando se cumplen un montón de cláusulas *ceteris paribus*, nos parece que modificar nuestros compromisos con la verdad con otro tipo de valores epistémicos es un paso apresurado. Por lo que aún hay algo que explicar acerca de cómo la verdad juega un papel en la investigación científica.

## 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. Pero si la respuesta es necesaria, digamos porque necesito derribar mi pared y construirla de nuevo, entonces la respuesta adquiere un valor.

Hay una respuesta verdadera a la pregunta y es valioso perseguirla sólo cuando es necesaria. Es en este punto en donde recae el valor de la verdad. En el caso de los modelos, nos son útiles cuando se puede aislar un factor que determina el comportamiento del fenómeno que estamos estudiando. El modelo de Woodward es capaz de hacer esto.

Es capaz de hacerlo en tanto que nos ayuda a aislar componentes causales de los fenómenos bajo escrutinio al modificar ciertas variables y analizar el comportamiento de las otras variables. Una objeción que se nos ocurre es que en los ejemplos de Galileo y de Arquímedes, no es claro cómo vamos a aislar un componente. Sin embargo, hay muchas maneras de pensar estos ejemplos en términos del modelo de Woodward.

Piénsese por ejemplo el caso en el que variamos el hecho de que sea un movimiento uniforme. Cuando el movimiento no es uniforme, entonces no se sigue que las distancias son proporcionales a los tiempos. Más aún, el modelo de Woodward se puede extender lo suficiente como para preguntarnos qué pasaría si utilizáramos una teoría diferente a la teoría de proporciones de Euclides (Woodward 2018). Al hacer esto aislamos un factor, no necesariamente causal, y podemos describir el comportamiento de fenómenos naturales.

Pritchard nos dice que la proposición no es el único objeto que carga valor epistémico al ser verdadero. Digamos que tenenemos 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[[28]](#footnote-29) y hace que este último punto dependa del agente. Podemos asumir que el agente es virtuoso y se preocupa por la verdad. Los agentes además tienen intenciones, por lo que de acuerdo a qué preguntas necesite responder, podrá elegir qué necesita investigar. Este desarrollo que hace Pritchard podría ayudar a explicar cómo es que la verdad juega un papel en la investigación científica.

En este capítulo hemos argumentado que la aparente necesidad de **algunas** leyes deriva del hecho de que son modelos de una teoría formal: la teoría de proporciones. Esto es sólo un poco de evidencia a favor de la tesis humeana sobre las leyes de la naturaleza: la necesidad depende de un marco formal, no de conexiones en el mundo. Si todo esto es correcto, entonces la necesitarista (aquella que afirma que hay necesidad en algunas conexiones naturales) o alguna otra defensora de alguna teoría no-humeana de las leyes, como la disposicionalista, está en serios problemas para dar cuenta de las conexiones causales.

Aunado a esto, nos parece que el modelo de Woodward es una buena alternativa para una teoría general de la explicación y una teoría general de la causalidad. Lo que resta en este trabajo es una aplicación concreta de lo dicho hasta ahora. En el siguiente capítulo nos proponemos analizar el debate de la naturaleza del *fitness*. Creemos que lo dicho hasta ahora ofrecer claridad en torno a este debate.

## Referencias

Archimedes. 1897. “On the Equilibrium of Planes Book I.” In *The Works of Archimedes*, edited by Thomas Heath. Cambridge University Peess.

Bhogal, Harjit. 2020. “Humeanism About Laws of Nature.” *Philosophy Compass* 15 (8). John Wiley & Sons, Ltd: e12696. <https://doi.org/10.1111/phc3.12696>.

Borge, Bruno, and Renato Cani. 2019. “Laws of Nature: Metaphysics and Epistemology.” *Principia: An International Journal of Epistemology* 23 (3). Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC): 367–72. <https://doi.org/10.5007/1808-1711.2019v23n3p367>.

Cartwright, Nancy. 1983. *How the Laws of Physics Lie*. Oxford University Press.

d’Argis, Antoine-Gaspard Boucher. 2002. “Law of Nature, or Natural Law.” In *The Encyclopedia of Diderot & d’Alembert Collaborative Translation Project*. University of Michigan: Michigan Publishing. <http://hdl.handle.net/2027/spo.did2222.0000.021>.

Elgin, Catherine. 2004. “True Enough.” *Philosophical Issues* 14 (1): 113–31. <https://doi.org/10.1111/j.1533-6077.2004.00023.x>.

Euclid. 2008. *The Elements*. Edited by Richard Fitzpatrick. Richard Fitzpatrick. <https://www.ebook.de/de/product/7216845/richard_fitzpatrick_euclid_s_elements.html>.

Euclides. 1956. *Book V*. Edited and translated by Thomas L. Heath. 1st ed. New York: Dover Publications.

Galileo. 2003. “Tercera Jornada.” In *Diálogos Acerca de Dos Nuevas Ciencias*, edited by Teófilo Isnardi, translated by José San Román Villasante, 1st ed. Buenos Aires: Losada.

Giere, Ronald N. 1999. *Science Without Laws*. University of Chicago Press.

———. 2006. *Scientific Perspectivism*. University of Chicago Press.

Losos, Jonathan B, Thomas W. Schoener, and David A. Spiller. 2004. “Predator-Induced Behaviour Shifts and Natural Selection in Field-Experimental Lizard Populations.” *Nature* 432 (7016): 505–8. <https://doi.org/10.1038/nature03039>.

Nagel, Ernest. 2006. *La Estructura de La Ciencia*. 1st ed. Barcelona: Paidós.

Pritchard, Duncan. 2019. “Intellectual virtues and the epistemic value of truth.” *Synthese*. <https://doi.org/10.1007/s11229-019-02418-z>.

