

UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO



DIVISIÓN DE CIENCIAS SOCIALES Y HUMANIDADES

CAMPUS GUANAJUATO

“LA CONTROVERSIAS DEL REALISMO CIENTÍFICO Y SU INFLUENCIA EN LA HISTORIA DE LA FÍSICA”

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN FILOSOFÍA

PRESENTA:

JOSÉ GUSTAVO SÁMANO DÁVILA

DIRECTORES DE TESIS:

DRA. MARÍA L. CHRISTIANSEN

DR. VICENTE ABOITES

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, he de agradecer a las instituciones que han hecho posible este trabajo. A la Universidad de Guanajuato por brindarme un espacio seguro y estimulante para realizar mi investigación, así como el libre acceso a los diferentes campus con el objetivo de ampliar el conocimiento y cuya finalidad ha de ser, siempre, la efectiva transversalidad de saberes. Al CONACYT, sin cuyo generoso apoyo económico esta empresa hubiese sido inconcebible.

En segundo lugar, deseo agradecer a todos los profesores que tuvieron la paciencia de enseñarme, discutir y debatir diferentes ideas y problemas filosóficos. Sin esta tesis llega a tener algo de rigurosidad, es por su invaluable influencia. Gracias infinitas a los doctores Jesús Ruiz Pozo, Pedro Arriaga y Edith Velazquez por permitirme obtener algo de su inmenso conocimiento. Sobre todo, gracias a mis directores de tesis: a la Dra. Christiansen por sus siempre estimables sugerencias y constante apoyo, ya desde la licenciatura, sin los cuales este proyecto no hubiera llegado a buen término; al Dr. Aboites le agradezco su entusiasmo, guía y consejo, su influencia y compromiso con dos campos tan dispares del saber han sido una de mis principales fuentes de inspiración.

En tercer lugar, quiero agradecer a mis amigos, los viejos y los nuevos, filósofos y no filósofos (al menos no profesionales) que me han apoyado moralmente para finalizar este proyecto y, ¿por qué no?, que también me han distraído un poco. Gracias infinitas a Gerard, José Manuel, Armando, Paquillo, Yuca, Juma, Jimbo, Dorian, Dave, Berni, los de la Línea, Kamala, Chiquis y un largo etcétera.

En cuarto lugar, un agradecimiento especial al Dr. Luis Miguel Peris Viñé y a la Universidad de Granada por tan grato recibimiento y estancia. Fue un placer modificar la perspectiva que tenía de la filosofía de la ciencia a la luz del estructuralismo.

Finalmente, pero no por eso menos importante, gracias infinitas a mis suegros, mis cuñados y cuñadas por su constante ayuda. A mi abuelito por su impagable apoyo. Y, sobre todas las cosas, gracias a mi esposa, Mónica Martínez, por su apoyo, entrega y amor invaluable: sin ti, esto no sería posible.

Índice

Introducción	1
Capítulo 1. Del realismo metafísico al realismo científico	7
1.1 Generalidades sobre el realismo metafísico	7
1.1.1 Realismo ontológico	8
1.1.2 Antirrealismo	9
1.1.3 Idealismo	10
1.2 Enfoques epistémicos	13
1.2.1 Realismo ingenuo	13
1.2.2 Escepticismo	15
1.3 Teorías de la verdad	18
1.3.1 Verdad como adecuación/correspondencia	19
1.3.2 Verdad como coherencia	22
1.3.3 Pragmatismo	24
1.4 Realismo científico	26
1.4.1 Definición	27
1.4.2 Instrumentalismo	28
1.4.3 Componentes y niveles del Realismo científico	33
Capítulo 2. Realismo científico e instrumentalismo en la historia de la física	38
2.1 Galileo: realismo en los inicios de la ciencia moderna	38
2.1.1 El libro y las leyes de la naturaleza	40
2.1.2 Realismo científico como premisa de la nueva ciencia	48
2.1.3 Influencia de Platón en Galileo	53
2.2 Instrumentalismo y la teoría electromagnética de Maxwell	58
2.2.1 Teorías físicas y clasificación de leyes	58
2.2.2 Las leyes de Maxwell	61

2.2.3 El instrumentalismo del siglo XIX	67
2.3 Entes teóricos.....	78
2.3.1 Definición de ente teórico.....	78
2.3.2 Breve historia del átomo	81
2.3.3 Breve historia el electrón	85
Capítulo III. La controversia del realismo en la Filosofía de la Ciencia.....	90
3.1 Teorías como instrumentos	90
3.1.1 La teoría física.....	91
3.1.2 Clasificación natural	96
3.2 NMA: el argumento del milagro.....	101
3.2.1 Exposición del NMA.....	102
3.2.2 NMA: objeciones	105
3.3 Niveles de realismo y antirrealismo científicos.....	109
3.3.1 Leyes vs. Teorías.....	110
3.3.2 Entes teóricos.....	117
Conclusión	123
Bibliografía	125

Introducción

I.

La filosofía es una disciplina que actualmente se caracteriza por la gran cantidad de preguntas que genera y las pocas respuestas convincentes que brinda a ellas. A la pregunta por el *arjé*, el primer principio del cual se constituían todas las cosas, se contestó con tantos principios como filósofos se ocuparon del tema: el agua, el aire, el *ápeiron*, el fuego, etcétera. A la pregunta por el origen del conocimiento, en la modernidad, se respondió con las doctrinas del empirismo, el racionalismo y el criticismo kantiano. Y así, por cada problema existente en la filosofía, hay al menos dos posturas irreconciliables que pretenden responder a la cuestión planteada.

La física, por otro lado, parece que ha avanzado de manera muy distinta a la filosofía. A partir de Galileo, la física ha respondido de manera cada vez más eficaz a sus preguntas. Ha podido dar cuenta de la naturaleza del movimiento acelerado, el calor, la luz, la electricidad, el magnetismo, el sonido, la estructura de la materia y la energía, por nombrar sólo algunos ejemplos. El consenso acerca de la validez de las respuestas a las preguntas hechas por la física es la principal característica de la ciencia y la que determina su éxito. Pero este consenso no es el que determina la verdad de las teorías físicas, es la verdad de las mismas la que define dicho consenso.

La filosofía, por el contrario, sólo logra el consenso cuando existe una pregunta bien planteada, cuando se encuentra con un problema irresoluble. Todos los filósofos coincidirán en que el problema existe, pero será imposible llegar a una resolución que satisfaga a todos.

No hay situación más dispar entre dos campos del conocimiento: la filosofía y la física. La primera infunde dudas y crea preguntas; la segunda nos da las respuestas más exactas. No obstante, existe un punto donde las dos se encuentran: existen preguntas de naturaleza filosófica que se presentan al interior de la ciencia física. Al igual que los problemas filosóficos más generales, las preguntas filosóficas particulares de la física generan posturas irreconciliables, a pesar del consenso casi universal logrado en las aplicaciones de la propia ciencia. Por ejemplo, dos físicos pueden estar de acuerdo en que

la ley de Ampere es una ley fundamental del electromagnetismo, pero pueden no estarlo acerca del significado de “ley fundamental”.

Un problema filosófico que surge al preguntarse sobre la naturaleza de la propia ciencia física es el del realismo. La pregunta por lo real, ¿qué es lo real?, es una de las preguntas filosóficas más antiguas y fascinantes con las que ha tratado la humanidad, y es una de las fundamentales de la filosofía. El realismo es una posición filosófica que afirma que existe un mundo independiente del sujeto que la conoce; dicha postura afirma que existe *la realidad*. Pero en filosofía siempre hay una postura contraria: el antirrealismo afirma que dicha realidad no existe, o que no podemos saber que existe. Ésta última tesis se apoya en razonamientos escépticos, mismos que son muy difíciles de rebatir. Pero el problema del realismo en la física, y en la ciencia en general, es ligeramente distinto.

Existen las teorías físicas. Estas teorías son formuladas en lenguaje matemático. La teoría electromagnética de Maxwell o la teoría cinética de gases son dos ejemplos. Pero el problema filosófico se presenta cuando se quiere definir en qué consisten estas teorías. Por un lado, hay quienes consideran que las teorías son explicaciones acerca de la realidad: una teoría aceptada como verdadera refiere a estructuras del mundo que son independientes del sujeto cognoscente. Entre más confianza se tenga en la exactitud de la teoría, más se puede estar seguro acerca de la exactitud de la descripción de dicha realidad. Tal es la posición del *realismo científico*. Por otro lado, hay quien piensa que las teorías son herramientas conceptuales que nos ayudan a sistematizar la aleatoriedad de los fenómenos, pero que no corresponden a la realidad última del mundo. Así pues, pueden existir múltiples teorías para explicar los fenómenos, y el único criterio que existiría para escoger una teoría u otra sería la utilidad que se pudiera encontrar en ellas. El *instrumentalismo* es la posición filosófica que afirma que las teorías científicas son, por muy exitosas que sean, tan sólo herramientas para entender o modificar el mundo.

Esas posiciones filosóficas son tan antiguas, al menos, como la misma ciencia. En el fondo, son discursos acerca del valor de las teorías científicas: para el realismo científico, el valor de las teorías reside en su verdad; para el instrumentalista, dicho valor recae en su utilidad.

Existe un vasto repertorio de argumentos para defender cualquiera de las dos posturas. Por lo que ambos discursos sobre el valor de las teorías científicas pueden

considerarse racionales. Debido a la racionalidad que presentan ambas posturas, se ha decidido que no es el problema de esta investigación el defender una de las dos posturas o tratar siquiera de conciliarlas. Existe un problema más que debe ser expuesto.

La filosofía ha sufrido el estigma, casi desde su génesis, de ser inútil y ociosa. Es tachada de ser una actividad sin finalidad práctica. La física, por el contrario, se ha revelado como la disciplina empírica por excelencia. Cada descubrimiento que han hecho los físicos ha devenido en una aplicación que ha cambiado el mundo. El descubrimiento de la ley de Faraday permitió la creación de motores eléctricos, de generadores de electricidad mecánicos y no sólo químicos, y generando toda una serie de nuevos aparatos impensables tan sólo un siglo antes de ser enunciada. ¿Qué utilidad, qué aplicación puede existir en un problema filosófico sobre la física?

La problemática entre las tesis del realismo científico y el instrumentalismo han producido resultados en la práctica científica, al menos en la física, en distintos periodos de su evolución. Tal es la tesis a defender en este trabajo. Hay que aclarar, sin embargo, el sentido de tal tesis. Se ha de demostrar en qué medida, la problemática del realismo ha influido en los filósofos naturales y los físicos (que en muchos casos han sido los mismos individuos) de manera que las teorías científicas que engendraron son el resultado de la reflexión filosófica. Es decir, una reflexión filosófica acerca de la naturaleza de la propia ciencia, de sus objetivos y finalidades, así como de sus alcances y limitaciones, dio como resultado el surgimiento de teorías científicas específicas.

Esto no quiere decir que el surgimiento de teorías o hipótesis científicas esté determinado por el pensamiento filosófico. Tampoco quiere decir que los casos analizados fueron completamente definidos por dicha reflexión. El punto central es que existió dicha actividad filosófica y que influyó, en mayor o menor medida, al surgimiento de alguna teoría o hipótesis en la física. Galileo Galilei defendió un realismo científico explícito ante tesis estrictamente instrumentalistas, lo cual definió la naturaleza de la ciencia moderna hasta Isaac Newton. Al contrario, el instrumentalismo resultó fructífero durante la segunda revolución científica del siglo XIX. Así pues, no es un objetivo defender una u otra posición, sino mostrar cómo ambas posturas devinieron en una práctica científica específica. Ambas tesis resultaron provechosas en determinados periodos de tiempo. Y, en

efecto, ambas fueron también nocivas en determinados contextos. El punto principal es que fueron influyentes y no sólo discusiones ociosas o inútiles.

II.

La problemática del realismo científico es un problema filosófico. Como tal, está directamente relacionado con el problema más general del realismo metafísico. En el primer capítulo de esta tesis de maestría, se intentará caracterizar el problema general del realismo metafísico para desprender de él el más particular del realismo científico. La pertinencia de tal delimitación, de la filosofía más general hasta la más particular, obedece dos directrices: 1) mostrar cómo ciertos argumentos se repiten a pesar de los distintos campos de aplicación, la metafísica y la ciencia; 2) dilucidar cómo a pesar de las diversas semejanzas que presentan el problema del realismo metafísico-ontológico con el realismo científico, existen también diferencias específicas que los convierten en problemas distintos.

La estructura del primer capítulo debe su forma, en gran parte, a la distinción que el filósofo griego Stathis Psillos sobre los componentes que forman al realismo científico. Según este filósofo de la ciencia griega, el realismo científico presenta tres tesis principales: la afirmación del realismo metafísico; la teoría correspondentista, o adecuacionista, de la verdad; y un criterio verificacionista, o “estancia epistémica” que afirma que entre más confirmada está una teoría, más describe la forma real del mundo. Por tal motivo, el primer capítulo trata de definir en qué consiste la tesis del realismo metafísico, sus problemas generales y las alternativas que se han presentado a dicha idea según la historia clásica de la filosofía. Después se presentan las principales teorías sobre la verdad, para comprender en qué consiste la concepción de la verdad como “correspondencia” y qué otras posturas existen. Además, las ideas que presenta el escepticismo son muy importantes como argumentos de los antirrealistas e instrumentalistas, por lo que se le dedica también un apartado. Una vez delimitados estos problemas, se le concede un espacio a la definición propia de la problemática del realismo científico.

En el segundo capítulo se ha optado por la presentación de algunos casos paradigmáticos que ilustran la problemática del realismo científico en distintas etapas de la historia de la física. La selección de casos también obedece a dos principales razones. La

primera de ellas es la diferenciación entre *niveles* de realismo. La segunda obedece a la selección de periodos de tiempo estrictamente realistas o instrumentalistas.

Los diferentes niveles de realismo vienen de la diferencia que existe entre las leyes físicas y las teorías físicas. Siguiendo la exposición de Pierre Duhem, se caracterizan las teorías físicas como una clasificación de leyes. Históricamente, los físicos obtienen primero leyes y después elaboran teorías que sistematizan a las primeras. Por otro lado, los realistas consideran dichas leyes como estructuras *naturales* que el científico *descubre*. El instrumentalista, sin embargo, las caracteriza como leyes empíricas que resumen ciertas experiencias o regularidades encontradas en los fenómenos. Las teorías son, pues, posteriores a las leyes, tanto lógicamente como históricamente hablando. Pero también hay aquí el mismo problema: ¿es dicha clasificación el reflejo de un orden natural de las leyes que ordena o simplemente una invención que representa una “economía del pensamiento”?

Otro nivel interesante, y sin duda el más estudiado, tiene que ver con los *entes teóricos*. Estas entidades son objetos postulados o definidos por las teorías para explicar ciertos fenómenos. Después de separarlos en “observables” y “no observables”, se analiza el caso de estos últimos.

El segundo criterio de la estructura del segundo capítulo es hacer obvio para el lector que existe una diferencia entre las ideas filosóficas de los distintos periodos. Las ideas de Galileo Galilei reflejan sus convicciones realistas en cuanto a la existencia de leyes naturales. El segundo periodo se refiere a la evolución de las ideas instrumentalistas de James Clerk Maxwell que le permitieron elaborar su teoría electromagnética, es decir, la síntesis de las leyes experimentales del electromagnetismo en un solo cuerpo teórico lógicamente estructurado. Por otra parte, se muestra a grandes rasgos la historia de la aceptación del átomo y del electrón, los entes teóricos no observables que una y otra vez fueron invocados por diversas teorías e hipótesis.

Una vez expuestas las tesis filosóficas generales del realismo en el primer capítulo y los ejemplos tomados de la física en el segundo, el tercer capítulo versará exclusivamente sobre filosofía de la ciencia. Se expondrán algunos de los principales argumentos y problemas de la controversia sobre el realismo científico. Puesto que la literatura es abundante, se ha escogido el siguiente criterio: puesto que las ideas de Pierre Duhem siguen formulándose con el paso de los años, a pesar de la multiplicidad de autores, se ha optado

por exponer sus ideas en el primer apartado del último capítulo. El “argumento del milagro” (Non Miracle Argument) es el principal contraargumento que invocan los realistas, como Hilary Putnam en sus inicios, para tratar de refutar el instrumentalismo, y es analizado por varios autores, como Psillos, Van Fraassen, Cartwright, entre otros, así que se le dedica un apartado. Finalmente, se exponen las opiniones de Ian Hacking en el último subcapítulo dedicado al “realismo experimental”, en el que se defiende un tipo de realismo que incide sobre todo en el problema de la existencia de los entes teóricos no observables.

Si bien la controversia del realismo científico es mucho más amplia y la cantidad de argumentos que tanto realistas como instrumentalistas son abundantes, así como los matices entre posturas y diferencias entre distintos autores, se han elegido los temas del último capítulo como los más relevantes y claros, de manera que se puedan reconocer posteriormente en cualquier otro discurso.

Capítulo 1. Del realismo metafísico al realismo científico

1.1 Generalidades sobre el realismo metafísico

Hay un real físico. Y el milagro a explicar consiste en que se requieran las teorías matemáticas más desarrolladas para interpretarlo.

-Albert Lautman

El realismo es la postura filosófica que asume, o afirma, que existe un mundo *real* independiente del sujeto cognoscente. Es decir, incluso si no hubiera un sujeto *observando* o *conociendo* este supuesto mundo real, dicho mundo seguiría existiendo. Extrapolando aún más las cosas, dicho mundo precedería a cualquier sujeto cognoscente (o al menos en principio podría ser así) y, por ende, sería absolutamente independiente del mismo, o no habría contradicción si fuera de esa manera. Este mundo *real* se corresponde con el mundo de las *cosas en sí*, independientes de todo sujeto y por esto sería un mundo absolutamente *objetivo*, en contraposición con las afecciones internas del sujeto, y por ellos llamadas *subjetivas*. Los términos *cosa*, *objetivo* u *objeto* y *real* remitirían, pues, a la misma idea. El término *real* y sus derivados, *realismo*, *realidad*, *realmente*, provienen de la raíz *res*: cosa¹.

El realismo, “la tesis de que hay cosas reales” (Bunge, 2007:57), sólo puede ser postulado. No existe ninguna manera de demostrar tal premisa como verdadera; no existe ninguna forma de probar con absoluta certeza que, en efecto, existe tal mundo externo al sujeto. Por tal razón, se dice del realismo que es una postura metafísica, ya sea porque afirmarla excede los límites de la experiencia (Kant, 1783) o porque sea una proposición sin sentido (Wittgenstein, 1997); el punto es que las únicas posiciones posibles son

¹ “...con lo cual podría generalizarse un significado del tipo ‘posición que defiende la realidad de las cosas’, que en latín resultaría redundante: *realitas rerum*” (Muñoz y Velarde, 2000:491).

aceptarlo o negarlo, sin que exista ningún criterio racional lo suficientemente contundente para preferir una u otra postura.

1.1.1 Realismo ontológico

Afirmar la existencia de un mundo externo independiente al sujeto no agrega nada más a nuestro conocimiento de dicho mundo. Existen más premisas que se han presupuesto y que han sido el núcleo de la investigación filosófica durante siglos. Así pues, no basta afirmar el realismo: si existe dicho mundo, ¿en qué consiste? ¿Qué es lo real?

Se puede decir que el realismo es la postura metafísica más antigua del hombre. Sus experiencias le hacen pensar, casi de inmediato, que en efecto existe un mundo en el que él se desenvuelve. Hace falta un ejercicio reflexivo para cuestionar dicha realidad. Parafraseando a Descartes, para dudar de algo, dicho algo debe estar presupuesto de antemano. Así pues, el realismo podría ser considerado como una posición, en cierto sentido, natural. Pero también es natural pensar que dicho mundo real, además de existir externa e independientemente del sujeto, también está constituido por *entes* bien diferenciados, como una experiencia directa podría indicar. Pero dichos entes podrían ser *cosas* o *ideas*, por ejemplo.

Una experiencia no permeada por la reflexión filosófica asume que existen *cosas* tales como las mesas, los animales, otras personas, el agua o la computadora en la que se está escribiendo. Dichas *cosas* tienen una existencia *real*, tangible. Se pueden tocar. Pero Platón, hace dos mil años, ya cuestionaba la *realidad* de dichos objetos. Asumía que eran simples ilusiones, pálidos reflejos de la verdadera realidad: el mundo de las Ideas, o Formas. Así pues, Platón acepta la premisa realista, pero niega que existan *cosas* tales como *objetos*, lo que es *real* son las ideas, descartando la experiencia sensible como vana ilusión². Esta posición platónica es importante porque en buena medida influirá en las concepciones que la ciencia moderna aceptará acerca de la realidad y el mundo.

² “-Pero ¿acaso los has percibido con algún otro de los sentidos del cuerpo? Me refiero a todo eso, como el tamaño, la salud, la fuerza, y, en una palabra, a la realidad de todas las cosas, de lo que cada una es. ¿Acaso se contempla por medio del cuerpo lo más verdadero de estas, o sucede del modo siguiente: que el que de nosotros se prepara a pensar mejor y más exactamente cada cosa en sí de las que examina, éste llegaría lo más cerca posible del conocer de cada una?”

En resumen, puedo aceptar que el mundo externo al sujeto existe³, pero dicho mundo consiste en *ideas* u *objetos*. El realismo *ontológico* afirma, pues, la existencia de *entes* externos al sujeto, y en esto radica su particularidad. En sentido estricto, no se le puede llamar *idealismo* a la doctrina platónica porque dichos entes siguen existiendo sin intervención del sujeto cognoscente, lo que no pasa con el *idealismo alemán*, por ejemplo. Pero cualquier posición que afirme que existen *entes* externos independientes del sujeto cognoscente puede etiquetarse, con fines prácticos, como *realismo ontológico*. Este es el tipo de realismo en el que piensa Mario Bunge (2007) cuando dice que “a su vez, la «realidad» puede definirse como el conjunto de todas las cosas reales” (:56). En el caso de Platón, dichas cosas reales son las *Formas* o *Ideas: eidós*.

