



La fisonomía plural de la adecuación empírica en la física

The plural form of empirical adequacy in physics


A forma plural da adequação empírica na física

Jorge Manero

Instituto de Investigaciones Filosóficas, Universidad Nacional Autónoma de México

Ciudad de México, México

jorge.manero@filosoficas.unam.mx

0000-0003-4588-5132 

→ **Recibido:** 24 / 09 / 2025

→ **Aceptado:** 15 / 10 / 2025

→ **Publicado:** 17 / 12 / 2025

→ **Artículo Dossier**

“Filosofía y Fundamentos de la Física”

© 2025 Jorge Manero CC BY 4.0

→ **Cómo citar:** Manero, J. (2025). La fisonomía plural de la adecuación empírica en la física. *Culturas Científicas*, 6(1), 41-71. doi.org/10.35588/cc.v6d7829

[RESUMEN]

En el ámbito de la filosofía de la física es posible identificar varios problemas fundacionales que, en su formulación, apelan de forma explícita al concepto de *adecuación empírica*. Aunque a primera vista pareciera que estos problemas comparten una misma caracterización canónica de este concepto, un análisis filosófico más profundo demuestra que la anatomía de este último depende de presupuestos respecto a lo que es observable o detectable, por lo que no se puede retratar bajo un mismo enfoque. En efecto, puesto que lo que cuenta como observable o detectable depende de la teoría y de la posición filosófica que se adopte respecto a ella, la propia definición de adecuación empírica no sólo involucra a dicha teoría sino también a la posición en cuestión. Bajo estas circunstancias, el objetivo de esta contribución es elaborar una caracterización plural de adecuación empírica que sea relativa al espectro de diferentes compromisos filosóficos asociados con el debate realismo-antirrealismo. Con base en esta caracterización, demostraré que algunos problemas fundacionales que se abordan en la filosofía de la física solo pueden formularse y tienen sentido bajo la lente de diferentes nociones particulares de adecuación empírica, alineadas al espectro de filosofías que emanan de dicho debate.

[PALABRAS CLAVES]

Filosofía de la física, Adecuación empírica, Realismo científico, Problema de la medición, Problema del macro-objeto, Problema del tiempo

[ABSTRACT]

In the context of philosophy of physics, it is possible to identify some fundamental problems that, in their formulation, explicitly appeal to the concept of empirical adequacy. Although at first glance it might seem that these problems share the same canonical characterization of this concept, a deeper philosophical analysis shows that the anatomy of the latter depends on assumptions about what is observable or detectable, so it cannot be uniquely defined. In fact, given that what is considered observable or detectable depends on the theory and the philosophical position adopted with respect to it, the very definition of empirical adequacy implies not only that theory but also the position in question. Under these circumstances, the aim of this contribution is to develop a plural characterization of empirical adequacy relative to the spectrum of different philosophical commitments associated with the realism-antirealism debate. Based on this characterization, I shall demonstrate that some fundamental problems addressed within philosophy of physics can only be formulated and make sense through the lens of different particular notions of empirical adequacy, aligned with the spectrum of philosophies that emerge from this debate.

[KEY WORDS]

Philosophy of physics, Empirical adequacy, Scientific realism, The measurement problem, The macro-object problem, The problem of time

1. Introducción

En el ámbito de la filosofía de la física es posible identificar varios problemas fundacionales que, en su formulación, apelan de forma explícita a los conceptos de adecuación empírica o coherencia empírica y que han sido ampliamente debatidos bajo la influencia de diferentes narrativas filosóficas.

Entre algunos de estos problemas se encuentra el problema de la medición de la mecánica cuántica estándar, el cual ha sido caracterizado desde lo que Valia Allori y otros filósofos llaman un ‘realismo laxo’ o ‘superficial’ (Chakravartty, 2007; Magnus, 2012; French, 2014). Según esta posición filosófica, la razón por la que esta teoría es conflictiva reside en el hecho de que “no es empíricamente adecuada” ya que “[...] no observamos superposiciones macroscópicas, que en cambio son predichas por la teoría (Allori, 2024, p. 394).” Otro caso ejemplar es el problema del tiempo en el contexto de la gravedad cuántica. Si se analiza esta teoría desde la lente de un marco reduccionista y fisicalista, (Huggett & Wüthrich, 2013; Lam & Wüthrich, 2018) han advertido del conflicto que suscita que una lectura particular de ella, en cuyo caso se prescinde de variables locales situadas en el espacio y el tiempo “[...] no pueda conectarse con las mediciones (que se llevan a cabo realmente en el espacio y el tiempo) y, por lo tanto, vea socavadas sus perspectivas de ser empíricamente adecuada (Linnemann, 2020, p. 395).” En última instancia, también conviene mencionar, bajo una lente realista más robusta y especulativa —como es de esperarse en metafísicos de la ciencia como (Albert, 2015; Ney, 2015, 2017, 2021)—, el problema de la emergencia del mundo macroscópico en el contexto del realismo de la función de onda (conocido como el problema del macro-objeto). Desde este enfoque, no solo se vuelve imprescindible recuperar la imagen manifiesta, sino también demostrar que “[...] dicha interpretación de la mecánica cuántica puede ser “empíricamente coherente”, en el sentido de que si nuestra evidencia de la mecánica cuántica proviene de lecturas de instrumentos en el espacio tridimensional, la teoría no debería socavar dicha evidencia. Debería explicar cómo las apariencias de los objetos tridimensionales surgen del espacio fundamental de alta dimensión (Chen, 2019, p. 6).”

Dicho esto, habría que preguntarse si el concepto de adecuación empírica que se emplea para caracterizar el problema de la medición coincide con el que se usa para caracterizar el del tiempo en la gravedad cuántica, o bien, con el concepto de coherencia empírica que aparece en la caracterización del problema del macro-objeto del realismo de la función de onda. Aunque a primera vista pareciera que efectivamente coinciden, un análisis más profundo demuestra que estos conceptos no solo difieren en cuanto al contexto en el que se emplean (p. ej., mecánica cuántica estándar, gravedad cuántica, interpretaciones cuánticas, etc.), sino también en cuanto a la posición filosófica desde la cual se conciben (p. ej., realismo laxo, reduccionismo fisicalista, realismo robusto, etc.). Así, todo indica que, aunque se requiere de cierta unidad conceptual para caracterizar los ejemplos anteriores bajo un mismo conjunto de términos, como ha sido el caso, el significado que se le atribuye a los conceptos de adecuación o coherencia empírica es un tanto ambiguo, en el sentido de que no se manifiesta de forma unísona frente a estos y otros ejemplos. En estas circunstancias, convendría preguntarse si existe una versión única de adecuación o coherencia empírica que involucre distintos problemas fundacionales —pero que habría que analizar de forma más escrupulosa— o, por el contrario, existe una pluralidad de versiones, cada una de las cuales se emplea para caracterizar problemas particulares en el contexto de la filosofía de la física —como vendría a constatar la diferencia explícita entre ‘coherencia’ y ‘adecuación empírica’ en dos de los ejemplos antes mencionados.

En consonancia con este último supuesto, *el objetivo de esta contribución* consistirá en elaborar una caracterización plural de la noción de adecuación empírica —a la cual conviene referirse simplemente como *adecuación* para no confundir al lector con alguna definición que haya sido ampliamente difundida en la literatura pero que no considere las distinciones que aquí se investigarán. Por algunos motivos que explicaré en la siguiente sección, argumentaré que dicha caracterización plural depende del (y es relativa al) espectro de posiciones filosóficas que se pueden adoptar con respecto a la ciencia. En aras del espacio y la sistematicidad, sin embargo, restringiré el alcance de este trabajo a las filosofías que emanan del debate realismo-antirrealismo científico, a saber, aquellas que comparten un interés por responder a la pregunta de si es posible (o tiene sentido) conocer el mundo externo a través de la lente de la física y, en caso afirmativo, cómo se concibe (o se concebiría) dicho mundo de acuerdo con esta empresa. En términos más concretos, procederé a categorizar la adecuación en términos de las siguientes tres nociones:

1. Adecuación no-fáctica (en adelante, ANF).
2. Adecuación instrumentalista (en adelante, AI).
3. Adecuación fáctica (en adelante, AF).

Con base en esta distinción, demostraré que existe un vínculo directo entre (I)–(III) y ciertos compromisos asociados con el realismo científico y, posteriormente, argumentaré que cada uno de los problemas fundacionales que se mencionaron arriba, entre otros que también se abordan en la filosofía de la física, solo pueden formularse y tienen sentido bajo la lente de alguna(s) de estas nociones de adecuación.

2. Motivación de una caracterización plural

Antes que nada, convendría preguntarse acerca de las posibles motivaciones que nos incitan a elaborar una caracterización plural de adecuación. Para dar una respuesta satisfactoria a esta preguntía, valdría la pena invitar a este debate, no solo a las y los físicos y filósofos de la física involucrados en problemas fundacionales que conciernen a su campo de estudio —lo que podría implicar la presencia de ciertos sesgos que no ayuden a comprender con mayor profundidad el desafío al que uno se enfrenta—, sino a las y los filósofos de la ciencia que han dedicado su tiempo a investigar el concepto de adecuación en el contexto general de la ciencia.

2.1. La adecuación desde la filosofía de la ciencia

Hace unas décadas atrás era habitual que las y los filósofos de la ciencia recitaran, una y otra vez, una definición particular de adecuación que, inspirada en ideales positivistas o instrumentalistas, dictaminaba que cualquier teoría debía contar con un conjunto de predicados y proposiciones capaz de “salvar los fenómenos”. No obstante, no fue sino hasta que algunas y algunos filósofos anti-positivistas —en su mayoría empiristas— aparecieron en la escena académica que la definición dominante de este concepto pudo replantearse a la luz de las nuevas

ideas que se estaban gestando en el campo filosófico. Por ejemplo, Van Fraassen incorporó el concepto de 'adecuación empírica' en el seno del debate realismo-antirrealismo, planteando con ello que la aspiración epistémica más legítima de la ciencia era diseñar teorías empíricamente adecuadas, *siempre y cuando fueran interpretadas literalmente* —contrariamente a cualquier posición positivista o instrumentalista (van Fraassen, 1980, Ch. 1). Asimismo, dedicó parte de los capítulos posteriores de su contribución seminal a caracterizar más a fondo dicho concepto que, en el contexto de la concepción semántica de teorías, tendría la característica de representar la inmersión de modelos asociados a un conjunto de fenómenos dentro de modelos asociados a las teorías científicas (van Fraassen, 1980, Ch. 3).

Desde entonces, hay quienes, inspirándose en esta propuesta (pero sin salirse del enfoque semántico), han propuesto definiciones alternativas, ya sea criticando la noción de Van Fraassen (Cartwright, 1983; Worrall, 1984; Downes, 1992; Suárez, 1995), o reforzándola mediante otras caracterizaciones (Da Costa & French, 1990, 2003; French & Ladyman, 1997, 1999; Bueno, 1997; Bueno et al., 2002, 2012; Dukich, 2013; Lutz, 2014, 2021). Como se puede constatar en la literatura, el denominador común de todas estas definiciones es que la anatomía de este concepto está íntimamente ligada a una determinada concepción y caracterización de teoría científica. De hecho, dichas definiciones se basan en reconstrucciones racionales o lógicas de las teorías que pretenden bosquejar y representar ciertos aspectos de la práctica científica mediante el uso de herramientas metalingüísticas, entre las cuales se encuentran la teoría de conjuntos, los espacios de fases, las estructuras parciales, etc.

2.2. La adecuación y la detectabilidad

Considerando lo anterior, aunque la caracterización canónica y dominante de adecuación pueda ser reformulada con ideales más aceptables, las definiciones anteriores dejan algunas cuestiones sin resolver. En particular, no suelen reconocer que cualquier caracterización de este concepto, incluyendo las reconstrucciones metafisológicas que se hacen de las teorías científicas, se basan en ciertos presupuestos respecto a lo que es directamente observable o detectable. Aparte de la tradición kantiana y sus muchas variantes posteriores, este reconocimiento puede encontrarse incluso en los antecedentes de la mecánica cuántica: cuando Heisenberg insistió en construir esta teoría limitándose únicamente a lo observable, Einstein respondió a su colega con su famosa afirmación de que "es la teoría la única que decide lo que es observable (Heisenberg, 1971)." Desde una interpretación popular, Einstein estaría afirmando, en otras palabras, que toda detección presupone la mediación de un modelo teórico, una idea que defendían prominentes intelectuales de la época, la mayoría de espíritu pragmatista o neokantiano.