Tarski, Alfred. 1956. “On the Concept of Logical Consequence: Papers from 1923 to 1938.” In *Logic, Semantics, Metamathemathics*. Oxford University Press.

Torrente, Mario Gómez. 2000. *Forma Y Modalidad: Una Introducción Al Concepto de Consecuencia Lógica.* Buenos Aires: Eudeba.

Woodward, James. 2018. “Some Varieties of Non-Causal Explanation.” In *Explanation Beyond Causation: Philosophical Perspectives on Non-Causal Explanations*, edited by Alexander Reutlinger and Juha Saatsi.

# Una definición causal de *fitness*

Llegado a este punto hemos dado razones para utilizar el modelo de Woodward como modelo causal, especialmente aplicado a la biología ya que no necesita leyes para explicar. En la segunda parte de esta tesis dimos un argumento a favor del indeterminismo causal, lo que nos permite hablar de causalidad en biología ya que en esta área difícilmente podríamos hablar de determinismo. En este capítulo queremos mostrar cómo el modelo de Woodward y la causalidad nos ayudan a aclarar el concepto de *fitness*. Hay al menos una cuestión filosófica importante cuando se trata la discusión sobre *fitness*. Este es el problema de la tautología, dicho en palabras de Diane Paul “[s]i *fitness* está definido en términos de éxito de sobrevivencia y éxito reproductivo, entonces el enunciado de que sobrevive el más apto, está aparentemente vació de contenido”[[29]](#footnote-30) (1992)

Decimos que los organismos con más *fitness* son aquellos que dejan más descendencia. Si queremos explicar cómo es que los organismos con más *fitness* son los que dejan más descendencia, mientras que a su vez definimos y medimos al *fitness* en términos de dejar más descendencia, entonces este enunciado es trivialmente verdadero: los organismos que dejan más descendencia son aquellos que dejan más descendencia (Bouchard and Rosenberg 2004). Según Kenneth Waters (1986), para solucionar este problema hay que mostrar como es que podemos definir al *fitness* 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 del *fitness*.

¿Por qué es importante desarrollar un concepto de *fitness* que no sea tautológico? Porque el concepto de *fitness* es central a la teoría de la evolución por selección natural. Si el concepto es una tautología, entonces no se puede comprobar empíricamente. Nosotros defenderemos que el concepto de *fitness* es empírico y que, por tanto no es tautológico. Para entender por qué este concepto es central a la teoría de la selección natural es porque decimos que hay selección natural cuando los organismos más aptos son los que dejan más descendencia. En contraste, la deriva génica es el proceso en el cual no se involucra a los más aptos, sino que apelamos a una explicación por deriva génica cuando los datos esperados no son los que se reflejan en el estudio, por lo que el concepto de *fitness* no está involucrado en este tipo de explicación.

Para tratar de solucionar el problema de la tautología, parece intuitivo comenzar por leer causalmente la oración anterior: que un organismo tenga más *fitness* causa que tenga más descendencia. Si esto es así, entonces hay que ofrecer una nueva definición de *fitness* que nos permita hacer esto, al mismo tiempo nos permite resolver el problema de la tautología.

Una de las soluciones para este problema es tomar al *fitness* como un primitivo de la teoría y de esta manera salvarnos del problema de la tautología. Esta solución haría que *fitness* no estuviera definido 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 descedencia. Por tanto, necesitamos otra solución a este problema. Tres opciones famosas restan para atacar este problema. Podemos interpretar al *fitness* como una propensión, como una frecuencia relativa, o bien interpretar al fitness como un concepto ecológico.

El concepto de *fitness* como frecuencia relativa es algo que aparece en el artículo de Walsh y compañía (2002). Ellos mencionan que medir al *fitness* en términos frecuentistas: como la razón entre aquellos que sobreviven sobre el número total de 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 algunos defectos. El primero de ellos es que regularmente 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.

El concepto de *fitness* como propensión trata de resolver el problema anterior. En lugar de definir al *fitness* 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 and Beatty 1979). Esta es la propuesta de Mills y Beatty. En particular, Mills y Beatty relativizan el *fitness* 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 perimten decir que cada cara tiene de caer en una tirada. Esta probabilidad dadas las propiedades físicas del dado es la propensión que ostenta este aparato en particular. Esta estrategia consiste, entonces, en volver al *fitness* una propiedad disposicional en conjunto a una variable medioamebiental. 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 número de descendientes sin que de hecho se reproduzcan. Esta probabilidad estaría definida a partir de las catracterísticas físicas del organismo (o tipo de organismo) en cuestión. La definición de *fitness* según los propensionistas es: es más apto que en un ambiente tiene una probabilidad más alta de dejar más descendencia que . Esta solución sugiere que es de la composición física que se desprenden las frecuencias que observamos cuando el límite tiende a infinito.

Esta definición nos libra de la carga tautológica que tiene la definición original de *fitness*. Sin embargo, en esta definición queda por aclarar exactamente cómo medir la probabilidad de que deje mayor descendencia que . Es decir, como podríamos determinar las frecuencias relativas sólo a partir de la composición fisiológica de los organismos. En el casio 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. Una opción es volver a la definición frecuentista y medir la frecuencia relativa en un número muy grande de generaciones. La ley de los números grandes 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 el *fitness* 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 propensión[[30]](#footnote-31).

Otra opción, que es la que nosotros creemos correcta, es colapsar la definición propensionista a una caracterización ecológica del fitness. Al hacer esto, podríamos medir el fitness en términos de cómo ciertas características se comportan en el medio ambiente y resuelven problemas de diseño. Creemos que la variable medioambiental es necesaria porque un mismo tipo de organismo puede tener diferentes medidas de *fitmess* dependiendo del medio ambiente en el que se encuentre. Entonces, para poder salvar al *fitness* de la carga tautológica y aclarar cómo medir esta propensión de los organismos, quisiéramos hacer una propuesta: que podemos definir causalmente al *fitness* utilizando la maquinaria que nos ofrece Woodward. Esto lo haremos apoyándonos en el argumento que exponen Bouchard y Rosenberg (2004). Bouchard y Rosenberg defienden una noción de *fitness* ecológico. Si bien en algunos casos se presenta al *fitness* ecológico y al *fitness* como propensión como contradictorias (Rosenberg and Bouchard 2020), creemos que podemos tomar una parte de ambas nociones a través de utilizar a la teoría de Woodward como modelo causal.

