

¿QUÉ HACE *FÍSICAMENTE* POSIBLE A UN MUNDO POSIBLE?

WHAT MAKES A POSSIBLE WORLD *PHYSICALLY* POSSIBLE?

MANUEL J. HERRERA AROS

CONICET, Universidad de Buenos Aires, ARGENTINA
herrera.aros@gmail.com

CRISTIÁN ARIEL LÓPEZ

Universite de Lausanne, Universidad de Buenos Aires, CONICET, ARGENTINA
Cristian.lopez@unil.ch

Abstract. There is a widely extended viewpoint about physical possibility, what we will call Standard Approach, which holds that the physically possible is delimited by the nomological structure of physical theories: to be physically possible is to be in accordance with the physical laws, to be physically impossible is to be prohibited by physical laws and to be physically necessary is to be demanded by the physical laws. However, it is possible to show that this approach is too relaxed and permissive when it comes to collecting and systematizing many of the modal intuitions present in the physical community. In this work we will argue, on the one hand, that the notion of physical possibility is more complex and richer than suggested by the standard approach and, on the other hand, that it is necessary to add some extra elements to the characterization of physical possibility in order to that it is adequate in scientific contexts.

Keywords: Physical possibility • physical law • possible world • extra-nomic factors

RECEIVED: 18/02/2019

REVISED: 19/08/2019

ACCEPTED: 25/11/2019

1. Introducción

Nuestras teorías físicas no son meramente un repertorio de descripciones de lo que sucede en el mundo actual, sino que pretenden tener un ámbito de aplicación mucho más amplio. Tales teorías no se limitan, simplemente, a describir cómo la evolución de un sistema físico concreto tuvo lugar en un laboratorio en particular, en un momento del día específico y bajo cierta configuración de parámetros experimentales, sino que pretenden describir de igual manera una plétora de situaciones *posibles*, con ligeras o más sustanciales variaciones. De hecho, se supone que nuestras teorías físicas son capaces de describir y funcionar igualmente bien en escenarios muy diferentes a los del mundo actual. Y en la misma medida en la que ellas describen (o prohíben) ciertas situaciones posibles, también fallan en otras. Para poder expresar este rasgo tan relevante se suelen utilizar nociones modales tales como “*es físicamente imposible* para un sistema físico tener una velocidad mayor a la velocidad de la



luz”, “es *físicamente posible* un universo que no hubiese dado lugar a la vida en la tierra”, “es *físicamente necesario* que la carga del electrón sea negativa”. Tales proposiciones dicen algo fundamental acerca de nuestro mundo y otros posibles. Pero, ¿qué significa que algo es *físicamente posible*, imposible o necesario?

En la bibliografía filosófica existe un enfoque sumamente extendido para dar una respuesta a estas preguntas. Este enfoque, al que llamaremos “Enfoque Estándar”, sostiene que la noción de posibilidad *física* está dada por la estructura nomológica de las teorías físicas: ser *físicamente posible* es estar de acuerdo con las leyes de la física, ser *físicamente imposible* es estar prohibido por las leyes de la física y ser *físicamente necesario* es ser exigido por las leyes de la física. La manera usual de introducir este enfoque es en términos del poderoso y ya familiar lenguaje de “mundos posibles”. Aunque introducido en el vocabulario filosófico durante la Modernidad gracias a Leibniz, la noción de mundo posible tuvo un extraordinario y exitoso desarrollo en la metafísica analítica tradicional y la lógica, fundamentalmente en el desarrollo de una semántica para las lógicas modales. Durante la segunda mitad del siglo veinte, la noción de mundo posible se adentró también en el ámbito de la filosofía de la física, y ayudó a apuntalar conceptualmente muchas nociones, entre ellas, las de posibilidad física tal como es abordada por el Enfoque Estándar.

Sin embargo, cabe preguntarse, ¿resulta adecuado este enfoque a la hora de caracterizar la noción de posibilidad física tal como se suele utilizar y aplicar a contextos científicos variados? En este artículo analizaremos el Enfoque Estándar para abordar la noción de posibilidad física a la luz de la práctica científica y argumentaremos que en ocasiones resulta ser demasiado relajado y permisivo a la hora de recoger y sistematizar muchos de los supuestos modales presentes en la comunidad científica. En particular, argumentaremos — en base a algunos ejemplos — que el Enfoque Estándar permite ingresar al “reino de la posibilidad física” ciertas situaciones que usualmente los físicos consideran que deberían ser dejadas afuera. Esto nos conduce a considerar dos aspectos centrales. En primer lugar, que la noción de posibilidad física es más compleja que lo que el Enfoque Estándar dictamina. Y, en segundo lugar, que resulta necesario *algo más* además de las leyes físicas no sólo para caracterizar adecuadamente la posibilidad física de manera conceptual, sino también para poder expresar con mayor precisión y fuerza el contenido modal de las teorías físicas.

La estructura del artículo es la siguiente. En la Sección 2, hacemos un breve análisis de lo que denominamos el “reino de la modalidad”. En particular, analizamos sucintamente el alcance de nuestras afirmaciones modales y la cualificación de este alcance. A continuación, en la Sección 3, caracterizamos el Enfoque Estándar bajo el cual tradicionalmente se analiza la posibilidad física. En la Sección 4, hablamos de sus principales limitaciones. Luego, en la Sección 5, analizamos dos casos tomados de la física con el fin de poner de manifiesto lo inadecuado que resulta ser el Enfoque Estándar en ciertas situaciones concretas. Además, damos algunas ideas respecto a

los elementos que se necesitan para circunscribir adecuadamente la posibilidad física. Finalmente, en la Sección 6, brindamos algunas conclusiones y comentarios finales.

2. El reino de la modalidad

Nociones modales como “ x es necesario” o “es posible que y ” son ubicuas tanto al lenguaje filosófico como científico. Mientras que existe una enorme variedad de hechos que consideramos *actuales*, es decir, hechos que han ocurrido u ocurren de una manera determinada y no de otra, también nos referimos cotidianamente a situaciones que, por ejemplo, o bien podrían haber ocurrido de otra manera (“es *posible* que el ejército soviético no hubiese vencido al ejército alemán en la Segunda Guerra Mundial”), o bien que *nunca podrían* ocurrir (“es *imposible* recuperar información de un agujero negro”). Sin embargo, en la misma medida en la que recurrentemente recaemos en nociones modales para expresar diversas proposiciones, no juzgamos a todas ellas de la misma manera: algunas afirmaciones tendrían una “fuerza modal” mayor que otras, como si hubiese cierta gradualidad en nuestra aceptación o rechazo de ciertas afirmaciones modales. No es lo mismo decir que “es imposible que $1+1$ sea 3 ” a decir que “es imposible que la velocidad de la luz fuese un setenta por ciento menor”. O, que “es imposible que cuerpo y alma sean dos sustancias distintas”. Algunas de estas proposiciones parecen ser modalmente más o menos exigentes, en tanto su rango de aplicación resulta más o menos amplio. Estas intuiciones acerca del discurso modal exigen una serie de distinciones que permitan esclarecer y precisar grados y alcances de los términos modales, abriendo las puertas a un verdadero “*reino de la modalidad*”.

2.1. La naturaleza de las cosas y evidencia relativa a un agente: entre lo epistémico y lo metafísico

A la hora de comenzar a trazar la geografía de este reino de la modalidad, primero necesitamos disponer de las herramientas adecuadas. Si bien existen divergencias acerca de cuáles sería tales herramientas, muchos análisis de nociones modales en metafísica, filosofía del lenguaje e incluso filosofía de la física (el campo de interés en este artículo) recaen fuertemente en la noción de “mundo posible”. Probablemente sean los éxitos alcanzados en el ámbito de la lógica modal y la filosofía del lenguaje (en gran medida debidos a Saul Kripke 1959, 1963) los que catapultaron el vocabulario de mundos posibles a la metafísica analítica y a buena parte de la filosofía de la física (además de Kripke, ver Lewis 1973, Earman 1986; para enfoques filosóficos sobre nociones modales que prescindan de la noción de “mundo posible” ver Fine 1994, Jubien 1996, 2009). De esta manera, decir que “es **posible** que p ” o “es

necesario que p ” debe ser entendido en términos de “existe un mundo posible donde p es verdadero” y “en todo mundo posible p es verdadero”, respectivamente. No vamos a adentrarnos en las particularidades lógicas y semánticas que atraviesan la noción de mundo posible (para una introducción, ver Humberstone 2015) ni tampoco en las discusiones metafísicas a las que ha dado lugar, como por ejemplo, si tales mundos posibles deben ser entendidos como existentes en igual grado que el mundo actual (posición comúnmente llamada “concretismo”, ver Lewis 1986), o meramente como ficciones útiles para esclarecer intuiciones semánticas y lingüísticas (“abstraccionismo”, ver Plantinga 1974, Kripke 1980).¹ Puesto que la noción de “físicamente posible” de acuerdo con el Enfoque Estándar, promocionada principalmente por John Earman (1986) en la filosofía de la física, recae en buena medida en una estructura de mundos posibles, la asumiremos en lo que resta del trabajo.