1.1.2 Antirrealismo

Las posturas antirrealistas niegan la existencia de un mundo externo al sujeto. La experiencia que tenemos acerca de un mundo sería, en este caso, tan sólo una ilusión. Pero dichas concepciones van más allá del platonismo. Platón señala que el mundo sensible es, a final de cuentas, un reflejo del mundo de las Ideas, así que algo tiene de *real*. Es decir, el platonismo admite *grados* de realidad en algunas de sus interpretaciones. El antirrealista niega también este último punto. Nada existe externo al sujeto, ni ideas, ni objetos. Si no existe algo tal como la realidad, o lo real, entonces ¿qué es lo que percibo mediante los sentidos o la experiencia?

La postura antirrealista se revela como contraria a la experiencia: no existen la luz, las casas, las montañas, los sonidos, los sabores, mis padres o la fuerza de gravedad⁴. Sé

“-Así es, en efecto.

“-Entonces, ¿lo hará del modo más puro quien en rigor máximo vaya con su pensamiento solo hacia cada cosa, sin servirse de ninguna visión al reflexionar, ni arrastrando ninguna otra percepción de los sentidos en su razonamiento, sino que, usando sólo de la inteligencia pura por sí misma, intente atrapar cada objeto real puro, prescindiendo todo lo posible de los ojos, los oídos y, en una palabra, del cuerpo entero, porque lo confunde y no le deja al alma adquirir la verdad y el saber cuando se le asocia? No es ése, Simmias, más que ningún otro, el que alcanzará lo real?” (Platón, Fedón, 65d-66a).

³ “El mundo exterior existe independientemente del sujeto cognoscente” (Bunge, 2007:58).

⁴ “El antirrealismo está desfasado en relación con la ciencia y la tecnología, las cuales están orientadas a la exploración o modificación de la realidad” (Bunge, 2007:133). De donde se seguiría que la ciencia y la tecnología serían disciplinas que supondrían abiertamente el realismo, lo cual tiene mucho de verdad: ningún

que tengo una experiencia, un complejo haz de sensaciones y estímulos a los cuales les asigno un nombre y que puedo diferenciar bien, por lo menos en los casos más simples, pero de ellos no puedo concluir que *necesariamente* exista un ente externo a mí que provoca dicho estímulo.

Como bien señala Descartes, todo podría ser un sueño, un genio maligno podría estar provocando todo ese haz de sensaciones para engañarme. Segismundo, en *La vida es sueño*, no puede saber si está soñando o está en el mundo real, no sabe si es engañado o no, por más natural que se presente ante él su experiencia. ¿Cómo saberlo? Así pues, el antirrealista niega que exista dicho mundo, aunque las consecuencias de dicha postura también dependerán de la doctrina filosófica. En términos generales, los filósofos que más abiertamente antirrealistas se han mostrado han sido Berkeley⁵ y Fichte. Aunque ambos por razones diferentes.

Ian Hacking expone que “los antirrealistas pueden parecerle necio al experimentalista, pero las preguntas acerca del realismo son recurrentes en la historia del conocimiento” (1996:42), lo cual hace pensar en la importancia de la postura antirrealista, ya que es precisamente ésta la que genera los puntos del debate. Si no existieran las posturas antirrealistas, no habría ninguna controversia. La postura es más seria de lo que podría parecer al principio, y sus implicaciones aún se pueden encontrar en los debates que se suscitan en las ciencias físicas actuales.

1.1.3 Idealismo

De la controversia sobre el realismo tan sólo se puede admitir una dicotomía: el mundo *real* (externo al sujeto) existe o no existe. El idealismo representa una forma particular de antirrealismo en su forma más extrema. Se parte de considerar a las

científico estaría dispuesto a decir que no está investigando lo real, o que sólo está investigando una vana ilusión. Pero, como se adelantó más arriba, aun así sólo se le presupone, no puede ser probada.

⁵ “There was an odour, that is, it was smelled; there was a sound, that is to say, it was heard; a colour or figure, and it was perceived by sight or touch. This is all that I can understand by these and the like expressions. For as to what is said of the absolute existence of unthinking things without any relation to their being perceived, that seems perfectly unintelligible. Their *esse* is *percipi*, nor is it possible they should have any existence, out of the minds or thinking things which perceive them”. (1999:25).

sensaciones y a la experiencia en general como producto de la propia mente del sujeto, para el idealismo de Fichte, por ejemplo, o como una ilusión causada por Dios, como sostendría Berkeley. El caso es que en ambas situaciones no existe el mundo que se presupone causa nuestras sensaciones. En términos más actuales, no existiría ningún referente *real* para nuestras sensaciones o representaciones. No existe ningún estrato *nouménico* al cual se refieran nuestras intuiciones sensibles, en términos de la filosofía kantiana.

El idealismo alemán se presenta en varias formas. Kant, en la *Crítica de la Razón Pura*, asume una postura realista: existe un estrato *nouménico*, de las cosas en sí que, sin embargo, no es cognoscible.

Como los fenómenos no son más que representaciones, el entendimiento los refiere a un *algo* como objeto de la intuición sensible. Pero, en este sentido, ese algo es sólo el objeto trascendental. Este, a su vez, significa algo = x de lo que nada sabemos, ni podemos (dada la disposición de nuestro entendimiento) saber. (Kant, 1781/2002:268).

Lo único que podemos conocer son los *fenómenos*, es decir, lo que se muestra a nuestra intuición sensible, por lo que no podemos conocer el mundo, que llamaríamos real, como es en sí mismo, o como es realmente, si se quiere redundar. Lo que conoce el sujeto viene determinado por su propia estructura cognoscitiva, por ende lo conocido adquiere, de cierta manera, la forma del sujeto, o la forma de las “categorías” predeterminadas del sujeto. El mundo es como es no porque sea así en sí mismo, sino porque así lo conozco, porque así es la única manera en que lo puedo conocer. Las cosas en sí son inaccesibles, por lo cual el conocimiento es siempre un acto incompleto. Para Kant, no obstante, que no se puedan conocer las cosas en sí no implica que no existan.

La crítica de Fichte al *criticismo* de Kant es que el filósofo acepta la tesis realista sin discutirla, sin someterla a la crítica. Kant presupone que dicho noumeno existe sin ninguna razón o argumento que valide su tesis.

La *cosa en sí*⁶ es una mera invención y no tiene absolutamente ninguna realidad. No se presenta por ventura en la experiencia, pues el sistema de la experiencia no es nada más que el pensar acompañado por el sentimiento de la necesidad, ni puede ser considerado

⁶ Las cursivas son mías.

como nada más ni siquiera por el dogmático, que, como todo filósofo, tiene que fundamentarlo. El dogmático quiere, es verdad, asegurar a la cosa en sí realidad, es decir, la necesidad de ser pensada como fundamento de toda experiencia, y llegaría a ello si mostrase que la experiencia se puede explicar realmente por ella y sin ella no se puede explicar, pero justamente esa es la cuestión, y no es lícito suponer lo que hay que demostrar. (Fichte, 1984:38)

Así que Fichte decide llevar las ideas kantianas más lejos, y expone que la apercepción trascendental, el *yo*, construye o crea el mundo externo, el *no-yo*. Así pues, la experiencia sensible, el conocimiento, el mundo externo que presuponemos sería todo, en última instancia, un producto de la subjetividad, de la actividad de la apercepción trascendental, del *yo*, y todo se reduciría a este. Este tipo de idealismo radical coincide con el antirrealismo.

1.2 Enfoques epistémicos

Si antes de Copérnico hubierais preguntado a la Tierra entera: “Se ha levantado el sol? ¿Se ha puesto hoy?” Todos los hombres hubieran respondido “tenemos sobre eso una certeza absoluta”. Estaban ciertos, y estaban en el error.

-Voltaire

Una vez vistas las posiciones más generales sobre la tesis realista se debe atender la relación con otras concepciones epistemológicas. Si el realismo se acepta, entonces cabe hacer las siguientes preguntas: ¿es posible conocer la realidad? ¿Cómo es que se le conoce? Si no se acepta, ¿en qué consiste el conocimiento? Si existe el conocimiento, pero no algo tal como la realidad, ¿qué es lo que conocemos? Las diferentes respuestas a estas y otras preguntas determinan algunas posturas que influyen en las distintas controversias sobre el realismo. Siguiendo a Hacking (1996), también se puede decir que tanto el antirrealismo como el realismo se funden con otras concepciones epistemológicas: “el antirrealismo también se nutre de ciertas concepciones del conocimiento. A veces surge la doctrina de que sólo podemos realmente conocer lo que está sujeto a la experiencia sensible” (:43); “Por ejemplo, históricamente el realismo se ha mezclado con el materialismo, que en una de sus versiones nos dice que todo lo que existe está compuesto de pequeños bloques materiales” (:42).

1.2.1 Realismo ingenuo

El realismo ingenuo acepta la premisa realista y además asume que la realidad, el mundo en sí, o de las cosas en sí, es conocida como es en sí, tal cual es. Es decir, conocemos el mundo tal como es a través de nuestros sentidos, de la experiencia. O también aprendemos cómo es el mundo real a través de la razón, que deduce de la experiencia sensible el sustrato real del mundo. Nuestra experiencia sensible, o la razón, nos informa fielmente de

la estructura del mundo real. La manzana es tal como se me muestra, con su figura, su color, su estructura, sabor, etcétera.

Es, en realidad, una posición muy natural el asumir que se conoce al mundo tal cual es. El sentido común no nos da una razón para dudar de la experiencia inmediata, en un primer vistazo al mundo, que asumimos existe, no nos percatamos de que exista algún motivo para dudar de la información de nuestros sentidos. Si algo se puede ver, escuchar, tocar, oler, o saborear, es porque debe existir; debe haber algo que provoca todas esas sensaciones en mí, sobre todo si las produce al mismo tiempo, ya sean varias o todas. La mayor parte de la población acepta tanto la premisa del realismo como un hecho, y también que se conoce al mundo tal cual es a través de los sentidos. El realismo ingenuo es, por decirlo de alguna manera, la posición prefilosófica *natural* del hombre; y por ser las posiciones más naturales, son también las más antiguas y las más difíciles de desarraigar. Pero ambas premisas siguen siendo, a final de cuentas, metafísicas. No se puede probar (hasta el momento) que conozcamos el mundo tal y como es en verdad, tan sólo se presupone.

El realismo ingenuo es, pues, aquella postura filosófica que asume que la realidad es conocida tal cual es. El epíteto de “ingenuo” se debe a que esta posición ha sido criticada casi desde los albores mismos de la filosofía, tanto por argumentos de los sofistas, de Platón y, sobre todo, de los escépticos; al ser el blanco de tanta crítica, es muy inocente pensar que, efectivamente, conocemos de esta manera. En efecto, se puede argumentar que el conocimiento inmediato que brinda la experiencia es inexacto en muchas ocasiones: jamás se ve un cuerpo completo, sólo una parte de él; el hombre es víctima de ilusiones, algunos objetos parecen más grandes o más chicos de lo que aparentan; algunos objetos parecen alguna otra cosa y sólo advertimos la diferencia después de una investigación minuciosa, etcétera.

Sobre el realismo ingenuo cabe hacer otra distinción. No sólo es realismo ingenuo el que admite que se pueda conocer la realidad, tal cual es, por medio de los sentidos, también lo es la posición que acepta que se puede conocer, tal cual es, por vía racional. Piénsese en la ciencia astronómica: se asume, desde la antigua Grecia, que el movimiento desordenado que se advierte en los planetas es en realidad el resultado de movimientos más simples, y racionales, que se pueden conocer, o deducir mediante razonamientos geométricos. Por lo

que se deduce que lo ingenuo de la concepción es asumir que se puede conocer el mundo real *tal cual es, o como es en sí*, independientemente de si dicho conocimiento se obtiene por la experiencia sensible, como afirma el empirismo, o por el razonamiento o la inteligencia, posición que defendían los racionalistas.

1.2.2 Escepticismo

Del escepticismo existen varias nociones que sería pertinente diferenciar para evitar confusiones. El tipo más general de escepticismo, es aquel que niega que el conocimiento sea posible. Eso podría deberse a múltiples factores: los propios límites de las capacidades cognitivas humanas, la constitución de nuestros sentidos, la modificación de la realidad captada a través de estos, etcétera. Pero, por idénticas razones, hay grados de escepticismo. Existen posiciones que indican que, si bien no es posible un conocimiento completo, o exacto, del mundo, es posible conocerlo parcialmente, o hay algunas otras cosas que sí podemos conocer:

...según el tipo de duda que se plantea, la negación del conocimiento puede ser radical al sostener que no conocemos un estado de cosas determinado –es decir, que no conocemos la **verdad** de cierto **enunciado**–, o matizada al señalar que si bien no conocemos si un determinado estado de cosas se da, tampoco podemos estar seguros de que este no se dé (esto es, que no conocemos la verdad de cierta proposición, pero tampoco su falsedad). En este último caso, ha de tenerse en cuenta que el ataque escéptico se dirige directamente a las condiciones de **justificación**, es decir, no niega que haya juicios correctos, sino que afirma la imposibilidad de determinar si un juicio es correcto o no. En este sentido de escepticismo, quizá el más importante hoy en día de cuantos contiene el término, la duda escéptica se refiere al conocimiento con **certeza** de los estados de cosas y afecta, por tanto, a la posibilidad de tener evidencia de la verdad de nuestros juicios.” (Muñoz y Velarde, 2000:226-227).

Nunca se puede estar seguro de que un juicio, una proposición o una teoría sea verdadera, en el sentido de que *se corresponda con la realidad*⁷. De esta manera, el escéptico desconfía tanto de los datos de los sentidos, como de las capacidades del intelecto para indagar en la realidad y descubrir sus secretos. No existe forma en la que se pueda estar seguro, que se tenga una certeza, de que obtengo un conocimiento del mundo.

Ahora bien, el escéptico puede desconfiar de la certeza del conocimiento por razones diversas. Entre estas razones, puede haber la posición antirrealista: no es posible el conocimiento de la realidad porque dicha realidad no existe. O bien, si existe la realidad, no se puede estar seguro de que lo que se dice de ella sea certero. Y en el caso de que sea certero, nunca se puede saberlo.

Además de este tipo de escepticismo epistemológico, también existe el metodológico, que es menos extremo en sus pretensiones. En la vida diaria, se le llama escépticas a las personas que se toman ciertas afirmaciones o teorías con cautela. Si a alguien se le dice que hay un fantasma en su casa, la persona escéptica tomará con reserva la aseveración, no la creerá como cierta. Dicha persona no duda que el conocimiento sea posible, duda que existan los fantasmas y que el enunciado “hay un fantasma en la casa” sea, por ende, verdadero. Así pues, el otro sentido de escepticismo tiene que ver con su origen etimológico: *mirar con cuidado*⁸. Esta reserva metodológica es una actitud que a veces resulta fértil y otras veces no tanto: existió gente que veía con escepticismo el heliocentrismo, pero también hubo gente escéptica ante la teoría del flogisto. Por lo que, una vez más, dicha actitud se deriva de las creencias y posiciones filosóficas del individuo, pero es en la historia de la ciencia donde dicha actitud ha encontrado sus más interesantes desarrollos.

Se concluye que hay al menos dos significados distintos cuando se habla de escepticismo. El escepticismo metafísico es aquel que niega la posibilidad del

⁷ Concediendo que «verdadero» es un término absoluto, sus condiciones de aplicación serán siempre relativas. Pues no existe tal cosa como una creencia justificada *sans phrase* -justificada de una vez para siempre-, por la misma razón que no existe una creencia que no pueda conocerse, de una vez y para siempre, como indubitable. (Rorty, 2000:13.)

⁸ “La etimología de este término arroja luz sobre su significado. «Escepticismo» significaba «mirar con cuidado». El escéptico sería entonces la persona que reflexiona con atención antes de emitir un juicio o de tomar una decisión.” (Muñoz y Velarde, 2000:226).

conocimiento, ya sea una negación completa del mismo o en algún grado. Y un escepticismo metodológico, que consiste en tomar con reservas la información o la emisión de juicios. No siempre se ha presenta la duda escéptica como absoluta, casi siempre se ha presentado en grados, pero es importante mencionar las versiones más simples, tanto del realismo ingenuo como del escepticismo, porque es de las posiciones más extremas que se extraen los principales argumentos en sus formas más puras. Las posiciones más simples son las más extremas, pero de ellas se pueden extraer interesantes conclusiones: las leyes de la física son ideales y, aunque nunca se presenta el caso ideal en la realidad, no por eso pierden su valor.

1.3 Teorías de la verdad

Es correcto que la filosofía se denomine “ciencia de la Verdad”. En efecto, el fin de la ciencia teórica es la verdad, mientras que el de la práctica es la obra.

-Aristóteles

Hay diferentes tipos de enunciados que son susceptibles de verdad o falsedad. “Pedro está sentado”, “la nieve es blanca” y “un cuerpo recorre la diagonal de un paralelogramo bajo dos fuerzas conjuntas en el mismo tiempo en el que los dos bajo las dos acciones por separado” tienen en común que son sentencias que pueden ser verdaderas o falsas. Sin embargo, los criterios de verdad cambian para cada tipo de enunciado. La primera oración sólo puede ser verdadera en el tiempo en el que fue dicha o pensada; la segunda puede ser fácilmente constatada por los sentidos, de manera que se puede corroborar su verdad o falsedad; la última sentencia está tomada de los *Principia* de Isaac Newton, ¿pero cómo se comprueba que es verdadera? Así pues, existen diferentes criterios para definir la *verdad* y varias teorías que especifican sus características y problemas. Esos problemas son de vital importancia para entender la importancia de las posturas realistas en el seno del problema del realismo científico. Se verán, sobre todo, las posturas que emanan de manera directa de la controversia del realismo: las teorías de correspondencia o adecuacionistas de la verdad y el pragmatismo.

Ambas posturas coinciden en aceptar que la *verdad*, sea lo que sea, es una propiedad de los juicios o proposiciones. Russell indica que “las cosas que verdaderas o falsas, en el sentido que nos preocupa, son oraciones, y creencias o juicios” (1906:3). También Ramsey aceptará que son los juicios u oraciones, entre otros, los que son la clase de cosas susceptibles de los epítetos de “falso” y “verdadero”⁹; Tarski también aceptará el término *verdadero* como una propiedad de las oraciones¹⁰.

⁹ “First we have to consider to what class of things the epitetes ‘true’ and ‘false’ are primarily applied, since there are three clases which might be suggested. For we use ‘true’ and ‘false’ both of mental states, such as

1.3.1 Verdad como adecuación/correspondencia

Alfred Tarski define la verdad como “el acuerdo (o correspondencia) de un enunciado con la realidad” (1943:108). Así pues, el enunciado “la nieve es blanca” es verdadero si, y solo si, la nieve es blanca. Formulada de esta manera, la definición de verdad no parece ser problemática. El problema consiste en saber cuál es esa correspondencia¹¹. Se considera que un enunciado *describe* un estado de cosas independiente de nuestra mente, por lo cual la premisa realista es obvia. El ejemplo trivial de la nieve puede confundir ya que se asume que es una especie de tautología: se asume que la primera parte de la oración (“la nieve es blanca”) es igual a la parte final (la nieve es blanca), pero esa impresión no es correcta. Se trata de dos cosas distintas: “la nieve es blanca” es una proposición, una idea compleja en la mente del sujeto; la parte final del enunciado pretende describir un estado de cosas independiente de la mente del sujeto. Por lo cual, su forma lógica no es

X es verdadera si, y solo si, X

sino

X es verdadera si, y solo si, p (Tarski, 1943:110).

Este criterio es bastante antiguo y parece ser el aceptado por el sentido común. Aristóteles sostiene que “es falso decir de lo que es que no es o de lo que no es que es, y verdadero decir de lo que es que es o de lo que no es que no es” (*Metafísica*, 1011b). Así pues, las teorías correspondentistas toman como premisa el realismo, ya que acepta la

beliefs, judgments, opinions and conjectures, and also of statements or indicative sentences; and thirdly according to some philosophers we apply these terms to ‘propositions’; which are the objects of judgments and the meaning of sentences, but themselves neither judgments nor sentences.” (Ramsey, 1991: 67).

¹⁰ “The predicate “true” is sometimes used to refer to psychological phenomena such as judgments or beliefs, sometimes to certain physical objects, namely, linguistic expressions and specifically sentences and sometimes to certain ideal entities called “propositions”. By “sentences” we understand here what is usually meant in grammar by “declarative sentence” [...] For several reasons I appears most convenient to *apply the term “true” to sentences*, and we shall follow these course.” (Tarski, 1943: 108).

¹¹ Truth, as any dictionary will tell you, is a property of a certain of our ideas. It means their ‘agreement’, as falsity means their disagreement, with ‘reality’. Pragmatism and intellectualist both accept this definition as a matter of course. They begin to quarrel only after the question is raised as to what may be precisely be meant by the term ‘agreement’, and what by the term ‘reality’, when reality is taken as something for our ideas to agree with. (James, 1907: 17).

división entre un plano conceptual, propio del sujeto que conoce, y un plano *real*, un mundo independiente que define la verdad o la falsedad de las proposiciones que genera el sujeto (Muñoz y Velarde: 575).

Parece no haber excesivo problema cuando se trata de enunciados empíricos, es decir, enunciados que se pueden contrastar de manera directa con la experiencia. El problema se suscita cuando entran en juego situaciones más complejas. Considérese el enunciado “el vaso es rojo”. Dicho enunciado será verdadero en el caso de que, en efecto, el vaso sea rojo. Pero imagínese que el vaso está siendo iluminado con luz roja, ¿cómo saber si el vaso es rojo, como una propiedad suya, o es blanco y se me presenta rojo por la luz que le bombardea? Se podría decir que existe un error en la semántica y que la proposición que realmente se sostiene tan sólo dice que “el vaso *parece* rojo”, pero esa objeción se podría hacer para cualquier juicio: nunca se podría saber qué es lo que se quiere decir en realidad. Además, “el vaso *parece* rojo”, que podríamos considerar como verdadero, deja espacio para que “el vaso es rojo” aún pueda ser verdadero. Por lo cual tenemos dos enunciados verdaderos cuyos significados son completamente distintos. Supóngase que se apaga la luz que bombardea el vaso y éste, en efecto, es rojo: las dos oraciones serían, al mismo tiempo verdaderas. El problema, como se ve puede extrapolar de este ejemplo, es que el escéptico siempre puede asumir que las cosas, o los estados de cosas, o los hechos, siempre *parecen*, y es imposible saber *a priori* si dichos hechos *son* como se presentan o tan solo *parecen*¹². Los sentidos nos engañan, dirá el escéptico. ¿Cómo determinar la verdad, entonces, si no puedo confiar en la experiencia inmediata?