Antes de continuar con el debate acerca del *fitness* y pasar a la interpretación de la teoría de la selección natural, quisiéramos motivar la tesis de la naturaleza dinámica exponiendo algunas explicaciones causales en biología. Nos parece que hacer esto es necesario si es que queremos definir causalmente un término que está al centro de la teoría de la evolución por selección natural. A esto dedicamos en el siguiente apartado.

## Explicaciones causales en biología

La síntesis moderna en biología evolutiva fue un cambio enorme para la teoría darwinista. En pocas palabras, lo que se hizo durante este periodo fue acercar la genética mendeleiana y la teoría de la selección natural de Darwin. En su investigación, Darwin había descubierto que hay variación entre organismos de una misma población. Además, se podía observar que algunas de estas variaciones se mantenían entre los padres y su progenie. Más aún, algunas de estas variaciones son ventajosas para los organismos. Estas variaciones ventajosas hacen que ciertos individuos tiendan a tener más descendencia como resultado.

De manera esquemática la teoría de la selección natural sostiene que[[31]](#footnote-32):

1. Hay variación en las características morfológicas, fisiológicas y de comportamiento entre los miembros de una especie.
2. La variación es en parte heredable, de manera que los individuos se parecen más a sus padres que a otros miembros de la especie.
3. Diferencias en las variaciones tienen como consecuencia diferencias en el número de descendientes, bien en generaciones inmediatas, o bien en generaciones más distantes(Godfrey-Smith 2013).

El esquema anterior deja ver que medimos el *fitness* de acuerdo al número de descendencia que deja un organismo. Nosotros no queremos negar que esta es la manera en la que medimos si un organismo es más apto que otro, lo que sí buscamos es ofrecer una caracterización que nos permita decir cuáles son los organismos que, dada la información que tenemos, son los que dejarán más descendencia.

Ahora bien, a pesar de que podemos observar que los organismos tienden a parecerse más a sus progenitores que a otros organismos dentro de la misma población, Darwin no dijo cuál era el mecanismo de herencia mediante el cuál se transmitían estas ventajas de los padres a su progenie. La síntesis moderna afirma que estas características se heredan principalmente mediante los genes, cerrando la brecha entre herencia y selección natural; al mismo tiempo que afirma que hay un mecanismo físico que explica estos parentescos. Esto, de entrada, ya nos da una pauta para una explicación causal en biología. Los genes que codifican para ciertas proteínas son los causalmente responsables. Podemos dar una explicación causal al nivel genético.

Pero esto no es suficiente para incorporar causalidad a las explicaciones evolutivas. No lo es porque es claro que las explicaciones genéticas sí pueden incorporar causas próximas, tal como afirmaba Mayr. Pero lo que aquí nos concierne son las explicaciones evolutivas, que es justo donde se encuentra el concepto de *fitness* y del que Mayr nos dice, quedan excluidas las causas próximas.

Endler, a diferencia de Mayr, en su libro (1986) ofrece una caracterización más amplia de herencia. Endler nos dice que no necesariamente el fenómeno de la herencia depende de la herencia genética. El autor menciona que debe haber una relación consistente entre que algún organismo tenga una cierta característica que le permita una mejor habilidad de apareamiento, o bien una mejor habilidad de fertilización, o bien una mejor fecundidad y/o sobrevivencia (siempre con miras a que estas características no son necesariamente genéticas). Esto nos deja abierta la posibilidad de observar el *fitness* no necesariamente en términos de la fecuencia alélica, sino al observar los fernotipos.

Ahora bien, la síntesis moderna 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 and 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 en 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 vamos a hacer es ofrecer ejemplos que apoyen la hipótesis de que los mecanismos de herencia no son todos genéticos ofreciendo un par de ejemplos. 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 fenómenos evolutivos. En los capítulos anteriores expusimos al modelo de Woodward como una alternativa. Motivaremos aún más el modelo de Woodward como modelo causal para explicaciones evolutivas al ofrecer un copncepto de *fitness* en consonancia con el modelo que propone Woodward.

Una advertencia antes de continuar: el que debamos integrar una dimensión ambiental es aún un debate abierto. Por lo que en un futuro la investigación puede encontrar una manera de reducir los factores ambientales a factores genéticos, lo que haría que debamos 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.

A pesar de la reticencia de algunos biólogos, se han investigado sistemas de herencia distintos que no son 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.

Algunos de los ejemplos expuestos hasta este momento tienen este espíritu. Estos ejemplos no sólo pretenden ilustrar que la teoría de la causalidad de Woodward es compatible con el quehacer del biólogo evolutivo, sino además 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 indica que no es descabellado suponer que, de hecho, hay diferentes tipos de herencia que no son necesariamente genéticos. Esto nos lleva, contra la suposición de Mayr, a poder incorporar causas próximas en explicaciones de selección natural.

Nuestra suposición, a saber, que podemos incorporar causas próximas en explicaciones de fenómenos evolutivos, nos invita a ofrecer una caracterización de causa que sea compatible con el quehacer de los biólogos evolutivos. En los primeros capítulos de este trabajo se argumentó que el modelo de Woodward es una buena caracterización de explicación causal para trabajar en biología evolutiva. Lo que falta ahora es motivar cómo este modelo nos permite ofrecer una definición causal de *fitness*. Antes de hacer esto, retomaremos algunos de los ejemplos para ver cómo casan con la metodología de Woodward.