En el contexto de la literatura contemporánea, este reconocimiento ha sido retomado y refinado, por ejemplo, por (Barrett, 2019), donde afirma que una noción bien definida de adecuación (lo que él denomina adecuación empírica *fuerte*) se presenta por medio de un espectro de distintos tipos y grados de adecuación, dependiendo de cómo una teoría científica describe y caracteriza los registros experimentales y de cómo la experiencia superviene de estos registros, *dados algunos presupuestos de fondo respecto a lo que se considera observable o detectable*. Estos presupuestos comprenden respuestas minuciosas a preguntas tales como las siguientes: ¿Qué hechos son relevantes para la experiencia? ¿Qué es lo que la propia teoría nos permite saber (e ignorar)? ¿Cómo se modela un observador según la teoría? ¿Cómo dicho observador tiene acceso epistémico a los resultados de una medición? ¿Cómo experimentamos el mundo,

según las ciencias cognitivas, la biología o cualquier ciencia sobre sistemas perceptivos humanos? Y, más importante, ¿Son dichas ciencias compatibles con las mejores teorías científicas en lo que respecta al proceso de observar o detectar?

Lo que se puede aprender de la pluralidad de respuestas a estas cuestiones es que lo que cuenta como observable o detectable no sólo depende de la teoría científica (y perceptiva) que se considere, sino también de la posición filosófica que uno adopte con respecto a la ciencia. Es verdad que la afirmación anterior debería de justificarse cabalmente; sin embargo, el objetivo principal de este trabajo es un poco ajeno a esta cuestión y no nos obliga a entrar al fondo del mismo, por lo que nos limitaremos a traer a la mesa el siguiente ejemplo ilustrativo.

De acuerdo con (Manero et al., 2025), no es lo mismo ser un realista científico que cree, basándose en la premisa de que su teoría es verdadera, que sólo las velocidades relativas son detectables —en virtud de la suposición de que los observadores humanos sólo pueden percibir y comunicar esas cantidades— que ser un antirrealista que supone, basándose en la premisa de que su teoría es falsa en el mundo real y verdadera en un mundo hipotético de corte newtoniano, que las velocidades absolutas también son detectables. En efecto, un observador modelado por la teoría newtoniana, donde se postula la existencia de un espacio absoluto con respecto al cual ocurre cualquier movimiento, está invariablemente dotado de cantidades absolutas y, por ende, no hay nada en la dinámica de esta teoría que le prohíba percibir y comunicar tales cantidades. A este respecto, parece imprescindible no confundir el hecho empírico de que en nuestro mundo parece que no somos capaces de detectar velocidades absolutas con la cuestión puramente teórica respecto a si las velocidades absolutas serían detectables en un mundo hipotético de corte newtoniano (el cual, evidentemente, no corresponde a nuestro mundo). Por lo tanto, para dictaminar si algo es observable o detectable dentro de los límites epistémicos de una teoría en particular, hay que tener mucho cuidado de no apelar a datos empíricos, ya que estos provienen del mundo real, a saber, nuestro universo, y no del mundo hipotético en cuestión.

Considerando el ejemplo anterior, se concluye que, puesto que lo que cuenta como observable o detectable depende de la teoría y de la posición filosófica que se adopte respecto a ella, la adecuación de dicha teoría no sólo dependerá de ella sino también de tal posición, lo que conduce a una fisonomía plural de adecuación.

2.3. Metodología a seguir

De forma más específica, la metodología que seguiré para lograr el objetivo planteado en la introducción será la siguiente: En la Sección 3 apelaré a la definición canónica de *realismo científico* elucidada por (Feigl, 1950; Horwich, 1982; Psillos, 1999), la cual consiste en la conjunción de dos componentes —aparte de la tesis de existencia e independencia cognitiva del mundo—, a saber, el componente *semántico* [S] (aclarar cómo sería el mundo según las teorías, independientemente si son correctas) y el *epistémico* [E] (afirmar que lo que las teorías dicen sobre el mundo es aproximadamente correcto). Nótese que cada componente de esta definición podría interpretar lo que he llamado el “mundo” únicamente en términos de los fenómenos que predice y explica la teoría, o bien, incorporando su ontología, si es que está bien definida.

Con base en esta definición canónica, en la Sección 4, estableceré una distinción en el seno de [S] que nos ayudará a plantear una asociación más refinada entre este componente semántico

y la ANF, siempre y cuando se interprete a [S] como la condición de la teoría de especificar una ontología clara. Esta distinción consistirá en asociar [S] con dos formas de entender la noción de fenómeno, una desde el empirismo constructivo, empleando el concepto estándar de *fenómeno empírico*, y la otra desde una postura puramente semántica, empleando el concepto de *fenómeno nomológico* (que, hasta donde llega mi conocimiento, no ha sido considerado en la literatura en cuanto a su relación con el realismo científico). Así, el despliegue de [S] en dos formas de entender el concepto de fenómeno inducirá, a su vez, dos versiones de adecuación compatibles con dicho componente, una de carácter más débil de corte puramente semántica (en adelante, ANFd) y la otra de carácter fuerte y de corte no sólo semántica sino también epistémica (en adelante, ANFf).

Posteriormente, en la Sección 5 me enfocaré en el carácter epistémico de [E] y plantearé la asociación de este componente con la ANFf, AI y AF. Específicamente, procederé a vincular la ANFf no sólo con [S], en cuyo caso se demanda claridad con respecto a la ontología, como bien lo pide la ANFd, sino también con [E] al incorporar la condición adicional de verdad con respecto a los fenómenos empíricos, tal como el empirismo constructivo lo requiere. Asimismo, se argumentará que la AI está asociada con una postura instrumentalista que consiste en afirmar [S] y [E], sin considerar la ontología de la teoría; y, finalmente, se vinculará la AF con una postura realista que también se deriva de afirmar ambos componentes, pero incorporando claridad y veracidad con respecto a dicha ontología.

Para ilustrar de forma concreta las distinciones anteriores y volviendo al debate que se suscitó en el contexto de la filosofía de la física, en la Sección 6 presentaré brevemente una lista de problemas fundacionales, algunos de los cuales se mencionaron en la introducción (p. ej., el problema de la medición, el del tiempo en gravedad cuántica, el del macro-objeto y, además, el de la emergencia del tiempo manifiesto), y demostraré que dichos problemas solo pueden formularse según una noción particular de adecuación, una vez que se haya distinguido entre la ANFd, ANFf, AI y AF. Esto significa, como se verá, que estos problemas adquieren sentido cuando se tiene una idea clara de lo que es la adecuación según una posición filosófica particular asociada al debate realismo-antirealismo. Habría que advertir, sin embargo, que no se intenta resolver cada uno de estos problemas, sino caracterizarlos de acuerdo con la taxonomía plural de adecuación que se pretende esbozar en esta contribución. Finalmente, la Sección 7 consistirá en asentar algunas conclusiones pertinentes.

3. ¿Qué es el realismo científico?

Para empezar, introduciré brevemente el realismo científico (y sus diferentes componentes). Según la bibliografía especializada en la materia (van Fraassen, 1980; Psillos, 1999; Chakravartty, 2017), esta tesis filosófica puede definirse, a grandes rasgos, como la conjunción de tres componentes:¹

Además del conocido *componente metafísico* del realismo científico —asociado con la existencia y el estatus independiente de la mente del mundo externo—, el *componente semántico* [S] es, en pocas palabras, la condición que establece cómo deben interpretarse las teorías científicas y qué se supone que dicen con respecto al mundo sin asumir que son correctas,

¹Estos autores definen el realismo científico de esta manera, independientemente de si son partidarios o no de esta postura filosófica.

mientras que el *componente epistémico* [E] afirma, además de esta condición semántica, que lo que estas teorías dicen sobre el mundo es aproximadamente correcto. Bajo esta definición estándar, se entiende por “mundo” el universo que está constituido tanto por ‘observables’ (fenómenos que predice y explica la teoría) como también por ‘inobservables’ (su ontología). En seguida, analizaré con más detalle cada uno de estos componentes.

Dejando de lado el componente metafísico (que se da por sentado como condición necesaria), [S] fue introducido inicialmente por (Feigl, 1950; Horwich, 1982; van Fraassen, 1980) y posteriormente definido por (Psillos, 1999, p. 10) como un compromiso interpretativo para leer las teorías científicas de forma literal. Teniendo en cuenta la lectura de (van Fraassen, 1980) de una interpretación literal, dicho compromiso semántico se asocia con la idea de que las proposiciones teóricas pueden expresarse de tal forma que puedan tener (al menos potencialmente) valores de verdad y que deben especificarse ciertas condiciones para obtener dichos valores de acuerdo con una regimentación adecuada de la teoría. Definida así, una interpretación literal no debe confundirse con la condición más fuerte, asociada al [E], de determinar los valores de verdad de estas proposiciones, es decir, afirmar si se cumplen o no las supuestas condiciones de verdad (Psillos, 1999, p. 10). Un ejemplo ilustrativo, muy conocido en la literatura filosófica, es la proposición metafísica de que “Dios existe”. Como es de esperar, las y los ateos y devotos cristianos discrepan sobre el valor de verdad que se asigna a esta proposición, mientras que están de acuerdo en la interpretación literal de la misma, lo que significa que cuando la pronuncian le asignan la misma extensión (y, por lo tanto, el mismo significado a los términos “Dios” y “Existencia”).

Por otro lado, [S] estipula que los términos teóricos, como es el caso de las ‘funciones de onda’ de electrones, tienen la única función de referirse a entidades putativas de un mundo posible en el que la teoría es válida. Esto significa que este componente debería informarnos de cómo sería el mundo desde el punto de vista inmanente de esta teoría, como si todo lo que dice fuera supuestamente correcto, como si las funciones de onda de electrones fueran entidades existentes que se comportan de la manera que dice la teoría, aunque tal vez no sea así en realidad. Por el contrario, [E] afirma, además de esta mera correspondencia semántica, que los términos teóricos se refieren aproximadamente a las entidades que constituyen el mundo real.

En las siguientes secciones, ampliaré la definición estándar del realismo científico identificando criterios de adecuación con cada uno de sus componentes. Es a partir de aquí que se desarrollará la propuesta novedosa de la presente contribución.

4. Profundizando en el componente semántico

Según mi propia interpretación de la caracterización anterior del realismo científico, identificaré a [S] con la siguiente definición de adecuación:

(Id) *Adecuación no-fáctica débil* (ANFd): La capacidad de nuestras mejores teorías científicas de *explicar no-fácticamente* los *fenómenos nomológicos* mediante una *ontología clara*.

En aras de la precisión, intentaré aclarar en este orden los conceptos de *ontología clara*, *fenómeno nomológico* y *explicación no-fáctica* que se incluyen en esta definición y, posteriormente, explicaré detalladamente la relación entre ANFd con [S].

4.1. Claridad ontológica

A grandes rasgos, por claridad ontológica me refiero a la virtud semántica de una teoría de ser precisa con respecto a lo que dice sobre el mundo posible en el que dicha teoría es válida. Esto significa que, según esta condición, los referentes de los términos teóricos (p. ej., electrones, quarks, campos, etc.), junto con los predicados de primer orden o múltiples órdenes que satisfacen las extensiones de esos términos (p. ej., propiedades físicas, las leyes de la teoría, etc.), deben ser asignados por la teoría a través de una ontología bien definida que no presente trazas considerables de ambigüedad semántica.² De este modo, la claridad ontológica es una virtud que poseen algunas teorías científicas y que debe ser revelada por un análisis filosófico, en el sentido de que hay teorías que satisfacen (o no satisfacen) dicha virtud independientemente de la voluntad de quien las estudia. En seguida, se despliegan cuatro observaciones importantes sobre esta virtud.