Un problema derivado de considerar la verdad como *adaecuatio rei et intellectus*, se presenta al tratar con enunciados extraídos de las ciencias físicas. El principio de inercia, o primera ley de Newton, dice que “todo cuerpo persevera en su estado de reposo o movimiento uniforme y rectilíneo a no ser en tanto que sea obligado por fuerzas impresas a cambiar su estado” (Newton, 1687: 659). Ahora, según lo dicho hasta aquí, para que dicha ley, o principio, fuera verdadera, tendría que haber, en la realidad o mundo real, un estado

¹² “As a consequence, the most spontaneous move is that of almost automatically translating the content of perception in a proposition, but then the error becomes possible, because in a proposition we engage ourselves in stating ‘how things really are’, we take position to regard to reality, stating that it conforms or does not conform with the perceptual concept. So in the classical example of the stick appearing broken in water, we can translate the visual perception by saying: ‘the stick appears broken’, but we do not commit ourselves ontologically unless we say, for example: ‘the stick *is* broken’. “(Agazzy y Pauri, 2000:4).

de cosas tal que todo cuerpo persevere en su estado de reposo o movimiento uniforme y rectilíneo en ausencia de fuerzas. Pero en realidad jamás se ha observado un cuerpo que conserve su estado de reposo o movimiento uniforme rectilíneo, o que esté libre de la acción de fuerzas. Entonces, ¿es la primera ley de Newton falsa? Según la teoría adecuacionista, o correspondentista, sí. Además, el cuantificador universal indicaría que para que pudiéramos establecerla como verdad, tendría que haber agotado *todos* los casos y concluir que, en efecto, en todos se cumplió dicha ley, y sólo entonces se podría decir que el enunciado es verdadero. Por último, dicho enunciado enfrenta el problema de que, si tan sólo en un caso resulta que no es, entonces el enunciado general será falso.

Pero no mucha gente, al menos no desde el siglo XVIII, se atreverá a decir que el principio de inercia es *falso*. Así pues, debe ser verdadero porque, en general, la mecánica newtoniana es exacta y concuerda con las observaciones¹³. Si es verdadera, ¿en qué consiste su verdad? No puede ser adecuación de la cosa con el intelecto porque, en efecto, nadie, jamás, ha experimentado un cuerpo en absoluto reposo o en movimiento perfectamente rectilíneo¹⁴. La *verdad* debe ser algo completamente diferente, por lo menos si se admite que el principio de inercia es verdadero.

Pero existe otra posibilidad. Aún puede rescatarse la posición adecuacionista, o correspondentista, si se asume que el principio de inercia sí se corresponde con la realidad. Pero esta correspondencia no sería con la experiencia, sino con la *realidad* última de las cosas. El principio de inercia es, en realidad, un principio ideal. No puede darse en la experiencia, ya que siempre existen perturbaciones que hacen imposible la existencia de un estado de cosas en los cuales las fuerzas sean cero. Pero *idealmente debería* ser así. Así pues, el principio de inercia se correspondería con la *verdadera realidad*, de la cual la experiencia sólo sería poco más que una ilusión. Así se puede conservar el realismo y la teoría de verdad que se desprende de esta posición filosófica.

¹³ Al menos en los fenómenos en los que se puede considerar la constante Plank como muy pequeña y la velocidad de la luz como muy grande.

¹⁴ Esto lo afirma Galileo *expressis verbis*: «El movimiento rectilíneo –nos dice– es algo que, a decir verdad, no se encuentra en el mundo. No puede haber movimiento rectilíneo *natural*. En efecto, el movimiento rectilíneo es, por su naturaleza, infinito, y puesto que la línea recta es infinita e indeterminada resulta imposible que cualquier móvil tenga, por naturaleza, el principio de moverse en línea recta, es decir, hacia donde es imposible llegar, ya que no existe término en lo infinito. Y, como el propio Aristóteles dice, la naturaleza no intenta hacer nada que no pueda hacerse, no intenta moverse hacia donde no es posible llegar» (Koyré, 2009: 197).

¿Es *verdadero* el principio de inercia? ¿En qué consiste su verdad? ¿*Existe* idealmente y su verdad consiste en la correspondencia entre la proposición y dicha *realidad* última? Este tipo de problemas son los que se derivan de las posiciones filosóficas mencionadas, y sus respuestas dependen directamente de ellas. Dichos problemas no son superfluos y se han presentado a lo largo de la historia y desarrollo de la Física, así como en otras ciencias. Muchas veces, estas preguntas de tipo filosófico/metafísico han determinado el rumbo de las investigaciones. Aceptar como verdadero el principio de inercia también conlleva aceptar, por ejemplo, la infinitud del tiempo y el espacio. Las teorías de la verdad como correspondencia han tenido gran influencia a lo largo de la historia de la ciencia y, por extrapolación, también el realismo inherente a ellas. En conclusión, considerar *la verdad* como una propiedad de la oración, la cual consiste en su correspondencia (sin entrar en detalles acerca de qué sea esta correspondencia), con la realidad presupone, evidentemente, el realismo metafísico y/u ontológico.

1.3.2 Verdad como coherencia

En el sistema numérico decimal, la proposición “ $2+2=4$ ” es verdadera. Pero su verdad no depende de un estado de cosas en el mundo *real*. No es posible que capturemos por medio de los sentidos un par de objetos, a los cuales he asignado el nombre de 2 y de los cuales pueda observar el objeto, o la relación, 4. Incluso cuando se argumenta que dicha equivalencia es una abstracción de elementos reales (dos piedras más dos piedras es igual a cuatro piedras) la proposición que representa es puramente abstracta, no remite a ningún ente real. ¿Así pues, en qué consiste la verdad de esta proposición?

En las matemáticas, el valor de verdad de la proposición se deriva *lógicamente* de los axiomas y principios que se han admitido como premisas. El ejemplo imperecedero de tal método es la geometría de Euclides. Dadas ciertos principios básicos se pueden inferir proposiciones más complejas cuya principal característica será que no guardan contradicción contra dichos primeros principios y/o axiomas, por lo que por puros métodos de inferencia deductiva se derivarán dichos enunciados. Su *verdad* queda garantizada por la consistencia lógica entre las diferentes partes del sistema lógico creado. Como demostraron las geometrías no euclidianas, una vez que se cambian las premisas y axiomas se pueden

crear diferentes sistemas igualmente válidos y los *criterios de verdad* variarán de un sistema a otro, ya que los supuestos de los que se han partido son distintos.

A este tipo de enfoques se les conocen como teorías *coherentistas* de la verdad. Es decir, la verdad radica en la coherencia de las proposiciones con todo un sistema lógico-formal de proposiciones¹⁵. La lógica formal, el álgebra y la geometría contienen proposiciones cuyo criterio de verdad es, en este sentido coherentista. Al ser la verdad una propiedad de los enunciados que se deriva de su correspondencia *entre los mismos enunciados* no es necesario que exista una realidad a la cual referirlos; y si existe una realidad, de todos modos no es necesario contrastar los enunciados con ella. Lo más probable es que ni siquiera guarden ninguna relación con dicha realidad, o con el mundo que existe independiente del sujeto, y en caso de que llegue a existir alguna eso no cambiaría su estatus en relación al propio sistema. Así pues, la postura metafísica del realismo se hace, en este punto, innecesaria, contingente.

Las tesis coherentistas no tardaron en extrapolarse a toda ciencia. Otto Neurath expone que:

“La ciencia es un sistema de enunciados que son de una clase. Cada enunciado puede ser combinado o comparado con cada una de las otras oraciones, por ejemplo para extraer conclusiones de oraciones combinadas, o para ver si son compatibles con cada una o no. Pero las oraciones nunca son comparadas con una “realidad”, con los “hechos”. Ninguno de aquellos que defienden la escisión entre oraciones y la realidad es capaz de dar precisa cuenta de cómo una comparación entre oraciones y hechos puede ser realizada, y cómo podríamos cerciorarnos de la estructura de los hechos”. (Hempel, 1935:80-81)¹⁶

En otras palabras, la verdad sigue siendo una propiedad de correspondencia de las oraciones no ya con la realidad, sino con otras oraciones, o proposiciones, que forman parte de un mismo sistema. Si se considera a la ciencia como un sistema de estas características, ¿qué es lo que inclina al investigador o al científico a preferir una teoría a otra? El nivel de coherencia existente entre sus proposiciones; una teoría cuya estructura lógica sea más

¹⁵ “...according to the coherence theories truth is a possible property of a whole system of statements, i.e. a certain conformity of statement with each other; in extreme coherence-theories truth is even identified with the mutual compatibility of the elements of such system.”(Hempel, 1935: 79).

¹⁶ La traducción es mía.

coherente es preferible a una que contenga contradicciones, o más de ellas. Entre menos contradicciones tenga un aparato formal es más fácil inferir la verdad de las proposiciones inherentes a dicho sistema formal.

1.3.3 Pragmatismo

Charles Pierce introdujo el término *pragmatismo* en 1878 y deriva de la palabra griega *pragma*, que significa *acción* (James, 1973: 53). El pragmatismo sostiene el valor de un enunciado, o sistema de enunciados, no se deriva de su correspondencia con la realidad, sino de su utilidad. La teoría de Copérnico es preferible a la de Ptolomeo no porque así sea la naturaleza en realidad, sino porque con el sistema copernicano se puede elaborar un calendario más exacto y obtener predicciones astronómicas más precisas¹⁷. Lo mismo vale para cualquier proposición, idea o teoría.

Para el pragmatismo, la controversia sobre el realismo se puede resolver fácilmente. Es más útil para el ser humano la tesis de que existe un mundo real independientemente del sujeto que la tesis contraria, ya que ésta última no produce ningún resultado práctico. Así pues, en cierto sentido el pragmatismo podría inclinarse por el realismo metafísico, pero en otro sentido la pregunta por dicha realidad es una pregunta ociosa. Es provechoso para el ser humano considerar que hay una realidad que transformar, pero no es útil preguntarse si dicha realidad existe o no.

La posición pragmatista es susceptible de aplicación en casi todos los campos de la actividad y el saber humanos: la religión, la filosofía, la ciencia, la tecnología, las relaciones personales, etcétera. Pero también define una cierta concepción de la verdad. La verdad deja de ser una propiedad inherente a la proposición, tan sólo determinada por su correspondencia a un mundo presupuesto. Para el pragmatismo, *la verdad* es una

¹⁷ “Y no es necesario que estas hipótesis sean verdaderas, ni siquiera que sean verosímiles, sino que basta que muestren un cálculo coincidente con las observaciones...” Extraído del *De Revolutionibus Orbium Coelestium* de Nicolás Copérnico. La cita corresponde al famoso prefacio escrito por Andreas Osiander, en la que advertía al lector sobre el contenido de la obra. En la primera edición, de 1543, dicha advertencia venía sin firma, lo que hacía pensar que era el mismo Copérnico quien la había escrito. Dicho sea de paso que el astrónomo polaco no había dado su permiso para que tal advertencia apareciera en su libro (Hawking, 2005: 12).

particularidad temporal que tiene una proposición, una teoría o un sistema de proposiciones, siempre y cuando sea *útil*: mientras sirva, puede considerarse verdadera. De esta manera, las proposiciones y los juicios se hacen verdaderos, y en algún punto también dejan de serlo:

La verdad de una idea no es una propiedad estancada inherente a ella. La verdad *le pasa* a una idea. *Deviene* verdadera, es *hecha* verdadera por los eventos. Su veracidad *es* de hecho un evento, un proceso, el proceso, llamado, de su verificabilidad misma, su *verificación*. (James, 1907: 18).

La concepción pragmática de la verdad no niega el realismo, pero tampoco hace mucho uso de esta concepción. Antes bien, puede llegar a asumirlo como premisa, pero desplazando la problemática sobre el realismo como inútil si es que no brinda resultados. Antes bien, si se puede o no conocer la realidad no es una cuestión importante: lo decisivo es modificarla a nuestro beneficio.

En el terreno científico, una teoría que explica más y de la que se pueden extraer más resultados es preferible a una que explica menos, y por ende la primera teoría se puede aceptar como verdadera. Adoptar las tesis pragmatistas también definirá la concepción que de la misma ciencia se tiene, esta ciencia deja de ser el descubrimiento de la *realidad* del mundo, ni siquiera sería un modelo que pretende lograr cierto conocimiento de dicho mundo, más bien sería un *instrumento* que nos ayudaría a modificarlo:

Encuentro un pragmatismo aún más radical que el de Ostwald en un discurso del profesor W. S. Franklin: “Creo que la noción más precaria en física, incluso aunque la comprenda un estudiante, es que ésta es la ‘ciencia de las masas, las moléculas y el éter’. Y creo que la noción más sólida, aún si el estudiante no la comprende, es que la física es la ciencia de los modos de apoderarse de los cuerpos y moverlos” (*Science*, 2 de enero de 1903). (James, 1973: 55.)

1.4 Realismo científico

El físico francés o alemán imaginaba, en el espacio que separa a los conductores, líneas de fuerza abstractas, sin espesor ni existencia real. El físico inglés materializará esas líneas, le dará un grosor de las dimensiones de un tubo, que llenará de caucho galvanizado; en lugar de un conjunto de líneas ideales, concebibles solamente por medio de la razón tendrá un montón de cuerdas elásticas, visibles y tangibles...”

-Pierre Duhem

Una vez que se han expuesto las principales características de la controversia sobre el realismo en su nivel filosófico más general, o metafísico, es posible acotar el problema dentro del marco del conocimiento científico y la epistemología. Las diversas posiciones que se detectan en el seno del problema del realismo científico vienen predeterminadas, en su mayoría, por la posición filosófico-metafísica que tanto científicos como filósofos adoptan ante el realismo ontológico-metafísico. Estas últimas son las que se han expuesto, en sus versiones más simples, en las páginas anteriores. Las dificultades de muchas de las principales posturas sobre el realismo científico, que es un dilema epistemológico, han sido detectadas desde siglos anteriores y usualmente adoptan formas similares a los problemas ontológico-metafísicos clásicos que se han mencionado con anterioridad. Esto último no implica que el estudio de la metafísica clásica agote la totalidad de los posibles problemas del realismo científico. Al contrario, los estudios acerca del realismo científico han reformulado los dilemas ya conocidos en la filosofía y, de cierta manera, también han precisado o hecho hincapié en aspectos que anteriormente no eran tan importantes o que se habían pasado por alto: en la antigüedad, ante la multiplicidad de opiniones acerca de los fenómenos existentes y la falta de consenso o de explicación cuantitativa, una posición instrumentalista acerca del conocimiento o de la “ciencia” hubiese sido un sinsentido. Tan sólo al tener teorías lo suficientemente precisas como para producir técnicas y/o tecnologías que incidan directamente en la calidad de vida de los seres humanos ha permitido la existencia de la posición epistemológica conocida como *instrumentalismo*, misma que se expondrá más adelante.

En los tiempos que corren, sería un disparate cuestionar el éxito que las distintas ciencias han logrado. Desde la física y la química hasta las neurociencias, es difícil pensar el mundo actual sin el desarrollo y alcance que todas las ciencias naturales despliegan a lo largo y ancho de todo el mundo. El prestigio de dichas ciencias no ha sido vano: el nivel de la tecnología y de la calidad de vida es el testimonio de su arrollador éxito. Así pues, no es problema en los rubros de este trabajo cuestionar dicho éxito o veracidad. Estrictamente hablando, se acepta el conocimiento científico como *un hecho*, como una verdad fáctica; *existe el conocimiento científico*. La pregunta que yace al interior de ésta investigación es, sin embargo, la siguiente: ¿en qué consiste dicho conocimiento? Y también la más o menos equivalente: ¿en qué se fundamenta? Existe la corriente que dirá que dicho conocimiento se fundamenta en la *realidad*. Pero también existen posiciones que pregonan que su base es su utilidad.

1.4.1 Definición

El término *realismo científico* refiere a la posición filosófica que defiende que el conocimiento científico tiene como referente último el mundo real. Indica que lo que se llama conocimiento científico es, en última instancia, conocimiento *real*, o de la realidad; que refiere al mundo. “El *realismo científico* dice que las entidades, los estados y los procesos descritos por teorías correctas realmente existen. Los protones, los fotones, los campos de fuerza y los hoyos negros son tan reales como las uñas de los pies...” (Hacking, 1996: 39). Las teorías científicas nos dicen cómo es el mundo, y no sólo intentan salvar las apariencias. Es preciso hacer algunas aclaraciones acerca de las implicaciones del concepto.

Es importante indicar que la práctica científica, o los científicos en general, asumen la postura del realismo metafísico y/u ontológico¹⁸. Sería casi imposible encontrar un científico dispuesto a decir que su respectiva ciencia no estudia la realidad o una parte de ella. Los investigadores de las diversas ciencias han aceptado desde hace siglos la premisa

¹⁸ “De hecho, toda teoría física se propone representar un miembro arbitrario de una clase de sistemas físicos. Ciertamente, lo hace de manera simbólica y simplificada más bien que icónica y completa; y con todo, trata de representar un existente real así” (Bunge, 1981: 193).

realista; incluso el vulgo y la gran mayoría de los filósofos aceptarán que la ciencia descansa sobre una premisa ontológica: que existe el mundo; y una epistemológica: que es posible conocer dicho mundo. El antirrealismo *estricto* haría imposible la práctica de la ciencia, si no existe un mundo, nadie se va a molestar en investigarlo. En conclusión, las ciencias son realistas, justo como la gran mayoría de la población y una buena parte de los filósofos.

El problema del realismo científico es, sin embargo, diferente al del realismo ontológico-metafísico. Se presupone que existe la realidad, pero las preguntas que surgen en la práctica de la ciencia son más particulares: ¿qué tipo de entidades existen? ¿Cómo está configurada dicha realidad? A lo largo de la historia de la ciencia, se han formulado múltiples respuestas a dichas preguntas. Cada vez que una teoría, o grupo de ellas, se ha aceptado como verdadera han propuesto un determinado tipo de entidades y una específica configuración del mundo: en cosmología aristotélico-ptolemaica se aceptaban la existencia de esferas cristalinas en los cielos, la esfera de las estrellas fijas, y la no existencia del vacío. El estudio de la historia de la ciencia permite al investigador percatarse de que, en efecto, muchas veces se ha creído en muchas teorías que han resultado ser falsas. Dichas creencias se mantuvieron durante siglos. ¿Por qué? Por su poder explicativo. Tales teorías sirvieron, en su momento, para explicar (y predecir) los fenómenos de los que se ocupaban. En su calidad de explicativas, se asumieron como *descripciones reales* de la naturaleza. Una y otra vez han fracasado y es inevitable juzgar que, en algún punto, nuestras teorías actuales fenecerán de la misma manera. Éste fenómeno hace preguntarse al filósofo que si no se puede saber *a priori* si una teoría es verdadera, o una correcta descripción de la naturaleza, ¿entonces qué podemos afirmar de una teoría científica? ¿Se refieren éstas a la *realidad* o a la naturaleza o son tan sólo herramientas útiles?

1.4.2 Instrumentalismo

Definiremos el instrumentalismo como la posición filosófica que propone que las teorías científicas son sólo *instrumentos* o *herramientas* que nos ayudan a aproximarnos a los fenómenos, o a representarlos, o a manipular la naturaleza, pero que dichas teorías, y los entes propuestos o presupuestos por ellas, no tienen un referente directo en la realidad. Y si

lo tienen o fueran verdaderas, es imposible saberlo. En otras palabras, es una concepción antirrealista de la ciencia. Y esta concepción puede derivarse de varias posturas filosóficas que ya se han expuesto: de las teorías de verdad pragmatistas, en primer lugar; del escepticismo en sus dos versiones; inclusive del dualismo ontológico y del fenomenalismo¹⁹.

¿Por qué considerar a una teoría sólo como un instrumento? Como se adelantaba más arriba, no han sido pocas las ocasiones en las que se ha defendido esta postura. Considérese el caso de la astronomía: el programa de investigación de la antigüedad fue planteado por Platón al preguntar por “los movimientos circulares, uniformes y perfectamente regulares que conviene tomar como hipótesis a fin de salvar las apariencias presentadas por los planetas” (Ordoñez y Rioja, sin año: 38). En la formulación del filósofo griego existe una premisa realista a nivel ontológico, a saber, que existe un orden *real* de los cuales los movimientos, irregulares, observados de los planetas son una apariencia. Los astrónomos que han tratado de explicar dichos movimientos, a lo largo de los siglos, han aceptado esa premisa, sin embargo, la prioridad era predecir el movimiento de los cuerpos celestes y elaborar calendarios precisos. Para tal labor, se formularon múltiples sistemas geométricos que explicaban más o menos bien los datos observados. Entre estos sistemas, el de epiciclo-deferente de Ptolomeo fue el más exitoso. Sin embargo, dicho sistema violaba el principio del movimiento uniforme de Platón (aceptada como verdadero, es decir, como *real*) al introducir el punto ecuante. Esa no fue ninguna razón para desechar el sistema de Ptolomeo; aunque reformulado a lo largo de los siglos, el modelo geométrico del astrónomo alejandrino se mantuvo por casi dos milenios. Reforzado por la cosmología aristotélica, se pensaba que el mundo debería ser más o menos así. En la perspectiva religiosa, se pensaba que sólo Dios conoce tal y como es en realidad el mundo, aunque eso no implicaba que la ciencia se pudiera acercar, más o menos, a vislumbrar la sagrada obra. Una vez que Copérnico publicó su *De Revolutionibus*, éste tuvo éxito entre los astrónomos y astrólogos de la época, pero no porque su teoría se considerara verdadera, sino porque se

¹⁹ “Uno puede negar el ingrediente ontológico. Se puede negar que las teorías deban entenderse literalmente; no son o bien verdaderas o bien falsas; son herramientas intelectuales para la predicción de los fenómenos; son reglas para averiguar qué pasará en casos particulares. Hay muchas versiones de esta idea. Una idea de este tipo es a menudo llamada *instrumentalismo* porque dice que las teorías son solamente instrumentos”. (Hacking, 1996:47)

le consideraba *útil*²⁰. Los movimientos de los planetas podían predecirse sin la necesidad del punto ecuante, se definió de manera más precisa la duración del año trópico y sidéreo, entre otros logros técnicos, pero nadie en su sano juicio aceptaría que el Sol era el centro del universo. Por lo tanto, la teoría del astrónomo polaco era considerada evidentemente falsa, aunque se podría utilizar para los cálculos.