Regresemos a alguno de nuestros ejemplos anteriormente señalados. La luz y la temperatura, por separado, afectan el proceso de florecimiento en plantas del género *Arabidopsis*. En el artículo (Ausin, Alonso-Blanco, and Martínez-Zapater 2005), los autores desarrollan un modelo experimental en el que observaron que hay una relación entre la temperatura y 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 florecimiento 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 flroación. Para esto, se interviene en las condiciones de temperatura y de luz para poder concluir que hay una relación causal.

Este diseño experimental en el que somos capaces de intervenir variables es compatible con la metodología de Woodward. Algo parecido sucede en el caso de *A. sagrei* y *L. Carinatus*, se interviene la variable depredador y se observa que hay un cambio en el tamaño de las extremidades de *A. sagrei*. Que haya un nuevo depredador en el medio de *A. sagrei* causa que se seleccionen los organismos que tienden a tener extremidades más largas. Por lo que podemos fijarnos en como el fenotipo interactúa con el ambiente. Esto de nuevo lleva a pensar que la distinción hecha por Mayr deja de ser útil para explicar fenómenos evolutivos[[32]](#footnote-33), al mismo tiempo que es compatible con la metodología de Woodward.

Pensemos en un ejemplo más: El experimento realizado por Amarillo Suárez y Fox (2006). Hay insectos que se desarrollan dentro de un hospedero. Se tiene evidencia 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* que puede hospedarse en dos tipos de árbol: *Acacia greggi y Pseudosamanea guachapele*, tiene consecuencias en su desarrollo. Las particularidades de estos árboles es 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. 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. El diseño experimental se encarga de mantener a la población fija, es decir, sortea de manera aleatoria en qué hospedero pondrán a qué organismos. Al hacer esto, controlamos por el tamaño de los organismos. 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 es las semillas que tiene el hospedero. En el diseño se controla por el tamaño para que no afecte como variable. Al eliminar como factor el tamaño de los padres, podemos intervenir directamente en qué hospedero poner a los organismos.

Para poder controlar por el tamaño de los padres, se hace una selección aleatoria de una población y se asigna en los dos diferentes hospederos. Lo que nos permite inervenir directamente en el tamaño de las semillas al alocar a los organismos en los dos respectivos árboles.

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.

Este ejemplo evidencia que se ha estado trabajando en la tesis que afirma que el medio ambiente es un factor que hace la diferencia en los fenotipos. No sólo hay evidencia a favor de esto, sino que además hay evidencia que estas relaciones entre medio ambiente e individuos son un factor relevante para la evolución por selección natural (Jablonka and Lamb 2020; Dayan et al. 2020; MacColl 2011). Esto no es lo único importante, si queremos ofrecer explicaciones causales de otros fenómenos biológicos como Eco-Evo-Devo (Pfenning 2016), Plasticidad fenotípica (West-Eberhard 2008), CGV (Paaby and Rockman 2014), entonces hay que hablar de causas próximas en biología evolutiva.

Estos problemas con la distinción que hizo Mayr dan entrada a que podamos hablar de relaciones causales en las explicaciones evolutivas. Por lo que nos atrevemos a afirmar que las causas próximas sí están presentes en las explicaciones evolutivas por selección natural. Esta injerencia causal ha hecho que haya un interés por parte de los biólogos para entrar al debate acerca de la causalidad. Este interés es más marcado cuando se desarrollan explicaciones que intentan incorporar una variable ambiental en el desarrollo de los organismos.

Esto además casa bien con la metodología ofrecida por Woodward que expusimos en el capítulo 1. En términos de lo que afirma esta teoría, 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). Dado que podemos hablar de causas próximas, nos dedicamos en la siguiente sección a hablar en particular de cómo lo dicho hasta ahora está relacionado con el debate acerca del *fitness*.

## *fitness*, un concepto causal

Ahora que ya tenemos una teoría de la explicación causal que es compatible con el quehacer del biólogo evolutivo y que hemos afirmado que podemos incorporar causas próximas en fenómenos evolutivos, resta argumentar en favor de que el *fitness* es la casua que determina si un organismo dejará más descendencia que otro. Como dijimos anteriormente el *fitness* es un concepto central de la teoría de la evolución por selección natural. En la esquematización que dimos anteriormente en [1.1](#causal), la tercera línea captura el hecho de que los organismos más aptos son aquellos que dejan más descendencia. En particular, decimos que el *fitness* es medido en términos de descendencia y esto quiere decir que la selección natural opera en este tipo[[33]](#footnote-34) de organismo cuando, en ausencia de otros factores (por ejemplo, deriva génica) un organismo deja más descendencia que otro.

El concepto de *fitness* 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 *fitness* tendrá un nivel diferente en otro medio ambiente. Pero es en cómo determinamos este nivel de *fitness* que está el problema.

En consonancia con la noción propensionista, nosotros queremos decir que el nivel de *fitness* se puede determinar sólo en los resultados de un diseño experimental. Esto es crucial para poder incorporar la noción de intervención que requiere el modelo de Woodard. 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 *fitness* 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 *fitness*, al mismo tiempo que nos deshacemos del problema de la tautología. Nos deshacemos de este problema porque los más aptos no necesariamente son los qeu dejan más descendencia, sino aquellos que mejor resuelven problemas de diseño impuestos por el medio ambiente.

Habiendo mencionado que podemos incorporar causas próximas en nuestras explicaciones por selección natural, queda decir cómo el modelo de Woodward está relacionado con el debate sobre la interpretación de *fitness*. Mostramos 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 al *fitness* 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. En este sentido el *fitness* 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 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 *fitness* 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 fitness no tautológica y explicativa. El valor explicativo se desprende de estar inserto en el modelo de Woodward. El modelo también nos permite que la definición sea causal. Como defendimos en el capítulo 2 de este trabajo, no es necesario que causalidad implique determinismo. Por lo que parece que esta definición de *fitness* es mejor que la propensionista, además de ser más apta que la sola versión ecológica.