En buena medida, trazar la geografía del reino de la modalidad consiste, por un lado, en distinguir *el alcance* de nuestras afirmaciones modales (alcance expresado en términos de los constituyentes fundamentales de este reino que son los mundos posibles); y, por el otro lado, en *cualificar* tal alcance. Comenzaremos refinando el último punto antes de continuar con el primero.

En la bibliografía existen al menos dos maneras de *cualificar* el alcance de nuestras intuiciones modales respecto de diferentes tipos de afirmaciones. Intuitivamente, la noción de mundo posible permite hablar de manera teórica y sistemática de situaciones o contextos diferentes al actual. Pero este “hablar de” se puede introducir de dos maneras diferentes: en términos *epistémicos* o en términos *metafísicos* (ver Kment 2017, Soames 2011). En términos generales, los mundos *epistémicamente* posibles permiten establecer la verdad o falsedad de ciertos enunciados modales en términos de la evidencia disponible (en el mundo actual) para un agente determinado. Por lo tanto, la noción de posibilidad y necesidad está estrechamente delimitada por el tipo y el grado de evidencia al alcance, abriendo la puerta a que divergencias en el tipo y el grado de evidencia disponible conduzcan a variaciones en lo que es posible y en lo que es necesario. En particular, se dice que una proposición p es *epistémicamente necesaria* para un agente determinado A , si la (i) evidencia empírica y el (ii) razonamiento puro son suficientes para descartar $\neg p$ (Kment 2017; ver también Soames 2005). Lo relevante de esta manera de entender la posibilidad y los mundos posibles es que no se compromete necesariamente con algún tipo de modalidad intrínseca en las cosas o en las situaciones del mundo, sino que la modalidad es siempre relativizada al tipo de información que un agente posee.

Sin embargo, uno podría comprometerse con una visión de la modalidad que no estuviese relativizada a la evidencia que un agente posee, sino que estuviese determinada por la naturaleza misma de las cosas (ver, por ejemplo, Ellis 2001). Cuando nos referimos a que es *posible* que el mundo tuviese cierta propiedad que no tiene el mundo actual, o que es posible que cierto arreglo de cosas estuviese dispuesto

de otra manera, no estamos haciendo una afirmación respecto de nuestro conocimiento como agentes en base a cierta información, sino que estamos haciendo una afirmación respecto de cómo el mundo, *en sí mismo*, podría haber sido. Las nociones modales, por lo tanto, permiten echar luz sobre la naturaleza misma de las cosas en el sentido que nos permiten identificar, por ejemplo, aquellas propiedades que permanecerían fijas ante diferentes variaciones. En este sentido, la noción de necesidad se articula con, por ejemplo, la noción de esencia: si decimos que la esencia de x es “ser F ”, entonces decimos que en todo mundo posible en el cual x exista, x instancia la propiedad F . Por lo tanto, podemos decir que una proposición p es *metafísicamente* necesaria, si p es verdadera en todo mundo posible; y el contenido modal de p dice algo intrínseco respecto de las naturalezas de las cosas involucradas en p (por ejemplo, que la esencia de x es instanciar la propiedad P donde sea que x exista).

Existe cierta discusión en la bibliografía respecto a si la distinción entre mundos *epistémicamente* posibles y mundos *metafísicamente* posibles es legítima, o si, finalmente, confluyen en uno de los dos puntos (ver Chalmers and Jackson 2001, por ejemplo). No vamos a adentrarnos en esta discusión, y simplemente asumiremos que cuando hablemos de si x es posible o necesario (en algún sentido a especificar ulteriormente) no estaremos relativizando la afirmación a la información o evidencia que un agente determinado pueda tener respecto de x , si no que nos estaremos refiriendo a su acepción más metafísica.

2.2. Lo X-mente posible

Ahora sí podemos abordar el primer punto mencionado más arriba: distinciones con respecto al *alcance modal* de nuestras afirmaciones. Es usual en la bibliografía respecto de mundos posibles considerar que el espacio maximal de mundos posibles está dado por los mundos *lógicamente* posibles. Relativo a este espacio, podemos construir una infinidad de proposiciones que pueden ser *lógicamente necesarias*, *lógicamente imposibles* o *lógicamente posibles*. Una proposición lógicamente necesaria es comúnmente considerada una *verdad necesaria* o una *verdad lógica* en el sentido en que es verdadera en todo mundo lógicamente posible: no existe un mundo posible en el cual la proposición sea falsa, y por lo tanto en todos ellos la proposición es verdadera. Una proposición que, en su lugar, es *lógicamente imposible*, como por ejemplo una contradicción lógica, se dice que no es verdadera en ningún mundo lógicamente posible: no existe un mundo posible en el cual tal proposición sea verdadera, sino que en todos ellos resulta falsa. Trivialmente, una proposición *lógicamente posible* refiere a una proposición que es verdadera al menos en un mundo posible.²

De acuerdo con el párrafo anterior, el alcance de las afirmaciones modales está dado en términos de cuantificadores universales y existenciales que se aplican al espacio maximal de mundos posibles. En particular, la posibilidad está dada por la

cuantificación existencial aplicada sobre el espacio maximal de mundos posibles. La idea central de trazar el mapa del reino de la modalidad depende en buena medida de si consideramos que tal cuantificación sobre mundos es acotada o no.

Para algunas afirmaciones filosóficas y científicas (las más interesantes para nuestros fines), la noción de posibilidad lógica puede resultar poco esclarecedora por ser demasiado permisiva. Muchas de nuestras afirmaciones modales son mucho más específicas y acotadas: cuando los físicos dicen que es *imposible* extraer información de un agujero negro, probablemente no quieren decir que la proposición “extraer información de algún agujero negro” constituya una contradicción lógica. Es muy simple imaginar un mundo *lógicamente* posible con otras leyes físicas en donde se pueda extraer información de un agujero negro. Cuando se dice que la “esencia del oro es ser el elemento número 78 en la tabla periódica” y que por lo tanto es *necesario* para ser oro tener la propiedad “ser el elemento 78 de la tabla periódica” no parece que se estuviese estipulando alguna clase de verdad lógica, válida en todos los mundos *lógicamente* posibles. Por lo tanto, para poder especificar el contenido semántico modal de tal clase de afirmaciones, resulta conveniente *restringir* el dominio del espacio maximal de mundos posibles al cual nos referiremos con términos como necesidad, imposibilidad o posibilidad. En otras palabras, al afirmar que “es necesario que *p*” podemos querer restringir la cuantificación sobre mundos lógicamente posibles a un sub-conjunto acotado. Con esta estrategia, podemos generar una geografía del reino modal mucho más compleja y detallada: lo *metafísicamente* posible, lo *físicamente* posible, lo *biológicamente* posible, lo *X-mente* posible, según el criterio que sea seleccionado.

Bajo este enfoque, lo *físicamente* posible, lo *físicamente* imposible y lo *físicamente* necesario es sólo una manera de expresar muchas afirmaciones modales más débiles que, por ejemplo, lo *lógicamente* necesario, pero más fuertes que una simple contingencia. Entre cualquier principio o verdad de la lógica clásica y la proposición “el libro que está sobre mi mesa es de color blanco y azul”, parece haber una plétora de proposiciones con diversa fuerza modal. Las proposiciones *físicamente* necesarias, por ejemplo, parecen hallarse en este espacio intermedio y resulta filosófica y científicamente relevante circunscribir con precisión cuál es su dominio de aplicación y cuál es su naturaleza. En otras palabras, *¿qué es* lo que hace *físicamente* posible a un mundo posible?

3. Lo físicamente posible: el Enfoque Estándar

La introducción del lenguaje modal en las ciencias físicas ha sido de vital importancia, y la adopción de lo *físicamente* posible, lo *físicamente* necesario y lo *físicamente* imposible ha ganado su merecido espacio en este reino de la modalidad. Desde

posiciones *esencialistas científicas* (como la sostenida por Ellis 2001, Kripke 1974 o Putnam 1975), lo *físicamente* (o *científicamente*) necesario colapsaría con lo *metafísicamente* necesario ya que es tarea de la actividad científica el descubrimiento de las propiedades esenciales del mundo natural. Haciendo a un lado esta visión particular, lo relevante para nuestro artículo es que la noción de posibilidad física, expresada en términos de mundos posibles, es de uso corriente no sólo en el ámbito de la filosofía de la física, sino también en el ámbito científico general.