En primer lugar, la definición de una virtud teórica, como la claridad ontológica, no es inmune a otras cuestiones relacionadas con su naturaleza normativa y regulativa: ¿cuánta claridad se necesita? ¿Cómo se interpreta la claridad ontológica entre las diferentes teorías? Como ocurre con cualquier tipo de virtud teórica, la claridad ontológica es inmanente y contextual en el sentido de que depende en gran medida del tipo de ontología que postula una determinada teoría científica, aparte del hecho de que no existe una forma única de especificar en una situación concreta las condiciones precisas para que se satisfaga esta virtud. Por ejemplo, algunas y algunos filósofos comprometidos con otras virtudes teóricas, como la simplicidad, esperan que una teoría satisfaga la claridad ontológica si la ontología asociada está constituida únicamente por un conjunto mínimo de postulados teóricos indispensables para explicar y predecir los fenómenos que son relevantes para dicha teoría, mientras que otras y otros piensan que para dicho propósito se debería hacer algo más, a saber, profundizar en la caracterización de la naturaleza metafísica de dichos postulados a costa de plantear una ontología más robusta y menos austera. Sin embargo, si se pretende definir la claridad ontológica desde la perspectiva de la física, se puede concebir como una caracterización mínima del perfil ontológico de los estados físicos de la teoría, o lo que frecuentemente se denomina el *estado óntico* de la teoría. Más concretamente, se debe aclarar si los objetos matemáticos que definen los estados físicos denotan algo en el mundo posible donde la teoría es válida y, en caso afirmativo, qué tipo de entidades se supone que denotan.

En segundo lugar, teniendo en cuenta la definición anterior de claridad ontológica, destacaré la asociación de este criterio con [S]. Como corrobora una lectura adecuada de (van Fraassen, 1980), la claridad ontológica es, en parte, una condición necesaria para [S], ya que es una condición que hace posibles las interpretaciones literales.³ En palabras de van Fraassen: “una interpretación literal de una teoría puede elaborarse identificando lo que designan los términos teóricos”, siempre que “en una interpretación literal, las afirmaciones aparentes de la

²Con base en un análisis histórico-filosófico, (Maudlin, 2018) propone una definición de teoría física que comprende tanto la claridad ontológica, como la precisión con respecto a la dinámica. Aunque dicha contribución es relevante para indagar sobre la claridad ontológica, considero que no se centra, a grandes rasgos, en la noción de adecuación.

³Habría que advertir aquí que la interpretación literal de una teoría, en el contexto del [S], no solo implica que sus proposiciones tengan valores de verdad, sino también que se especifiquen los referentes de los términos teóricos que estas contienen, trátase de objetos ‘observables’ o ‘inobservables’. Estos últimos pueden ser parte de un mundo posible donde la teoría es válida, pero no necesariamente corresponden a objetos del mundo real.

ciencia sean realmente afirmaciones, capaces de ser verdaderas o falsas (van Fraassen, 1980, p. 10).” Además, la claridad ontológica es una virtud que diferencia [S] de [E], ya que una interpretación literal no está relacionada con “nuestras actitudes epistémicas hacia las teorías, ni con el objetivo que perseguimos al construir teorías, sino solo con la comprensión correcta de lo que dice una teoría (van Fraassen, 1980, p. 11).”

En tercer lugar, la noción de claridad ontológica podría demandar, en la mayoría de los casos, una ontología estructurada y jerarquizada con diferentes niveles de dependencia ontológica. Es decir, podría haber un nivel ontológico base donde yace la ontología fundamental de la teoría, con respecto a la cual dependa, ontológicamente hablando, la ontología menos fundamental, a saber, la ‘ontología reducida’. La naturaleza de la dependencia ontológica, sin embargo, dependerá de las especificaciones del contexto físico que se considere, trátase de correlaciones modales (superveniencia), reducciones funcionales, emergentes, etc.

Por último, nótese que en las observaciones anteriores se ha dicho explícitamente que una teoría científica implicada en la definición de claridad ontológica no solo incluye los referentes de los términos teóricos, sino también ciertos predicados de primer orden o de múltiples órdenes que satisfacen las extensiones de esos términos, como sus propiedades y, especialmente, las leyes correspondientes de la teoría. Aunque respaldada por muchos (pero no todas y todos) los filósofos, la afirmación anterior presupone la premisa metafísica de que las leyes de la naturaleza son entidades existentes que pertenecen al mundo científico descrito por la teoría en cuestión. Como tales, pueden interpretarse en el sentido primitivo, “teológico” o fundamental de que gobiernan, determinan o incluso producen los acontecimientos del mundo, imponiendo el comportamiento de los referentes de los términos teóricos mediante relaciones necesarias o universales primitivos (Dretske, 1977; Armstrong, 1983; Tooley, 1977; Maudlin, 2007); pero también pueden interpretarse en el sentido disposicional, en el que prescriben la disposición de los supuestos referentes a comportarse de cierta manera (concebidos como poderes gobernantes) (Shoemaker, 1980; Mumford, 2004; Bird, 2005). Sin embargo, se debe tomar esta afirmación con cautela, ya que depende de una visión ontológica no exclusiva con respecto a las leyes de la naturaleza. En contraste con esta visión, se puede interpretar las leyes de una manera eliminativista, como si no hubiera razón para creer que existen (Cartwright, 1983; van Fraassen, 1989; Giere, 1999); o bien, en un sentido descriptivo “humeano”, de modo que sean generalizaciones verdaderas que resuman adecuadamente los patrones que muestran un mosaico de acontecimientos o hechos (Lewis, 1973; Loewer, 1996; Cohen & Callender, 2009; Bhogal, 2020). Desde este punto de vista, las leyes de la naturaleza son elementos constructivos no fundamentales que surgen de la ontología fundamental de la teoría y, según una particular interpretación humeana, de ciertos estándares normativos y regulativos, como la simplicidad y la robustez informativa, asociados con la forma en que se desarrolla la teoría.

4.2. La noción nomológica de fenómeno

Según la ANFd, los fenómenos no son hechos “brutos” y empíricos constitutivos del mundo real que esperan ser explicados por un ser humano o cualquier agente cognoscente capaz de acceder a esa parte del mundo a través de su mejor teoría científica. Por el contrario, son explicaciones y predicciones teóricas de índole hipotético, las cuales están confinadas dentro de una teoría científica determinada y son incapaces de trascender los confines del mundo posible en el que dicha teoría es válida (donde dicho mundo posible no es necesariamente el mundo real). Por lo tanto, cuando la ANFd habla de fenómenos en el contexto de la teoría gravitacional

newtoniana, no se refiere a las regularidades del cielo observadas a simple vista, sino a algo así como agregados de partículas en movimiento elíptico, explicados y predichos por la ley gravitacional universal de Newton, cuya visión del mundo no es más que el espacio absoluto, las fuerzas externas, las partículas puntuales, sin ninguna mente humana externa capaz de confirmar la teoría por medio de un ingenioso telescopio. Como tal, los fenómenos se disocian del contexto epistemológico de la justificación, ya que limitan el alcance de la ‘contraparte fenoménica’ de una teoría, independientemente de si dichos fenómenos se confirman o no con hechos “brutos” y empíricos constitutivos del mundo real. Más concretamente, sirven como reservorio de posibles explicaciones y predicciones teóricas que podrían confirmarse en caso de que hubiera algo o alguien capaz de percibir el mundo real de una forma u otra. Esto significa que, en el contexto de la ANFd, el dominio fenomenológico depende de lo que la teoría permite explicar y predecir *en principio*, independientemente de cómo los seres humanos o cualquier otro agente cognoscente confirmen esa teoría en función de sus capacidades perceptivas. A continuación, se analizará esto con más detalle.

En la literatura filosófica hay quienes cultivan un espíritu más empirista y consideran que los fenómenos de una teoría científica están constituidos por lo que llamaré *fenómenos empíricos*. Aunque estos fenómenos se interpretan normalmente como hechos “brutos” que, en última instancia, surgen de un mundo independiente de la mente —en la medida en que se asume el componente metafísico del realismo científico—, se aparecen ante nosotros como sensaciones concretas, cuya estructura es el resultado de un proceso complejo mediado por nuestro sistema de percepción, a veces denominado *percepción sensorial desnuda*, la cual es de naturaleza inmediata y no mediada. Por ejemplo, el conjunto primario de fenómenos empíricos que las y los científicos suelen leer en sus complicados dispositivos de medición antes de que se produzca cualquier tipo de proceso de sistematización es una regularidad que ocurre en el mundo manifiesto. Aunque este conjunto de fenómenos representa información sobre los grados de libertad del sistema analizado, esta información se revela en última instancia en forma de alguna sensación, como es el caso de la directa observación de una “aguja” que apunta en una determinada dirección. Así, cuando los fenómenos se interpretan como “empíricos”, parece que se muestran en una forma accesible a través de los sentidos.

Ahora bien, para poder decir algo sobre los fenómenos empíricos, estos deben representarse de alguna manera. La forma en que se representan estos fenómenos depende, por supuesto, de un marco representacional capaz de organizar y conceptualizar las sensaciones disponibles. La naturaleza de este marco representacional depende, a su vez, del tipo de conocimiento que se deriva de dichos fenómenos.

Cuando las personas de a pie representan fenómenos empíricos —siempre que las personas de a pie sean agentes humanos con una percepción sensorial desnuda que funcione correctamente—, el marco respectivo se asocia con lo que se denomina *conocimiento perceptivo*.⁴ Este marco organiza las sensaciones disponibles en términos de ciertos conceptos útiles y habituales que se limitan al ámbito del lenguaje cotidiano. Aunque estos conceptos están asociados a un marco imperfecto e idealizado, incapaz de capturar la naturaleza de la percepción sensorial desnuda en toda su complejidad, se utilizan con éxito en el pensamiento cotidiano y en los asuntos prácticos ordinarios. Por ejemplo, el movimiento de una esfera de hierro gris de 1 m³ de volumen en caída libre es percibido por el ojo humano como una sucesión temporal

⁴Para una descripción reciente y exhaustiva del conocimiento perceptivo y su relación con el conocimiento científico, véase (Teller, 2021).

de posiciones extendidas que posee un objeto rígido en el espacio físico, y esta percepción sensorial se representa aproximadamente mediante conceptos familiares, como “objeto rígido de forma esférica”, “volumen”, “color gris”, “hierro” y “sucesión temporal”. Aunque estos conceptos no representan la situación perceptual en términos exactos (ya que ningún objeto real de este tipo es perfectamente esférico, gris y de hierro puro), son suficientes para indicarnos, a efectos prácticos, que nos encontramos ante un fenómeno empírico reconocible.

Sin embargo, la forma en que las teorías científicas representan los fenómenos empíricos depende de un marco representacional completamente diferente al del lenguaje cotidiano. Volviendo al ejemplo anterior, la esfera de hierro en caída libre es representada por la teoría newtoniana (teniendo en cuenta las idealizaciones y aproximaciones adecuadas) como una gran configuración de partículas puntuales que forman un objeto esférico compuesto de aproximadamente 1 m^3 , describiendo múltiples curvas integrales de un campo vectorial en un espacio matemático euclidiano. Como se desprende de la objeción de Susan Stebbing a la famosa y aparente paradoja de las dos mesas de Eddington, el lenguaje cotidiano y el lenguaje científico no deben mezclarse; por el contrario, el marco asociado a una teoría científica implica una conceptualización de los fenómenos empíricos que no puede corromperse por los conceptos utilizados en el lenguaje cotidiano.

Así, una vez que un fenómeno empírico determinado es representado por una teoría científica independientemente del lenguaje cotidiano, se obtiene un conjunto de ‘datos empíricos’. Esta representación resultante, confinada a los límites epistémicos de la teoría, consiste en elementos teóricos ubicados en alguna región de su espacio conceptual. Su ubicación exacta depende de cómo se represente, al nivel metafilosófico, la compleja estructura de las teorías científicas. Desde el punto de vista de la versión ortodoxa del marco sintáctico, los datos empíricos se representan como proposiciones sintéticas disociadas de la estructura formal de la teoría (es decir, proposiciones analíticas), mientras que desde el punto de vista del enfoque semántico en su versión ortodoxa, forman una familia de modelos de datos (es decir, subestructuras contenidas en otras estructuras de la teoría y relacionadas con ellas) que hacen verdaderas las proposiciones ‘observables’ de la teoría. Independientemente de la elección que se haga entre estos enfoques metafilosóficos, todos comparten la premisa de que, dentro de los límites de una teoría dada, existe un conjunto de datos empíricos, diferenciados del resto de sus elementos, que tiene el potencial de representar el ámbito de los fenómenos empíricos, en caso de que dicha teoría se confirme mediante la detección sensorial o la experimentación.