Aceptar esta definición de *fitness* tiene las ventajas de dar un concepto más claro. Este concepto está relativizado a variables medioambientales. Al mismo tiempo nos permite leer causalmente al *fitness* 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.

Tiene además 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. Es sólo cuando tenemos esta información que podemos utilizarla para explicar.

## *Fitness* y la interpretación dinámica de la Selección natural

Como también mencionamos, 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 *fitness* 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. 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. En el caso de las monedas, el hecho de que una cantidad de monedas caiga en cara y una cantidad caiga en cruz, no depende de las fuerzas actuando en cada moneda particular. Esto 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. El argumento de Walsh y compañía descansa en que cuando buscamos una explicación en selección natural, aapelamos 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 fctor de azar en cómo se estudian las poblaciones, entonces la teoría de la selección natural no es una teoría 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, 457).[[34]](#footnote-35)

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

Otra razón en contra del argumento de los autores es que al hablar de fuerzas, estamos comprometidos al determinismo. En la segunda parte de este trabajo ofrecimos razones para separar al determinismo del concepto de causa. Por lo que no es necesario que hablar de causas nos comprometa con el determinismo. Ambos argumentos sirven para debilitar la tesis de Walsh y compañía a favor de una interpretación estadística de la selección natural.

Esto significa que cuando actúa selección natural en una población, esperamos que algunos de los organismos sean más aptos que otros en un medio 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. 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. En esto estamos de acuerdo con Walsh y compañia, que deriva génica no es una fuerza, sino ubna consecuencia estadística. Estamos también de acuerdo en lo que argumenta Lange (2013), cuando pedimos una explicación en términos de selección natural buscamos una explicación causal. En cambio, 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 púramente estadística.

En la sección anterior dijimos por qué es ventajoso aceptar una interpretación causal de *fitness*. Entre las razones estuvo que es un concepto de *fitness* que es explicativo, pero además nos permite distinguir entre deriva génica y selección natural en el sentido explicado anteriormente. Retomemos por un momento lo que argumentan Bouchard y Rosenberg (2004) nos dicen que la definición tradicional de *fitness* tiene tres problemas. El primer problema está relacionado con las frecuencias si *fitness* tuviera una interpretación puramente estadística, entonces decimos que “a la larga” el organismo más apto dejará más descendencia. Sin embargo, nos interesa que el tiempo sea finito, porque de otra manera no tendríamos acceso a dichas frecuencias. Nosotros resolvimos esto al medir el *fitness* en términos de lo que se observa en el laboratorio, por lo que no es necesario adoptar el frecuentismo. El segundo problema que tiene una definición de este tipo es que es una tautología. Se supone que los organismos más aptos, esto es, con más *fitness* son aquellos que dejan más descendencia. Pero si definimos el grado de *fitnes* de un organismo como aquél que deja más descendencia, entonces los organismos que dejan más descendencia son aquellos organismos que dejan más descendencia. Para resolver este problema, nosotros apelamos a una definición causal de *fitness* en términos de un diseño experimental, que además nos permita medirlo a través de la tendencia que tiene la población al someterla a presiones selectivas. El último problema es de naturaleza puramente biológica: no siempre el organismo que deja más descendencia es el organismo más apto.

Nos concentraremos en el segundo problema que es el que nos atañe. Para resolverlo, los autores apelan a una nueva definición de *fitness*. La apuesta es que el concepto de *fitness* es una comparación dos a dos entre individuos y su relación con el medio ambiente. En esta nueva estrategia para describir al *fitness* encontramos al menos un problema. Los autores afirman que para medir qué tan apto es un organismo, necesitamos ver qué problemas de **diseño** resuelve un organismo que otro organismo no resuelva.

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. Creemos que la definición propuesta por nosotros salva este problema al permitir explicar cuál es el organismo más apto recreando las presiones ambientales en nuestro diseño experimental.

El segundo concepto poco claro es el diseño. Esto puede sugerir que la selección natural está guiada por un diseñador. Sin embargo, podemos apoyarnos en lo que dice Ayala. Ayala 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, resuelev los problemas diagnosticados por Bouchard y Rosenberg.

## Poblaciones o individuos

Hasta este momento hemos apoyado la tesis de que el *fitness* es causal en su naturaleza. Para argumentar a favor de la naturaleza estadística, Ariew, Lewens y Walsh argumentan que la selección natural es a nivel de poblaciones y apelamos a las propiedades estadísticas de la población para explicar.

En contra de estos autores, se argumentó que las teorías dinámcias y las teorías estadísticas no son excluyentes en especial, el modelo de Woodward nos ayuda a extraer información causal a partir de la tednencia estadística de una población de organismos. a la deriva génica de la selección natural cuando asumimos una noción de *fitness* centrada en cómo los organismos resuelven ciertos problemas de diseño. Dijimos además que la selección natural no es indiscriminada, sino que de hecho hay un cierto tipo de selección. Esta noción de *fitness* nos permite separar al proceso evolutivo por selección natural del proceso evolutivo por deriva génica. Esto por supuesto apoya a la tesis de que la selección natural es de naturaleza dinámica.

Ahora bien, queda pendiente si esta interpretación dinámica ocurre a nivel de poblaciones o a nivel de los organismos. Millstein (2006) argumenta que la selección natural es un proceso causal a nivel de poblaciones. El argumento que presenta Millstein a favor de que la selección natural es un proceso causal es que si sólo fuera un proceso estadístico, entonces no podríamos elegir entre diferentes hipótesis. La pura distribución estadística no nos permite distinguir entre si el proceso se debe a deriva génica o bien a selección natural.