Si bien la noción de posibilidad física puede ser entendida de diferentes maneras, tal como mencionamos en la introducción, existe un enfoque ampliamente extendido en la bibliografía filosófica que entiende lo físicamente posible exclusivamente en términos de la estructura nomológica de las teorías físicas. Este enfoque, al que llamamos “Enfoque Estándar”, asume que una proposición del tipo “ x es físicamente posible” asume que existe al menos un mundo en el cual, de acuerdo con las leyes de nuestras mejores teorías físicas vigentes, x puede ser el caso. En otras palabras, la ocurrencia de x no está prohibida por ninguna ley física actualmente vigente. Probablemente sea John Earman (1986) quien más haya promocionado el Enfoque Estándar.

Para empezar, resulta necesario caracterizar a qué nos referiremos con “mundo”. De acuerdo al vocabulario introducido por Earman, ‘mundo’ es “un mundo espacio-temporal de cuatro dimensiones” (1986, p.13), y un ‘mundo *posible*’ es una colección de eventos posibles que representan historias alternativas a las del mundo *actual*. Por ‘mundo *actual*’, Earman entiende el conjunto de eventos que han sucedido, suceden y sucederán. Sin embargo, ¿cuál es el criterio por el cual seleccionamos cierto subconjunto de mundos posibles como mundos *físicamente* posibles específicamente? Earman lo determina en términos de aquellos mundos “que satisfacen las leyes naturales que se obtienen en el mundo actual” (1986, p.13). Por lo tanto, de acuerdo con el Enfoque Estándar establecido por Earman, un mundo *físicamente* posible es un mundo espacio-temporal de cuatro dimensiones que representa una historia alternativa a la efectivamente ocurrida en el mundo actual, y en el cual se satisfacen las mismas leyes físicas que se satisfacen en el mundo actual.

Siendo más sistemáticos, podemos definir el Enfoque Estándar en base a dos compromisos explícitos y uno implícito

- Enfoque Estándar**
- (a) Compromiso con un enfoque modal expresado en términos de ‘mundos posibles’.
 - (b) Compromiso con que son las leyes físicas las que determinan la posibilidad, la necesidad y la imposibilidad *física*

El primer compromiso solamente expresa la preferencia por adoptar un enfoque que entiende las condiciones de verdad de afirmaciones modales invocando una estructura de mundos posibles. Naturalmente, una forma de renunciar al Enfoque Estándar

es negando el compromiso (a) y adoptar un enfoque de la posibilidad física que no recaiga en la noción de mundo posible (ver Fine 1994, Jubien 1996, 2009).³

De acuerdo con el compromiso (b), resulta natural entender la posibilidad física en términos del siguiente vínculo. En general, se considera que la estructura matemática de las teorías físicas que describen el mundo actual, y que representa su estructura nomológica, es un compuesto de ecuaciones diferenciales (que representan a las leyes físicas) donde cada una de sus soluciones representan diferentes posibilidades físicas (o mundos posibles). En general, cuando se pide un repertorio de las leyes de la física (independientemente de *qué* sean esas leyes), se provee una lista de ecuaciones diferenciales como la segunda ley de Newton, la ecuación de Schrödinger, las ecuaciones de campo de Einstein, etc. De acuerdo con estas consideraciones, las ecuaciones diferenciales de la física por lo tanto proveen el abanico de la posibilidad física expresado en sus soluciones. Naturalmente, entre esas soluciones posibles, una es la que representa una evolución en el mundo actual.

El segundo compromiso (b) es el que resulta más interesante para nuestro artículo, y es el que cuestionaremos en las secciones subsiguientes. Claramente, negar el compromiso (b), ya sea para restringir o relajar el criterio de que son las leyes físicas las que determinan el ámbito de la posibilidad física, no sólo equivale a apartarse del Enfoque Estándar sino también a una potencial disputa acerca del alcance efectivo del dominio de la posibilidad física: al cambiar el criterio que recorta el espacio maximal de los mundos posibles en un sub-conjunto menor, ese recorte podría claramente ser diferente y comprender conjuntos no co-extensivos de mundos posibles, conduciendo por consiguiente a un entendimiento distinto de la posibilidad física.

Pero antes de pasar a este punto, sería útil enunciar un compromiso implícito en el Enfoque Estándar.

(c) Compromiso con una visión “robusta” de ley física

Este compromiso no ha sido suficientemente desarrollado en la bibliografía relevante para abordar la noción de posibilidad física. No sólo existe una amplia variedad de visiones respecto de qué son las leyes físicas, sino diferentes maneras de agrupar tales visiones (ver Carroll 2012, capítulo 4; Belot 2011; Cohen y Callender 2009 para algunas sistematizaciones posibles). Estas visiones pueden considerar que las leyes físicas son meras regularidades que supervienen al mosaico humeano de particulares y relaciones (ver Lewis 1973, Loewer 1996); que son relaciones entre universales primitivos (Armstrong 1978, 1983) o relaciones entre particulares que conllevan una necesidad intrínseca o primitiva (Maudlin 2007); o meramente que no existen tales leyes físicas en absoluto, sino meros principios generales que describen comportamientos en modelos altamente idealizados (Mumford 2004, Cartwright 1983). Está

abierto a discusión si una visión regularista-humeana de las leyes físicas es compatible con el Enfoque Estándar: si las leyes físicas son meras regularidades que supervienen a la configuración *actual* del mosaico humeano, cualquier historia alternativa de tal configuración podría conducir a distintas leyes. Pero, sin lugar a dudas, quien sostenga que *no existen* leyes físicas como tales, no puede sostener al mismo tiempo el Enfoque Estándar, ya que éste recae, precisamente, en la existencia de tales leyes para limitar la posibilidad física. Por lo tanto, el Enfoque Estándar se compromete, al menos, con la existencia de genuinas leyes físicas, aunque, discutiblemente, podría no implicar un compromiso con algún tipo de *necesitarismo fuerte* respecto de las leyes.

Valga la siguiente aclaración para señalar cuál es exactamente el foco de nuestro argumento contra el Enfoque Estándar y el papel que la distinción nómico-extranómico juega en él. Si bien el Enfoque Estándar, como afirmamos anteriormente, se compromete con una visión al menos robusta de ley, esto no es central a nuestra argumentación: un regularista o esencialista tendría los mismos problemas a la hora de delimitar el rango de lo físicamente posible, anclado en qué tipo de elementos teóricos considera como nómicos. Qué es *metafísicamente* una ley no juega un papel central a la hora de delimitar lo nómico de lo extra-nómico. Tampoco es relevante qué incluimos dentro de la noción de ley: si relajamos el concepto de ley lo suficiente para permitir cierto tipo de enunciados o elementos teóricos, claramente estaríamos, con el mismo movimiento, ampliando el rango de lo que es posible a la ley, pero no habremos roto el lazo que une lo físicamente posible con el concepto de ley. Y esto último es, precisamente, nuestro objetivo. Por lo tanto, qué sea o no una ley, qué compromisos metafísicos respecto de qué es una ley subyace al Enfoque Estándar o qué cosas consideramos como leyes, no es central en la discusión que queremos dar. Lo central es, para ser enfáticos, que cualquiera sea la noción de ley que se sostenga (siempre y cuando no lleve a una trivialización), cabe interrogarse si otros elementos no juegan acaso un papel activo en delimitar la posibilidad. Nuestra intención es ceñir el campo de lo físicamente posible, pero no relajando nuestro entendimiento de qué es una ley científica, sino rompiendo el vínculo ley física — lo físicamente posible.