Pero si se trasciende el contexto de la justificación más allá de la mera tarea de diseñar experimentos para confirmar las explicaciones y predicciones disponibles, y las teorías científicas se interpretan, a su vez, como construcciones conceptuales autónomas que cobran vida propia —p. ej., a través de hipótesis tentativas sobre un mundo posible cuyos valores de verdad se consideran por un momento irrelevantes—, la pregunta es si algún conjunto de datos empíricos puede seguir distinguiéndose del resto de los elementos contenidos en la teoría. La respuesta, según la ANFd, es que, de hecho, existe un conjunto diferenciado, al que llamaré *fenómenos nomológicos* (en contraposición a los fenómenos empíricos).

Por ejemplo, la mecánica newtoniana puede formularse claramente como una teoría de partículas puntuales que interactúan entre sí y de fuerzas externas que se ejercen sobre ellas. Pero si estas partículas diminutas e idealizadas interactúan entre sí creando configuraciones mereológicas complejas que se sitúan en una escala de aproximadamente 10^{-1} m , y estas configuraciones interactúan con otras configuraciones de la misma escala, se pueden obtener fenómenos nomológicos que tienen el potencial de ser cualitativamente idénticos (al menos

aproximadamente) a objetos macroscópicos, como mesas y sillas, cuyas propiedades macroscópicas pueden observarse a través de los sentidos. Sin embargo, hay que tener en cuenta que esta correspondencia entre un conjunto de partículas microscópicas y las mesas o sillas macroscópicas, directamente observables a simple vista, es una medida o referencia antropocéntrica externa a la teoría que se introduce a mano para confirmar (aunque sea a través de la mediación de nuestro sistema de percepción visual) las predicciones de la teoría de Newton. Por lo tanto, parece que, si no es de interés confirmar la teoría de Newton, los fenómenos nomológicos asociados a esta teoría deberían interpretarse simplemente como elementos teóricos, tales como configuraciones de partículas, cuyas propiedades agregadas obedecen a ciertos principios o leyes efectivas asociadas a cuerpos rígidos (es decir, las leyes del movimiento de Euler) diferentes, aunque compatibles, de las que rigen las partículas individuales.

El problema con la respuesta de la ANFd es lo que hace posible la distinción entre fenómenos empíricos y su contraparte nomológica en caso de que no haya fenómenos empíricos disponibles constitutivos del mundo real que puedan ser representados por la teoría. Volviendo al ejemplo anterior, el problema consiste en identificar, sin nada externo a la teoría de Newton, las cualidades distintivas asociadas a los fenómenos nomológicos (es decir, las configuraciones de las partículas y sus propiedades agregadas regidas por las leyes del movimiento de Euler) que no comparten el resto de los elementos contenidos en la teoría (p. ej., las partículas individuales, las fuerzas, las leyes de Newton, etc.).

Una respuesta bien conocida asociada con el empirismo constructivo es postular por decreto una distinción epistemológica fundamental entre los elementos 'observables' e 'inobservables' de la teoría. La idea es dictaminar que hay dos tipos de afirmaciones y términos postulados por las teorías científicas: afirmaciones 'observables' junto con términos 'observables' (p. ej., mesas y sillas), por un lado, y afirmaciones 'inobservables' junto con términos 'inobservables' (p. ej., electrones y quarks), por otro. El problema con esta respuesta es que (van Fraassen, 1980) está distinguiendo implícitamente lo 'observable' de lo 'inobservable' mediante un criterio antropocéntrico que da sentido y delimita el campo de percepción de ciertos fenómenos. De hecho, según él, lo 'observable' es lo que en principio se percibe por nosotros (a lo largo de nuestro pasado, presente y futuro), en el sentido de que las afirmaciones y los términos 'observables' son fenómenos empíricos que nos aparecen como datos sensoriales concretos. De esta manera, (van Fraassen, 1980) termina abrazando algo externo a la teoría (es decir, la forma en que los humanos perciben el mundo), una situación que se ha negado desde el principio en el contexto de la ANFd.

Otra respuesta es negar que exista una distinción epistemológica fundamental entre los elementos 'observables' e 'inobservables' de la teoría; por el contrario, existe una distinción, pero de naturaleza *modal* (similar a la distinción de (Chakravartty, 2007) entre propiedades de detección y propiedades auxiliares), en el sentido de que las afirmaciones/términos 'observables' (en contraposición a los 'inobservables') son elementos teóricos con al menos dos propensiones potenciales que pueden realizarse en función de ciertas condiciones impuestas por el mundo real (y, por lo tanto, externas a la teoría): o bien ser cualitativamente idénticos a algunos fenómenos empíricos —en caso de que las afirmaciones 'observables' de la teoría sean verdaderas y los términos 'observables' sean términos referentes— o ser cualitativamente diferentes a ellos —en caso de que esas afirmaciones sean falsas y los términos 'observables' no refieran. Aunque las supuestas propensiones sirven como cualidades distintivas mediante las cuales se diferencia claramente entre afirmaciones/términos 'observables' e 'inobservables', mientras uno se mantenga dentro del contexto de la ANFd (donde se prescinde de todo lo

externo a la teoría), estas propensiones permanecerán *in potentia* sin realizarse realmente de la manera que acabamos de describir.

Sin embargo, hay una objeción que se puede plantear contra esta respuesta. La idea es que nada dentro de la teoría nos permite introducir las supuestas propensiones metafísicas asociadas con la forma en que se distinguen y caracterizan las afirmaciones/términos 'observables'. Dado que esas propensiones se introducen al contrastar el conjunto de elementos teóricos dentro de la teoría con los fenómenos empíricos constitutivos del mundo real, se están introduciendo compromisos metafísicos inmutables (y aumentando a su vez la carga metafísica de la teoría) basados en dichos fenómenos, los cuales podrían cambiar a medida que mejoran las capacidades experimentales y de detección. En otras palabras, lo que distinguiría las afirmaciones/términos 'observables' de la teoría del resto de sus elementos sería fijo, y esto significa que la teoría sería incapaz de llevar algunos elementos teóricos 'inobservables' al espacio de los 'observables', contrariamente a la evidencia que se tiene de la historia de la ciencia.

Teniendo en cuenta los comentarios críticos anteriores, se puede sugerir una respuesta más satisfactoria si se centra la atención en el proceso real a través del cual se descubren las teorías científicas. Esta respuesta se basa en la observación de que cualquier construcción teórica, como una teoría científica, se origina en última instancia en los fenómenos empíricos, incluso si posteriormente se considera como un conjunto inmanente de hipótesis tentativas incapaces de trascender el alcance del mundo posible en el que dicha construcción teórica es válida. Como bien afirma A. N. Whitehead, "El verdadero método de descubrimiento es como el vuelo de un avión. Parte de la base de la observación particular; realiza un vuelo en el aire enrarecido de la generalización imaginativa; y vuelve a aterrizar para una observación renovada, agudizada por la interpretación racional (Whitehead, 1929, p. 5)."

De este modo, en una etapa temprana del desarrollo de las teorías científicas, se dispone de algunos fenómenos empíricos a partir de los cuales surgen ciertas hipótesis tentativas. Por ejemplo, mediante un proceso de razonamiento abductivo, uno puede percibir ciertos elementos del mundo sensible e intentar explicarlos en términos de alguna conjetura o hipótesis. Una vez establecidas las hipótesis resultantes, uno puede prescindir de los fenómenos empíricos que sirvieron para producirlas y conservar únicamente las contrapartes teóricas de dichos fenómenos, que he denominado fenómenos nomológicos. Sin embargo, la forma en que se ha construido la teoría, según este razonamiento, implica una estructura interna compleja (es decir, una estructura jerárquica o basada en modelos, dependiendo del marco metafilosófico que se adopte) en la que los fenómenos nomológicos de la teoría se distinguen de las hipótesis correspondientes y del resto de elementos teóricos. Los fenómenos empíricos disponibles en el mundo real son como el molde que se utiliza para producir determinadas formas al hornear galletas: una vez que se han formado las formas, se puede prescindir del molde y las galletas conservan su forma. En este caso, la forma conservada es precisamente la estructura que codifica la distinción entre los fenómenos nomológicos y el resto de los elementos de la teoría. Por lo tanto, parece que los fenómenos nomológicos pueden identificarse y distinguirse de otros elementos de las teorías científicas basándose en la forma en que se descubren estas teorías.

Volvamos al ejemplo newtoniano anterior para explicar la propuesta sugerida. La teoría de Newton se descubrió, en parte, a través de observaciones regulares de una multiplicidad de fenómenos empíricos, como los famosos experimentos de Galileo o los datos experimentales obtenidos por Tycho Brahe. Una vez establecidas las leyes de Newton, junto con otros elementos teóricos (p. ej., el espacio absoluto, las fuerzas newtonianas, las partículas newtonianas, etc.), la teoría se consolidó tal y como se conoce aproximadamente hoy en día. Más concreta-

mente, resultó ser un conjunto autónomo de hipótesis tentativas que podían disociarse de los fenómenos empíricos mencionados anteriormente y generar una multiplicidad de posibilidades nomológicas independientes de estos fenómenos, como los modelos idealizados de movimiento inercial sin fricción. Cabe señalar que, desde el punto de vista inmanente de la teoría en su versión consolidada, los elementos teóricos que inicialmente representaban los fenómenos empíricos disponibles observados a través de nuestros sentidos —como el movimiento real de una bola de hierro de 1 m^3 que se desplaza por un plano inclinado de madera—, no eran (en sentido estricto) más que configuraciones de partículas cuyas propiedades agregadas obedecen a las leyes de movimiento de Euler. Sin embargo, el “molde” que dejó la explicación newtoniana del movimiento real de la bola de hierro en términos de la ontología de la teoría (y, por lo tanto, la distinción entre partículas microscópicas y cuerpos rígidos macroscópicos) no se evaporó, sino que se conservó hasta tal punto que la física de los cuerpos rígidos surgió como una teoría efectiva de grandes configuraciones de partículas, cada una de las cuales obedece a las leyes de Newton.

Esta respuesta alternativa abre la posibilidad de establecer una distinción que no es epistemológicamente fundamental, como afirma van Fraassen, pero que no tiene por qué aumentar la carga metafísica de la teoría a costa de establecer una distinción definitiva, como parece sugerir la respuesta modal. Se trata más bien de una distinción relativizada, definida con respecto a una determinada etapa del conocimiento, que puede cambiar a medida que se desarrollan las teorías científicas. Desde este punto de vista, lo que en última instancia distingue los fenómenos nomológicos del resto de los elementos de una teoría científica son las múltiples posibilidades nomológicas generadas por una familia de hipótesis tentativas compatibles con un conjunto de fenómenos empíricos disponibles en una determinada etapa del conocimiento. Como resultado, la ANFd es compatible con una concepción nomológica de los fenómenos, cuya función central es centrarse en las múltiples posibilidades de una teoría para generar predicciones y explicaciones, independientemente de la tarea epistemológica de confirmar dichas predicciones y explicaciones a través de la mediación de nuestras percepciones sensoriales.

Esta propuesta se ve reforzada por la observación de que las teorías científicas son estructuras más complejas que los mecanismos de aplicación basados en los sentidos, cuya única función es representar fenómenos empíricos en términos de un cálculo teórico. Por el contrario, dichas teorías suelen postular entidades que generan y predicen fenómenos novedosos, algunos de los cuales trascienden el ámbito de la experiencia sensible. A este respecto, (Suárez, 2005, p. 29) sostiene que “El ámbito de aplicación de una teoría suele ser más amplio que su ámbito de adecuación empírica [lo que en este trabajo corresponde al ámbito de los fenómenos empíricos]: las teorías se aplican a menudo a fenómenos de los que no reciben confirmación empírica.” Entendiéndose así, los fenómenos pueden comprender no solo hechos empíricos que han sido detectados experimentalmente, sino también elementos teóricos que no pueden (o no han sido) develados en una forma accesible a través de los sentidos. Ejemplos ilustrativos son los modelos idealizados, como el movimiento inercial sin fricción de partículas puntuales (ya mencionado anteriormente), y los experimentos mentales que se han visto a lo largo de la historia de la ciencia: sin indagar en la extensa bibliografía sobre este tema, algunos de estos experimentos son fenómenos que no han sido detectados experimentalmente, pero que en principio son detectables por cualquier sistema perceptivo capaz de ser descrito como cualquier otro elemento constitutivo de una teoría (cuyas propiedades se superponen a algunas propiedades de dicha teoría).