El antirrealista clama que una teoría o una ley científica no tienen una existencia real ni tampoco representan la realidad. Tal teoría o ley sólo es valiosa en tanto nos permite modificar a nuestro beneficio dicha realidad presupuesta: "...las teorías son a lo mucho legítimas, adecuadas, buenos instrumentos de trabajo, aceptables pero increíbles, o qué sé yo" (Hacking, 1996: 46). Mientras sirva una teoría, se le puede aceptar por verdadera, si se quiere, pero en realidad nunca se puede estar seguro. De hecho, de ninguna teoría, por demostrada y útil que pudiera parecer, se puede pretender que sea absolutamente verdadera. No es difícil extrapolar esa conclusión a todas las teorías y leyes existentes del *corpus* científico aceptado: si no se puede comprobar con absoluta certeza que una ley, tal como el principio de inercia o la segunda ley de la termodinámica, tiene su fundamento en la realidad, lo más pertinente es utilizar la teoría mientras brinde los resultados esperados o la tecnología requerida en un lugar y tiempo determinados.

Visiones de este tipo son comunes entre los científicos y los filósofos. Sin embargo, cabe hacer una aclaración. En el caso de Andreas Osiander, quien negaba la realidad del mundo tal y como lo concebía Copérnico, podemos decir que el primero admitía la evidente falsedad del heliocentrismo, pero también aceptaba la adecuación de los cálculos que ofrecía la teoría del astrónomo polaco con las observaciones. Es decir, sabía que el sistema era falso pero también que era útil. Para la astronomía ptolemaica, el punto ecuante era un elemento que no podía tener un referente real en la naturaleza, lo que no impedía imaginar que el mundo era en su mayor parte como el descrito por Ptolomeo. La familia de casos más problemáticos serían aquellas teorías o leyes que resultan útiles y precisos en sus predicciones y muestran una gran compatibilidad con los hechos, pero de los que no se está seguro si son verdaderos o no, que serían, técnicamente, todas las teorías existentes,

²⁰ Cfr. la nota 16.

pasadas, presentes y futuras: ¿el que la coincidencia de las hipótesis con los hechos sea tan exacta constituye una prueba de su verdad, de su existencia real en el mundo?²¹

Otra implicación del instrumentalismo, al que a partir de ahora podemos identificar con el antirrealismo científico, se encuentra a nivel de los entes que una teoría científica utiliza y de los cuales predice su existencia. Aquí servirá de ejemplo el caso del campo eléctrico. En un libro de texto, se encuentra que:

El espacio que rodea a un objeto cargado se altera en presencia de la carga. Podemos postular la existencia de un *campo eléctrico* en este espacio.

Se dice que existe un campo eléctrico en una región de espacio en la que una carga eléctrica experimenta una fuerza eléctrica.²²

Esta definición proporciona una prueba de la existencia de un campo eléctrico; tan sólo basta con situar una carga en el punto en cuestión. Si se observa una fuerza eléctrica, existe un campo eléctrico en ese punto. (Tippens, 2001: 531-32)

Ahora ya se da por sentada la existencia, *real*, por supuesto, del campo eléctrico. Sin embargo, cualquier filósofo podrá encontrar la falacia en la afirmación “esta definición proporciona una prueba de la existencia del campo eléctrico”. En efecto, tan sólo se está definiendo un término, mismo que ayuda al experimentador a determinar la fuerza que actuará sobre cualquier carga situada en ese punto, como se menciona en el mismo libro. El término es útil, ayuda a predecir y calcular pero de ahí no se sigue que tenga una *existencia real*. Ahora ya se acepta, claro. Pero cuando fue formulada la teoría, la renuencia de muchos físicos era que, precisamente sólo se estaba brindando una definición, no una prueba de la existencia de dicho campo. Ahora, por campo se entendía una *entidad* de existencia propia, no sólo la distancia de acción de determinada fuerza. Pero, en ese entonces, ¿quién podía asegurar que existía en la realidad?

²¹ Al discutir el movimiento Browniano (la teoría de Einstein y las observaciones de Perrin) se concluye que los átomos existen debido a que hay buen acuerdo entre teoría y experimentos. Aquí Stanford pregunta: “¿Debemos confiar en una afirmación sobre la naturaleza solamente porque es parte de una teoría científica empíricamente exitosa?” Stanford, P. K. (2009) “Scientific Realism, Atomic Theory and the Catch-All Hypothesis: Can we test fundamental theories against all serious alternatives?” en *The British Journal for the philosophy of Science*, Vol. 60, núm.2, pp. 253-269. Nota del profesor Aboites.

²² Las negritas pertenecen al texto original.

James Clerk Maxwell “se mostraba renuente a decir si un gas realmente está compuesto de pequeñas bolas elásticas que producen los efectos de la temperatura y la presión” (Hacking, 1996: 48), sin embargo él mismo es uno de los creadores de la mecánica estadística, también creó la teoría electromagnética y especificó el concepto de campo electromagnético. No obstante, asumía que tales teorías tan sólo eran “modelos”. Su postura antirrealista evolucionó hasta finalmente ser realista respecto a sus propias teorías, pero el ejemplo ilustra el punto: un ente postulado por la teoría no implica necesariamente su existencia, tan sólo su utilidad es de valor.

Así pues, el antirrealismo científico puede ubicarse en tres niveles: las teorías, las leyes científicas y los entes teóricos. Se puede negar la existencia de, por ejemplo, la partícula electrón. Sin embargo, negar la existencia del electrón no implica que la ley de Coulomb sea falsa. Por otro lado, imagínese que nuestro investigador es también instrumentalista en cuanto a la ley de Coulomb. Asume que dicha ley no *existe* en la naturaleza, como una *estructura* de ésta, pero es una excelente herramienta para calcular las fuerzas de repulsión o atracción entre cargas eléctricas. Éste investigador admite la *existencia* de cargas, que puede medir, y también podría, en principio, aceptar como *real* la teoría electromagnética en general, pero no admitir como real la ley de Coulomb, o cualquier otra ley implicada. A la vez, también podría admitir la existencia de electrones. Sin embargo, otro investigador hipotético que fuera antirrealista respecto a la teoría electromagnética en general, tendría que negar también la realidad y/o la verdad de las leyes y todos los entes teóricos implicados.²³

El realismo acerca de las entidades nos dice que muchas entidades teóricas realmente existen. El antirrealismo niega esto, y dice que son ficciones, construcciones lógicas, o partes de un instrumento intelectual para razonar acerca del mundo. Menos dogmáticamente, puede decirse que no tenemos ninguna razón para suponer que no son ficciones. Pueden existir, pero no necesitamos esta suposición para entender cómo es el mundo. (Hacking, 1996: 46)

²³ Hacking (1996) menciona el caso de la teología negativa, en la que el ente teórico privilegiado, Dios, es aceptado, pero no así las múltiples teorías sobre él. Sin embargo, dicho ejemplo no contrarresta lo dicho, ya que un teórico medieval rechazaría el término “ente teórico” para Dios, ya que Dios constituía una certeza.

1.4.3 Componentes y niveles del Realismo científico

Una teoría es un sistema de proposiciones. Las proposiciones, o juicios, son una formulación que hace el sujeto: son su producto. Pero estas proposiciones pretenden decir algo acerca del mundo exterior al sujeto; pretenden hacer afirmaciones acerca de cómo es este mundo. Una teoría verdadera, ese sistema de proposiciones, será aquella que describa cómo *es en realidad* dicho mundo. En general, así se puede plantear el realismo científico. Pero, ¿qué pasa con la objeción de que el mundo no puede ser completamente conocido?

De un realismo científico ingenuo se seguiría que las teorías científicas verdaderas lo son por un criterio adecuacionista de la verdad: porque en efecto el mundo es tal como la teoría lo describe, con todo y sus elementos teóricos y sus leyes, sin importar su nivel de generalidad. Sin embargo, dicha posición no tiene en cuenta la objeción escéptica. Así pues, un realista científico *fuerte*, sugiere que la teoría científica *ideal* sería aquella que coincidiera con el mundo. Dicha teoría, o teorías, es la meta de la investigación científica, aquella que logre captar la verdadera *esencia* del mundo real. Las teorías científicas, son cuanto más perfectas cuanto más se acercan a este nivel de adecuación ideal. Ahora, si existe la limitación epistemológica de la incertidumbre, siempre se puede esperar que una teoría más completa haya de lograr explicar más, por lo que su nivel de certeza o verdad será mayor. Ésta es la concepción progresista de la ciencia. Con la depuración de los errores de las teorías precedentes, se logra una evolución cuyo término sería la consecución de la verdad completa. Incluso cuando dicha verdad fuera inalcanzable, al menos siempre sería posible acercarse más a ella. Esto conllevaría a que los entes teóricos y las leyes enunciadas tendría una existencia al menos tan probable como cercana a la verdad se considere a la ciencia.

Tómense en cuenta también las teorías coherentistas de la verdad. En algún punto, dirá un realista científico, una teoría que, aunque fuera por pura casualidad, coincidiera por completo con la verdadera esencia del mundo sería la única *absolutamente* coherente. Así, el hecho de que una teoría fuera más coherente que otra sería el signo inequívoco de que

está más cerca o que se avanza en el camino correcto hacia la verdad. Este criterio es el adoptó Copérnico para defender el heliocentrismo²⁴.

El realismo científico más clásico utiliza casi en el mismo sentido los términos “real” y “verdadero”. Esto porque en la mayor parte sus formulaciones está implícita una premisa adecuacionista de la verdad y un dualismo ontológico sujeto-objeto. Pero las posibilidades no se agotan ahí. Entre el realismo científico y su contraparte antirrealista, el instrumentalismo, existen un cúmulo de diferentes apreciaciones, un amplio espectro de concepciones que han permeado la investigación científica y las concepciones filosóficas de la misma a lo largo de los siglos.

El realismo científico se puede caracterizar por tres componentes, según el filósofo griego Stathis Psillos:

1. Un componente metafísico que afirma que el mundo tiene una estructura definida y natural independiente de la mente humana.

2. Uno semántico, cuya implicación es que las teorías tienen un valor de verdad determinado por un criterio correspondentista. Es decir, las teorías científicas son verdaderas o falsas según si el mundo es como éstas lo describen o no. Además, el mundo debe estar configurado por las relaciones que éstas establecen y por las entidades que suponen, en el caso de ser verdaderas.

3. El componente epistémico dicta que las teorías más exitosas, o maduras, y bien confirmadas son aproximadamente verdaderas. Esto implica que entre más exitosa una teoría, más cercana es a la verdadera descripción del mundo. (1999: xix)

El primer componente corresponde a la problemática del realismo metafísico-ontológico. En efecto, es la afirmación de la existencia del mundo independiente del sujeto que lo conoce, pero también se agrega la afirmación de que dicho mundo *posee una*

²⁴ Copérnico, en el prefacio y dedicatoria al Papa Paulo III, dice: Tampoco pudieron hallar o calcular partiendo de ellos lo más importante, la forma del mundo y la simetría exacta de sus partes, sino que les sucedió como si alguien tomase de diversos lugares manos, pies, cabeza y otros miembros auténticamente óptimos, pero no representativos en relación a un solo cuerpo, no correspondiéndose entre sí, de modo que con ellos se compondría más un monstruo que un hombre. Y así, en el proceso de demostración que llaman «método» olvidaron algo de lo necesario, o admitieron algo ajeno, o que no pertenece en modo alguno al tema. Y esto no les hubiese sucedido en modo alguno, si hubieran seguido principios seguros. Pues si las hipótesis supuestas por ellos no fueron falsas, todo lo que de ellas se deduce se podría verificar sin lugar a dudas. Y aunque lo que ahora digo es oscuro, en su lugar quedará claro. (Hawking, 2005:19)

estructura. Según el análisis sobre las diferentes posturas hechas en páginas anteriores, en realidad el primer requisito de Psillos consiste en dos tesis metafísicas. Dichas tesis metafísicas se darán como sobreentendidas y dejarán de ser problematizadas a partir de éste punto. La razón es que, como se expuso anteriormente, se da por hecho que existe algo tal como la “realidad” o “el mundo real” y también se dará por hecho que posee una estructura.

Los problemas acerca de la tesis del realismo metafísico ya han sido expuestos, aunque de manera general, en éste primer capítulo.

De la misma manera, en la sección sobre “teorías de verdad” de este trabajo, se han indicado las principales características de la teoría de verdad correspondentista y algunas otras, como la pragmatista o la coherentista. Éstos problemas aparecerán a lo largo de la exposición de los siguientes dos capítulos, aunque no se problematizará más de lo necesario. Con la caracterización general de las diferentes teorías de verdad es suficiente para entender las dificultades a tratar.

El último punto, sin embargo, es el más interesante para esta investigación. El componente epistémico del realismo científico es el más cuestionado por que tiene la apariencia de un círculo vicioso. Técnicamente hablando, los tres componentes del realismo científico constituyen peticiones de principio: 1 y 3 se postulan y 2 se define, de manera que se pueda caracterizar, filosóficamente, una teoría de realista o no. En la medida en que cumpla con estos tres elementos, una teoría científica es realista (pretende explicar una parte del mundo real) y en la medida en que se aleja de alguna de estas premisas sufre de algún tipo de antirrealismo: si cuestiona 1, la tesis metafísica, es un antirrealista metafísico u ontológico²⁵. Si se pone en duda 2, pero no 1, se puede ser un nominalista, estructuralista, etcétera; se acepta que haya un mundo real, pero no que el criterio de verdad deba ser el correspondentista, por las razones que se quiera, pero negar dicho criterio es negar el realismo científico, además implica la negación directa de 3; dicho de otra forma: aceptar 1 pero negar 2 implica también negar 3. Esto es evidente porque 3 utiliza como premisa a 2.

²⁵ Recuérdese que el primer componente consiste en dos premisas: existe el mundo independiente del sujeto cognoscente y, además, dicho mundo posee una estructura. Además, se puede agregar la proposición existencial “existe en el mundo real algo tal como *cosas*”.

Finalmente, un científico puede estar de acuerdo con 1 y 2, pero negar la posibilidad de 3. Lo cual lo convertiría en un instrumentalista.

El tercer componente del realismo científico es, técnicamente, la afirmación de que podemos determinar si una teoría es falsa o no lo es. El componente dos nos dice que una teoría sólo puede ser o falsa o verdadera. Pero, ante la objeción escéptica el realista científico debe reconocer que nunca se puede estar completamente seguro; no existe ninguna certeza de que una teoría, por más confirmada que esté, sea la verdadera descripción del mundo y su estructura. Así que 3 se convierte en una especie de cláusula, que nos asegura la confianza de que una teoría exitosa debe ser, al menos, *aproximadamente verdadera*.

Como se verá en el tercer capítulo, es la negación de éste último componente el que define, en su mayor parte, la posición filosófica del instrumentalismo. Nancy Cartwright (1990), por ejemplo, considera que las leyes fenomenológicas, aquellas que son obtenidas directamente de la experimentación, como la ley de Lenz, pueden considerarse verdaderas, pero no así las leyes teóricas que intentan generalizar las leyes experimentales en un armazón lógico más abstracto, por ejemplo la teoría electromagnética de Maxwell²⁶. Cartwright se pronuncia, entonces, antirrealista con las teorías científicas, pero realista en cuanto las leyes experimentales.

Esto último conduce a la última distinción que se hará en este capítulo. Siguiendo el trabajo de Pierre Duhem, existe una distinción de tres niveles en el realismo científico: se puede hablar de un realismo acerca de las leyes científicas, un realismo sobre las teorías científicas (que sistematizan las leyes naturales en una estructura epistemológica más abstracta y compleja) y, finalmente, un realismo acerca de las entidades que dichas teorías postulan.

El primer producto de la actividad científica son las leyes, tales como la ley de la caída libre de los cuerpos o la ley de Boyle. Estas leyes indican regularidades detectadas en la naturaleza. Para el realista, dichas leyes son *naturales*: expresan relaciones reales presentes en la naturaleza, por lo que el científico las descubre. Para el instrumentalista, sin embargo, dichas leyes son *empíricas* o *experimentales*: resumen una serie de regularidades

²⁶ “I argue in this essays for a kind of anti-realism, and typically it is an anti-realism that accepts the phenomenological and rejects the theoretical. But it is not theory versus observation that I reject. Rather it is the theoretical as opposed to the phenomenological.” (Cartwright, 1990: 2)

encontradas en la experiencia, pero no son expresiones de una realidad oculta o subyacente a los fenómenos. Representan una “economía para el pensamiento” (Duhem, 1914/2003).

Dado un conjunto de leyes, los científicos tienden a clasificarlos en grupos que muestran ciertas afinidades. Dichos grupos pueden llamarse *teorías* cuando agrupan las leyes de tal forma que exista alguna relación lógica entre ellas, tal como el hecho de que alguna(s) se pueda(n) deducir de otra(s). Por ejemplo, la ley de Lenz es un caso de la ley de Faraday, misma que forma parte de la teoría electromagnética. Para el realista, las teorías científicas deben ser algo tal como una *clasificación natural*. El instrumentalista ve, sin embargo, un caso más de economía para el pensamiento.

Finalmente, algunas teorías pretenden explicar los fenómenos recurriendo a la postulación de *entidades*. Por ejemplo, la hipótesis de Avogadro implicaba la existencia de átomos, mismos que no eran directa o indirectamente observables a inicios del siglo XX. El antirrealismo exige tratar con cautela dichas *entidades*, ya que puede tratarse de ficciones útiles que ayuden en su tarea al investigador. Por el contrario, el realista asumirá que, si se acepta como verdadera la teoría, la existencia de dichas entidades está implicada por el éxito de la teoría que la postula.

En el siguiente capítulo, se examinarán casos pertenecientes a cada nivel de realismo científico.

Capítulo 2. Realismo científico e instrumentalismo en la historia de la física

2.1 Galileo: realismo en los inicios de la ciencia moderna

¿Qué hace, en cambio, Galileo? En vez de perderse en la selva de los hechos, entrando en ellos como pasivo espectador, comienza por imaginar la génesis del movimiento en los cuerpos lanzados cuius motus generationem talem constituo. Mobile quoddam super planum horizontale proiectum mente concipio omni secluso impedimento.

-José Ortega y Gasset

Es posible afirmar que fue una posición filosófica *realista* la que impulsó, al menos en algún grado, la creación de la ciencia moderna, en particular de la mecánica. Dicho impulso culminaría con el trabajo de Isaac Newton, en específico con los *Principia Mathematica*. De dicha tesis se puede concluir que, al menos en lo que concierne al nacimiento y formación de la ciencia moderna, durante los siglos XVI y XVII, la ciencia moderna nació y se concibió a sí misma como realista, es decir, los científicos y filósofos involucrados en esta historia compartieron, en su mayor parte, el realismo científico. Como se expuso en el primer capítulo, tal realismo científico debe cumplir con algunas premisas para ser llamado así, mismas que se han identificado como aquellas que expone Stathis Psillos: realismo metafísico-ontológico, teoría correspondentista de la verdad y un criterio verificacionista.

Aún en el caso de que se cumplan los requerimientos que, según Psillos, debe cumplir un realismo científico, es importante recalcar que, como se ha hecho una distinción entre niveles del mismo, es posible que aunque se cumplan en todos los niveles las premisas requeridas; las formas en las que cada científico y/o filósofo concibe dicha tesis

filosófica puede variar enormemente, debido a posiciones y supuestos admitidos por ellos, mismos que pueden alterar el conjunto general de una teoría expuesta²⁷, como ya se había explicado en el capítulo I.

Galileo es el fundador de la ciencia moderna. Es en su obra donde se pueden encontrar, de manera más clara y evidente, los fundamentos, objetivos y la metodología que se han aceptado como inherentes en la física a partir de los siglos posteriores a su muerte. Así que iniciar el rastreo del papel que han jugado las tesis realistas en la obra del filósofo natural italiano se muestra como necesaria. Además, Galileo también se erige como filósofo de la ciencia, al ser el primero en tomar conciencia de la absoluta novedad que presentan sus “nuevas ciencias” respecto al pasado, y de los problemas a los que éstas han de enfrentarse. Otro motivo decisivo para hacer el rastreo de las ideas filosóficas de Galileo Galilei es, precisamente, el hecho de que el filósofo italiano concibiera a la naturaleza como un “libro”, en el cual el comportamiento, o las reglas, que siguen los fenómenos estuvieran escritos en caracteres matemáticos. Estas reglas son a lo que posteriormente se ha llamado *leyes naturales*. Además, es en la época de Galileo y en las décadas posteriores a su muerte cuando empieza a forjarse el término *ley natural*. Aunque Galileo no fue quien utilizó por primera vez el concepto como ha sido utilizado en la física, es importante ligarlo al tópico, ya que de todos modos fue él quien formuló las primeras leyes de la “nueva ciencia”: la cinemática. Como se expuso en el capítulo anterior, la idea de *ley natural* es uno de los niveles en los que se puede presentar el problema del realismo científico, y Galileo es el primero en formular argumentos en su defensa, así como también fue el primero en concebir sus objeciones. Pero no es sólo el realismo científico una de las tesis básicas que la ciencia moderna adoptaría al interior de la física, también lo fue la premisa, filosófica, desde luego, de que son los fenómenos los que obedecen cierto tipo de leyes: las leyes de la naturaleza, o leyes naturales. Los filósofos y científicos involucrados en la génesis de la ciencia moderna, que la gran mayoría de las veces eran ambos, concibieron que estas leyes eran la estructura fundamental del universo y, además, que dichas leyes tendrían una forma matemática.