Antes de finalizar esta sección quisiéramos abordar, brevemente, la distinción entre leyes naturales y leyes científicas (físicas en este caso). Por una parte, las *leyes físicas* serían aquellas ecuaciones que aparecen en el marco de una teoría científica y que describirían, con información adicional y de manera aproximada, el comportamiento de un cierto rango de fenómenos. Si la teoría está axiomatizada (lo cual no siempre sucede), entonces tales axiomas también contarían como leyes físicas. Como se ve, “ser una ley física” es una propiedad que elementos lingüísticos satisfacen o no. Por otra parte, las *leyes de la naturaleza* podríamos entenderlas como el sustento modal de ciertas regularidades o patrones presentes en la naturaleza; en este sentido, son de una naturaleza distinta a la de las leyes científicas. Si bien es cierto que en general

los científicos y algunos filósofos de las ciencias pretenden que las leyes científicas representen también leyes de la naturaleza (en el sentido que sus “truthmakers” sean algún elemento de la naturaleza misma: por ejemplo, porque las leyes físicas en realidad expresan en lenguaje matemático necesidades reales o poderes causales), esto no tiene que ser necesariamente asumido. En sentido estricto, las leyes científicas no tienen *truthmakers* (por eso el problema de la inducción, por ejemplo), sino que poseen cierta evidencia experimental que da cierto apoyo inductivo. Es decir, entre las leyes naturales y las leyes científicas no necesariamente existe un mapeo. En el sentido de la distinción establecida aquí, el Enfoque Estándar implica un compromiso con nuestras leyes científicas y no con las leyes de la naturaleza (aunque Earman expresa el espíritu del enfoque en términos de leyes de la naturaleza). Es decir, la posibilidad física, en el sentido expuesto más arriba, está dada por las leyes físicas de una teoría particular y esta concepción de posibilidad no implica necesariamente un compromiso con una visión particular acerca de las leyes de la naturaleza.

4. Límites del Enfoque Estándar

Si bien el Enfoque Estándar ofrece una manera sistemática y efectiva de entender la noción de posibilidad física, tiene algunas limitaciones o ambigüedades. Una de sus ambigüedades radica en cómo entender el criterio mismo de lo *físicamente* posible en términos de leyes. Entre sus limitaciones, por ejemplo, el enfoque no permite hablar de lo *físicamente* posible en general, sino que requiere una relativización a una teoría física en particular. Finalmente, una limitación central se basa en si el Enfoque Estándar actúa como un buen criterio a la hora de aceptar o desechar instancias de *posibilidad* física que estén en consonancia con la práctica científica y con el poder explicativo esperado de una teoría en particular.

Earman, por ejemplo, define la posibilidad física estrictamente en términos de las leyes que se satisfacen en el *mundo actual*. Tim Maudlin entiende la posibilidad física en los mismos términos cuando afirma que una situación es físicamente posible cuando su ocurrencia es consistente con las leyes que “nos rodean” (Maudlin 2007, p.18). Sin embargo, conviven otras lecturas de este criterio nomológico para la posibilidad física. Richard Bradley, por ejemplo, afirma que “un mundo físicamente posible es cualquier mundo posible que tiene *las mismas* leyes naturales que tiene el mundo actual” (1979, p.6). A primera vista, las dos definiciones parecen equivalentes, pero al analizarlas con detenimiento, no lo son: mientras que la primera definición sólo pone como criterio para la posibilidad física la satisfacción de, *al menos*, las leyes del mundo actual, la segunda exige que *sólo* sean las leyes del mundo actual las que determinen lo físicamente posible. Por ejemplo, imaginemos un mundo posible exactamente igual al nuestro, con exactamente las mismas leyes físicas, condiciones

iniciales y de contorno que nuestro universo. La única excepción es que ese mundo tiene una simetría adicional respecto del mundo actual. Si consideramos a las simetrías como formando parte de la estructura nomológica de una teoría física, o como meta-leyes con un estatus superior al de las leyes dinámicas o los principios de conservación (ver, por ejemplo, Lange 2007), tal mundo posible sería *físicamente* posible según la definición de Earman y Maudlin, pero no bajo la definición de Bradley. Claramente, la definición de Bradley es más estricta que la de Earman y Maudlin. Ambas definiciones, por lo tanto, caracterizan la posibilidad *física* de manera extensional e intensionalmente distinta.

La ambigüedad podría ser subsanada con simplemente acordar qué definición de posibilidad física adoptar. Sin embargo, no creemos que haya una manera clara y unívoca de llegar a un acuerdo tal. Gran parte del problema depende de poder establecer cuál de estas definiciones recoge el uso de nociones modales respecto de la posibilidad física de una mejor manera, las cuales podrían variar de contexto a contexto. Probablemente, a nivel de la ciencia física en general una definición como la de Earman o Maudlin sea la más adecuada ya que resulta más laxa y abierta a variaciones o inclusiones; pero a nivel intra-teórico, quizás sea preferible la definición de Bradley. De cualquier manera, es relevante tener en mente que existe una doble lectura de la posibilidad física en la bibliografía; doble lectura que podría no conducir a conjuntos de mundos físicamente posibles co-extensivos.

Una segunda limitación del Enfoque Estándar es que es incapaz de definir la posibilidad física sin la relativización a una teoría en particular. Hasta el momento procedimos como si existiera una noción de posibilidad física aplicable en general, pero estrictamente sería un error suponerlo. En primer lugar, muchas de nuestras teorías físicas son incompatibles entre sí; incluso muchas de nuestras *mejores* teorías físicas son incompatibles entre sí.⁴ Esto conduce a que no sea posible responder de manera unívoca a la pregunta de cuáles son las leyes físicas del mundo actual, sino que tengamos que relativizar la respuesta siempre a una teoría específica. Naturalmente, esto conduce a que, bajo el Enfoque Estándar, la noción misma de posibilidad física esté necesariamente relativizada y no tenga una aplicación general a toda la física. Dicho en otras palabras, la noción de lo físicamente posible *en general* está tan vacía de contenido filosófico y contenido científico relevante como la afirmación de que “existe un mundo físicamente posible donde las partículas pueden tener velocidad infinita” y “no existe un mundo físicamente posible donde las partículas puedan tener velocidad infinita”. Mientras que el primer caso es un mundo físicamente posible para la mecánica clásica, no es un mundo físicamente posible para la relatividad especial.

A la luz de lo dicho en el párrafo anterior, una definición apropiada de posibilidad física en términos del Enfoque Estándar exige una relativización a una teoría física en particular. Por lo tanto: un mundo *posible* es físicamente posible de acuerdo

a una teoría T si y sólo si tal mundo satisface las leyes físicas de T . Bajo esta relativización, probablemente la definición de Bradley sea la más adecuada, ya que es sumamente razonable demandar que la posibilidad física bajo una teoría en particular comprenda sólo las leyes de esa teoría en particular, ya que, de otra manera, podríamos estar lidiando con una teoría diferente y, por lo tanto, con un sub-conjunto diferente de mundos posibles.

Finalmente, cabe hacer una pregunta más general respecto del Enfoque Estándar: ¿es un buen enfoque para capturar la noción de posibilidad física? Las leyes físicas, ¿son el único criterio adecuado para circunscribir el mundo de lo físicamente posible, en el sentido de ser lo suficientemente permisivo para permitir dentro del ámbito de la posibilidad física ciertos mundos posibles y lo suficientemente exclusivo para desechar a otros no deseados? La tesis de nuestro trabajo es que la apelación pura y exclusiva a las leyes físicas para caracterizar la posibilidad física podría ser un criterio demasiado amplio y poco específico en varias situaciones científicamente relevantes. En otras palabras, es un criterio demasiado permisivo que permite aceptar como *físicamente* posibles mundos posibles que podríamos querer dejar afuera. Si bien las leyes físicas de una teoría son fundamentales en determinar cuál es su estructura, no es el único elemento que juega un papel central. En general, nuestro punto es que el poder expresivo y explicativo de una teoría física, incluso en la construcción de qué modelos son válidos (posibles) para representar procesos físicos, no se agota en cuáles son sus ecuaciones fundamentales y el conjunto de sus soluciones. Por lo tanto, la noción de posibilidad física tampoco debería agotarse en ella. Antes de analizar algunos casos concretos, caben algunos comentarios generales al respecto.

En primer lugar, es claro que no existe una manera más natural que otra de circunscribir los mundos físicamente posibles. Desde un punto de vista puramente lógico, el calificativo de '*físicamente*' añadido a la noción de mundo posible solamente indica que el cuantificador que cuantifica sobre todos los mundos posibles es un cuantificador acotado a un sub-conjunto delimitado de mundos posibles; delimitación establecida en base a un criterio que es introducido de manera externa respondiendo al tipo particular de expresiones que queremos manifestar. En principio, uno puede acotar el cuantificador de cualquier manera para expresar la noción de posibilidad física, ya que no hay elemento que fije de manera unívoca, ni de manera intrínseca, el criterio. El punto filosófico y científicamente relevante es si tal criterio resulta efectivo y exitoso a la hora de recoger el uso de nociones modales en física, y potenciar el poder explicativo de nuestras teorías científicas. Un criterio demasiado relajado de la noción de posibilidad física podría debilitar el poder explicativo de una teoría científica al incluir más casos de los que realmente quiere incluir, perdiendo especificidad en su aplicación y explicación. Si bien las teorías científicas nos dicen *qué* es lo posible de acuerdo con esa teoría y cuáles son las situaciones alternativas en las cuales la teoría sigue teniendo validez, también la teoría necesariamente prohíbe ciertas

situaciones o deja deliberadamente fuera de su alcance otras. Una noción refinada y sofisticada de posibilidad física debiera ser capaz de lograr este doble objetivo.