4.3. La noción de explicación no-fáctica

Por explicación no-fáctica me refiero a una proposición literal y putativa, cuya función es dar cuenta de fenómenos nomológicos, *qua* explanandum, en términos de principios o hipótesis más fundamentales, *qua* explanans, confinados de manera inmanente dentro del edificio teórico de la teoría en cuestión. En términos más precisos, esta noción no-fáctica de explicación tiene que ver con el problema físico y/o metafísico de explicar cómo los fenómenos nomológicos dentro de una teoría científica se recuperan de la ontología fundamental de esa teoría. Esto significa que, con la ayuda de ciertos recursos teóricos —y quizás de un ingenioso conjunto de herramientas metafísicas (p. ej., superveniencia, fundamentación y/o dependencia metafísica)—, la contraparte fenoménica de la teoría (es decir, los fenómenos nomológicos) debe explicarse en términos de su ontología fundamental subyacente, cuyas entidades y cualidades pertenecen al mundo posible en el que dicha teoría es válida. En seguida, se despliegan tres observaciones importantes sobre esta noción de explicación no-fáctica.

En cuanto a la primera observación, las explicaciones no-fácticas implican una noción pragmática de la explicación. En términos más precisos, se afirma que cualquier relato literal y ontológico sobre el mundo posible en el que una teoría es válida es explicativa en el sentido no-fáctico si explica los fenómenos nomológicos de una manera que despliega ciertas virtudes teóricas (p. ej., claridad ontológica, coherencia, consistencia lógica, generalidad, necesidad, aplicabilidad, etc.), aunque pueda ser falso. En otras palabras, las explicaciones no-fácticas (en contraposición a las fácticas) son proposiciones putativas capaces de garantizar ciertas virtudes teóricas de una teoría en virtud de su ontología, sin verse comprometidas por sus valores de verdad.

En cuanto a la segunda observación, las explicaciones no-fácticas dependen de la interpretación. Esto queda claro cuando se asocia esta noción de explicación con el problema de explicar los fenómenos nomológicos en términos de la ontología de la teoría. Asociado de esta manera, el criterio de claridad ontológica es una condición necesaria para tener explicaciones no-fácticas, ya que la ontología de la teoría debe especificarse claramente antes de indicar la forma en que esta ontología recupera los fenómenos nomológicos. Si no se especifica una ontología precisa, no hay forma de contar una historia literal de cómo se recupera el mundo fenoménico según esta teoría.

Por último, la tercera observación tiene que ver con la universalidad atribuida a esta noción no-fáctica de explicación. En efecto, implica un criterio de universalidad según el cual los fenómenos nomológicos explicados por una teoría son como un “holograma”, en el que cada fenómeno ejemplifica toda la teoría y su ontología fundamental (p. ej., sus entidades, leyes y principios fundamentales). Por ejemplo, cuando los movimientos planetarios se interpretan desde el universo newtoniano, se conciben como fenómenos regidos por las mismas leyes y principios que una bola idealizada en movimiento inercial sin fricción. De este modo, decimos que tanto los movimientos planetarios como el comportamiento de la bola idealizada ejemplifican las leyes y principios subyacentes del universo newtoniano.

4.4. Adecuación de corte semántico

De lo anterior, se desprende que [S] se identifica constitutivamente con la ANFd. Analizaré más a fondo esta conclusión.

Según [S], las teorías científicas deben interpretarse literalmente, siempre que sean claras con respecto a lo que dicen sobre el mundo posible en el que son válidas (aunque ese mundo posible pueda diferir del mundo real). Considerando que el “mundo posible” del cual se habla comprende tanto la ontología fundamental de la teoría como también todo lo que se explica a partir de ella —y que forma parte de sus límites epistémicos—, este compromiso semántico no solo involucra aclarar dicha ontología, sino la condición que dictamina la ANFd de poder explicar, mediante esta última, los fenómenos nomológicos de la teoría en cuestión.

El punto importante que hay que destacar de la observación anterior es que, aparte de la noción bien establecida de claridad ontológica, las nociones de explicación no-fáctica y fenómenos nomológicos, según la ANFd, se definen de una manera particular, lo que las hace compatibles con [S]. En efecto, se definen independientemente de los valores de verdad asignados a las proposiciones de la teoría y de su justificación epistémica. En lo que respecta a las explicaciones no-fácticas, esto significa que no se comprometen con la cuestión de la verdad, sino con el cumplimiento de ciertas virtudes teóricas y pragmáticas.

5. Profundizando en el componente epistémico

De acuerdo con la definición estándar del realismo científico expresada anteriormente, identificaré [E] con otras tres nociones de adecuación que se definen a continuación:

(If) *Adecuación no-fáctica fuerte* (ANFf): La capacidad de nuestras mejores teorías científicas de *explicar fácticamente* los *fenómenos empíricos* como sea el caso, satisfaciendo necesariamente la ANFd.

(II) *Adecuación instrumental* (AI): La capacidad de nuestras mejores teorías científicas de *explicar fácticamente* los *fenómenos empíricos* como sea el caso, sin satisfacer la ANFd.

(III) *Adecuación fáctica* (AF): La capacidad de nuestras mejores teorías científicas para *explicar fácticamente* los *fenómenos empíricos* mediante una ontología clara.

En aras de la precisión, intentaré aclarar lo que se entiende por *fenómenos empíricos* y *explicación fáctica*, seguida de una explicación detallada de la asociación constitutiva entre [E] y la ANFf, AI y AF.

5.1. La noción empírica de fenómeno

Según la ANFf, AI y AF, los *fenómenos empíricos* son aquellos elementos constitutivos del mundo real que son epistémicamente accesibles por algún agente cognoscente capaz de percibir ese mundo de una forma u otra. Definidos así, los fenómenos empíricos están necesariamente asociados al contexto epistemológico de la justificación, ya que constituyen la base epistémica de nuestras teorías científicas y creencias racionales. Esto significa que dichos fenómenos (en oposición a su contraparte nomológica) no dependen de lo que una teoría permite explicar y predecir *en principio*, sino de la constitución misma del mundo real y de cómo los seres humanos o cualquier otro agente cognoscente confirman esa teoría sobre la base de sus capacidades perceptivas y de detección.

5.2. La noción de explicación fáctica

A diferencia de las explicaciones no-fácticas definidas anteriormente, la noción fáctica de explicación posee la función de dar cuenta de los fenómenos empíricos mediante proposiciones aproximadamente verdaderas que garanticen el éxito predictivo y explicativo de una teoría en función de la constitución misma del mundo real. Definida de esta manera, la noción de explicación pasa de ser pragmática a ser fáctica, en el sentido de que las proposiciones de las teorías científicas son aproximadamente verdaderas, todas las cuales son (parte de) la razón por la que se producen algunos fenómenos empíricos.

Además, en contraste con las explicaciones no-fácticas, esta noción fáctica de explicación no depende de la interpretación ni es universal. Por un lado, no depende de la interpretación de la teoría porque da cuenta de los fenómenos empíricos en términos de proposiciones verdaderas que hablan acerca del mundo real. Además, la ontología de la teoría en términos de la cual se explican los fenómenos empíricos está constituida por entidades y cualidades pertenecientes al mundo real, siempre que solo haya una interpretación verdadera y literal. Por otro lado, no es universal en sentido estricto, ya que no es necesaria con respecto a todos los fenómenos asociados a la teoría en cuestión; por el contrario, las explicaciones fácticas dependen de manera contingente de los fenómenos empíricos que pueden detectarse a través de la percepción sensorial desnuda. Por ejemplo, las predicciones obtenidas por la teoría que no pueden detectarse mediante la percepción sensorial desnuda, como el movimiento inercial sin fricción o ciertos experimentos mentales, quedan excluidas de lo que se define como explicaciones fácticas. Esto significa que estas últimas se limitan a lo que se comunica con hechos cognoscibles e inmediatos y, por lo tanto, excluyen los datos científicamente posibles que no pueden revelarse (o no se han revelado) de una forma accesible a través de los sentidos.

Ahora bien, hay teorías cuyas proposiciones explican fácticamente los fenómenos empíricos sin que dichas proposiciones refieran a una ontología clara. Este es el caso de aquellas teorías que satisfacen lo que se ha denominado la 'restricción de consistencia' (Lam & Wüthrich, 2018). Este requisito meramente instrumental consiste en "salvar los fenómenos", es decir, en establecer la base teórica necesaria para predecir y explicar los fenómenos empíricos — representados por la teoría como datos empíricos—, ya sea mediante deducción matemática, inmersiones conceptuales o cualquier estrategia útil de confirmación.⁵ Por lo tanto, según este requisito, es necesario representar los procesos subyacentes que intervienen en las mediciones (y los resultados producidos por dichas mediciones) en términos de cualquier elemento contenido en la teoría, como podría ser el caso de hipótesis auxiliares, principios físicos, etc. Considerando que la restricción de consistencia dictamina que cualquier fenómeno empírico relevante debe tener su contraparte en la teoría, se trata de una forma instrumental de adecuación (AI), independientemente de la naturaleza y caracterización de su ontología subyacente.

5.3. Adecuación de corte epistémico

De lo anterior, se desprende que [E] se identifica constitutivamente con la ANFf, AI y AF. Analizaré más a fondo esta conclusión.

⁵Por supuesto, las y los filósofos pueden representar dichas estrategias mediante isomorfismos lógicos, teóricos o parciales, dependiendo del marco metafilosófico que deseen utilizar.

Según [E], las teorías científicas no solo deben interpretarse literalmente, sino también de manera fáctica, tanto por la condición de que sus términos tienen que referir a entidades existentes del mundo real (ya sea su ontología o los fenómenos empíricos), como también en cuanto a que lo que dicen de él sea aproximadamente correcto. Definido así, este compromiso epistémico puede vincularse directamente a la capacidad de nuestras mejores teorías científicas para explicar de manera fáctica los fenómenos empíricos disponibles asociados con el mundo real.

Como se ha señalado anteriormente, el punto importante que hay que destacar de este vínculo es que las nociones de explicación fáctica y fenómenos empíricos que intervienen en las definiciones de la ANFf, AI y AF se interpretan de una manera particular, lo que las hace compatibles con [E]. De hecho, se está hablando aquí de fenómenos empíricos (en contraposición a fenómenos nomológicos) y de explicaciones fácticas (en contraposición a no-fácticas). A diferencia de los fenómenos nomológicos, los fenómenos empíricos se consideran hechos “brutos” y contingentes del mundo real, accesibles epistémicamente por medio de la percepción sensorial desnuda; mientras que, a diferencia de las explicaciones no-fácticas, las fácticas se comprometen con la cuestión de la verdad, ya que forman proposiciones verdaderas que dan cuenta de los fenómenos empíricos disponibles, todos los cuales tienen sentido en el contexto de la justificación epistémica.

Sin embargo, cabe señalar que el compromiso con [E] no implica necesariamente un compromiso con [S]. De hecho, únicamente tiene sentido para [E] contar con una interpretación literal y clara de una teoría si es que se desean especificar los valores de verdad de las proposiciones que hablan acerca de su ontología; pero si se trata de proposiciones acerca de fenómenos empíricos, no hay necesidad de involucrar la ontología de la teoría. Por lo tanto, [S] solo se vuelve una condición necesaria para [E] si se trata de incorporar a la ontología como parte del *explanandum* de la teoría. De la observación anterior se deduce que, aunque el común denominador de la ANFf, AI y AF sea examinar la capacidad de la teoría en cuestión de explicar fácticamente los fenómenos empíricos, desde [E], no todas comparten un compromiso con [S]. En efecto, mientras que la AF requiere de dicho compromiso, en virtud de que considera explicaciones fácticas de los fenómenos empíricos en términos de la ontología de la teoría, la AI no lo requiere ya que sólo considera explicaciones fácticas sin dicha ontología. Por el otro lado, aunque la ANFf requiere de un compromiso con [S], es distinto al que se tiene en la AF; en este caso, se trata del mismo compromiso que tiene ANFd con [S], en virtud de que involucra explicaciones no-fácticas de los fenómenos nomológicos en términos de la ontología de la teoría.