Todo lo anterior está en el tenor de lo que hemos argumentado hasta aquí. Que causalidad no es necesariamente determinista y que el modelo de Woodward es útil para elucidar el concepto de causa a través de intervenir en un ambiente de laboratorio. Esto además casa con la metodología utilizada por los biólogos evolutivos. Si asumimos, como hemos hecho hasta aquí que el modelo de Woodward es útil para todo esto, entonces es compatible con lo que la misma Millstein acerca de la interpretación dinámica de la causalidad.

Sin embargo, una vez que argumentamos en favor de una interpretación dinámica de la selección natural, queda decir en qué nivel actúa dicho proceso: si es a nivel de individuos o es a nivel de poblaciones. Millstesin argumenta que la selección natural es a nivel de poblaciones.

El argumento de Millstein comienza con definición de evolución por selección natural como el cambio en la frecuencia genética de una generación a otra. Millstein procede entonces a separar dos tipos de defensas del individualismo: individualismo ingenuo e individualismo sofisticado. El individualismo ingenuo nos dice que hay que rastrear toda la cadena causal de un organismo particular para saber si hay selección natural. Millstein nos dice que esto no nos ayudaría a distinguir hipótesis, porque no podemos discriminar entre si un individuo sobrevive por deriva génica o bien por selección natural. Pensemos en el siguiente ejemplo: un árbol sobrevive a un incendio forestal. Ahora pensemos en dos opciones: 1) con respecto a los demás árboles, el árbol que sobrevivió lo hizo por una característica heredable; 2) el árbol que sobrevivió lo hizo por cuestión de suerte. Si sólo siguiéramos la historia causal de ése árbol en particular no podríamos discriminar entre 1) y 2). Para poder hacer dicha discriminación es necesario hacer un muestreo de la población y una comparación de los genotipos para determinar entre 1) y 2).

Contra el individualismo sofisticado, su argumento es que la tesis termina reduciéndose a la tesis poblacional. En primer lugar, la tesis del individualismo sofisticado es la tesis de Bouchard y Rosenberg expuesta anteriormente: se hace una comparación dos a dos de individuos y se estima cómo algunos de los individuos resuelven problemas de diseño que otros no resuelven. Millstein argumenta que esta comparación dos a dos de individuos se tiene que hacer para absolutamente todos los individuos de la población debido a la existencia de poblaciones no transitivas. Millstein dice que una vez que hacemos la jerarquía de cuáles individuos resuelven mejor ciertos problemas de diseño impuestos por el medio ambiente, entonces ya no estamos hablado de individuos, sino de poblaciones.

Tal como dice la misma Millstein, una vez que hacemos la jerarquía de individuos y la resolución de problemas, ya no estamos hablando de individuos, sino de un conjunto de individuos. En esto último detectamos sólo un problema. Como se argumentó en el primer capítulo, hay que hacer una diferencia entre los aspectos epistémicos y metafísicos de la causalidad. Millstein quiere extraer una conclusión metafísica: que selección natural es de naturaleza dinámica y poblacional, a partir de una premisa epistémica: que la única manera en la que podemos obtener información sobre si actúa selección natural es cuando hablamos de un sampleo. Sin embargo, esto cae en el error de reducir los métodos para obtener información causal, con la naturaleza misma de la causalidad.

Sobre esto queremos decir sólo dos cosas. La primera es que lo que dicen Millstein, Bouchard y Rosenberg no es incompatible. Esta comparación dos a dos y la parte que el ambiente juega en esta relación es importante para distinguir entre selección natural y deriva génica. Sin embargo, lo que dice Millstein es insuficiente para concluir que la selección natural es a nivel de poblaciones, lo más sensato dada la distinción entre aspectos epistémicos y ontológicos es que no sabemos en qué nivel actúa. Lo que sabemos es que podemos observar la tendencia de una población a través de un diseño experimental que nos permita intervenir en las variables, que el *fitness* se ve reflejado en la estadística, que no es incompatible la información estadística con la información causal y que no hay problema en hablar de causalidad en biología evolutiva porque no estamos comprometidos con el determinismo causal.

## Referencias

Amarillo-Suárez, Angela R., and Charles W. Fox. 2006. “Population Differences in Host Use by a Seed-Beetle: Local Adaptation, Phenotypic Plasticity and Maternal Effects.” *Oecologia* 150 (2): 247–58. <https://doi.org/10.1007/s00442-006-0516-y>.

Ausin, Israel, Carlos Alonso-Blanco, and José-Miguel Martínez-Zapater. 2005. “Environmental Regulation of Flowering.” *The International Journal of Developmental Biology* 49 (February): 689–705. <https://doi.org/10.1387/ijdb.052022ia>.

Ayala, Francisco. 2004. “Design Without Designer.” In *Debating Design: From Darwin to Dna*, edited by William Dembski and Michael Ruse. Cambridge University Press.

Bateson, Patrick. 2014. “New Thinking About Biological Evolution.” *Biol J Linn Soc*

112 (2): 268–75. <https://doi.org/10.1111/bij.12125>.

Bouchard, Frederic, and Alexander Rosenberg. 2004. “Fitness, Probability and the Principles of Natural Selection.” *British Journal for the Philosophy of Science* 55 (4). Oxford University Press.

Dayan, David, Melissa Graham, John Baker, and Susan Foster. 2020. “Incorporating the Enviromentally Sensitive Phenotype into Evolving Thinking.” In *Evolutionary Causation*. MIT Press.

Endler, J. A., and R. M. May. 1986. *Natural Selection in the Wild*. Monographs in Population Biology. Princeton University Press. <https://books.google.com.mx/books?id=MYk1XbelDssC>.