La pregunta que motiva nuestra propuesta es: ¿necesitamos *algo más* además de las leyes físicas para caracterizar la posibilidad física? Laura Ruetsche (2013) ha argumentado que a la hora de poder expresar más adecuadamente el poder explicativo de una teoría mediante una interpretación tenemos que incluir diversos *factores extra-nómicos*. Su enfoque, que ella califica de *pragmático y particularista*, entiende que diferentes factores extra-nómicos (como condiciones iniciales o de contorno, e incluso arreglos experimentales particulares) imponen ciertos detalles en la explicación que “importan en la misma medida en la que se supone que las leyes importan en general: importan para establecer generalizaciones (y tal vez, también, para establecer qué propiedades son adecuadas en tales generalizaciones) y, por lo tanto, para establecer qué explicaciones son adecuadas para tales generalizaciones” (2013, p.4). En este artículo, asumiremos un punto de vista similar en relación con la noción de posibilidad física. En lo crucial, queremos hacer hincapié en que el criterio más adecuado para calificar lo *físicamente* posible es aquel que resulta más relevante y significativo para la física en la medida en que recoge y sistematiza el uso de nociones modales en la práctica científica y no aquel que resulta más sistemático o más simple desde un punto de vista puramente conceptual.

5. Dos casos de estudio

Como hemos advertido en las secciones anteriores, la noción de posibilidad física podría ser más compleja de lo que el Enfoque Estándar generalmente asume. En esta sección, buscamos motivar este diagnóstico recurriendo al análisis de algunos ejemplos concretos de la física donde esta complejidad se torna evidente. En particular, lo que pretendemos mostrar es que el Enfoque Estándar resulta demasiado permisivo y que, usualmente, los físicos recurren a criterios extra-nómicos al emplear la noción de posibilidad física. En otros términos, queremos decir que la comunidad física no utiliza *solamente* las leyes de la física como único criterio para decidir si ciertas situaciones son físicamente posibles o no — situaciones físicamente posibles que podrían, eventualmente, actualizarse para convertirse en lo que comúnmente se conoce como “mundo actual”.

Con este análisis no queremos decir que la elucidación filosófica se deba circunscribir a meramente recoger y analizar la práctica científica. En cambio, creemos que es un trabajo de ida y vuelta. En este caso en particular, creemos que algunos elementos presentes en la práctica científica — desatendidos por el Enfoque Estándar — serían de suma utilidad para alcanzar una noción filosóficamente más refinada de posibilidad física. Entonces, ¿qué elementos y/o criterios presentes en la práctica

científica ayudarían a alcanzar una noción más adecuada de posibilidad física? En los siguientes casos, intentaremos dilucidar estos elementos y/o criterios.

5.1. El problema de la acción a distancia

La mecánica newtoniana, desde su formulación, ha sido una fuente inagotable de investigaciones tanto en física como en filosofía. Uno de los problemas abordados por estas investigaciones, y quizás el más emblemático, es el llamado “problema de la acción a distancia”. De acuerdo con la mecánica de Newton, dos cuerpos masivos ejercen entre sí una fuerza de atracción mutua inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellos y directamente proporcional al producto de la masa de los cuerpos. Esta fuerza de atracción se produciría, de acuerdo con la teoría, de manera instantánea y sin ningún tipo de mediación física entre ambos cuerpos. Una de sus implicaciones más misteriosa y problemática es que esta “acción a distancia” supondría algún tipo de propagación instantánea de señales. El problema central es explicar físicamente esta fuerza y sus implicaciones.

Si bien es posible abordar el problema de la acción a distancia desde diversas perspectivas, en este artículo lo utilizaremos en el marco de nuestra elucidación del concepto de posibilidad física. De acuerdo con el Enfoque Estándar, la acción a distancia (o la propagación de señales a velocidad infinita) sería una genuina posibilidad física, ya que es una consecuencia directa del formalismo de la mecánica newtoniana. Una manera de evitar el problema sería evaluar este resultado desde una teoría más general: de acuerdo con la relatividad especial no es posible propagar señales a una velocidad mayor que la velocidad de la luz. Por lo tanto, en el marco de la relatividad especial, la acción a distancia no es una posibilidad física en absoluto. El Enfoque Estándar contempla la relativización de la posibilidad física al marco de una teoría determinada: lo que es físicamente posible en una teoría, podría no serlo en otra. Y la acción a distancia es un caso ejemplar de ello. Esto podría suponer que el problema automáticamente desaparece porque la mecánica newtoniana pasa a ser una teoría secundaria que aproxima ciertos resultados de la relatividad especial en contextos determinados (bajas velocidades, por ejemplo). La manera correcta de evaluar la posibilidad física sería tomar la teoría más general posible que describa (o incluya) el mismo rango de fenómenos y, a partir de ella, evaluar qué es lo físicamente posible.

Sin embargo, el punto que queremos marcar es sutilmente diferente: más allá que la acción a distancia sea o no una posibilidad física en general dado el contexto de las mejores teorías aceptadas hoy en día, persiste el problema de cómo llegamos a identificar y evaluar un caso de posibilidad física. Y este problema aún persiste en cada teoría en la cual queramos llevar a cabo la definición. El problema no es si x es una posibilidad física en general o conforme a nuestras mejores teorías físicas actualmente vigentes, sino cómo se logra tal definición *en cada teoría*. Y es en este

punto donde advertimos las divergencias entre el Enfoque Estándar y la práctica científica. Por lo tanto, no creemos que sea necesario evaluar casos extraños o anti-intuitivos de posibilidad física desde un marco teórico más general, sino que éstos deben ser evaluados y contrastados con la práctica científica en el marco de la teoría en discusión.

Volvamos ahora con el problema de la acción a distancia para aclarar nuestro punto. Es posible rastrear, en el propio Newton, algunos indicios de la tesis que proponemos aquí. Mediante un análisis de los escritos de Newton, por ejemplo, en el propio Escolio de los *Principia*, podemos inferir que la razón de Newton para no ofrecer una explicación científica de la acción a distancia como una posibilidad física corresponde a criterios extra-nómicos que podríamos denominar de tipo metafísicos y teológicos.

En primer lugar, Newton apela a la noción metafísica de *causalidad* para delimitar la posibilidad física. Newton sostiene que debe existir una causa para todo efecto y que la aceptación de la acción a distancia permitiría la existencia de ciertos efectos sin una causa deducible de los propios fenómenos. Evidencia de esta postura la podemos rastrear en el Escolio general al final de los *Principia*:

Thus far I have explained the phenomena of the heavens and of our sea by the force of gravity, but I have not yet assigned a cause to gravity. Indeed, this force arises from some cause that penetrates as far as the centers of the sun and planets without any diminution of its power to act, and that acts not in proportion to the quantity of the surfaces of the particles on which it acts (as mechanical causes are wont to do) but in proportion to the quantity of solid matter, and whose action is extended everywhere to immense distances, always decreasing as the squares of the distances (...) I have not as yet been able to deduce from phenomena the reason for these properties of gravity, and I do not feign hypotheses. For whatever is not deduced from the phenomena must be called a hypothesis; and hypotheses, whether metaphysical or physical, or based on occult qualities, or mechanical, have no place in experimental philosophy (...) A few things could now be added concerning a certain very subtle spirit pervading gross bodies and lying hidden in them; by its force and actions, the particles of bodies attract one another at very small distances and cohere when they become contiguous (...) there is not a sufficient number of experiments to determine and demonstrate accurately the laws governing the actions of this spirit (Newton 1999[1687], pp.943–4)

Hacia el final de la cita anterior podemos ver que Newton desliza alguna de sus intuiciones respecto al problema de la acción a distancia al mencionar que no ha podido deducir de los propios fenómenos la causa de las propiedades de la gravedad y que estas propiedades pueden ser obra de alguna especie de espíritu universal que penetra a través de los sólidos y que permite que los cuerpos logren actuar a pequeñas y grandes distancias. La búsqueda de una causa, incluso fuera de los propios fenóme-

nos, deja en evidencia que para Newton es imprescindible la presencia de una causa que explique el fenómeno de la acción a distancia y muestra que no estaba dispuesto a renunciar a la causalidad como principio explicativo.