6. Estudios de caso

En seguida, se dará una breve descripción de algunos problemas fundacionales que son ampliamente debatidos en la literatura y, con base en dicha descripción, argumentaré que cada uno de ellos solo puede formularse y tiene sentido si se asume una noción particular de adecuación. Habría que advertir nuevamente al lector que la intención no es resolver cada uno de estos problemas (lo que implicaría escribir más de un libro entero para abordar cada uno de ellos), sino caracterizarlos de acuerdo con la taxonomía plural de adecuación que se ha definido en las secciones anteriores.

6.1. Problema del tiempo en gravedad cuántica

La gravedad cuántica no es una teoría sólida con características propias y autoconsistentes, sino un conjunto de programas de investigación, con diferentes compromisos, estrategias matemáticas y supuestos teóricos, que en conjunto intentan construir una teoría cuántica de la materia que dé cuenta de los fenómenos gravitatorios. Entre los diferentes programas que se conocen se encuentra la gravedad cuántica canónica, la cual es la que mayor atención ha tenido en los últimos años y la que se pretende analizar a continuación.

A grandes rasgos, la gravedad cuántica canónica se basa en un procedimiento de cuantización análogo al que emplea la teoría cuántica de campos, el cual consiste en convertir campos clásicos de la formulación canónica (hamiltoniana) de la relatividad general en operadores que actúan sobre los estados cuánticos. Al hacer este procedimiento, resulta que el tiempo físico que se define en relatividad general desaparece. En particular, en lugar de obtener una ecuación análoga a la de Schrödinger, en cuyo caso el hamiltoniano es el responsable de la evolución del estado cuántico con respecto al tiempo, se llega inesperadamente a una ecuación que no evoluciona en el tiempo, conocida como la ecuación de Wheeler-DeWitt. Así, surge la curiosidad y presumiblemente la necesidad de preguntarse si es posible recuperar el concepto de tiempo físico en el marco de la gravedad cuántica canónica y, en el caso de que fuera posible, cómo emerge de un formalismo donde no existe tal concepto. A esta dificultad se le conoce como el problema del tiempo en gravedad cuántica.

Sin apelar a los detalles, los cuales pueden consultarse en (Thébaud, 2021), este resultado no es del todo derivado del procedimiento de cuantización, a saber, de la incompatibilidad aparente del concepto de tiempo físico entre la mecánica cuántica y la relatividad general; por el contrario, se debe en gran medida a la manipulación de teorías que son invariantes bajo reparametrizaciones, como es el caso de la relatividad general. Esto puede verse gracias al hecho de que la cuantización de la gravedad hereda un resultado que se ha demostrado en el contexto de la formulación canónica (hamiltoniana) de la relatividad, a saber, que las transformaciones en el parámetro del tiempo corresponden a difeomorfismos que son en sí mismos invariantes bajo reparametrizaciones. Considerando lo anterior, el origen del problema del tiempo radica, más bien, en el hecho de que en relatividad general, aunque el hamiltoniano total no evoluciona temporalmente, la métrica espacio-temporal es dinámica por lo que es posible identificar relaciones temporales entre sucesos, o bien, introducir foliaciones tipo espacio para generar evolución temporal para campos clásicos; sin embargo, en gravedad cuántica eso no es posible ya que el propio estado del universo está descrito por una función de onda estática que depende de configuraciones espaciales, no de un parámetro temporal. En conclusión, mientras que en la relatividad general la invariancia bajo reparametrizaciones aún deja espacio para tiempos relacionales, en gravedad cuántica canónica, dicha invariancia ya no da lugar a una dinámica aparente, sino a la ecuación estacionaria de Wheeler-DeWitt.

Ahora bien, aunque no existe un consenso sobre cómo dar solución al problema del tiempo, la mayoría de las líneas de investigación (o al menos las más atractivas hasta el momento) comparten el supuesto de que el tiempo no es fundamental en la gravedad cuántica y que una solución satisfactoria solo se puede dar si se asume que el tiempo físico emerge de la ecuación de Wheeler-DeWitt estacionaria bajo ciertos regímenes bien establecidos o en función de algunos grados de libertad internos (Callender, 2017, p. 100).

Un ejemplo bien conocido es el tiempo semiclásico. Según (Banks, 1985; Kiefer, 2012), si se modela la colisión de una partícula alfa con un átomo y, además, se considera el estado de

la partícula alfa como un reloj para el subsistema del átomo, se puede demostrar que, aunque el sistema total evoluciona de acuerdo con la ecuación de Schrödinger estacionaria, el estado del subsistema del átomo con respecto a la partícula evoluciona de acuerdo con una ecuación análoga pero dependiente del tiempo. En pocas palabras, si se considera la partícula alfa como un reloj, el átomo aparentemente siente pasar el tiempo de la mecánica cuántica. Al extrapolar este caso particular al ámbito de la gravedad cuántica, estos autores supuestamente demuestran que si consideramos la contribución gravitatoria de la ecuación estacionaria de Wheeler-DeWitt como un reloj con respecto al cual el campo cuántico evoluciona temporalmente, entonces la ecuación de Schrödinger dependiente del tiempo para el subsistema del campo se puede derivar de la ecuación de Wheeler-DeWitt que gobierna el sistema total. Es decir, el tiempo físico de la mecánica cuántica emerge de una ecuación fundamental donde el tiempo desaparece solo si el mundo es semiclásico y se puede descomponer en subsistemas.

Dicho esto, es importante enfatizar que lo que se está derivando bajo este esquema semiclásico es una ecuación dependiente del tiempo *para* campos cuánticos y, por lo tanto, se está demostrado que el tiempo *de* la mecánica cuántica emerge de la gravedad cuántica canónica. En pocas palabras, se está demostrando la emergencia de un tiempo físico, a saber, un concepto de tiempo cuya definición depende de la teoría física particular en la que se enmarca. Aquí convendría diferenciar este concepto de tiempo físico del concepto de tiempo manifiesto (el cual se definirá más abajo y que corresponde al tiempo que los humanos concebimos de acuerdo al sentido común) ya que en algunas ocasiones se suele confundir el problema del tiempo en gravedad cuántica, el cual aquí uno se ocupa, con el problema de la emergencia del tiempo manifiesto. Es verdad que, para responder a este último problema en el contexto de la gravedad cuántica, se requiere dar solución al problema del tiempo, pero no se necesita dar solución al problema de la emergencia del tiempo manifiesto para proponer una salida al problema del tiempo en gravedad cuántica.

Considerando estas observaciones, es posible asociar el problema del tiempo en gravedad cuántica con la condición de explicar mediante la ontología de este programa un fenómeno nomológico particular, a saber, el tiempo físico de la mecánica cuántica. En efecto, como el tiempo físico de esta teoría se trata de un elemento teórico confinado a sus límites epistémicos, es posible interpretarlo como un fenómeno nomológico que, por definición, se sitúa en un lugar “más próximo” a la parte fenoménica de dicha teoría. Es por esta razón que, sin un tiempo físico disponible, no habría posibilidad de hacer predicciones que tuvieran relevancia en el ámbito de lo fenoménico. En consecuencia, se puede concluir que el problema del tiempo en gravedad cuántica es una dificultad que tiene sentido desde una condición particular, a saber, la ANFd. Para satisfacer esta noción de adecuación, es necesario dar solución de alguna forma u otra a este problema. En contraste, este último no tiene la misma relevancia y su supuesta solución resulta ser insuficiente si se añaden condiciones más fuertes que obliguen a explicar fenómenos empíricos, como es el caso del tiempo manifiesto o cualquier elemento que pueda ser detectado por la percepción humana.

6.2. Problema del macro-objeto: realismo de la función de onda

El Realismo de la Función de Onda (RFO) es, a grandes rasgos, un compromiso ontológico con respecto a la función de onda de la mecánica cuántica para sistemas de muchas partículas; es decir, una postura de acuerdo con la cual la función de onda no solo se considera un objeto físico concreto y existente, sino una entidad fundamental con características específicas

asociadas a lo que en física se conoce como un campo en un espacio de altas dimensiones.⁶ En particular, sostiene que el espacio multidimensional —de la misma dimensión, pero distinto al espacio de configuraciones, donde se define matemáticamente la función de onda y cuya dimensionalidad es tres veces más grande que el número total de partículas en el universo⁷— es, desde un punto de vista ontológico, más fundamental que el espacio 3-dimensional, donde supuestamente viven los objetos macroscópicos que se observan a simple vista (Albert, 2015; Ney, 2015, 2017, 2021). Este enfoque presupone, por ende, una distinción entre el espacio abstracto donde se define un objeto matemático (en este caso, el espacio de configuraciones donde se define matemáticamente la función de onda) y el espacio fundamental donde vive, ontológicamente hablando, dicho objeto (en este caso, un espacio multidimensional de dimensión equivalente al espacio de configuraciones). Por supuesto, el rol preciso que desempeña la función de onda bajo el RFO depende de la interpretación cuántica que se aborde. Por ejemplo, en la teoría bohmiana, la ontología consta de dos objetos físicos, la función de onda universal (de todo el universo) y la partícula universal, ambos situados en un espacio multidimensional; en las teorías de colapso objetivo la ontología está constituida, por el contrario, por la función de onda universal y nada más. Dicho esto, se advierte que el RFO sólo tiene sentido cuando se ha asignado una ontología clara a la mecánica cuántica y, por este motivo, debe comprometerse con alguna noción de adecuación que involucre a dicha ontología, a saber, la ANFd, ANFf o AF.

Ahora bien, el problema que enfrenta el RFO y el cual se abordará en esta contribución es el problema del macro-objeto. Este problema consiste, a grandes rasgos, en la falta de conexión entre la función de onda, una entidad existente y fundamental de altas dimensiones, y los objetos del mundo 3-dimensional de la vida cotidiana, como las sillas y las mesas. En seguida, se verá de fondo en qué consiste este problema.

En primera instancia, es conveniente hacer una disección de esta dificultad en dos problemas independientes. En efecto, siguiendo la estrategia reduccionista de (Kim, 1998), es posible abordar el problema anterior en términos de dos procedimientos distintos: por un lado, establecer una correspondencia entre la función de onda y la ontología microscópica de la interpretación cuántica que se adopte (p. ej., partículas bohmianas, flashes en el espacio-tiempo, etc.); y, por otro lado, establecer una correspondencia entre dicha ontología microscópica y los objetos macroscópicos de la vida cotidiana. Se trata, entonces, de separar el problema en un análisis respecto a la dimensión del espacio, en el caso del primer procedimiento, y en un análisis mereológico respecto a la composición de objetos macroscópicos en términos de objetos microscópicos, en el caso del segundo procedimiento.

En lo que se refiere al segundo procedimiento, es importante reiterar que su resolución depende en gran medida de la interpretación cuántica que se adopte. Simplemente es necesario recurrir a una de las interpretaciones que poseen una ontología bien definida, como es el caso de la teoría bohmiana o la teoría de colapso objetivo, y observar cómo cada una de ellas explica de manera satisfactoria la emergencia de los objetos macroscópicos en términos de sus

⁶En ocasiones, se suele diferenciar entre la función de onda, una entidad matemática, y el objeto en el mundo que dicha entidad matemática representa. Sin embargo, en aras de la simplicidad, usaré el mismo término 'función de onda' para referirme al objeto del mundo físico que dicha entidad representa.

⁷Es decir, en el espacio de configuraciones cada dimensión corresponde a una coordenada x , y , o z para cada partícula; por tanto, si se tiene un sistema con 2 partículas en el espacio 3-dimensional, entonces, en el espacio de configuraciones se tendrá 6 dimensiones [3 para cada una], donde cada posición en este espacio abstracto corresponderá a una configuración clásica de un sistema de partículas.

distintas ontologías, como es el caso de las partículas bohmianas, flashes en el espacio-tiempo o distribuciones de masa. Dicho esto, el carácter mereológico de este segundo procedimiento se puede asociar con la condición de satisfacer una noción de adecuación que garantice la explicación de los fenómenos empíricos, como las sillas y las mesas, en términos de diferentes ontologías, según sea el caso. Este es, en efecto, la condición que impone la AF. Sin embargo, por tratarse de un procedimiento que la propia teoría (y sus interpretaciones) pueden abordar de forma satisfactoria, no supone un verdadero problema, después de todo; por el contrario, lo que se ha identificado como el problema del macro-objeto está asociado, más bien, al primer procedimiento, el cual representa el motivo central de la presente discusión. Analizaré, por ende, este último procedimiento.