²⁷ Una teoría filosófica.

2.1.1 El libro y las leyes de la naturaleza

Antes de Galileo, eran pocas las leyes físicas que se conocían, al menos de las que aún aceptamos. Entre ellas, estaban las leyes de las máquinas simples, que se deben a Arquímedes y se podían expresar como relaciones geométricas simples, algunas leyes particulares de la óptica²⁸, entre otras. Se conocían los movimientos de las estrellas, el Sol, los planetas y la Luna, y se les podía predecir con cierto grado de exactitud; en el caso de los astros, su concepción del sistema del mundo era errónea, pero lo interesante era que, hasta Copérnico, se consideraba que los astros seguían la *ley del círculo* en su movimiento orbital, por lo que se les concebía moviéndose en deferentes y epiciclos. Incluso con esas complejas herramientas geométricas, los astrónomos y astrólogos de la antigüedad consiguieron resultados sorprendentes por su precisión.

Se puede definir el concepto *ley natural* como una *disposición o norma que siguen los fenómenos, u objetos, de manera necesaria*: es decir, se trata de una especie de regla que, por alguna razón, los fenómenos siguen²⁹ (Applebaum, 2000). Sin embargo, hasta Descartes³⁰, el concepto de *ley natural* no aparece con ese nombre; es decir, el término existía, pero no designaba lo que ahora se entiende. Galileo, a quien se deben las primeras leyes de la mecánica, no utiliza el concepto *ley natural* de esa manera. Más bien piensa una cierta *relación* entre los fenómenos. Esa relación, que asume matemática (geométrica), es de naturaleza necesaria, y aunque no la llame *ley natural*, se puede asumir que de eso es de lo que está hablando; es un anacronismo, claro, pero está justificado su uso en aras de una exposición más clara. El mismo criterio puede ser utilizado para su contemporáneo

²⁸ Euclides publicó las Leyes de la Reflexión hacia el siglo III a.C. El fenómeno de refracción ya era conocido por Aristóteles y el establecimiento de la ley cuantitativa se debe a Herón de Alejandría y Claudio Ptolomeo. Debo esta nota al Dr. Vicente Aboites.

²⁹ O parecen seguir. Por ahora, no se complicará de más el concepto. Eso pasará cuando se lleguen a las objeciones instrumentalistas.

³⁰ "...sino que también he notado ciertas leyes que Dios ha establecido en la naturaleza y cuyas nociones ha impreso en nuestras almas, de tal suerte que, si reflexionamos sobre ellas con bastante detenimiento, no podremos dudar de que se cumplen exactamente en todo cuanto hay o se hace en el mundo" (Descartes, 2010: 129). Como se verá más adelante, son exactamente las mismas ideas que expone Galileo, aunque no en la forma explícita de Descartes. Aun así, la influencia de ambos, decisiva sin ninguna duda, definirá los parámetros bajo los cuales será entendida la ciencia en los siglos posteriores.

Johannes Kepler, a quien se deben las tres leyes astronómicas que llevan su nombre, pero que tampoco utilizó el término en el sentido que ahora se le otorga³¹.

El término *ley natural* surge en la jurisprudencia medieval (*ius naturalis*, *lex naturalis*), mismo que se contrapone al de *ley positiva* (Zilsel, 2003). El primer término indicaba las reglas morales universales, comunes a todos los hombres, pueblos y culturas; esta universalidad emanaba de la misma naturaleza de los hombres, de su racionalidad y, en última instancia, de Dios mismo, quien dictaba las primeras, se trataba de leyes que todos los hombre *deberían* de cumplir; por otro lado, las *leyes positivas* eran contingentes, cambiaban según los gobiernos y los pueblos, y cambiaban a través del tiempo y las circunstancias. Así pues, *ley natural* inició como una metáfora tomada del derecho, pasando por ser un concepto teológico y después a ser un término de la filosofía natural, por la cual se concibe que los fenómenos, como los hombres, sigan algunas *directrices* de manera necesaria debido a su propia constitución natural; en otras palabras, de su misma naturaleza se deriva la *necesidad* de ciertos *comportamientos*. Como término jurídico, la ley natural indica lo que los hombres deben hacer; por el contrario, el mismo término en el conocimiento científico indica cómo los fenómenos se comportan *de facto* (Zilsel, 2003). Edgar Zilsel continúa diciendo que “las recurrentes asociaciones de eventos físicos observados, en los cuales los filósofos y científicos de un periodo se empiezan a interesar, fueron interpretados como órdenes divinas y fueron llamadas *leyes*”³² (2003: 97). Así pues, los orígenes tanto jurídicos como teológicos del término indican, de cierta manera, algunos elementos que el concepto ha de conservar posteriormente: la necesidad, la universalidad, la *racionalidad* de la ley.

El concepto *ley natural* va muy de la mano con la metáfora del *libro de la naturaleza* (Applebaum, 2000: 354-356). Éste último término surge de la idea de que Dios ha escrito la sagrada palabra en las escrituras, es decir, en la Sagrada Biblia; pero además de esto, también ha escrito, a la par, en el *Gran libro de la naturaleza*:

³¹ “Johannes Kepler, trabajando con datos cuidadosamente recogidos por Tycho Brahe sin la ayuda de un telescopio, desarrolló tres leyes que describen el movimiento de los planetas en el cielo.1. La ley de la órbita: Todos los planetas se mueven en órbitas elípticas, con el Sol en uno de los focos.2. La ley de las áreas: La línea que une un planeta al Sol, barre áreas iguales en tiempos iguales.3. La ley de los periodos: El cuadrado del periodo de cualquier planeta, es proporcional al cubo del semieje mayor de su órbita” (<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/kepler.html>).

³² La traducción es mía.

Y prestar atención al gran libro de la naturaleza, que es el objeto propio de la filosofía, es el modo de elevar las miras. Por más que todo lo que se lee en ese gran libro, como obra del Artífice omnipotente, sea por ello proporcionadísimo, es más claro y más digno donde mayor aparece a nuestra mirada la obra y el artificio. (Galilei, 1994: 3)

Por ende, ambos, la *Biblia* y la naturaleza, son obra del mismo *autor*. Concebir al mundo natural como obra del mismo artífice al que se debe la palabra sagrada es, evidentemente, una metáfora religiosa, pero en el tiempo de la revolución científica revestía a la filosofía de la naturaleza de una cierta necesidad. Lo más importante, es que le permitía a los filósofos pensar que Dios había concebido un plan exacto, determinista, incluso, y que hacía posible pensar que había reglas claras que el hombre podía descubrir si era lo bastante atento para mirar y entender lo que le mostraba ese libro (Applebaum, 2000: 91-92). Pero, incluso si era capaz de ver eso no bastaría, también, como con cualquier libro, tendría que saber el idioma en que estaba escrito; la gran apuesta de la revolución científica consistía en que concebir que el idioma eran las matemáticas.

La importancia de Galileo en la historia de la física radica en que intuyó que los cuerpos, todos ellos, se *comportan* según reglas geométrico-matemáticas. Se puede pensar en leyes naturales que no son, necesariamente, matemáticas. Anterior a Galileo, algunas leyes naturales fueron expresadas de manera cualitativa, sobre todo al interior del *corpus* aristotélico y los trabajos de algunos filósofos medievales. La concepción aristotélica invadía todo el campo de saber de la filosofía natural y es, a final de cuentas, el sistema aristotélico el que Galileo ha de rebatir en aras de instalar su propio sistema. Según el modelo aristotélico-ptolemaico del *cosmos*, existían dos regiones bien diferenciadas en el mundo: si se considera que la Tierra está en el centro del mismo, con la Luna orbitándola a ella, y después de la Luna están los planetas interiores (Mercurio y Venus), el Sol, luego los planetas exteriores (Marte, Júpiter y Saturno) y finalmente la esfera de las estrellas (que marcan el límite del mundo), entonces existe una región *sublunar*, en donde el movimiento y el cambio denotan que se trata de una región donde prima la corrupción y el caos; y existe también un mundo *supralunar*, donde los cuerpos son de naturaleza perfecta, revelada esta perfección por la eternidad y precisión de sus movimientos. Esta diferenciación es importante porque, en primer lugar, nos dice que los astrónomos antiguos han considerado

que los cuerpos celestes sí que han seguido en sus movimientos algo parecido a lo que llamamos actualmente *ley natural geométrica*; en segundo lugar, nos dice que esa concepción no se aplicó a los fenómenos sublunares porque, debido a su naturaleza corruptible, imperfecta y caótica, no eran susceptibles de ser tratados matemática o geoméricamente. La concepción de la naturaleza de los cuerpos imponía una restricción al tratamiento matemático de los fenómenos: los cuerpos celestes sí eran susceptibles de ese trato, los mundanos cuerpos sublunares no³³.

El primer gran reto de Galileo fue, entonces, deshacer esa brecha³⁴. Técnicamente, ha de convencer al lector medianamente culto, de que la naturaleza es uniforme y, por ende, que toda se mueve según un orden geométrico-matemático. Lo cual ya implica una concepción realista. Técnicamente hablando, en el tiempo de Galileo la gran mayoría de los filósofos, teólogos y casi toda la gente podría considerarse realista, en un sentido metafísico, a excepción de algunos místicos. Pero Galileo, que acepta que hay un mundo susceptible de ser conocido (la naturaleza), transforma la premisa realista al postular que dicha naturaleza tiene una estructura definida, que es común a todo el *cosmos* y que es, esencialmente, matemática.

En *Il Saggiatore* (1623), Galileo escribe sobre su concepción de la naturaleza y el conocimiento que el hombre puede obtener de ella:

La filosofía está escrita en este Gran Libro que siempre yace abierto ante nuestros ojos (es decir, el universo), pero no se le puede entender a menos que primero se entienda su lenguaje y se reconozcan los caracteres con los cuales fue escrito. Y está escrito en lenguaje matemático y los caracteres son triángulos, círculos y otras figuras geométricas;

³³ Acerca de la astronomía y cosmologías pre-copernicanas y la influencia de la teoría aristotélica en el desarrollo del pensamiento científico, véase (Kuhn T. S., 1978), (Rioja & Ordoñez, Sin año) y (Vernet, 2000).

³⁴ Según Klaus Fisher (1986) hay otra distinción metodológica/metafísica que hereda la tradición aristotélica a la que se enfrenta Galileo: "...según Aristóteles, el campo objetivo de la *mecánica* se reduce al tratamiento de los movimientos violentos, mientras que la *física* sólo trata de los movimientos naturales. (...) Sólo cuando se pudo probar o demostrar que ambos tipos de movimiento podían describirse con los mismos medios matemáticos y mediante las mismas regularidades de comportamiento, quedó abierto el camino hacia la reunificación de las dos disciplinas físicas" (págs. 37-38).

sin ellos es humanamente imposible comprender una palabra; sin ellos sólo se puede escarbar desorientado alrededor de un oscuro laberinto.³⁵

Así que se ha de dominar el lenguaje matemático para poder entenderla. Galileo no abandonará jamás esta premisa, aunque se ha de explicar su relevancia. Lo primero que revela dicha idea es que Galileo no sólo piensa que la naturaleza tiene una estructura definida, como ya se ha dicho antes, sino que esa estructura es matemático-geométrica. Ahora bien, esta tesis es el primer componente del realismo científico según Psillos (1999). Nótese que el realismo metafísico está implícito: es necesario que exista un mundo real (la naturaleza) para que, en principio, pueda tener dicha estructura; en otras palabras, *la realidad* es el sustrato, o el sujeto, que tiene la propiedad de poseer una estructura matemática. Así pues, el primer requisito de Psillos, el del realismo metafísico, se ve satisfecho y, a la vez, complementado. En segundo lugar, el hecho de que la naturaleza esté “escrita” matemáticamente, facilita el hecho de que ésta sea cognoscible; más aún, lo garantiza. Para asegurar la cognoscibilidad de la naturaleza, Galileo maneja dos premisas: 1) que la naturaleza está escrita matemáticamente y 2) que el ser humano *conoce* las matemáticas, o bien, que el ser humano es capaz de concebir las matemáticas³⁶. Lo

³⁵ La filosofia è scritta in questo grandissimo libro, che continuamente ci sta aperto innanzi a gli occhi (io dico l'universo), ma no si può intendere se prima non s'impara a entender la lingua, e conocer i caratteri, ne'quali è scritto. Egli è scritto in lingua matemática e i carateri son triangoli, cerchi, ed altre figure geometriche, senza i quali mezzi è impossibile a intenderne umanamente parola; senza questi è un aggirarsi vanamente per un oscuro leberinto. (Galilei, 1964: 631-632).

³⁶ Una tercera, que complementa a las demás, pero un poco más polémica sería que Dios, autor tanto de la naturaleza como del hombre y sus facultades, ha creado, matemáticamente la naturaleza y ha concebido al hombre como capaz de conocer las matemáticas y, por ende, el mundo natural. Esta concepción de Dios como matemático-geómetra la heredará la tradición moderna, incluso hasta Leibniz. La necesidad de tener a Dios como premisa es tan fuerte, que incluso Descartes no puede concebir un sistema mecánico de la naturaleza sin la idea de Dios: “El pensamiento también halla algunas nociones comunes a partir de las cuales compone demostraciones..., que le persuaden de modo tan absoluto, que no sabría dudar de su verdad mientras que presta atención a ellas. Por ejemplo, posee las ideas de números y figuras; también posee entre sus nociones comunes que «si se suman cantidades iguales a otras cantidades iguales, las sumas serán iguales», al igual que posee otras nociones tan evidentes como ésta; a partir de ellas es fácil demostrar que los tres ángulos de un triángulo son iguales a dos rectos, etc. Mientras que el pensamiento percibe estas *nociones y el orden* seguido para deducir esta conclusión o bien otras semejantes, está muy seguro de su verdad; ahora bien, dado que no cabría que se aplicara siempre con tanta atención, cuando *acontece que recuerda alguna conclusión sin tener en cuenta el orden mediante el cual puede ser demostrada*, y piensa, sin embargo, que *el Autor de su ser habría podido* crearlo de tal naturaleza que se equivocara...*en todo aquello* que le parece muy evidente, aprecia tanto que tiene un justo motivo para desconfiar *de la verdad de todo lo que se percibe distintamente*,

interesante es, entonces, el hecho de que el hombre pueda concebir, en su intelecto, o en el alma, la estructura misma de la naturaleza. Así pues, el filósofo italiano concibe que tanto la naturaleza como la mente humana *se corresponden*, o al menos es posible que lo hagan. Y es en ésta correspondencia donde reside la verdad. La segunda premisa del realismo científico se cumple también en la teoría epistemológico-metafísica de Galileo.

Galileo descubre la ley de la isocronía del péndulo en 1583, lo cual lo llevará, más adelante, al descubrimiento de la ley de la caída libre de los cuerpos. La expresión matemática que define el periodo de un péndulo simple viene dada por la ecuación:

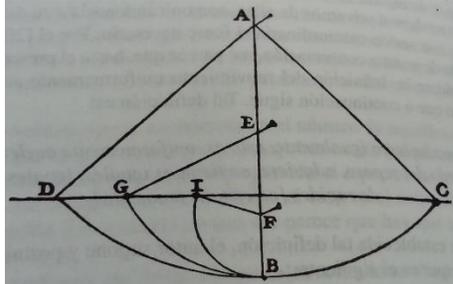
$$T = 2\pi\sqrt{l/g}$$

Donde T es el periodo que el péndulo tarda en hacer una oscilación completa, l es la longitud del hilo del cual cuelga un cuerpo de masa cualquiera y g es la aceleración de la gravedad, que es igual para todos los cuerpos (a determinada distancia del centro de la Tierra, por convención, se maneja el valor a nivel del mar: 9.81 m/s^2). Lo primero que nota Galileo es que no importa cuánto pese el objeto que pende del hilo, el periodo vale lo mismo independientemente de la masa del cuerpo, con la condición de que la longitud siempre sea la misma y *se ignore la resistencia del aire*. Ahora sabemos que la aceleración es una constante, pero Galileo deduce esto último de la observación directa, tal deducción ahora se puede hacer tan sólo atendiendo a la ecuación y a algunos supuestos. En efecto, se ve que la masa no representa una variable en la ecuación³⁷. Galileo utiliza este fenómeno como premisa para inferir que *todos* los cuerpos graves caen con la misma aceleración y, además, dicha aceleración es uniforme. La demostración de Galileo es, sin embargo, geométrica:

Imaginad que esta página sea una pared erigida verticalmente, con un clavo incrustado en ella. Desde dicho clavo se deja colgar una bola de plomo de dos o tres onzas mediante el finísimo hilo AB, cuya longitud es de dos o tres codos, quedando perpendicular a una línea horizontal, DC, que corte a escuadra la vertical AB. Este hilo está separado de la pared por un a distancia aproximada de dos dedos, si llevamos, después, el hilo AB, con la bola, hasta

como que no podría tener ciencia alguna cierta hasta que no hubiera conocido a quien lo ha creado.” (Descartes, 1995: 29-30).

AC y lo dejamos caer libremente, veremos, en primer lugar, que desciende describiendo el arco CB de modo que, sobrepasando el punto B, recorrerá el arco BD, llegando casi a tocar la recta que hemos trazado, CD. Si no llega a tocarla es por muy poco, siendo la causa de ello la resistencia que oponen el aire y el hilo. (Galilei, 1638/2015: 466).



En el texto anterior, lo más importante es la objeción que el mismo Galileo, en el personaje de *Salviati*, se plantea: el hecho de que la bola de plomo no llegue a tocar la recta CD por completo. Asume, claro está, que el resultado del experimento no será *completamente* el esperado, ya que la “resistencia del aire y el hilo” plantean una brecha entre la situación ideal descrita y la experiencia posible. Así, Galileo dilucida el principal problema entre la naturaleza ideal de las matemáticas y la experiencia: no es posible un acuerdo, una *correspondencia* completa entre ambas.

Además de la ley de isocronía del péndulo, piénsese en la ley más importante que Galileo formuló: la ley de la caída libre de los cuerpos. Se define el movimiento uniformemente acelerado aquel en el que *la intensidad de la velocidad crece según el incremento del tiempo* (la velocidad es proporcional al tiempo³⁸) (1638/2015: 461). En otras palabras, esta ley nos dice que un cuerpo que cae incrementa su velocidad con el paso del tiempo de manera uniforme; Galileo agrega que ese incremento viene dado según una *proporción geométrica*:

Teorema II. Proposición II: *Si un móvil cae, partiendo del reposo, con un movimiento uniformemente acelerado, los espacios por él recorridos en cualquier tiempo que sea están entre sí como el cuadrado de la proporción entre los tiempos, o lo que es lo mismo, como los cuadrados de los tiempos.* (Galilei, 1638/2015: 469).

³⁸ En cursivas, en el original.

Si se omite la demostración geométrica, se puede adelantar el corolario que Galileo deduce del teorema anterior: “Por lo tanto, cuando los grados de velocidad aumentan, en tiempos iguales, según la serie de los números naturales, los espacios recorridos, en los mismos tiempos, adquieren incrementos según la serie de los números impares *ab unitate*” (:470). Es decir, que si en un instante de tiempo de valor 1 se ha recorrido cierta distancia x (entiéndase que el valor es $1x$), en el doble de tiempo de habrá recorrido $3x$, en el triple de tiempo $5x$, etcétera³⁹. Galileo advierte, de la mano de *Simplicio*, el personaje que representa el paradigma aristotélico, que esta deducción matemática, si bien es consistente *in abstracto*, puede que no se vea confirmada por los sentidos: “que sea tal la aceleración que *de la que se sirve la naturaleza* en lo que atañe al movimiento de la caída de los graves, es algo, en mi opinión, un tanto dudoso por el momento” (:471). Obsérvese que la objeción de *Simplicio* es mucho más metafísica de lo que parece a primera vista. Galileo responde a ésta aduciendo que se ha realizado los experimentos en múltiples ocasiones y que los resultados “jamás diferían de una manera sensible” (:472). Pero lo que *Simplicio* replica va más allá de los resultados de la mera experimentación: duda de que exista la *necesidad* de que sea el caso que la naturaleza se apegue a la demostración. Galileo responde inductivamente: se han observado una multiplicidad de casos que así confirman, hasta el momento, la veracidad de la teoría; pero lo que exige el aristotélico es rigurosidad, ya que nada le ha de garantizar que los principios de los que parte Galileo son verdaderos, en específico, aquel que es más caro al italiano, la estructura matemática de la naturaleza. Como hace notar, correctamente, Paul Feyerabén (1986), el filósofo italiano ha postulado ciertas ideas de la naturaleza, cierto *paradigma* y cierto lenguaje natural, pero no ha demostrado que sean verdaderas o preferibles al paradigma aristotélico-ptolemaico. Antes bien, según Feyerabend, tan sólo ha hecho propaganda para defender sus propias tesis. Independientemente de lo que diga Feyerabend, Galileo se basa, al menos, en experimentos y generalización inductiva para apoyar sus conclusiones. Pero, precisamente, la crítica a la lógica inductiva es uno de los argumentos que utiliza el instrumentalismo, y el escepticismo en general, para negar el realismo científico.

³⁹ Dada la ecuación $s=g/2(t_2+t_1)(t_2-t_1)$, siendo g la aceleración de la gravedad y s el espacio recorrido entre los instantes t_1 y t_2 ; si s vale 1 y t_2-t_1 es un segundo, entonces $s=g/2(t_2+t_1)$, y t_2+t_1 será siempre un número impar, ya que es la suma de dos números consecutivos de los números naturales. (Galilei, 1638/2015: 471).