Si efectivamente se añaden criterios metafísicos para delimitar lo físicamente posible, se ve que la caracterización estándar de mundo posible como sistema jerarquizado (ver Subsección 2.2) se encuentra en tensión. Clásicamente los diferentes niveles de posibilidad en la visión de mundos posibles son los siguientes: el conjunto mayor es el de los mundos lógicamente posibles, y el conjunto de los mundos metafísicamente posibles está incluido en él (o sea, todos los mundos metafísicamente posibles son mundos lógicamente posibles, pero no viceversa). A su vez, el conjunto de los mundos físicamente posibles estaría incluido en el conjunto de los mundos metafísica y lógicamente posibles. Sin embargo, al adoptar el principio de causalidad como un criterio para lo metafísicamente posible (como hace Newton), se debería seguir que la acción a distancia no podría ser físicamente posible. Caso contrario, existirían mundos físicamente posibles, que no serían metafísicamente posibles, lo cual sería un resultado bastante paradójico. En este estado de cosas, tenemos dos opciones: (a) cambiar los compromisos metafísicos, quizás la causalidad no es tan importante como creemos, o (b) modificar la noción de posibilidad física, diciendo que, si bien hay situaciones que parecen seguirse del formalismo de la teoría y, por lo tanto, serían físicamente posibles según el Enfoque Estándar, sería un error considerarlas físicamente posibles porque contradicen algún principio metafísico previamente asumido.

En segundo lugar, podemos también encontrar un criterio de tipo teológico que se encuentra estrechamente ligado con el criterio metafísico expuesto en los párrafos anteriores. La interpretación más aceptada respecto a cuál sería la causa de la gravitación de la que Newton habla es que ésta estaría dada por Dios. Por ejemplo, Alfred Rupert Hall en su libro *La Revolución Científica. 1500-1750* sostiene que algunos newtonianos de la época opinaban que lo que realmente Newton quería decir es que sería la omnipresencia de Dios la causa de que en todas partes funcione la fuerza gravitacional entre los cuerpos (Cfr. 1985[1954], p.482). Este sería el espíritu universal del que Newton hablaba y que haría posible la acción a distancia.

Por su parte, Alexandre Koyré en su libro *Newtonian Studies* sostiene una tesis similar a la de Hall respecto a cuál sería la causa de la gravitación según Newton: “attraction as action at a distance through vacuum without mediation, he told Bentley, was an utter absurdity that nobody could believe in, stating moreover rather clearly that this mediation had to be performed by something which is not material, that is, by God” (1965, p.149).

Este breve análisis muestra cómo la comunidad científica — filosófica de la época recurría a criterios extra-nómicos para establecer qué es lo físicamente posible. Y la tendencia, *mutatis mutandis*, persiste hasta nuestros días: Newton, como otros científicos de la época y actuales, lidian con el problema de la acción a distancia si-

guiendo esta estrategia. Los compromisos metafísicos previamente asumidos juegan un papel fundamental en esta tarea, ya que imponen principios más generales de cómo circunscribir la noción de posibilidad física. En este sentido, el Enfoque Estándar resulta demasiado permisivo o incompleto, en tanto sólo presta atención a las soluciones de las ecuaciones dinámicas de la teoría física en cuestión. Bajo este enfoque, Newton — y cualquier otro científico — debería *ciegamente* aceptar la acción a distancia (en el marco de la mecánica newtoniana) como una genuina posibilidad física. Más allá de que esto resulte incómodo o controversial, el punto que queremos marcar es que los científicos mismos parecen ser más sutiles en esta tarea al suponer ciertos compromisos metafísicos y evaluar la posibilidad física a la luz de ellos. Por lo tanto, creemos que una definición más refinada de la posibilidad física debería incluirlos explícitamente, cumpliendo el papel activo que parecen jugar en la práctica científica.

5.2. Problemas cosmológicos

El segundo ejemplo que queremos proponer para poner de manifiesto la multiplicidad de criterios utilizados para circunscribir la noción de posibilidad física en diversas teorías físicas es respecto a los agujeros negros, agujeros blancos y agujeros de gusanos. En términos generales, un agujero negro corresponde a una región del espacio-tiempo dentro de la cual existe una singularidad y donde la gravedad es tan fuerte que nada puede escapar de esta región. En segundo lugar, un agujero blanco es un objeto teórico derivado de las ecuaciones de Einstein (al igual que los agujeros negros), correspondiente a una región del espacio-tiempo dentro de la cual existe una singularidad que deforma esta región y desde la cual emerge materia y energía. Por último, un agujero de gusano se puede definir como un puente entre dos regiones distantes del espacio-tiempo. Se denomina agujero de “gusano”, ya que la materia y energía podría viajar a través de este conducto, el cual conectaría dos regiones del universo.⁵

Como es sabido en cosmología, tanto los agujeros negros, así como también los agujeros blancos y de gusano son soluciones de las ecuaciones de campo de Einstein. Es decir, de acuerdo con el Enfoque Estándar, corresponden a genuinas posibilidades físicas en el contexto de la relatividad general. Sin embargo, la comunidad científica no parece haber aceptado esta conclusión de manera universal y sin dar mayores precisiones: un breve análisis de diversas fuentes bibliográficas muestra que se ha acudido a criterios extra-nómicos para aceptar o rechazar la posibilidad física de estos objetos cosmológicos. Esto fortalecería nuestro punto al señalar una multiplicidad de criterios en lugar de recaer en el mero formalismo de las teorías científicas como un criterio de posibilidad física.

Uno de los principales argumentos que encontramos en la bibliografía, y que po-

dría constreñir la noción de posibilidad física, está relacionado con algunos principios más generales de la física. En este sentido, un primer criterio que podemos rastrear es la imposibilidad de objetos con densidad infinita. Sin embargo, la comunidad científica de la época miró con reticencia la posibilidad del colapso gravitacional de las estrellas en singularidades de densidad infinita. Algunos de los físicos más renombrados de la época, como Arthur Eddington y Albert Einstein, se negaron a aceptar tal posibilidad. Stephen Hawking, en su libro *Historia del tiempo: del Big-Bang a los Agujeros Negros*, escribe:

... Eddington se asombró tanto por esta conclusión que se rehusó a creer en el resultado de Chandrasekhar. Pensó que era simplemente imposible que una estrella pudiera colapsarse y convertirse en un punto. Este fue el criterio de la mayoría de los científicos: el mismo Einstein escribió un artículo en el que sostenía que las estrellas no podrían encogerse hasta tener un tamaño nulo... (2011[1988], p.138).

La reticencia de Einstein y Eddington a aceptar la posibilidad física de los agujeros negros fue manifiesta aún cuando tal posibilidad se seguía de las ecuaciones de campo de Einstein: la relatividad general, desde la perspectiva de su formalismo puro, acepta la posibilidad de cuerpos de densidad infinita. Nuestro punto a subrayar aquí es que tanto Einstein como Eddington (y otros físicos de la época) veían la necesidad de apelar a criterios adicionales para circunscribir la posibilidad física y evitar leer su definición del puro formalismo. La plausibilidad de tales objetos, al parecer, entraría en conflicto con principios más generales de la física, y estos podrían ser utilizados como criterios adicionales para evaluar la posibilidad física de alguna solución peculiar.

Otro criterio físico que parece jugar un papel central en la conceptualización de la posibilidad física en una teoría es el principio de la conservación de la energía. Como se dijo anteriormente, un agujero blanco es un objeto teórico cuyo comportamiento es, en algún sentido, contrario al de un agujero negro. Es decir, estos objetos sólo permiten que de ellos escape energía y materia, sin que nada (es decir, energía y/o materia) pueda entrar en ellos. Un argumento para negar la posibilidad física de los agujeros blancos recaería en que su existencia violaría el principio de conservación de la energía al producir materia-energía *ex nihilo*.

Principios como el de la conservación de la energía juegan un papel muy relevante en física, y parecen guiar muchas de nuestras intuiciones respecto de cómo delimitar la noción de posibilidad física. Sin embargo, no es completamente claro qué estatus tienen en el corpus de las teorías físicas. Si bien abordar cabalmente este problema excede los alcances de este trabajo, vale la pena mencionar brevemente el papel preponderante que los principios de esta índole podrían jugar en la delimitación de la posibilidad física. En general, es posible ofrecer dos enfoques: (a) los principios de

conservación forman parte del marco general de una teoría física, o se deducen de este marco general y, por tanto, están incluidos en el Enfoque Estándar. En este sentido, serían principios de tipo nomológico en el seno de una teoría en particular. O, en su lugar, (b) son principios generales de validez inter-teórica independientes de las leyes de una teoría determinada. Este es un asunto de crucial importancia para nuestro análisis, pues, si efectivamente estos principios forman parte de los elementos propios de una teoría física o se deducen de ellos, entonces cuando apelamos a estos principios para constreñir lo físicamente posible no estamos haciendo nada más que apelar al Enfoque Estándar. Por otra parte, si el principio de conservación de la energía tiene un carácter extra-nómico, actuando como un principio más general que constriñe la posibilidad física derivada de las leyes de una teoría en particular, entonces sí podría considerarse que este principio es un genuino criterio que nos permite caracterizar la modalidad física más allá del Enfoque Estándar.