A primera vista, uno puede observar que un punto en un espacio euclidiano $3N$ dimensional, como el espacio de configuraciones, puede entenderse como una representación abstracta de un conjunto de N partículas en un espacio físico 3-dimensional. Esto significa que cada vez que se desee precisar la dimensionalidad del espacio $3N$ -dimensional, es necesario establecer el número de partículas que tiene el sistema en cuestión. Sin embargo, al adoptar una postura afín al RFO, en cuyo caso la función de onda es la entidad central, no son las partículas las que determinan, metafísicamente hablando, la dimensionalidad del espacio fundamental. Es la naturaleza de la función de onda la que determina el número de partículas en el universo. Lo problemático estriba, pues, en que el espacio multidimensional fundamental donde vive la función de onda, el cual es distinto al espacio de configuraciones, no posee ninguna estructura que indique el modo preferido de establecer una correspondencia entre sus puntos en configuraciones de partículas. En efecto, dado que la función de onda en realidad vive en un espacio euclidiano de $3N$ dimensiones, según el RFO, no hay nada que sea constitutivo de este mundo de alta dimensión que sugiera que las dimensiones de dicho espacio deben ser agrupadas en tercias, de tal modo que los puntos en el espacio $3N$ -dimensional correspondan a la configuración de N partículas del espacio 3-dimensional y no a un espacio de cualquier otra dimensionalidad —p. ej., a un espacio unidimensional (en términos de $3N$ subsistemas) o a un espacio de seis dimensiones (en términos de $N/2$ subsistemas) (Albert, 2015). Aún más problemático es que, en palabras de (Monton, 2002, p. 217), “las coordenadas x , y y z de la partícula número 3 en el espacio tres-dimensional correspondan a la séptima, octava y novena dimensiones del espacio $3N$ -dimensional [...] o a la 30ma 25ta y 240ma dimensiones y así sucesivamente.” Este es, en esencia, el problema del macro-objeto.

Si se considera una interpretación particular de la mecánica cuántica con una ontología bien definida, ya sea la teoría bohmiana o la teoría de colapso objetivo, el procedimiento anterior involucra un problema de adecuación entre la ontología fundamental de dicha teoría (la función de onda multidimensional) y la ontología definida en el espacio 3-dimensional, generalmente conocida como la ontología primitiva de la teoría. Nótese que esta última no representa un fenómeno empírico capaz de ser percibido a través de la percepción humana, sino un fenómeno nomológico que es inmanente a la teoría; es decir, se trata de un elemento teórico, confinado a sus límites epistémicos —lo que se denomina ‘ontología reducida’— y que está “más próximo” a la parte de dicha teoría donde los datos empíricos se encuentran con los fenómenos empíricos en un contexto de confirmación. Dicho esto, no falta un análisis más profundo para que uno se dé cuenta que el problema del macro-objeto se puede asociar con la condición de satisfacer una noción de adecuación que garantice la explicación de los fenómenos nomológicos, como las partículas bohmianas, los flashes espacio-temporales o las distribuciones de masa, en términos de diferentes ontologías fundamentales, según sea el caso.

Esta noción es, en esta ocasión, la ANFd.

6.3. Problema de la medición de la mecánica cuántica

El problema de la medición de la mecánica cuántica radica, según la explicación más popular, en el conflicto suscitado entre garantizar valores definidos y únicos para los resultados de cualquier medición y disponer de una función de onda completa del sistema correspondiente (es decir, una función de onda que especifique todas las propiedades físicas de un sistema) que siempre evolucione de acuerdo con una ecuación dinámica lineal y unitaria (es decir, la ecuación de Schrödinger). Dadas estas suposiciones, se trata de un problema para la teoría cuántica cuya función de onda es completa y cuya evolución siempre es unitaria, a saber, la *mecánica cuántica unitaria* (MCU).

Sin embargo, no se debe cometer el error generalizado de interpretar este conflicto como si de verdad se tratara del problema de la medición sin siquiera proporcionar la base conceptual de lo que realmente se considera problemático. Si existe algo parecido a un problema en este conflicto, se debería identificar y dejar clara la razón de fondo y el sentido por el cual la incompatibilidad entre completitud, evolución unitaria y valores definidos y únicos constituye un problema para la MCU. Como se verá a continuación, dicha incompatibilidad resultará ser problemática si uno está dispuesto a interpretar la MCU basándose en la AI.

La demostración ideal de que esta noción de adecuación no puede ser satisfecha por la MCU corresponde al famoso experimento del gato de Schrödinger: la MCU predice que el estado cuántico de todo el sistema (representado por la función de onda de forma completa), incluyendo el sistema bajo análisis (p. ej., un átomo radiactivo) y el dispositivo experimental (p. ej., un gato), evoluciona unitariamente de acuerdo con la ecuación de Schrödinger a una superposición irreducible de estados macroscópicos, donde cada término correlaciona, en una situación posterior a la medición, un valor definido y único de las propiedades microscópicas del sistema bajo análisis (p. ej., el átomo decayendo o no decayendo) con el valor definido y único de las propiedades macroscópicas correspondientes del dispositivo de medición (p. ej., el gato estando vivo o muerto). Esto significa que cualesquiera que sean los objetos 'inobservables' del sistema, la predicción del resultado que arroja el dispositivo experimental es indefinida porque corresponde a una superposición de estados macroscópicos. Dado que cada vez que se mide una propiedad física en el laboratorio, se obtiene un resultado único y definido del dispositivo experimental en cuestión, se sigue que la MCU es incompatible con la AI, en el sentido de que carece de un procedimiento para explicar, como sea el caso y sin importar la ontología de la teoría, el fenómeno empírico de que al medir sistemas en estados de superposición se obtienen resultados bien definidos y únicos. Por lo tanto, se llega a la conclusión de que el conflicto entre completitud, evolución unitaria y valores únicos y definidos (lo que he llamado el problema de la medición) es propiamente problemático debido precisamente a que la AI no se satisface.

Ahora bien, uno se preguntaría qué pasaría si se introduce el postulado del colapso y se garantiza que haya valores definidos y únicos para los resultados de cualquier medición. En tal caso, ya no se tendría una teoría cuya función de onda siempre evoluciona de forma unitaria, como es el caso MCU; al contrario, la introducción del colapso implicaría que lo que inicialmente era una evolución determinista y unitaria regida por la ecuación de Schrödinger resultaría ser un salto indeterminista que debe introducirse a mano. A esta teoría que asume

el postulado del colapso generalmente se le llama *mecánica cuántica estándar* (MCE).

La ventaja de asumir el postulado del colapso es que la MCE ya no parece tener el mismo problema que tenía la MCU; en este caso, el conflicto entre completitud, evolución unitaria y valores únicos y definidos se evapora. Sin embargo, la posibilidad de dar solución a dicho conflicto por medio de este procedimiento tiene un precio muy alto: a costa de satisfacer la AI, se hereda el problema de no poder satisfacer una noción más fuerte de adecuación que implique claridad con respecto a la ontología, a saber, la AF. En efecto, la falta de una explicación clara de este mecanismo de colapso condena a la MCE a la incapacidad de poder explicar, mediante una ontología clara, el fenómeno empírico de que al medir sistemas en estados de superposición se obtienen resultados bien definidos y únicos.

Esta incapacidad es, bajo la lente de muchas y muchos filósofos, la razón fehaciente por la que el problema de la medición en la MCE involucra una grotesca falta de objetividad con respecto al tratamiento teórico de los fenómenos cuánticos. Según este escenario, esta teoría estaría en conflicto con estándares razonables de objetividad, ya que la naturaleza y el comportamiento de lo que se mide dependería del observador. No habría explicación alguna de lo que sucede cuando el observador no tiene un cerebro humano capaz de racionalizar como lo haría una estudiante de doctorado, o cuando el observador no está presente en un lugar y momento determinados, en tanto testigo consciente.

6.4. Problema de la emergencia del tiempo manifiesto

Es un hecho innegable que los humanos concebimos el tiempo como ese concepto que abarca muchas características, entre las cuales se encuentra la idea de que fluye; que los eventos surgen en una sucesión de “ahoras”; que estos “ahoras” son especiales para nuestra vida, ya que creemos que definen nuestro punto de vista respecto al mundo, presente e inmediato; y que el pasado, ya conocido y establecido, es fundamentalmente diferente del futuro desconocido de posibilidades. Conocido como *tiempo manifiesto* en la literatura, este concepto no es un hecho empírico “bruto” que experimentamos directamente a través de la percepción sensorial desnuda, sino una representación útil y habitual de muchos aspectos complejos del mundo que no pueden escapar del velo del prejuicio humano, así como se limitan al ámbito de la vida cotidiana. En otras palabras, es “una imagen del mundo regimentada que se basa en el sentido común [...] Llegamos al tiempo manifiesto de la misma manera que llegamos a muchos de nuestros otros modelos del mundo, a través de una mezcla de dotación innata, experiencia e inferencia cognitiva (Callender, 2017, 2).”

La física, por otro lado, ha desarrollado una visión del tiempo completamente diferente a la de su contraparte manifiesta. Conocido como *tiempo físico*, es un concepto cuya definición depende, por supuesto, de la teoría física particular en la que se enmarca. Por ejemplo, la física newtoniana interpreta el tiempo como una foliación privilegiada en el espacio-tiempo que induce superficies de simultaneidad del espacio absoluto, mientras que la física relativista lo interpreta como una coordenada (con signo negativo) de un espacio-tiempo de Minkowski. Sin embargo, cuando se trata de las características esenciales del tiempo compartidas por todas las teorías físicas conocidas, parece existir un problema de compatibilidad entre estas y las características temporales de nuestras experiencias cotidianas. Esta incompatibilidad no es sorprendente, ya que a lo largo de la historia de la física se observa que los nuevos descubrimientos científicos cambian radicalmente la visión del mundo asociada con nuestras representaciones mediadas

por el sentido común. En definitiva, cualquier análisis de la naturaleza del tiempo entre las teorías físicas más exitosas sugiere que el tiempo manifiesto no parece tener un equivalente en la física. El problema de reconciliar estas dos imágenes del tiempo es lo que las y los filósofos de la física llaman el *problema de la emergencia del tiempo manifiesto*.

Definido así, se podría pensar que este problema es simplemente un enigma interesante que una ingeniosa científica podría resolver, sin consecuencias filosóficas relevantes. Sin embargo, no interpretaré dicho problema de esta manera; por el contrario, me centraré en cómo y por qué [E] (en particular, la noción de AF, como se definió anteriormente) plantea una sólida motivación filosófica para abordarlo. Como se verá, este problema solo tiene sentido si se acepta la noción de AF, mientras que se desvanece si solo se acepta la ANF o AI.

Si el objetivo es acceder epistémicamente al mundo real a través de las mejores teorías físicas, se deduce que cualquier imagen regimentada del mundo basada en el sentido común, como es el caso del tiempo manifiesto, es errónea o no fundamental. Es decir, desde una perspectiva realista respecto a las teorías físicas, el tiempo manifiesto puede interpretarse “radicalmente” como una representación falsa de algo real cuya naturaleza solo puede concebirse en términos de la noción fundamental del tiempo físico; pero también puede interpretarse “moderadamente” como una representación aproximadamente verdadera cuyo significado puede reconceptualizarse en términos del tiempo físico, de modo que el tiempo manifiesto surge de una representación más fundamental del mundo real, informada por las mejores teorías físicas. Considerando ambas interpretaciones, no se puede escapar del destino inevitable asociado con el problema de la emergencia del tiempo manifiesto: se requiere una solución si se cree que las mejores teorías físicas representan aproximadamente el mundo real. De hecho, se necesita entender por qué estamos equivocados respecto de nuestra concepción manifiesta del tiempo o de cómo esta concepción emerge del tiempo físico, siempre que ciertas características fundamentales asociadas con este último pasen desapercibidas para criaturas mundanas como nosotros.