Godfrey-Smith, Peter. 2013. *Philosophy of Biology*. Princeton University Press.

Jablonka, Eva, and Marion Lamb. 2020. *Inheritance Systems and the Extenden Evolutionary Synthesis*. Cambridge University Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1017/9781108685412>.

Laland, Kevin N., Kim Sterelny, John Odling-Smee, William Hoppitt, and Tobias Uller. 2011. “Cause and Effect in Biology Revisited: Is Mayr’s Proximate-Ultimate Dichotomy Still Useful?” *Science* 334 (6062). American Association for the Advancement of Science: 1512–6. <https://doi.org/10.1126/science.1210879>.

Lange, Marc. 2013. “Really Statistical Explanations and Genetic Drift.” *Philosophy of Science* 80 (2). The University of Chicago Press: 169–88. <https://doi.org/10.1086/670323>.

MacColl, Andrew D. C. 2011. “The Ecological Causes of Evolution.” *Trends in Ecology & Evolution* 26 (10): 514–22. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169534711001753>.

Mills, Susan K., and John H. Beatty. 1979. “The Propensity Interpretation of Fitness.” *Philosophy of Science* 46 (2). The University of Chicago Press: 263–86. <https://doi.org/10.1086/288865>.

Millstein, Roberta L. 2006. “Natural Selection as a Population-Level Causal Process.” *British Journal for the Philosophy of Science* 57 (4).

Paaby, Annalise B., and Matthew V. Rockman. 2014. “Cryptic Genetic Variation: Evolution’s Hidden Substrate.” *Nature Reviews Genetics* 15 (4). Nature Publishing Group: 247–58.

Paul, Diane. 1992. “Fitness: Historical Perspectives.” In *Keywords in Evolutionary Biology*, edited by Evellyn Keller and Elisabeth Lloyd, 115–19. Harvard University Press.

Pfenning, David. 2016. “Ecological Evolutionary Developmental Biology.” In *Encyclopedia of Evolutionary Biology*, edited by Richard Kliman. Elsevier.

Rosenberg, Alexander, and Frederic Bouchard. 2020. “Fitness.” In *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, edited by Edward N. Zalta, Spring 2020. <https://plato.stanford.edu/archives/spr2020/entries/fitness/>; Metaphysics Research Lab, Stanford University.

Suárez, Mauricio. 2021. “Philosophy of Probability and Statistical Modelling.” Elements in the Philosophy of Science. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108985826>.

Uller, Tobias, and Kevin Laland. 2020. *Evolutionary Causation: Biological and Philosophical Reflections*.

Walsh, Denis, Tim Lewins, and André Ariew. 2002. “The Trials of Life: Natural Selection and Random Drift.” *Philosophy of Science* 69 (3). The University of Chicago Press: 429–46. <https://doi.org/10.1086/342454>.

Waters, C. Kenneth. 1986. “Natural Selection Without Survival of the Fittest.” *Biology and Philosophy* 1 (2): 207–25. <https://doi.org/10.1007/BF00142902>.

West-Eberhard, M.J. 2008. “Phenotypic Plasticity.” In *Encyclopedia of Ecology*, edited by Sven Erik Jørgensen and Brian D. Fath, 2701–7. Oxford: Academic Press. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780080454054008375>.

# Reflexiones finales

Llegado a este punto hemos expuesto razones para tomar al modelo de explicación de Woodward como una teoría de la explicación que puede ser aplicada a ciencias como la biología. En el primer capítulo hicimos una distinción entre los aspectos metafísicos y los aspectos epistemológicos de la causalidad y ofrecimos razones a favor de tomar a la teoría de Woodward como una buena alternativa para elucidar el concepto de explicación en el nivel epistémico. Algunos de los valores del modelo de Woodward de hecho encajan con nuestras pretensiones explicativas en áreas que no son la física. Quizás el valor más relevante es el hecho de que no necesita leyes para explicar fenómenos y que puede dar cuenta de causas sin que haya determinismo (lo que es deseable dado el factor contingente en la evolución).

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-humeanas. 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 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. 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.

En este último capítulo quisimos integrar lo dicho hasta ahora. En primer lugar el modelo de Woodward es una teoría de la causalidad que no implica determinismo, 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 y da espacio a la contingencia. En segundo y último lugar las leyes no son necesarias para explicar. Esto deja libre el camino para una teoría de la explicación causal en biología.

En este último capítulo integramos al modelo de Woodwad con la práctica experimental para aclarar el concepto de *fitness*. Defendimos que, para resolver el problema de que el concepto de *fitness* 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 el *fitness*, afirmamos que hay que modelar estadísticamente a la población. Si lo observado en el labopratorio difiere de nuestros valores estimados, entonces decimos que ha habido deriva génica. Si lo observado es consisternte con lo observado, entonces apelamos a una explicación pior selección natural. Defendimos, por tanto, que la teoría de la selección natural es de naturaleza dinámica. Apoyamos, además, que la deriva génica es una explicación puramente estadística.

Sin embargo, 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.

Sin embargo, aún queda justificar cómo tenemos acceso epistémico a enunciados contrafácticos. No defendimos explícitamente cuál sería la semántica de estos enunciados, como tampoco nos posicionamos con respecto al debate de la epistemologhía de los contrafácticos. La sugerencvia hecha ebn 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 sugere que los mundos posbles serían los diferentes experimentos y las relacones de acceso sería la capacidad de replicarlo. Esto es algo que sólo se sugirión, por lo que queda hacer una defensa de esta hipótesis.