La tercer premisa de Psillos, la tesis de la verificabilidad, es el argumento invocado por Galileo: las experiencias nunca con *exactamente* como la teoría demanda; sin embargo, los resultados obtenidos en el experimento o en la experiencias son *muy cercanos*, lo que convence al filósofo de su validez: “El tamaño de sus círculos [de los planetas] y las velocidades de sus movimientos están tan próximos a los que dan los cálculos que resulta maravilloso” (1994: 28). Por supuesto, Galileo también justifica su concepción de la naturaleza y de la ciencia desde una postura metafísica en particular, el platonismo. Por ahora, baste decir que las teorías de Galileo cumplen las características que el realismo científico exige, pero no agota en ellas su contenido: es decir, es *un* realismo científico, entre varios posibles. Y éste en particular concibe que existen *leyes naturales*, lo cual justifica desde el platonismo y el pitagorismo.

2.1.2 Realismo científico como premisa de la nueva ciencia

Para la astronomía precopernicana, el trabajo usual consistía en realizar observaciones, lo más precisas posibles con los medios existentes, del movimiento de los cuerpos celestes y corregir las anteriores. Además, se trataba de realizar nuevos ajustes a las predicciones, ya que las inexactitudes de modelos astronómicos anteriores se hacían evidentes después de un lapso de tiempo considerable. Además, las distintas latitudes daban un cuerpo de datos observacionales distintos para cada región. Debido a este y otros problemas, desde que Ptolomeo escribiera *El Almagesto* hasta la publicación de *De revolutionibus orbium coelestium* de Nicolás Copérnico, se elaboraron múltiples modelos del sistema solar, que pretendían explicar el movimiento de los astros mediante diferentes combinaciones de círculos llamados *epiciclos* y *deferentes*. A pesar de que todos esos modelos eran, esencialmente, modificaciones del trabajo de Ptolomeo, la proliferación de diversas versiones de los mismos y de algunos problemas que el astrónomo alejandrino no había contemplado⁴⁰, dieron paso a una concepción instrumentalista de la astronomía.

Para la época de Copérnico, se consideraba que *la verdad* estaba vedada para el hombre y ésta sólo era conocida por Dios. Ante la complejidad del movimiento de los astros, en especial de las estrellas *errantes*, los planetas, la máxima meta a la que se podía

⁴⁰ Como la precesión de los equinoccios.

aspirar era a *salvar los fenómenos*⁴¹, es decir, los astrónomos y astrólogos del renacimiento, anteriores a Copérnico, incluso los árabes, se podían dar por bien satisfechos si podían hacer predicciones lo suficientemente exactas para poder elaborar un calendario o una predicción para la guerra. Así pues, *salvar las apariencias* o *salvar los fenómenos* tenía una connotación estrictamente instrumental, ya que se obviaba que las verdaderas causas y la verdadera estructura del mundo estaban vedadas a los hombres.

Así pues, la astronomía se asumía como esencialmente instrumentalista: su trabajo era hacer modelos de predicción cada vez mejores, pero el hecho de que estos se correspondieran con la realidad era algo que se había dejado de lado, incluso por el mismo Ptolomeo⁴². Sin embargo, esto no impedía que se concibiera el universo más o menos como el concebido por el modelo arsitotélico-ptolemaico. Lo más probable, pensaban, era que el cosmos estuviera ordenado de aquella manera, aunque la *verdadera* disposición, estaba oculta por un velo de ignorancia que le pertenecía, por naturaleza, al hombre.

En 1543 aparece, justo antes de morir Copérnico, la obra *De revolutionibus orbium coelestium*, donde el astrónomo polaco utiliza el heliocentrismo como premisa para explicar los movimientos celestes. En este libro, aparece un ignominioso prefacio, que no fue autorizado por Copérnico, titulado *Al lector sobre la hipótesis de esta obra*, escrito por Andreas Osiander, aunque no venía firmado por éste y hacía pensar que era el mismo Copérnico quien lo había escrito. En el texto se encuentra una postura instrumentalista evidente:

Divulgada ya la fama acerca de la novedad de las hipótesis de esta obra, que considera que la Tierra se mueve y que el Sol está inmóvil en el centro del universo, no me extraña que algunos eruditos se hayan ofendido vehementemente y consideren que no deben modificar las disciplinas liberales constituidas correctamente ya hace tiempo. Pero si quieren ponderar la cuestión con exactitud, encontrarán que el autor de esta obra no ha cometido nada por lo que merezca ser reprendido. Pues es propio del astrónomo calcular la historia de los movimientos celestes con una labor diligente y diestra. *Y además concebir*

⁴¹ En su *Comentario sobre Aristóteles*, Simplicio argumenta que fue Platón quien primero utilizó la expresión, pidiendo a sus alumnos que elaboraran un sistema que *salvara* los fenómenos celestes (Aboites, 2008).

⁴² Al hacer uso del punto ecuante para explicar la diferencias en la velocidad de desplazamiento de los planetas. Este punto ecuante era, evidentemente un truco geométrico “imposible de cumplirse en la realidad”, como él mismo reconoce. (Ptolomeo, 1987)

las causas de estos movimientos, o sus hipótesis, cuando por medio de ningún proceso racional puede averiguar las verdaderas causas de ellos. Y con tales supuestos pueden calcularse correctamente dichos movimientos a partir de los principios de la geometría, tanto mirando hacia el futuro como hacia el pasado. Ambas cosas ha establecido este autor de modo muy notable. Y no es necesario que estas hipótesis sean verdaderas, ni siquiera que sean verosímiles, sino que se basta con que muestren un cálculo coincidente con las observaciones⁴³, a no ser que alguien sea tan ignorante de la geometría o de la óptica que tenga por verosímil el epiciclo de Venus, o crea que ésa es la causa precede unas veces al Sol y otras le sigue en cuarenta grados o más. (Copérnico, 1543/2015: 17).

Para Andreas Osiander el valor de la obra de Copérnico no se encuentra en la *verdad* del sistema, ya que *evidentemente* no es verdadero, en el sentido correspondentista del término (que era, además, el único que existía entonces), sino que su valía se encontraba en la *utilidad* que le prestaba a los astrónomos y matemáticos. En efecto, gran parte del éxito de la obra de Copérnico se debió a que, precisamente, presentó considerables ventajas técnicas respecto al desfasado sistema ptolemaico. El primer gran éxito, póstumo, de Copérnico fue la renovación del calendario.⁴⁴ El siguiente fue un caso de confirmación: la predicción de las fases de Venus, mismas que se verían confirmadas por las observaciones que Galileo Galilei realizó varias décadas posteriores, donde también descubrió los astros medíceos: las satélites más grandes de Júpiter (Galilei, 1989).

Así pues, al menos hasta Galileo y Kepler, fueron pocos los filósofos que tomaron la hipótesis heliocéntrica como verdadera, pero varios astrónomos trabajaron con la obra de Copérnico tratándola siempre como *hipótesis*, es decir, como suponiendo que era verdad, tan sólo porque satisfacía los cálculos, pero teniendo siempre en mente que no podía serlo. De alguna manera, le estaba autorizado al astrónomo imaginar cualquier disposición de los astros y sus *orbes*, con tal de que pudiera predecir con cierta precisión el movimiento de aquellos; podía imaginar cualquier causa probable que la ayudara a concebir de manera más

⁴³ Todas las cursivas del párrafo son mías.

⁴⁴ Se cambió el calendario Gregoriano en lugar del calendario Juliano, que corregía algunos errores, sobre todo en el cálculo de la pascua, de los equinoccios y de los solsticios. Copérnico pudo resolver esto mediante la definición y adopción del año estelar como marco de referencia temporal en el cómputo de los fenómenos celestes conocidos hasta entonces.

fácil sus cálculos, pero no estaba entre sus funciones el explicar la verdadera naturaleza de las cosas y el mundo.

Galileo, sin embargo, no fue de ésta opinión. Él sabía bien que Copérnico estaba convencido de la verdad inherente a su teoría y el filósofo italiano estaba tan convencido como él pensaba que lo estuvo el polaco. En sus *Considerazioni circa l'opinione copernicana*, escritas en 1615 pero publicadas de manera póstuma, Galileo retoma la cuestión acerca del realismo implícito en la teoría Copernicana. Galileo, persuadido a conservar la opinión geocentrista, hace uso de su ironía y pedantería usuales, para disfrazar sus verdaderas opiniones, pero es fácil ver que se inclina por una interpretación realista de la tesis copernicana. De esta manera, escribe:

Quienes siguen afirmando que Copérnico, como astrónomo, únicamente sostuvo *ex hypothesi*⁴⁵ el movimiento de la Tierra y la inmovilidad del Sol, por cuanto permitía *salvar mejor las apariencias celestes* y converios, *sin que en ningún momento tuviese tal hipótesis por verdadera en la naturaleza*, demuestran (dicho sin malevolencia) haberse fiado excesivamente de aquellos que acaso hablan más a título personal que sobre la base de un conocimiento de la obra de Copérnico o una auténtica comprensión de la naturaleza del problema (razón por la cual hablan del mismo sin saber bien qué es lo que se traen entre manos).

Examínese en primer lugar (atendiendo sólo a las generalidades) el prefacio por medio del cual Copérnico dedica su obra al Papa Pablo III⁴⁶ y, para empezar, se verá cómo —a fin de llevar a cabo la tarea que se estimaba propia del astrónomo— había concebido y ejecutado su obra conforme a la hipótesis de la filosofía establecida y de acuerdo con el propio Ptolomeo, de manera tal que no dejaba nada que desear. Pero después, despojándose del hábito del astrónomo puro y vistiéndose con el del contemplador de la naturaleza, se dispuso a examinar si esta suposición de los astrónomos, que *concordaba suficientemente con los cálculos y las apariencias* de los movimientos de todos y cada uno de los planetas, podía también corroborarse verdaderamente en el mundo y en la naturaleza. Descubriendo que en modo alguno podía darse tal disposición de las partes del cielo (dado que, aunque cada una por separado estuviese bien proporcionada, de su conjunción resultaba una

⁴⁵ En cursivas en el original, en adelante todas las cursivas son mías.

⁴⁶ La dedicatoria al Papa venía inmediatamente después de la advertencia al lector que, como se dijo anteriormente, en la edición original venía sin firma.

monstruosa quimera), Copérnico se dispuso, como digo, a investigar *cuál podría ser en realidad* el sistema del mundo, *no ya pensando en la comodidad del astrónomo, cuyos cálculos habían sido satisfechos*, sino para llegar a dilucidar tan importante problema de la filosofía natural, en el convencimiento de que *si se habían podido salvar las apariencias con hipótesis falsas, mucho mejor podría hacerse de la mano de la auténtica constitución del universo*. (Galilei, 1998)

De lo expuesto se pueden deducir algunas directrices metodológicas y epistemológicas importantes. La primera de ellas, y la que más interesa a este trabajo, es que la ciencia *debe* aspirar a la verdad, en su sentido correspondentista, y no debe conformarse con el mero cálculo y predicción de los fenómenos. Teniendo esto en cuenta, Galileo defiende que, si ya han sido satisfechos los cálculos que los matemáticos requieren, la próxima meta, más sublime y atractiva, es indagar las verdaderas causas de los fenómenos, y no sólo *salvar las apariencias*. En otras palabras, la función de una auténtica ciencia de la naturaleza es apartar el velo de las apariencias y descubrir la verdad subyacente en la aleatoriedad de los fenómenos, por lo que el auténtico filósofo será el que conozca las causas reales, la verdadera esencia de la naturaleza. En segundo lugar, pero también muy importante, Galileo infiere una conclusión importante por la cual el filósofo de la naturaleza ha de preferir el realismo científico, aunque él no lo llame así, al instrumentalismo que pregona Osiander: la dilucidación de las verdaderas causas, del verdadero mecanismo del mundo, de las correctas *leyes naturales* que obedecen los fenómenos, será mucho más útil que *imaginar hipótesis*, es decir, de elaborar modelos que tan sólo intentan explicar de manera conveniente los fenómenos. Es decir, es posible que existan múltiples formas de calcular el movimiento de los astros y, por extensión, múltiples formas de explicar los fenómenos, pero la verdadera realidad (*realitas rerum*) siempre será la mejor explicación *per excellence*. Además, la verdadera ley que se corresponda con la realidad será la más *coherente* posible: múltiples modelos o hipótesis en solitario pueden funcionar en explicar fenómenos aislados, pero fallan al considerarse en conjunto. Una ley verdadera debe ser consistente con todas las otras verdades: “porque está claro que dos verdades no pueden oponerse” (Galilei, 1994: 52-53).

Galileo se erige no sólo como la primer figura importante de la física, en la modernidad, sino también como uno de los primeros filósofos de la ciencia. Y es, además,

la dicotomía entre el instrumentalismo y el realismo una de sus principales reflexiones, como se puede apreciar en el párrafo citado. Porque, como señala Alexandre Koyré (2005), Galileo tiene en mente más que nuevas teorías que busquen explicar el mundo, sino que *sabe* que, inclusive, necesita una nueva ciencia, absolutamente distinta de lo ya conocido, que lo haga. En otras palabras, una nueva concepción del mundo lleva consigo una nueva concepción de la ciencia, de su método, sus premisas, sus alcances y, sobre todo, también implica una cierta concepción de la naturaleza.

2.1.3 Influencia de Platón en Galileo

Galileo, entonces, concibe a la ciencia como realista. Pero sus ideas van mucho más allá de las componentes esenciales del realismo científico. Además, se ha de tomar en cuenta que la manera en que concibe al hombre, la ciencia y al mundo definen una metafísica y una epistemologías específicas, mismas que moldean su pensamiento y que lograrán heredarse a los pensadores que le sucedieron, aunque se hicieran posteriores modificaciones.

En primer lugar, la influencia del platonismo es innegable. La parte más evidente de esta influencia es el hecho de que el filósofo italiano escriba sus principales obras como diálogos. Pero no sólo esa presentación será decisiva, se decanta, al igual que “el de los anchos hombros”, por una exposición dialéctica: los personajes han de intercambiar opiniones, definir sus conceptos, aterrizar ideas, llegar a contradicciones, comenzar de nuevo, etcétera. Las referencias a Platón son más que evidentes (Galilei, 1994: 35, 44, 45, 58, 107, 128, 217, 229, 234, 423), pero es más interesante su concepción acerca de la realidad.

El gran problema filosófico de la revolución copernicana es aquél que consiste en diferenciar qué es real y qué es lo aparente. Cuando Copérnico asume que el movimiento del Sol es sólo una apariencia que el razonamiento ha ayudado aclarar, la pregunta que la modernidad heredaría como conclusión de la premisa del astrónomo polaco es: ¿cuándo se sabe que los sentidos están siendo engañados? De manera similar, Galileo ha de enfrentarse

a ése problema. Cuando expone algunos de sus observaciones de la superficie lunar realizadas con el telescopio, el personaje de *Simplicio* objeta: “Además, todas las apariencias de las que habláis, montes, escollos, diques, valles, etc., son ilusiones” (Galilei, 1994: 65).

Galilei, además, ha de conciliar su premisa de que la naturaleza posee una estructura fundamentalmente geométrico-matemática con el hecho de la aleatoriedad con la que se presentan los fenómenos. La forma de realizar la síntesis de ambos supuestos, es asumiendo que lo que se muestra a los sentidos son una *apariciencia* y que son una expresión de una realidad más fundamental, una realidad de tipo platónico. Galileo no niega algún grado de realidad a los fenómenos, existen y son captados por los sentidos; más bien reclama que debe existir una realidad más esencial de la cual los fenómenos, los objetos, participan. Esa realidad fundamental, en clara analogía con el mito de la caverna de Platón, es la que aspira a explicar la ciencia, que descubre las leyes fundamentales de la naturaleza, oculta a los sentidos pero accesible a la razón humana. La verdad, por tanto, se muestra como *aletheia*, como quitar el velo de las apariencias para alcanzar la verdadera realidad de las cosas.

SIMP. Pero, Dios bendito, ¿cómo, si se mueve transversalmente, la veo yo moverse en línea recta y perpendicular? Eso es negar lo que manifiestan los sentidos. Y si no debe creerse a los sentidos, ¿por qué otra puerta se debe entrar a filosofar? (Galilei, 1994: 149).

En efecto, la herencia que la revolución copernicana y, por extensión, la revolución científica ha de hacer a la modernidad en general, y a la física en particular, es que no se puede confiar en los sentidos por sí solos. La ciencia aristotélica, esencialmente observacional, ha caído en muchos errores que ahora saltan a la vista. No es ninguna sorpresa, por ende, que la dicotomía epistemológica entre el empirismo y el racionalismo se presentara tan cercana en el tiempo a la obra del filósofo florentino. Respondiendo a la pregunta de *Simplicio*, Salviati dirá que será por medio de la razón, a través de la demostración matemática, que se ha lograr el acceso a la verdad, a “el verdadero, real y esencial movimiento” (1994: 150).

Que la verdad sea necesaria, inmutable y eterna, como lo son las matemáticas, lo demuestra el hecho de que el hombre mismo sea capaz de concebirla por sus propios medios. Al igual que Platón en *Menón*, cuando hace que el esclavo haga una demostración

matemática, Galileo ha de mostrar al aristotélico que puede acceder a las verdades que ha están en su alma:

SIMP. Diré, en primer lugar, que no he hecho tal observación. Segundo, diré que no lo creo. Diré, además, en tercer lugar, que si lo aseguraseis y me lo mostraseis con una demostración serías un gran demonio.

SAGR. Pero de los de Sócrates, no de los del infierno. Pero vos insistís en el enseñar. Yo os digo que si uno no sabe la verdad por sí mismo, es imposible que otro se lo haga saber. Puedo enseñaros cosas que no son verdaderas ni falsas, pero las verdaderas, es decir las necesarias, o sea las que es imposible que sean de otro modo, cualquier inteligencia media las sabe por sí mismo o es imposible llegar a saberlas. Y sé que así también lo cree el señor Salviati. Por ello digo que conocéis las razones de estos problemas pero quizá no os dais cuenta. (1994: 138)

En otro lado, *Salviati* expone:

Ahora, Sr. Simplicio (si es que habéis quedado satisfecho), podéis comprender que vos mismo realmente sabíais que la Tierra no resplandecía menos que la Luna, y que con sólo recordaros algunas cosas, ya sabidas por vos y no enseñadas por mí, habéis estado seguro” (:81).

Una vez más: el hecho de que el alma pueda concebir una verdad matemática, que coincide con la estructura matemática del mundo es el fundamento de la ciencia, según Galileo. Ésta premisa, que es esencialmente platónica, tiene la siguiente objeción: que los fenómenos no parecen ajustarse *completamente* a dicha necesidad matemática⁴⁷. Ante esta objeción, de lejos la más fuerte que se puede hacer al realismo científico, Galileo responde con el criterio verificacionista, como se vio más arriba: entre más precisas las observaciones, más se puede uno convencer de la realidad de las tesis expuestas. Pero, en realidad, es en el platonismo donde descansa la fuerza de su argumentación. Es decir, el criterio verificacionista puede satisfacer en parte a algunos, pero la verdadera persuasión viene de parte de las premisas platónicas admitidas: la estructura matemática de la

⁴⁷ “SIMP. No diré que este argumento vuestro no pueda ser concluyente, pero afirmaré con Aristóteles que en las cosas naturales no siempre se debe buscar una necesidad de demostración matemática” (Galilei, 1994: 13).

naturaleza, las matemáticas que se dan, de manera innata, aunque discursiva⁴⁸, en el hombre, la dicotomía entre realidad y apariencia, etcétera. En síntesis, la realidad matemática, ideal en sentido platónico es causa y fundamento de la realidad accesible a los sentidos; dicho de otra manera, la realidad que se aparece a los sentidos (*phenomenon*) es un reflejo de una más fundamental: la matemática.

Paul K. Feyerabend (1986) explica, con acierto, que Galileo no demuestra sus premisas. El filósofo italiano se limita a tratar de persuadir a su interlocutor de que dichas tesis son factibles, probables, y empieza a dar explicaciones, *ex suppositione*, de los temas que le interesan. Y deja el criterio verificacionista (inductivista, en última instancia) como último recurso.

Por último, ante la objeción planteada, que lo geométrico (ideal) y lo real (los fenómenos, los hechos) no coinciden *completamente*, Koyré explica:

“Por el contrario, la objeción galileana implica que lo real y lo geométrico no son en modo alguno heterogéneos y que la forma geométrica puede ser realizada por la materia. Más aún: que siempre lo es. Porque aunque nos fuera imposible hacer un plano perfecto o una esfera cabal, esos objetos materiales que no serían «esfera» o «plano» no estarían privados, por ello, de forma geométrica. Serían irregulares, pero de ningún modo imprecisos: la piedra más irregular posee una forma geométrica tan precisa como una esfera perfecta; es sólo infinitamente más complicada.

⁴⁸ Se puede entender mejor la relación que existe entre los fenómenos y la realidad matemática subyacente de la que los primeros dependen, examinando la analogía de la línea de Platón (República, 510a-511e). “Hay cuatro tipos de conocimiento, que se corresponden con cuatro grados de realidad; son distintos y graduales, y «cada uno de ellos participa tanto más de la claridad cuanto más participen de la verdad los objetos a que se aplica». La *eikasía* (imaginación) es el grado de conocimiento más alejado de la verdad, pues su contenido, los *eikonés*, son las imágenes que son reflejo del mundo exterior sensible, que a su vez es reflejo del mundo intelectual(...). Los *eikonés* son imágenes del mundo físico y natural, del mundo externo, de nuestro mundo. Platón denomina *pístis* (que se puede traducir por «creencia») al modo de conocer el mundo. Es muy buena la expresión platónica para referirse al conocimiento de lo físico natural, pues significa creencia y confianza, es decir, un tipo de conocimiento basado en el hábito, pero que no posee la inectubilidad de lo necesario. *Eikonés* y mundo exterior constituyen el mundo de lo opinable (*doxastá*), y sus formas de conocimiento son *eikasía* y *pístis*, que constituyen la *dóxa*. Así como los *eikónes* son imitaciones del mundo exterior, éste es imitación imperfecta del mundo superior. El mundo superior, el de lo inteligible (*noetá*), se divide en dos: las entidades matemáticas, geométricas y similares (Platón las resume en *mathematiká*), cuya forma de conocimiento es la *diánoia* (conocimiento deductivo), y los *archaí*, cuya forma de conocimiento es la *noésis* (inteligencia o intuición). (Alegre Gorri, 2010: L-LI).