Sin perder la generalidad, me centraré en la interpretación moderada de la noción de tiempo manifiesto y me referiré a ella como una representación aproximadamente verdadera reconceptualizada en términos del tiempo físico. Concedido esto, se puede ver a partir de la observación anterior que, desde el punto de vista del realismo científico en su versión completa (asumiendo sus tres componentes), la mera formulación del problema de la emergencia del tiempo manifiesto a partir del tiempo físico, se basa en el supuesto de que este último es más fundamental que el primero y que cualquier teoría física debería tener la capacidad de explicar mediante una ontología clara fundamental los fenómenos empíricos que corresponden a la noción objetiva de tiempo. Dado que la forma en que estos fenómenos relacionados con el tiempo solo pueden ser cognoscibles a través de la mediación de nuestras capacidades perceptivas y representacionales, el problema del tiempo puede, en última instancia, expresarse como la capacidad de una teoría física de explicar mediante una ontología clara la noción de tiempo manifiesto. Esto significa que el problema de la emergencia del tiempo manifiesto solo tiene sentido en el contexto epistémico de la justificación, ya que cualquier explicación y predicción obtenida mediante la ontología fundamental de la teoría —y, en particular, mediante la noción de tiempo físico— solo puede confirmarse mediante los fenómenos empíricos asociados con la constitución del mundo real, siempre que estos fenómenos se nos presenten de forma inmediata a nuestra cognición mediante una representación sensorial asociada con el tiempo manifiesto.

Volviendo al tema principal de esta contribución, espero que quede claro que el problema del tiempo, tal como se formuló anteriormente, está directamente relacionado con la noción

de AF. Es decir, dicho problema solo tiene sentido si se asume la premisa epistémica de que cualquier teoría física debería ser capaz de explicar, mediante una ontología clara, los fenómenos empíricos asociados con el mundo real. Sin embargo, cabe destacar que, desde el punto de vista de las otras nociones de adecuación, el problema de la emergencia del tiempo manifiesto no tiene sentido. En otras palabras, si solo aceptamos la ANF o AI, dicho problema se disuelve. Explicaré esto con más detalle.

Como ya se ha argumentado, la distinción entre la AF y el resto de nociones de adecuación se basa en dos criterios de demarcación con respecto a la AF —según la cual los fenómenos empíricos se explican mediante la ontología de la teoría: Por un lado, el rol de la ontología, ya que en el caso de la ANFf y AI se requiere explicar los fenómenos empíricos sin implicar dicha ontología; y, por otro lado, la concepción del fenómeno, ya que en el caso de la ANFd y ANFf se requiere explicar los fenómenos nomológicos (en lugar de los empíricos) mediante la ontología del mundo posible donde las teorías físicas son válidas. En el contexto de la noción de tiempo, esta distinción se manifiesta por el hecho de que el tiempo físico es un elemento constitutivo de la ontología de la teoría, por lo que la única noción de adecuación compatible con la emergencia del tiempo manifiesto es aquella que necesariamente involucra una ontología de la cual emerge, a saber, la AF. Además, una cosa es construir un mundo posible en el que se dé una supuesta noción de tiempo físico y otra cosa es representar el mundo real en el que debería justificarse una noción correcta de tiempo físico. El primer caso (a diferencia del segundo) no necesita explicar cómo y por qué el tiempo manifiesto, que es una representación sensorial de esa parte del mundo real asociada con el tiempo objetivo, surge del tiempo físico. Dado que el tiempo manifiesto depende en gran medida de cómo es el mundo real, aparte de cómo los humanos lo perciben y representan, es independiente de la ANFd. Según la ANFd, es necesario explicar mediante una ontología clara (en cuyos términos se enmarca el tiempo físico) los fenómenos nomológicos asociados con el mundo posible en el que dicha teoría es válida. Desde esta perspectiva, los fenómenos relacionados con el tiempo no se asocian con el tiempo manifiesto, sino con inferencias teóricas derivadas de la noción de tiempo físico. En consecuencia, el problema de la emergencia del tiempo manifiesto sólo tiene sentido desde el punto de vista de la AF.

7. Conclusiones

Se elaboró una caracterización plural de adecuación a partir de varias posturas filosóficas —relacionadas con el debate realismo-antirrealismo—, cada una de las cuales implica un compromiso particular respecto a lo que es observable o detectable. En particular, a partir de la distinción entre la noción de fenómeno nomológico y su contraparte empírica, se identificó una nueva noción de adecuación, la ANFd, que conecta la ontología de una teoría con fenómenos que yacen dentro de los límites epistémicos de la misma, sin involucrar aspectos del mundo real que únicamente son accesibles por medio de los sentidos. Con base en esta caracterización plural, se argumentó que algunos problemas fundacionales ampliamente debatidos en la filosofía de la física solo pueden formularse y tienen sentido si se asume una noción particular de adecuación.

Agradecimientos

Deseo agradecer a la Dra. Ana Rosa Pérez Ransanz y a la audiencia de varios coloquios donde presenté este trabajo por sus valiosos comentarios y sugerencias.

Financiamiento

Confirmo que este trabajo ha sido financiado por el SECIHTI en el marco de la beca "Estancias posdoctorales por México 2022(1)" [Número: 442599].

Referencias

- Albert, D. Z. (2015). *After Physics*. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Allori, V. (2024). Who's afraid of the measurement problem? In *Physics and the Nature of Reality: Essays in Memory of Detlef Dürr*, pages 393–409. Springer International Publishing, Cham.
- Armstrong, D. M. (1983). *What Is a Law of Nature?* Cambridge University Press, Cambridge.
- Banks, T. (1985). T_{CP}, quantum gravity, the cosmological constant and all that... *Nuclear Physics B*, 249(2):332–360.
- Barrett, J. (2019). *The Conceptual Foundations of Quantum Mechanics*. Oxford University Press, Oxford.
- Bhagal, H. (2020). Humeanism about laws of nature. *Philosophy Compass*, 15(8):e12696.
- Bird, A. (2005). The dispositionalist conception of laws. *Foundations of Science*, 10:353–370.
- Bueno, O. (1997). Empirical adequacy: A partial structures approach. *Studies in History and Philosophy of Science*, 28(4):585–610.
- Bueno, O., French, S., and Ladyman, J. (2002). On representing the relationship between the mathematical and the empirical. *Philosophy of Science*, 69:497–518.
- Bueno, O., French, S., and Ladyman, J. (2012). Empirical factors and structure transference: Returning to the London account. *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 43(2):95–104.
- Callender, C. (2017). *What Makes Time Special?* Oxford University Press, Oxford.
- Cartwright, N. (1983). *How the Laws of Physics Lie*. Oxford University Press, New York.
- Chakravartty, A. (2007). *A Metaphysics for Scientific Realism*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Chakravartty, A. (2017). Scientific realism. In Zalta, E. N., editor, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Summer 2017 Edition.

- Chen, E. K. (2019). Realism about the wave function. *Philosophy Compass*, 14(7):e12611.
- Cohen, J. and Callender, C. (2009). A better best system account of lawhood. *Philosophical Studies*, 145:1–34.
- da Costa, N. C. A. and French, S. (1990). The model-theoretic approach in the philosophy of science. *Philosophy of Science*, 57:248–265.
- da Costa, N. C. A. and French, S. (2003). *Science and Partial Truth: A Unitary Approach to Models and Scientific Reasoning*. Oxford University Press, Oxford.
- Downes, S. M. (1992). The importance of models in theorizing: A deflationary semantic view. In *PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*, volume 1992, pages 142–153, Cambridge. Cambridge University Press.
- Dretske, F. (1977). Laws of nature. *Philosophy of Science*, 44:248–268.
- Dukich, J. (2013). Two types of empirical adequacy: A partial structures approach. *Synthese*, 190(14):2801–2820.
- Feigl, H. (1950). Existential hypotheses: Realistic versus phenomenalistic interpretations. *Philosophy of Science*, 17:35–62.
- French, S. (2014). *The Structure of the World*. Oxford University Press, Oxford.
- French, S. and Ladyman, J. (1997). Superconductivity and structures: Revisiting the london account. *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 28(3):363–393.
- French, S. and Ladyman, J. (1999). Reinflating the semantic approach. *International Studies in the Philosophy of Science*, 13(2):103–121.
- Giere, R. N. (1999). *Science without Laws*. University of Chicago Press, Chicago.
- Heisenberg, W. (1971). *Physics and Beyond: Encounters and Conversations*. Harper & Row, New York. Harper Torchbooks.
- Horwich, P. (1982). Three forms of realism. *Synthese*, 51(2):181–201.
- Huggett, N. and Wüthrich, C. (2013). Emergent spacetime and empirical (in)coherence. *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 44(3):276–285.
- Kiefer, C. (2012). *Quantum Gravity*. International Series of Monographs on Physics. Oxford University Press, Oxford.
- Kim, J. (1998). *Mind in a Physical World*. MIT Press, Cambridge, MA.
- Lam, V. and Wüthrich, C. (2018). Spacetime is as spacetime does. *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 64:39–51.
- Lewis, D. (1973). *Counterfactuals*. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Linnemann, N. (2021). On the empirical coherence and the spatiotemporal gap problem in quantum gravity: And why functionalism does not (have to) help. *Synthese*, 199:S395–S412.

- Loewer, B. (1996). Humean supervenience. *Philosophical Topics*, 24(1):101–127.
- Lutz, S. (2014). Generalizing empirical adequacy i: Multiplicity and approximation. *Synthese*, 191(14):3195–3225.
- Lutz, S. (2021). Generalizing empirical adequacy ii: Partial structures. *Synthese*, 198:1351–1380.
- Magnus, P. D. (2012). *From Planets to Mallards: Scientific Enquiry and Natural Kinds*. Palgrave Macmillan, Basingstoke.
- Manero, J., Muciño, R., and Okon, E. (2025). On the detection of absolute velocity in a newtonian universe. Manuscript in review.
- Maudlin, T. (2007). *The Metaphysics within Physics*. Oxford University Press, New York.
- Maudlin, T. (2018). Ontological clarity via canonical presentation: Electromagnetism and the Aharonov–Bohm effect. *Entropy*, 20(6):465.
- Monton, B. (2002). Wave function ontology. *Synthese*, 130(2):265–277.
- Mumford, S. (2004). *Laws in Nature*. Routledge, London.
- Ney, A. (2015). Fundamental physical ontologies and the constraint of empirical coherence: A defense of wave function realism. *Synthese*, 192(10):3105–3124.
- Ney, A. (2017). Finding the world in the wave function: Some strategies for solving the macro-object problem. *Synthese*, 197:4227–4249.
- Ney, A. (2021). *The World in the Wave Function: A Metaphysics for Quantum Physics*. Oxford University Press, Oxford.
- Psillos, S. (1999). *Scientific Realism: How Science Tracks Truth*. Routledge, London.
- Shoemaker, S. (1980). Causality and properties. In van Inwagen, P., editor, *Time and Cause*, Philosophical Studies Series in Philosophy, pages 109–135. Reidel, Dordrecht.
- Suárez, M. (1995). How theories save phenomena: A case against “embedding”. Unpublished manuscript, London School of Economics.
- Suárez, M. (2005). The semantic view, empirical adequacy, and application. *Crítica: Revista Hispanoamericana de Filosofía*, pages 29–63.
- Teller, P. (2021). Making worlds with symbols. *Synthese*, 198(21):5015–5036.
- Thébault, K. P. Y. (2021). The problem of time. In *The Routledge Companion to Philosophy of Physics*, pages 386–400. Routledge, London.
- Tooley, M. (1977). The nature of laws. *Canadian Journal of Philosophy*, 7:667–698.
- van Fraassen, B. C. (1980). *The Scientific Image*. Clarendon Press, Oxford.
- van Fraassen, B. C. (1989). *Laws and Symmetry*. Clarendon Press, Oxford.

Whitehead, A. N. (1929). *Process and Reality*. The Free Press, New York.

Worrall, J. (1984). An unreal image. review of (van Fraassen 1980). *The British Journal for the Philosophy of Science*, 35:65–80.