1. Aquí asumimos que el realista está comprometido con que las leyes son deterministas. Esta suposición no es extraña para el realista porque regularmente se caracteriza al realista como asumiendo el siguiente compromiso miodal: las leyes gobiernan los patrones del mundo. Si entendemos “gobiernan” como asumiendo un compromiso modal similar al de “hacer necesario”, entonces el realista está comprometido con el determinismo. [↑](#footnote-ref-2)
2. Por supuesto no es necesario argumentar en favor del indeterminismo al nivel fundamental. El indeterminismo al nivel biológico puede deberse a nuestra ignorancia. De ser el caso, la indeterminación es a nivel epistémico. Sin embargo, sí es suficiente tener indeterminismo al nivel fundamental para argumentar a favor del indeterminismo biológico. La única manera de no aceptar esto esa aceptar la extraña tesis de que el nivel fundamental, digamos físico, es indeterminista, pero que a nivel biológico hay determinismo. Una tesis que parece poco plausible dados los argumentos expuestos en (Graves, Horan, and Rosenberg 1999). Otra opción es ser agnósticos sobre este asunto como lo expone Millstein en (2000) [↑](#footnote-ref-3)
3. También llamado Modelo por ley de Cobertura. Se llama así porque dependiendo del alcance de la ley, podemos explicar más o menos fenómenos. Nagel tomó este modelo como motivación y desarrolló un modelo de reducción teórica: si puedes derivar una teoría , a partir de otra teoría , entonces reducimos a . Como además, el modelo de explicación tiene la estructura ND decimos que la teoría explica a . [↑](#footnote-ref-4)
4. 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) [↑](#footnote-ref-5)
5. Con 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. [↑](#footnote-ref-6)
6. Esto en la filosofía moderna. Aristóteles también dedico parte de su trabajo en los analíticos posteriores a esclarecer el concepto de explicación (Aristóteles 2009) [↑](#footnote-ref-7)
7. Este debatiente ficticio tendría qué decirnos cuál criterio debemos relajar o eliminar [↑](#footnote-ref-8)
8. 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. [↑](#footnote-ref-9)
9. El ejemplo es el siguiente, supongamos que un asta bandera proyecta una sombra de cierta longitud . 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. [↑](#footnote-ref-10)
10. 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(Fraassen 1980). [↑](#footnote-ref-11)
11. 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. [↑](#footnote-ref-12)
12. Aunque sí echa mano de generalizaciones estadísticas. [↑](#footnote-ref-13)
13. Salmon, por ejemplo, desarrolla un modelo alternativo: su modelo causal-mecánico (Salmon 1994). [↑](#footnote-ref-14)
14. 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* [↑](#footnote-ref-15)
15. Una defensa del pluralismo causal nos la ofrece Cartwright (2007). [↑](#footnote-ref-16)
16. 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 el capítulo 2 ofrecemos un argumento a favor de que la causalidad no implica conexiones necesarias, por tanto, excluyendo el determinismo [↑](#footnote-ref-17)
17. Este criterio es evidentemente modal [↑](#footnote-ref-18)
18. Supongamos 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. [↑](#footnote-ref-19)
19. Esta es una sugerencia que presentan Anjum y Mumford en (Mumford and Lill Anjum 2013). [↑](#footnote-ref-20)
20. Esto por cierto, es un debate abierto. Hay una tensión cuando usamos modelos para explicar y además asumimos que la ciencia busca verdades: hay un consenso en la literattura en que los modelos son literalmente falsos. Esto lleva directamente a lo que Reiss llama “La paradoja de la explicación” (2012). Más aún, no es claro cómo podemos extrapolar las conclusiones que obtuvimos en el modelo a casos fuera del modelo, lo que se ha llamado “el problema de la validez externa” (Reiss 2019). Cada uno de estos problemas es lo suficientemente amplio para dedicarles un capítulo en extenso. Aquí sólo los exponemos ya que este trabajo no trata particularmente sobre estos problemas. [↑](#footnote-ref-21)
21. In theories of *probabilistic causation* we aim to provide a conceptualization of causal relations that are inherently probabilistic, stochastic, chancy or indeterministic. So we may well talk about ‘indeterministic causation’. In *probabilistic theories* of causation we aim to provide a probabilistic characterization or modelling of causal relations that may or may not be probabilistic in themselves. In this second case we may either admit that there exist cases of deterministic causation and indeterministic causation, or we could hold that causation is all deterministic, but our modelling of causal relations is probabilistic because we don’t have complete knowledge or because of measurement error.deterministic, but our modelling of causal relations is probabilistic because we don’t have complete knowledge or because of measurement error. [↑](#footnote-ref-22)
22. El mosaico humeano se refiere a la configuración espacio-temporal de eventos concretos: un evento sucede, y después otro evento sucede. [↑](#footnote-ref-23)
23. El proceso en el que sustituimos las variables de las que habla Eucldies 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 [↑](#footnote-ref-24)
24. Recordemos 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. [↑](#footnote-ref-25)
25. “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” [↑](#footnote-ref-26)
26. Aquí 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. [↑](#footnote-ref-27)
27. 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. [↑](#footnote-ref-28)
28. 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. [↑](#footnote-ref-29)
29. If fitness is defined as success in surviving and reproducing, the statement that the fittest survive is apparently emtied of content. [↑](#footnote-ref-30)
30. Una 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). [↑](#footnote-ref-31)
31. 1. There is variation in morphological, physiological, and behavioural traits among members of a species (the principle of variation), 2. The variation is in part heritable, so that individuals resemble their relations more than they resemble other individuals and, in particular, offsprings resemble their parents (the principle of heredity), 3. Different variants leave different numbers of offspring either in inmediate or remote generations (the principle of differential *fitness*) [↑](#footnote-ref-32)
32. Los límites de la distinción de Mayr han sido explorados recientemente en (Uller and Laland 2020; Dayan et al. 2020; Laland et al. 2011). [↑](#footnote-ref-33)
33. En este caso hablamos de **tipos** de organismos, esto es, que compartan cierta característica física. [↑](#footnote-ref-34)
34. If 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” [↑](#footnote-ref-35)