Este análisis abre una serie de interrogantes que no han sido abordadas por la bibliografía filosófica hasta el momento: ¿cuál es el alcance estricto del Enfoque Estándar? Al apelar puramente al aparato nomológico de una teoría para caracterizar la posibilidad física, ¿qué deberíamos incluir en tal aparato nomológico? Ya vimos que el estatus de los principios de conservación es ambiguo, pero el mismo razonamiento podría extenderse a otros principios, como las simetrías, por ejemplo. Si bien el estatus general de los principios de conservación o las simetrías ha sido ampliamente discutido en la literatura pertinente (ver, por ejemplo, Lange 2007), tal discusión no ha sido relacionada con la caracterización de la posibilidad física. Creemos que este nuevo elemento conduce a complejizar más aún el panorama: o bien uno considera que tales principios o simetrías son ajenas y constriñen el aparato nomológico, y por lo tanto, deberían considerarse como un criterio extra-nómico más para caracterizar la posibilidad física (mostrando la inadecuación del Enfoque Estándar), o bien se los considera como parte del aparato nomológico, no calificando como un criterio extra-nómico, pero sugiriendo que el Enfoque Estándar debería modificarse, o al menos ser más explícito respecto de estos compromisos y sus alcances.

Haciendo a un lado los principios generales de conservación y las simetrías, otro posible criterio extra-nómico que encontramos en la bibliografía es de tipo matemático: la *inestabilidad*. La estabilidad de una solución está asociada a cómo ésta varía cuando se modifican levemente las condiciones iniciales del sistema. No es difícil encontrar en la literatura técnica asociada a los agujeros de gusano menciones a la inestabilidad matemática de este tipo de soluciones. Por ejemplo, Hawking, al describir qué sucedería con un astronauta que cae en el interior de un agujero de gusano, hace referencia a la inestabilidad de estos objetos cosmológicos:

... él puede evitar chocar con la singularidad y, en vez de esto, caer a través de un agujero de gusano ("wormhole"), para salir en otra región del universo. Esto ofrecería grandes posibilidades de viajar en el espacio y en el

tiempo, aunque desafortunadamente parece ser que estas soluciones son altamente inestables; la menor perturbación, como, por ejemplo, la presencia del astronauta, puede cambiarlas, de forma que el astronauta podría no ver la singularidad hasta que chocara con ella, momento en el que encontraría su final. . . (2011 [1988], pp.143–4).

La inestabilidad de la solución de agujero de gusano daría a entender que su posibilidad física resulta cuestionable, ya que pequeñas modificaciones en las condiciones iniciales, tal como la presencia de un astronauta, modificaría el sistema físico evolucionando eventualmente hacia otro objeto con características distintas a las iniciales.

Un trabajo que analiza la inestabilidad de la solución de agujero de gusano, en particular del tipo Ellis o Morri-Thorne (un tipo de agujero de gusano “atravesable”) es el de los físicos Takashi Torii y Hisa-aki Shinkai (2013). Ellos dicen que: “The instability of wormholes requires additional maintenance techniques in science fiction. Not only so, but this indicates that such a simple wormhole construction cannot be available as an astrophysical object with the present setting” (Torii y Shinkai 2013, p.6).

Respecto a este último argumento, la inestabilidad de estos objetos cosmológicos no sólo imposibilitaría utilizarlos como medios de viaje, sino también haría imposible conocerlos efectivamente. Si bien su posibilidad física, de acuerdo con el Enfoque Estándar, estaría dada por su aparición en el formalismo de la relatividad general, hay fuertes motivos para sospechar que serían objetos *imposibles* de conocer dada su inestabilidad. Si bien esto no es un argumento contundente en torno a su posibilidad física *per se*, sí es un argumento en contra de cualquier aspiración de utilizar o conocer sus propiedades. ¿Estarían los físicos dispuestos a aceptar la posibilidad física de objetos cosmológicos imposibles de conocer por su propia naturaleza? Una respuesta afirmativa a tal pregunta corre el riesgo de hacer ontología considerando únicamente el aspecto matemático de una teoría.

Un tercer tipo de argumento esgrimido recurrentemente por los científicos para descartar ciertas posibilidades físicas está relacionado con la ausencia, en muchos casos, de corroboración empírica. Analicemos este argumento. Este criterio rechaza la posibilidad física de un objeto o fenómeno dado que no existe evidencia experimental que lo respalde, aunque su posibilidad se derive de las ecuaciones de una teoría física en particular. Este argumento se ha esgrimido para rechazar la posibilidad física de los agujeros negros en sus primeros estadios de desarrollo teórico, así como también para rechazar la existencia de los agujeros blancos y agujeros de gusano. Creemos que la omnipresencia de este argumento en contra de todos estos objetos matemáticos se debe a que estos han sido, en sus inicios, desarrollos puramente teórico-matemáticos alejados de cualquier corroboración empírica. Todos estos casos surgen como soluciones matemáticas de las ecuaciones de Einstein que podrían tener un significado físico como podrían no tenerlo.

Hawking, manifiesta que, efectivamente, muchos hombres de ciencia apelan a este criterio empírico para desestimar soluciones “extrañas” de las ecuaciones de Einstein, en particular, los agujeros negros (en el momento en que no se contaba con la evidencia que actualmente se tiene de estos objetos):

Los agujeros negros son un caso, entre unos pocos en la historia de la ciencia, en el que la teoría se desarrolla en gran detalle como un modelo matemático, antes de que haya ninguna evidencia a través de las observaciones de que aquélla es correcta. En realidad, esto constituía el principal argumento de los oponentes de los agujeros negros: ¿cómo podría uno creer en objetos cuya única evidencia eran cálculos basados en la dudosa teoría de la relatividad general? (2011[1988], p.149)

Apelar a este criterio empírico ha permitido a los físicos descartar soluciones exóticas de las ecuaciones de Einstein, como en su momento fueron los agujeros negros o como hoy en día sucede con la solución de agujero blanco o agujero de gusano.

Este tipo de argumentación, sin embargo, va en contra de una visión positiva de la posibilidad en sí misma. Es decir, es un argumento puramente actualista, cuasi-eliminativista de la posibilidad: todo lo que puede existir, existe; y lo que no existe, no puede existir. Esto es algo contrario al Enfoque Estándar y, diríamos, a cualquier intención de dar una teoría más positiva de la posibilidad. La posibilidad física no es acerca del mundo actual, sino acerca de los mundos posibles entre los cuales se encuentra el mundo actual. Decir que algo no es posible porque no es actual es ser eliminativista respecto de la posibilidad. En conclusión, este tipo de argumento, creemos, debería ser descartado como candidato a especificar la posibilidad física.

Por último, nos encontramos con un criterio de tipo metafísico que apela nuevamente a la noción de causalidad para argumentar en contra de la posibilidad física de los agujeros de gusano. Este criterio sostiene que los agujeros de gusano harían posibles los viajes al pasado y, por lo tanto, podríamos tener casos en que el efecto precede a la causa. En un artículo de 1988, Michael Morris, Kip Thorne y Ulvi Yurtsever mencionan lo siguiente respecto a este problema: “. . . if the laws of physics permit traversible wormholes, then they probably also permit such a wormhole to be transformed into a “time machine” with which causality might be violatable”. (Morris, Thorne y Yurtsever 1988, p.1446). En esta cita es evidente que los autores se preocupan por la posibilidad de la existencia de los agujeros de gusano y la consecuente violación de la causalidad.

Ya dejando de lado los objetos cosmológicos, otro interesante caso que podemos mencionar brevemente para poner en evidencia como operan los criterios de tipo metafísicos es el caso del Universo de Gödel, una solución exacta a las ecuaciones de Einstein propuesta por Kurt Gödel en 1949. Una de las características más importantes de la solución de Gödel es la posibilidad matemática de que en todo punto del espacio-tiempo existan curvas temporales cerradas (“closed timelikes curves”, CTCs).