La forma geométrica es homogénea con la materia; he aquí por qué las leyes geométricas tienen un valor real y dominan la física. He aquí, como en un pasaje justamente famoso del *Saggiatore* nos dice Galileo, es matemático el lenguaje de la naturaleza, lenguaje cuyas letras y sílabas son triángulos, círculos y rectas. Y por esto hay que interrogarles en este lenguaje: la teoría matemática es anterior a la experiencia. (Koyré, 2009: 270).

2.2 Instrumentalismo y la teoría electromagnética de Maxwell

The only laws of matter are those that our minds must fabricate and the only laws of mind are fabricated for it by matter.

-James Clerk Maxwell

2.2.1 Teorías físicas y clasificación de leyes

La ley de la caída libre de los cuerpos, tal como la formuló Galileo, sólo es aproximadamente válida. Esta ley dice que todos los cuerpos, independientemente de su masa y de la distancia a la que estén de la superficie de la Tierra, experimentarán la misma aceleración. Experimentalmente, al nivel del mar, se ha obtenido un valor para la aceleración (g) de aproximadamente 9.86 m/s^2 . Pero, en realidad, esta aceleración cambia (se denota el cambio en la aceleración como Δa) según aumenta, o disminuye, la distancia entre el cuerpo y la Tierra. Como en la práctica dicho Δa es técnicamente imperceptible en distancias muy cortas, la ley de Galileo puede considerarse válida para todos los fines *prácticos*. Lo mismo vale para las leyes de Kepler: son aproximadamente válidas.

Sin embargo, el concepto de *ley* sugiere universalidad: deben ser válidas en todos los casos. El hecho de que las leyes de Kepler y de Galileo sólo sean válidas en ciertos contextos bien delimitados, o bien sólo lo sean de una manera aproximada, implica algún grado de escepticismo ante el concepto mismo de ley.

En el siglo XVI, sin embargo, los experimentos y observaciones podían considerarse lo suficientemente exactos dados los medios existentes, así que, hasta donde se podía esperar, la teoría coincidía con los datos de la experiencia. Además, las leyes del movimiento planetario se consideraban independientes de las leyes del movimiento de los cuerpos en la Tierra. Hasta entonces, aún existía una brecha epistemológica entre la

comprensión de los fenómenos celestes y los terrestres, si bien Galileo y Tycho Brahe se habían encargado de desvanecer dicha brecha en el terreno físico y metafísico⁴⁹.

Corresponde a Isaac Newton el haber desvanecido la brecha epistemológica entre las leyes de Kepler y de Galileo. En efecto, la publicación de los *Principia*, en 1687, el científico inglés unifica todos los fenómenos del movimiento conocidos, celestes y terrestres, en una sola *teoría* y en un número muy pequeño de leyes fundamentales. Tomando tres leyes como axiomas de su sistema, Newton deriva la ley natural más fundamental conocida hasta entonces: la ley de la gravitación universal.

Lo importante de la ley de la gravitación universal, es que de ella se pueden deducir las leyes del movimiento planetario y de la caída libre de los cuerpos, entre otras. En otras palabras, éstas últimas constituyen un caso particular de la primera. La ley de la gravitación es, además, una ley *causal*, ya que indica la causa del movimiento, mientras que Galileo y Kepler sólo se limitaron a describir matemáticamente el fenómeno observado. Por ende, existen diferencias epistemológicas y ontológicas importantes entre estos diferentes tipos de leyes.

Newton elaboró un sistema matemático del que se podían deducir, y explicar, todos los fenómenos del movimiento conocidos hasta entonces. Para diferenciar epistemológicamente la obra de Newton de la de Galileo y Kepler, se llamará *teoría física* a la del filósofo inglés. Recapitulando, los últimos elaboraron, o descubrieron, leyes naturales *particulares*, o leyes físicas particulares, y Newton ha desarrollado una *teoría física* que unifica dichas leyes, en una más general, la ley de la gravitación universal.

Recuperando un poco las concepciones metodológicas de Imre Lakatos, se puede hablar, a grandes rasgos, que a partir de los *Principia*, se instaura un programa de investigación, que coincide con los objetivos de la filosofía mecanicista, cuya finalidad es explicar los fenómenos de la naturaleza en función del movimiento de la materia y el nuevo concepto de *fuerza*; es decir, toda explicación debería, en última instancia, reducirse a la aplicación de la teoría de Newton.

⁴⁹ Con la observación de un cometa, Tycho Brahe había llegado a la conclusión de que no podían existir las esferas celestes, por lo que la distinción entre mundos sublunar y supralunar quedaba obsoleta.

Con estas consideraciones como base, este trabajo toma como premisa una diferencia entre una *ley física* y una *teoría física*. Una teoría física es una clasificación de leyes físicas (Duhem, 1914/2003).

La teoría de Newton no es, sin embargo, la única que unifica de esta manera leyes físicas, ya sea que se les conciba de manera realista, como leyes naturales, o de manera instrumentalista, como leyes empíricas; tampoco es la única ley fundamental de la física. En el mismo nivel de importancia se puede ubicar la teoría electromagnética de James Clerk Maxwell, misma que tiene por fundamento las leyes que llevan el nombre de este científico escocés del siglo XIX. En los siguientes apartados, se analizará el desarrollo histórico de la teoría electromagnética de Maxwell, tomando en cuenta un especial aspecto del contexto histórico-epistemológico en el cual se produjo: la actitud antirrealista e instrumentalista que caracterizó a la física del siglo XIX.

Sin embargo, antes de comenzar a analizar el desarrollo y algunos contenidos de la teoría de Maxwell, se ha de aclarar un poco más el uso del término *teoría*, para evitar, en la medida de lo posible, algunas confusiones.

Si se toma al pie de la letra la definición de Duhem de que una teoría física es “una clasificación de leyes experimentales”, entonces existen, como tales, tan sólo unas pocas teorías de este tipo. La primera de ellas, como se dijo un poco más arriba, fue la teoría gravitacional de Newton, que organiza las leyes físicas de la mecánica y la dinámica en un solo cuerpo teórico bien organizado, con sus principios, definiciones, teoremas y postulados. Otras teorías físicas serían la teoría óptica, que sintetiza las leyes experimentales que representan los fenómenos de la luz; la teoría electromagnética, que resume las leyes de la electricidad y el magnetismo en un solo conjunto de principios y leyes generales⁵⁰; la mecánica cuántica y la teoría de la relatividad, mismas que aparecieron a inicios del siglo pasado para explicar los fenómenos subatómicos y aquellos que tienen lugar a velocidades cercanas a la de la luz, respectivamente; entre otras.

La inmortal obra de Newton, los *Principios matemáticos de la filosofía natural*, supuso un logro asombroso para la mente humana, al explicar y *predecir* un gran número de fenómenos. Dicho logro implicó la idea de que otros fenómenos que no habían sido explicados, ni mecánica ni matemáticamente, podrían ser susceptibles de serlo, como los

⁵⁰ Y también los fenómenos de la luz, como se verá más adelante.

fenómenos químicos (la combustión, la oxidación), los eléctricos (los rayos en las tormentas), magnéticos (la brújula y la magnetita), el calor, etcétera.

Ante la imposibilidad de reducir los otros fenómenos a una explicación mecanicista o bien a los principios de la filosofía de Newton, los fenómenos se empezaron a clasificar dentro de sus propios campos, generando así el surgimiento de nuevas teorías físicas, es decir, de clasificaciones de leyes obtenidas por la experiencia. Ésta experiencia fue controlada en la gran mayoría de las veces, por lo que a las leyes empíricas obtenidas de esta manera se les llama leyes *experimentales*.

2.2.2 Las leyes de Maxwell

James Clerk Maxwell fue un físico escocés. Nació el 13 de Junio de 1831 y falleció el 5 de Noviembre de 1879. Actualmente es considerado uno de los más grandes físicos de todos los tiempos, y sus teorías sobre electricidad y magnetismo se encuentran entre las más fundamentales de la física; en el campo del electromagnetismo, su estatus es comparable al de Isaac Newton. Además de trabajar en la síntesis de la teoría electromagnética, Maxwell también desarrolló la teoría cinética de gases, trabajó sobre la teoría del calor, explicó la estabilidad de los anillos de Saturno y la naturaleza de la luz, predijo la existencia de ondas electromagnéticas, entre otras cosas (Harman, 1998).

Su principal contribución a la física fue su trabajo teórico acerca de los fenómenos electromagnéticos. Durante las primeras cinco décadas del siglo XIX se desarrollaron importantes avances en la investigación de éste tipo de fenómenos. Poisson, Ohm, Oersted, Ampere y Faraday, entre otros, realizaron una gran cantidad de observaciones y experimentos que sentaron las bases del trabajo de Maxwell. Ampere, Faraday y Gauss desarrollaron las primeras versiones de lo que más tarde se conocerían como las *leyes de Maxwell*, mismas que constituyen el principal contenido de su teoría, junto con la noción de *campo electromagnético*. Para entender el alcance e importancia de sus teorías, es necesario hacer un rápido repaso histórico acerca de los principales conceptos implicados en la evolución de la física del siglo XIX. Una vez analizadas, se podrá entender la radicalidad de las ideas de Maxwell y, con base en esto, se podrá comprender su importancia desde el punto de vista de la filosofía de la ciencia.

El primer abordaje científico serio acerca de los fenómenos de la electricidad y el magnetismo fue el libro *De magnete*, publicado en 1600, por el inglés William Gilbert. En esta obra, Gilbert analiza todos los fenómenos de este tipo conocidos hasta entonces, y hace una diferenciación entre fenómenos eléctricos y magnéticos: los primeros pueden ejemplificarse por el fenómeno que sucede al momento del frotamiento de la seda y el ámbar, mismos que empiezan a atraer pequeños trozos de otros materiales o bien repelerlos; y los segundos por la atracción del hierro por medio de la magnetita, que no requiere frotamiento. Mientras las observaciones y descripciones de Gilbert son exactas, sus explicaciones caen dentro de la tradición naturalista y con tendencias mágicas y animistas del renacimiento, aunque su influencia llegaría a Kepler, Galileo y Newton. Lo importante es que Gilbert inaugura una tradición que ve dos tipos distintos de fenómenos y se tardará al menos 200 años en empezar a visualizar la relación entre ambos.

A partir del trabajo de Galileo Galilei, René Descartes y, sobre todo, de Isaac Newton, los filósofos naturales empiezan a trabajar bajo las directrices filosóficas del *mecanicismo*, una doctrina que dice que todos los fenómenos naturales encuentran su explicación última en la materia y el movimiento de ésta: en otras palabras, la realidad no es más que materia y movimiento. A partir de Newton, sin embargo, también se incluyen las *fuerzas* como un componente más del mecanicismo. Así pues, toda aleatoriedad de los fenómenos podrá reducirse a una explicación de la materia, su movimiento y las fuerzas implicadas. Para Newton y sus seguidores, la fuerza (lo que modifica la velocidad de un cuerpo con movimiento uniforme rectilíneo o en estado de reposo) puede ser *acción a distancia*, como la fuerza de gravedad. Para los cartesianos y algunos otros, como Leibniz, la fuerza a distancia será una especie de *causa oculta*, que Newton es incapaz de explicar (Westfall R. , 1980).

En cuanto a los fenómenos eléctricos y magnéticos, estos fueron estudiados al margen del mecanicismo, por la incapacidad de aplicar las leyes de la mecánica a los fenómenos de esta clase. Así que una buena parte de los estudiosos del tema invocaban la existencia de *fluidos* para explicar los fenómenos eléctricos y magnéticos. Por ejemplo, Benjamin Franklin creía que podría atrapar el fluido eléctrico en un frasco, lo cual lo llevó a su famoso experimento con la cometa; el mismo principio llevó al invento de la botella de Leyden. La tradición de explicar los fenómenos mediante *fluidos imponderables*, es decir,

mediante una especie de materia *continua*, pero sin las características comunes de la materia o de otros fluidos, como los gases o los líquidos, era un recurso común en el siglo XVIII. En la química se trabajaba con la hipótesis del flogisto; también se concibió la hipótesis del calórico, para tratar de explicar los fenómenos del calor y la temperatura; en óptica se empezó a trabajar con el *éter*, una entidad teórica que no se desechó hasta bien entrado el siglo XX; etcétera.

Tras la invención de la pila de Volta, por Alessandro Volta, presentada ante la Royal Society en 1800, las investigaciones sobre la electricidad, el magnetismo y el *galvanismo*, pronto se multiplicaron y se hicieron más complejas. Hasta entonces, tan sólo se podía trabajar con cargas electrostáticas, es decir, cargas en reposo. Pero con la invención de la pila voltaica se pudo trabajar con corrientes, o *flujos* constantes de electricidad. A partir de entonces, los progresos fueron bastante rápidos.

La electrostática tenía como base la ley de Coulomb, descubierta experimentalmente por Charles-Augustin de Coulomb, en 1785, y cuya forma era la de una ley del cuadrado de la distancia⁵¹, $f = k_e \frac{q_1 q_2}{r^2}$, análoga a la ley de gravitación universal⁵². Los franceses, por tal motivo, pretendían encontrar leyes generales de la electricidad y el magnetismo, que tuvieran esta misma forma, lo cual garantizaba que habría una explicación mecanicista y matemática del fenómeno. Es decir, se pensaba en la acción de las fuerzas eléctricas y magnéticas como fuerzas a distancia, análogas a la fuerza de gravedad.

Hans Oersted demostró, en 1819, que una corriente eléctrica que fluye por un alambre conductor podía desviar la aguja de una brújula que estuviera muy cerca del alambre, lo cual implicaba que una corriente eléctrica podía generar un efecto magnético.

Físicos como Ampere y Poisson trabajaron en desarrollar una teoría matemática que pudiera sistematizar en un solo cuerpo teórico los nuevos fenómenos y los ya conocidos. Además, generaron nuevos experimentos y leyes experimentales que expresaban, matemáticamente, sus resultados (Braun, 2014). De estas leyes, la más importante es la ley de circuitos de Ampere, enunciada en 1826, por André-Marie Ampere. Esta ley nos permite

⁵¹ Donde q_1 y q_2 son dos cargas que se encuentran a una distancia r , y k_e es una constante conocida como *constante de Coulomb*, cuyo valor en unidades del Sistema Métrico (SI) es de $8.9875 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$. La fuerza f puede ser de atracción o repulsión dependiendo del signo de las cargas. La constante de Coulomb es también la constante de la energía eléctrica o del campo eléctrico.

⁵² Universalmente conocida, pero aún así vale la pena mostrarla: $f = G \frac{m_1 m_2}{d^2}$.

calcular la intensidad del campo magnético en una trayectoria cerrada irregular, o regular, que se genera alrededor de un cable por el que pasa una corriente. Es decir, es la expresión matemática del experimento de Oersted. Si se supone la trayectoria irregular, ésta se puede dividir en segmentos cortos de longitud Δl . Si se multiplica cada uno de esos segmentos por el componente del campo magnético paralelo a ese segmento, que se expresa como $B_{||}\Delta l$, de acuerdo a Ampere, la suma de dichos productos sobre la trayectoria cerrada es igual a μ_0 veces la corriente neta I que pasa a través de la superficie rodeada por la trayectoria cerrada⁵³. Su expresión matemática completa es:

$$\sum B_{||}\Delta l = \mu_0 I$$

En pocas palabras, la ley de Ampere nos dice que una corriente eléctrica fluyendo a través de un alambre recto siempre genera un campo magnético, y su forma matemática nos ayuda a calcular la intensidad de dicho campo B .

El siguiente gran paso fue dado por Michael Faraday. Considerado por Maxwell como la máxima autoridad en física experimental y en las investigaciones sobre electricidad y magnetismo, Faraday realizó un gran número de experimentos, mismos que lo convierten en el mayor genio experimental de la historia de la ciencia. Dos de sus contribuciones más importantes fueron el concepto de *líneas de fuerza*, de las que Maxwell derivaría el concepto de *campo*⁵⁴, junto con J. J. Thompson y Weber, y la *ley de inducción de Faraday*. Además de demostrar la *polarización de la luz* mediante experimentos.

Faraday comenzó a desarrollar el concepto de *línea de fuerza* como un instrumento para *imaginar* las fuerzas magnéticas y eléctricas en acción. Ésta idea fue sugerida, además, por la experiencia: cuando se ponen limaduras de hierro en un papel y debajo de éste se pone un imán, las limaduras de hierro forman un patrón de líneas que parecen ir de un polo al otro. Análogamente, Faraday intenta explicar la acción de las fuerzas eléctricas y magnéticas *mediante* esas líneas. Poco a poco, Faraday empezará a creer que dichas líneas

⁵³ Fundamentos de física Volumen 2. Raymond A. Serway, Jerry S. Faughn. Pp. 347-348.

⁵⁴ La palabra *campo* fue utilizada por primera vez por Michael Faraday en 1845 para referirse al campo magnético. Thompson utilizó el término *campo de fuerza* en 1849 y fue James Clerk Maxwell quien utilizó el término *campo electromagnético* en 1865 (Harman P. , 1982: 72).

son *reales* y no tan sólo una herramienta que facilita el imaginar los mecanismos que rigen a los fenómenos.

Por otro lado, Faraday se hace la siguiente pregunta: si una corriente eléctrica puede generar un campo magnético, ¿es posible que un *flujo* magnético genere corriente eléctrica? En efecto, experimentalmente, Michael Faraday logra obtener una corriente eléctrica de un campo magnético, o más precisamente, de *la variación en el tiempo del flujo magnético*. Por lo tanto, pensaba Faraday, la electricidad y el magnetismo debían estar relacionados. En efecto, si se enrolla un cable en espiras (una bobina) y se pasa un imán por el centro de ellas, el cambio relativo de la posición de ambos producirá una corriente eléctrica *inducida*.

“Si un circuito contiene N espiras enrolladas y el flujo (magnético) a través de cada espira cambia en la cantidad de $\Delta\Phi_B$ durante el intervalo Δt , la fem inducida promedio en el circuito durante el tiempo Δt es

$$\varepsilon = -N \frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$$

Éste es un enunciado de la ley de Faraday de la inducción magnética” (Serway & Faughn, 2005: 370).

En la ley de inducción de Faraday descansa el principio que hace posible la existencia de los transformadores. Así que, a partir de los experimentos de Michael Faraday, fue posible obtener cantidades de corriente mucho mayores que las disponibles con las baterías de entonces. Además, quedaba asentado el terreno para sintetizar los fenómenos eléctricos y magnéticos bajo un mismo esquema o sobre los mismos principios.

La ley de Gauss también forma parte de las ecuaciones de Maxwell. Sin embargo, existe una ley de Gauss para la electricidad y otra para el magnetismo. Estas leyes, describen la intensidad de los campos y de los flujos eléctricos y magnéticos a través de las superficies que rodean a las cargas.

La ley de Gauss para la electricidad, enunciada en 1835 por Carl Friedrich Gauss, establece que “el flujo eléctrico que atraviesa cualquier superficie cerrada es igual a la carga neta Q en el interior de la superficie dividido entre ϵ_0 ” (Serway & Faughn, 2005: 233):

$$\Phi_E = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

Teóricamente, la ley del Gauss describe la forma del campo eléctrico alrededor de una carga estática, por lo que se le puede considerar una generalización de la ley de Coulomb; es decir, la ley de Coulomb se puede deducir de la ley de Gauss para el campo eléctrico.

Finalmente, la ley de Gauss para el campo magnético indica que no existen monopolos magnéticos. Si se imagina los campos como constituidos por las líneas de fuerza de Faraday, el campo eléctrico en la vecindad de una carga electrostática se podría representar como líneas que salen de la carga puntual hacia afuera, indicándose con una flecha su dirección. Cuando las líneas se alejan de la carga se dice, por convención, que la carga es positiva; cuando las líneas se dibujan hacia el interior de la carga puntual, se dice que la carga es negativa. Las cargas eléctricas son de esos dos tipos, positivas y negativas; las cargas de un mismo tipo se repelen y las de signo opuesto se atraen. Con las líneas de fuerza de Faraday se puede *visualizar* un mecanismo que lo explica: las líneas de fuerza que salen de la carga positiva terminan en una carga negativa; pero las mismas se encontrarían y se doblarían al encontrarse con una carga del mismo signo.

Un imán no tiene cargas positivas o negativas, tiene *polos*, que se han designado como *norte* y *sur*. Si se parte un imán, resultarán dos piezas con sus respectivos polos norte y sur, indefinidamente. Si se piensa en las líneas de fuerza de Faraday, esto quiere decir que las líneas parten de uno de los polos del imán y terminan en el otro polo. Sin embargo, a diferencia de las cargas eléctricas, la ley de Gauss para el campo magnético nos dice que, simple y llanamente, no puede existir ningún polo que exista aislado de su otro polo; en otras palabras, las líneas de fuerza nacen y mueren en el mismo *punto*.

Otra forma de expresar la ley de Gauss para el magnetismo es decir que el *flujo magnético* neto exterior de cualquier superficie cerrada es igual a cero, lo cual es equivalente a la expresión usada más arriba. En el siguiente apartado se expondrá la forma matemática del enunciado, en sus expresiones diferencial e integral.

Las cuatro leyes expuestas hasta aquí son las formulaciones más simples de lo que se conocen como las leyes de Maxwell. Sin embargo, el físico escocés logró generalizarlas matemáticamente, de manera que constituyeran las bases de su teoría electromagnética: en otras palabras, estas leyes se volvieron los principios generales de un sistema teórico

complejo que lograba sistematizar todos los fenómenos eléctricos, magnéticos y ópticos en una sola estructura lógica impecable, tal como lo había hecho Newton para los fenómenos mecánicos.

Sin embargo, James Clerk Maxwell realizó esta síntesis del electromagnetismo guiado por razones tanto filosóficas como metodológicas. Sus reflexiones acerca de la naturaleza, de la ciencia y de la relación de la física con las matemáticas fueron determinantes para que éste lograra alcanzar su objetivo. Las consideraciones acerca de la *realidad* de ciertos elementos de su teoría son, como se verá más adelante, fundamentales para entender el desarrollo histórico de la teoría electromagnética.