Una CTC es básicamente una cadena causal cerrada. Es decir, en base a estas CTCs es posible obtener una situación en la que el efecto ocurre antes que la causa. Verbigracia, moviéndose a través de una curva de este tipo sería posible viajar al pasado y visitar, por ejemplo, a nuestro abuelo. Para muchos físicos parece ser claro que este tipo de soluciones no son posibles por las extrañas propiedades causales que presenta.

Al igual que con el problema de la acción a distancia, el criterio metafísico de la causalidad parece perfilarse como un serio candidato para ser incluido como factor extra-nómico que nos permita arribar a un enfoque más adecuado de la posibilidad física.

6. Conclusiones

El objetivo de este trabajo ha sido evaluar la pertinencia del Enfoque Estándar para caracterizar la posibilidad física en contextos científicos, en particular, en física. Hemos visto que el resultado de esta evaluación es más bien negativo en el sentido que el Enfoque Estándar se muestra demasiado permisivo o inespecífico cuando lo aplicamos a situaciones propias de la física. Los casos que hemos analizado, como el problema de la acción a distancia o como los problemas cosmológicos, apoyan la tesis que hemos sostenido en este trabajo. Adicionalmente, a partir de los casos analizados podemos concluir que es necesario incluir en el análisis de la posibilidad física algunos criterios o factores adicionales al aparatage nomológico de una teoría que nos permitan delimitar adecuadamente la modalidad en física. En este sentido, algunas luces sobre cuáles podrían ser estos criterios han sido dadas: criterios metafísicos, físicos o matemáticos podrían ser algunos candidatos. Una respuesta concreta en esta dirección podría ser objeto de un trabajo futuro.

Referencias

- Armstrong, D. 1978. *A Theory of Universals*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Armstrong, D. 1983. *What Is a Law of Nature?* Cambridge: Cambridge University Press.
- Belot, G. 2011. *Geometric Possibility*. Oxford: Oxford University Press.
- Bradley, N. 1979. *Possible Worlds: An Introduction to Logic and its Philosophy*. Indianapolis: Hackett Publishing Company.
- Bueno, O.; Vickers, P. 2014. Is science inconsistent. *Synthese* **191**(13), Springer.
- Carroll, J. W. 2012. Laws of nature. In: E. N. Zalta (ed.) *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*.
- Cartwright, N. 1983. *How the laws of physics lie*. New York: Oxford University Press.
- Chalmers, D.; Jackson, F. 2001. Conceptual Analysis and Reductive Explanation. *Philosophical Review* **110**: 315–61.

- Cohen, J.; Callender, C. 2009. A better best system account of lawhood. *Philosophical Studies* **145**: 1–34.
- Earman, J. 1989. *A Primer on Determinism*. Dordrecht: Kluwer
- Ellis, B. 2001. *Scientific Essentialism*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Fine, K. 1994. Essence and Modality. *Philosophical Perspectives* **8**: 1–16.
- Gödel, K. 1949. An example of a new type of cosmological solution of Einstein's field equations of gravitation. *Review of Modern Physics* **21**: 447–50.
- Hall, R. 1985[1954]. *La Revolución Científica. 1500–1750*. Barcelona: Editorial Crítica.
- Hawkin, S. 2011[1988]. *Historia del Tiempo. Del Big-Bang a los Agujeros Negros*. Madrid: Alianza Editorial.
- Humberstone, L. 2015. *Philosophical Applications of Modal Logic*. London: College Publications.
- Jubien, M. 1996. Actualism and iterated modalities. *Philosophical Studies* **84**: 109–25.
- Kment, B. 2017. Varieties of Modality. In: Ed. Zalta (ed) *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. <https://plato.stanford.edu/archives/spr2017/entries/modality-varieties/>.
- Koyré, A. 1965. *Newtonian Studies*. London: Chapman and Hall.
- Kripke, S. 1959. A completeness theorem in modal logic. *Journal of Symbolic Logic* **24**: 1–15.
- Kripke, S. 1963. Semantical Considerations on Modal Logic. *Acta Philosophica Fennica* **16**: 83–94.
- Kripke, S. 1980. *Naming and Necessity*. Cambridge, Massachusetts: Harvard.
- Lange, M. 2007. Laws and meta-laws of nature: Conservation laws and symmetries. *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* **38**: 457–81.
- Lewis, D. 1973. *Counterfactuals*. Cambridge: Harvard University Press.
- Lewis, D. 1986. *On the Plurality of Worlds*. Oxford: Blackwell.
- Loewer, B. 1996. Humean Supervenience. *Philosophical Topics* **24**: 101–26.
- Maudlin, T. 2007. *The Metaphysics Within Physics*. New York: Oxford University Press.
- Morris, M.; Thorne, K.; Yurtsever, U. 1988. Wormholes, Time Machines, and the Weak Energy Condition. *Physical Review Letters* **61**: 1446–9.
- Mumford, S. 2004. *Laws in Nature*. London: Routledge.
- Newton, I.; Cohen, B.; Whitman, A. 1999. *The Principia: Mathematical Principles of Natural Philosophy*. Berkeley, California: University of California Press.
- Plantinga, A. 1974. *The Nature of Necessity*. Oxford: Oxford University Press.
- Priest, G. 2008. *An Introduction to Non-classical Logic*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Putnam, H. 1975. The Meaning of Meaning. *Minnesota: Minnesota Studies in the Philosophy of Science* **7**: 131–93.
- Ruetsche, L. 2013. *Interpreting Quantum Theories*. Oxford: Oxford University Press.
- Soames, S. 2005. *Reference and Description: The Case against Two-Dimensionalism*. Princeton: Princeton University Press
- Soames, S. 2011. Kripke on Epistemic and Metaphysical Possibility: Two Routes to the Necessary A posteriori. In: A. Berger (ed.) *Saul Kripke*. New York: Cambridge University Press.
- Torii, T.; Shinkai, H. 2013. Wormholes in higher dimensional space-time: Exact solutions and their linear stability analysis. *Physical Review D* **88**: 064027.
- Uffink, J. 2001. Bluff your way in the second law of thermodynamics. *Studies in the History and Philosophy of Modern Physics* **32**: 305–394.

Van Inwagen, P. 1986. Two concepts of possible worlds. *Midwest Studies in Philosophy* XI: 185–213.

Notas

¹Ver el artículo “Two concepts of posible worlds” de Peter Van Inwagen 1986 para mayores detalles sobre esta distinción.

²Sin embargo, sería un error considerar que tal espacio maximal de mundos lógicamente posibles permanece fijo e inalterable. Como es bien sabido, existen varios sistemas lógicos que no sólo extienden la lógica clásica (como la lógica modal), sino que además no incluyen entre sus principios lógicos principios básicos de la lógica clásica (como el Principio de Explosión en algunas lógicas para-consistentes, ver Priest 2008). Lo relevante aquí es que lo *lógicamente posible* está relativizado al sistema de lógica que utilicemos para evaluar si la verdad de una proposición es necesaria, imposible o posible.

³Hacia fines del siglo diecinueve y principios del siglo veinte, en efecto, la noción de mundo posible no era, en absoluto, popular en el ámbito filosófico y científico de la física. En su lugar, la noción de posibilidad física era analizada en términos puramente actualistas, y estaba mucho más ligada a lo que *en realidad* podría ser construido dado el mobiliario y las relaciones presentes en el mundo actual (ver Uffink 2001 para detalles históricos).

⁴Respecto al problema de la incompatibilidad entre teorías, ver la edición especial Bueno, O. y Vickers, P. (2014). “Is science inconsistent”, *Synthese*, 191(13). Agradecemos a un árbitro anónimo quien nos ha hecho ver la existencia de este volumen respecto a esta problemática.

⁵El primer físico en proponer la posibilidad matemática y quizás física de los agujeros de gusano fue Ludwig Flamm en 1916, derivando algunos resultados de la relatividad general. Posteriormente, en 1935, Einstein y Rosen publicaron un artículo asociado a los agujeros negros en que postulaban la posibilidad matemática, derivada de la relatividad general, de los agujeros de gusano. Este resultado hasta el día de hoy se conoce como puente Einstein–Rosen. El termino “agujero de gusano” fue acuñado recién en 1957 por el físico John Wheeler.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Grupo de Filosofía de las Ciencias de la Universidad de Buenos Aires (Facultad de Ciencias Exactas y Naturales / Facultad de Filosofía y Letras) y a dos referís anónimos por sus valiosos comentarios a una primera versión de este trabajo. Este trabajo fue escrito en el marco de dos becas doctorales financiadas por el *Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas* (CONICET) de la República Argentina.