2.2.3 El instrumentalismo del siglo XIX

Se puede afirmar, a grandes rasgos, que desde Copérnico hasta Newton, existió un espíritu realista que acompañó al desarrollo de la física. Es decir, el realismo científico fue una meta legítima de la investigación científica: los filósofos naturales aspiraban a encontrar la verdadera descripción de la naturaleza, sus fundamentos últimos de explicación o la verdadera imagen de la realidad. Existió un optimismo epistemológico en el primer siglo de existencia de la ciencia moderna y, por extensión, de la física. Los fundamentos filosóficos, tanto epistemológicos como metafísicos, coinciden en gran parte con lo expuesto sobre Galileo Galilei en el subcapítulo anterior.

Fue, sin embargo, precisamente en el punto culminante del desarrollo de la dinámica en el que este optimismo llegó a cuestionarse. En el siglo XVI, la filosofía mecanicista, expuesta por Descartes en sus *Principios Filosóficos*, postulaba que los fenómenos que se presentaban ante la experiencia serían explicables tan sólo en términos de la materia y el movimiento de ésta. Para todos los fines prácticos, existía, pues, un compromiso ontológico-epistemológico: la verdadera realidad que subyace a los fenómenos es la materia y el movimiento, por lo que una explicación verdadera se alcanzaría sólo cuando una explicación se constriñera a estos conceptos. Proponer una hipótesis que no cumpliera con esta condición implicaba el rechazo por la comunidad científica y conllevaba la condena de la misma por recurrir a “causas ocultas”.

Precisamente, durante el siglo XVIII, en los campos de la óptica, la electricidad, el magnetismo y la química, por mencionar sólo algunos, se recurría a la explicación de los fenómenos mediante entidades imperceptibles, como los fluidos *imponderables*. El calor se consideraba un efecto del fluido imponderable llamado *calórico*; antes de Lavoisier, un fluido imponderable invocado en las investigaciones químicas era el *flogisto*; en óptica, el *éter* era un fluido de la misma naturaleza imponderable que los anteriores, en el cual se desplazaban las ondas luminosas, según la teoría ondulatoria de Huygens, quien la recuperó del trabajo de Thomas Young.

El mismo Thomas Young escribía en su libro *On the theory of light and colors* ideas claramente instrumentalistas:

A pesar de la invención de hipótesis plausibles, independientes de cualquier conexión con observaciones experimentales, pueden ser de muy poco uso en la promoción del conocimiento natural, sin embargo, el descubrimiento de principios uniformes y simples, por los cuales un gran número de fenómenos aparentemente heterogéneos son reducidos a leyes universales y coherentes, deben ser siempre permitidos de ser de considerable importancia para la mejora del intelecto humano. (1802/1981: 47)

Ante la proliferación de diversas hipótesis que trataban de explicar la naturaleza de la luz, entre las que figuraban la corpuscular de Newton, la ondulatoria de Young y la de los torbellinos de Descartes⁵⁵, la emergencia de una actitud sinceramente escéptica fue inevitable. Esta misma actitud se continuará manifestando en diferentes áreas de la física, sobre todo las que atañen a los conceptos de *línea de fuerza*, *campo*, *éter* y *átomo*. La misma teoría ondulatoria de la luz, que ganaría adeptos después de la obra de Huygens, tendría que esperar algunas décadas antes de ser aceptada por la mayoría de los investigadores, y posteriormente reformada por Maxwell.

La evolución de las ideas de Maxwell en el campo del electromagnetismo pueden ser seguidas a través de sus obras: *On Faraday's lines of force*, de 1855; *On physical lines of force*, publicadas entre 1861 y 1862 y *A dynamical theory of the electromagnetic field*, de 1864. En estas tres obras, es evidente una evolución en las tesis presentadas, sobre todo

⁵⁵ Sobre la polémica entre las teorías cartesianas y newtonianas sobre la naturaleza de la luz véase (Aboites, 2014).

en función del *realismo* y el *instrumentalismo* bajo el cual debían ser interpretadas las teorías del físico. En general, puede hablarse de una actitud meramente *instrumentalista*, aunque guiada por una preocupación realista genuina. En su trabajo más influyente, *A treatise on electricity and magnetism*, dichas consideraciones, estrictamente filosóficas y metodológicas, fueron desechadas en aras de una exposición más técnica, lo cual ha dejado la impresión de que el trabajo de Maxwell fue sistemático desde un inicio y, más importante para el actual trabajo, que no dependía de consideraciones extracientíficas o filosóficas.

En *On Faraday's lines of force*, James Clerk Maxwell intenta hacer un modelo geométrico de la electricidad y el magnetismo, basado en las ideas de Michael Faraday, en especial el concepto de *líneas de fuerza*. En *Experimentos sobre la electricidad y el magnetismo*, Michael Faraday indicaba que las líneas de fuerza son un buen modo de *representar* la transmisión de fuerzas electromotrices, imaginando que las líneas representan tanto la dirección como la intensidad de las fuerzas magnéticas y eléctricas (1839-55/1922).

El trabajo de Michael Faraday fue determinante para el desarrollo de la teoría electromagnética de Maxwell. Faraday fue uno de los más grandes genios experimentales que ha dado la física y la química; sin embargo, al ser de origen humilde no tuvo acceso a educación matemática avanzada, por lo que sus trabajos publicados no están elaborados en el lenguaje del cálculo más abstracto que se acostumbraba a desarrollar a partir de las grandes aportaciones matemáticas de Lagrange, Laplace y Gauss, entre muchos otros. De la misma manera, el mismo Faraday fue autodidacta en cuestiones de electricidad y magnetismo. Hizo sus investigaciones sobre éste último tópico por su cuenta, aunque influido por las investigaciones de su maestro, Humphry Davy (Carmona, 2016). Éste desarrollo intelectual le permitió a Faraday desarrollar un trabajo que poco se parecía al desarrollado por otros físicos, como Ámpere, y que además estaba desligado de cualquier prejuicio o teoría preconcebida, permitiéndole expresar solamente lo que los fenómenos le mostraban.

En una carta a Ampere, Faraday escribía:

Soy naturalmente escéptico en materia de teorías y por lo tanto usted no debe molestarse conmigo por no admitir lo que usted ha anticipado de inmediato. Su ingenio y aplicaciones son asombrosas y exactas, pero yo no puedo comprender cómo son producidas las corrientes y, particularmente, si se debe suponer que existan alrededor de cada átomo o partícula, así que esperaré por pruebas adicionales de su existencia antes de admitirlas finalmente (Siegel, 1991: 8)⁵⁶.

A pesar de su escepticismo, el mismo Faraday llegaría a admitir la existencia de las líneas de fuerza, y llegaría a construir una teoría electromagnética haciendo uso de éste concepto, junto al de *estado electrotónico*⁵⁷. Estos conceptos y el método de Faraday serán los elegidos para el estudio de Maxwell, afirmando su primacía sobre los de cualquier otro estudioso del tema. Clerk Maxwell afirmaba que los métodos de Faraday eran también matemáticos, aunque sus resultados no fueran expresados según los utilizados por los más eminentes matemáticos; las líneas de fuerza constituían una representación geométrica, y la geometría era también una forma de matemática⁵⁸.

Bajo esas consideraciones, Maxwell escribe una serie de reflexiones tanto epistémicas como metodológicas acerca del trabajo que ha de exponer:

El primer proceso, por lo tanto, es el estudio efectivo de la ciencia, debe ser uno de simplificación y reducción de los resultados en la previa investigación a una forma en la cual la mente pueda asirla. Los resultados de ésta simplificación pueden tomar la forma de una fórmula matemática pura o de una hipótesis física. (1855/1965: 155)

⁵⁶ Todas las traducciones son mías.

⁵⁷ Sobre el concepto de estado electrotónico, que no vale la pena exponer aquí, se recomienda la lectura de la tesis doctoral de José Romo Feito “El concepto de estado electro-tónico en Faraday”, de la Universidad de Barcelona (Romo Feito, 1991). Disponible para consulta en línea.

⁵⁸ “It is true that no one can essentially cultivate any exact science without understanding the mathematics of that science. But we are not to suppose that the calculations and equations which mathematicians find so useful constitute the whole of mathematics. The calculus is but a part of mathematics, the geometry of position is an example of mathematical science established without the aid of a single calculation. Now Faradys line’s of force occupy the same position in electromagnetic science that pencils of lines do in geometry of position. They furnish a method to building up an exact mental image of the thing we are reasoning about.” (Clerk Maxwell, 1864/1996: 1-2).

En este último párrafo, Maxwell muestra la principal dicotomía existente en la práctica científica del siglo XIX. Por un lado, en el siglo XIX, era una tarea del científico expresar leyes experimentales en forma matemática; por otro, había que encontrar la verdadera *explicación* de los fenómenos. Muchas veces, dichas actividades eran desarrolladas de manera completamente independiente e, incluso, excluyente. En efecto, fue durante el siglo XIX que se empezó a generar la brecha entre científicos experimentales y teóricos; éstos últimos tenían la misión de elaborar las teorías matemáticamente, sin esto último una teoría no podía considerarse satisfactoria (Siegel, 1991).

James Clerk Maxwell abogará por un “método de investigación” que le permita generar una “concepción física clara” del fenómeno estudiado pero sin estar “comprometido” con ninguna hipótesis física particular (1855/1965: 156). Ésta estrategia le otorgará una libertad conceptual para generar diferentes hipótesis que le permitan concebir o imaginar los mecanismos que puedan explicar, en algún grado, los fenómenos electromagnéticos, pero sin tener que defender el contenido veritativo de dichas hipótesis; es decir, Maxwell defiende un método de explicación *ex hypothesi, como si fuera el caso*. Lo cual le desprende de cualquier compromiso explicativo y, en todo caso, ontológico con la teoría o hipótesis expuesta.

...espero hacer evidente que no pretendo establecer ninguna teoría física de una ciencia en la que difícilmente he hecho un solo experimento, y que el límite de mi diseño es ver cómo, mediante la estricta aplicación de las ideas y métodos de Faraday, la conexión de diferentes clases de fenómenos, los cuales él ha descubierto, pueden ser claramente presentados ante una mente matemática. (1855/1965: 157-58).

Maxwell basa su método en “analogías físicas” (:156). Para generar una idea fructífera, la proposición de *modelos*, aunque improbables, puede ayudar a resolver problemas del investigador, reformular preguntas, arrojar nuevos problemas, etcétera. El valor de dichos modelos estará en la *utilidad* que muestren al investigador y al experimentador. En otras palabras, sugerir hipótesis y teorías para tratar de sistematizar la aparente heterogeneidad de los fenómenos siempre será de alguna utilidad. En esto reside el valor de “imaginar hipótesis”:

¿Cuál es, pues, el uso de imaginar un estado electrotónico del cual no se tiene una distinguida concepción física, en lugar de una fórmula de atracción la cual podemos entender enseguida? He de responder que es una buena cosa el tener dos maneras de ver en una cuestión y admitir que existen dos formas de ver las cosas (1855/1965: 208).

En efecto, los científicos franceses buscaban una teoría de la electricidad y el magnetismo que fuera compatible con la mecánica newtoniana, y veían fuerzas a distancia y espacio vacío ahí donde Michael Faraday y James Clerk Maxwell veían la acción de un medio. Sin embargo, la mera expresión matemática de un fenómeno, tal como la ley de Coulomb, no arrojaba mucha explicación acerca del fenómeno en sí: de la realidad subyacente al mismo. La ley de Coulomb puede ser interpretada como fuerzas de atracción y/o repulsión a distancia o bien puede ser interpretada bajo la suposición de que la fuerza actúa mediante un campo (eléctrico). En ambos casos, los resultados deberán ser los mismos. Maxwell razona que, si éste es el caso para las demás leyes experimentales de la electricidad y el magnetismo, entonces nada impide desarrollar una multiplicidad de modelos que expliquen, o que traten de hacerlo, las diferentes leyes encontradas. El verdadero valor del modelo recaerá en su capacidad de síntesis, pero en todo caso su estatus de verdad no podrá ser defendido. Estos modelos son, meramente, *ficciones* que el teórico fabrica esperando obtener alguna utilidad: deberá servir de “guía al experimentador, pero sin impedir el progreso de la verdadera teoría cuando ésta aparezca” (Clerk Maxwell, 1855/1965: 208).

Su siguiente trabajo importante en electromagnetismo, *On physical lines of force*, supone otorgarle cierto grado de realidad a las líneas de fuerza de Faraday, por lo que iniciará definiéndolas, aunque de manera pragmática⁵⁹. Si bien Clerk Maxwell no afirma con total seguridad la realidad de las líneas de fuerza, sí deja que el lector se persuada de esa posibilidad. Al hablar sobre las líneas de limadura de hierro, Maxwell escribe: “Esta bella ilustración de la presencia de fuerza magnética, permitida mediante la

⁵⁹ “Suppose that the direction of the force at any point is known, then, if we draw a line so that in every part of its course it coincides in direction with the force at that point, this line may be called a *line of force* (en cursivas en el original), since it indicates the direction of the force in every part of its course. By drawing a sufficient number of lines of force, we may indicate the direction of the force in every part of the space in which it acts.” (Clerk Maxwell, 1861-2/1965: 451).

experimentación, naturalmente tiende a hacernos pensar en las líneas de fuerza como algo real” (1861-2/1965: 451).

En *Sobre las líneas de fuerza de Faraday*, Clerk Maxwell sigue un estilo de exposición matemático similar al de su mentor, William Thompson, más conocido como Lord Kelvin). Sin embargo, en *Sobre las líneas de fuerza físicas*, Clerk Maxwell muestra algunos compromisos filosóficos importantes, con lo que se distancia un poco de la física matemática de Thompson y desarrolla una perspectiva propia. El historiador Peter Hartmann caracteriza dicha diferencia entre ambos físicos: en contraste a la exposición matemática de Lord Kelvin, Maxwell “escribe como un filósofo natural, siempre preocupado por desarrollar una visión del mundo” (1998: 82). El físico escocés pretende desarrollar un modelo mecanicista de las líneas de fuerza de Faraday, lo que en la práctica equivalía a proporcionar algún grado de realidad a dichas entidades.

Para proporcionar un modelo mecanicista de las fuerzas eléctricas y magnéticas, Maxwell desarrollará una “teoría molecular de los vórtices”⁶⁰. Con un planteamiento similar al de los vórtices cartesianos, Maxwell imagina que las líneas de fuerza como el resultado de la rotación de vórtices moleculares en el éter. Este modelo le permite trabajar los fenómenos de manera matemática y en consistencia con el trabajo desarrollado por Faraday. Pero el mayor logro de este modelo, que “si bien no es verdadera”, es altamente fructífera conectando fenómenos diferentes: los eléctricos, los magnéticos y, para su propia sorpresa, de la luz. Al otorgar realidad a las líneas de fuerza de Faraday, Maxwell puede plantearse la cuestión acerca de la vibración de dichas líneas y la velocidad que dichas vibraciones, u ondas, deberían tener.

La velocidad de ondas transversales en nuestro hipotético medio, calculado desde los experimentos electromagnéticos de M. M. Kohlrausch y Weber, concuerda tan exactamente con la velocidad de la luz, calculada desde los experimentos ópticos de M. Fizeau, que apenas podemos evitar inferir que *la luz consiste en ondulaciones transversales*

⁶⁰ “I propose to examine magnetic phenomena from a mechanical point of view, and to determine what tensions in, or motion of, a médium are capable the mechanical phenomena observed. If, by the same hypothesis, we can connect phenomena and with those of induced currents, we shall have found a theory which, if not true, can only be proved to be erroneous by experiments which will greatly enlarge our knowledge of this part of physics.” (Clerk Maxwell, 1861-2/1965: 452)

*del mismo medio que es la causa de los fenómenos eléctricos y magnéticos*⁶¹.” (Clerk Maxwell, 1861-2/1965: 500)

El “método de analogías” de James Clerk Maxwell, presentaba uno de sus más impresionantes logros, al poder deducir la velocidad de la luz de su modelo de vórtices moleculares en el éter. William Berkson declaraba sobre dicho método que “alentaba el desarrollo de lo que uno cree que son *falsas* analogías por la luz que pudieran arrojar a la verdad”, y además “alentaba la invención de teorías que *nadie*⁶² creería por su posible fecundidad” (Clerk Maxwell, 1864/1996: 7). Sin embargo, el modelo de Maxwell había resultado muy fecundo, lo cual le disuadía a considerar que había algún contenido real en la teoría, si bien nunca se llegaría a declarar realista sobre la misma⁶³.

A dynamical theory of the electromagnetic field resulta ser la culminación de sus investigaciones sobre la electricidad y el magnetismo. El nombre de éste ensayo encierra las principales características de su teoría:

La teoría que propongo puede, por tanto, llamarse teoría del *campo electromagnético*, porque tiene que ver con el espacio en la vecindad de los cuerpos eléctricos o magnéticos, y puede llamarse teoría *dinámica*, porque asume que en ese espacio hay materia en movimiento, mediante la cual se producen los fenómenos electromagnéticos observados (Clerk Maxwell, 1864/1996: 34).

Maxwell concibe que la ciencia del electromagnetismo debe ser compatible, en última instancia, con el mecanicismo, de la misma manera que la teoría cinética de gases y la termodinámica apuntaban a serlo.⁶⁴ Pero el concepto mismo de *campo* era incompatible

⁶¹ En cursivas en el original.

⁶² En cursivas en el original.

⁶³ “The conception of a particle having its motion connected with that of a vortex by perfect rolling contact may appear somewhat awkward. I do not bring it forward as a mode of connection existing in nature, or even as that which I would willingly assent to as an electrical hypothesis. It is, however, a mode of connections which is mechanically conceivable, and easily investigated, and it serves to bring out the actual mechanics connections between the known electromagnetic phenomena; so what I venture to say that anyone who understands the provisional and temporary character of this hypothesis, will find himself rather helped than hindered by it in his research after the true interpretation of the phenomena.” (Clerk Maxwell, 1864/1996: 13)

⁶⁴ La teoría cinética de gases, debida a James Clerk Maxwell, asumía que los gases estaban constituidos por partículas, de las cuales se podía hacer un tratamiento estadístico para determinar las características

con el mecanicismo. La teoría de Maxwell es una teoría del campo electromagnético y sus ecuaciones son la descripción del mismo. Además, la idea de un campo que media la interacción de las fuerzas eléctricas y magnéticas y que se delimita a la contigüidad de los cuerpos electromagnéticos es radicalmente distinta del concepto de fuerza a distancia de Newton. En todo caso, está más cerca de la física cartesiana que la del físico inglés del siglo XVII.

Maxwell ve en el éter el medio en el cual el campo electromagnético se manifiesta sin embargo, las ecuaciones que utiliza no parecen depender mucho de éste concepto. Las ecuaciones mediante las cuales se expresa la naturaleza del campo electromagnético son ecuaciones diferenciales parciales, y Maxwell reduce a veinte las necesarias para entender los fenómenos electromagnéticos⁶⁵. Pero las principales premisas que ha utilizado son la ley de Ampere, de Farady y la de Gauss, *independientemente de las hipótesis que utilizó para visualizar los fenómenos*⁶⁶.

El método que ha utilizado le ha permitido llegar a una teoría matemática totalmente independiente de las hipótesis físicas de las que ha partido, por lo cual los modelos muestran su verdadero valor: el de la utilidad. Pero lo más impresionante es que dicho método de analogías y modelos le ha permitido deducir, del mismo sistema de ecuaciones, los fenómenos de la luz. Es decir, la teoría física que propone le permite incluir en ella más fenómenos físicos que los que se proponía explicar en un principio. Como se indicó más arriba, su resultado más sorprendente consiste en deducir la velocidad de la luz de su teoría, lo cual implica en concebir la naturaleza de la luz como una onda electromagnética:

fenomenológicas que se observaban en el gas, tales como la presión que se ejerce sobre las paredes, el volumen o la presión, tomando sólo en cuenta el momento (la velocidad multiplicada por la masa) de las partículas. La termodinámica también postula que el calor es el resultado del movimiento de las partículas y se relacionaba directamente con la teoría cinética de gases, haciendo de la segunda ley de la termodinámica, por poner un ejemplo, una ley estadística. Ambas teorías eran mecanicistas al postular que los fenómenos observados eran resultado tan sólo del movimiento y la materia. (Harman P. , 1982)

⁶⁵ Tres ecuaciones para la fuerza magnética, tres para la corriente eléctrica, tres para la fuerza electromotriz, tres para la elasticidad eléctrica, tres para la resistencia eléctrica, tres para la totalidad de la corriente, una ecuación para la electricidad libre, una ecuación de continuidad (Clerk Maxwell, 1864/1996: 68)

⁶⁶ “The conclusions arrived at in the present paper are independent of this hypothesis, being deduced from experimental facts of three kinds:

1. The induction of electric currents by the increase or diminution of neighbouring currents according to the changes of the lines of force passing through the circuit.
2. The distribution of magnetic intensity according to the variations of magnetic potential.
3. The induction (or influence) of statical electricity through dielectrics.” (Clerk Maxwell, 1864/1996: 71)

Esta velocidad (v) es tan cercana a la de la luz, que parece que tenemos mucha razón para concluir que la luz en sí misma (incluyendo calor radiante, y otras radiaciones si las hubiera) es una perturbación electromagnética en la forma de ondas propagadas a través del campo electromagnético, de acuerdo a las leyes del electromagnetismo. (Clerk Maxwell, 1864/1996: 42)

El acuerdo con la teoría óptica, que en aquél momento planteaba la naturaleza de la luz como una onda transversal que se desplazaba por el éter, eran tan cercano, que Maxwell declaraba que “ambas conducían exactamente a las mismas conclusiones” (1864/1996: 86). Lo cual constituía un argumento más en favor de su teoría.

Fue, sin embargo, su *Treatise of electricity and magnetism* su trabajo más conocido y el que le valió el reconocimiento fuera de Gran Bretaña. Aunque sus teorías tardarían años en ser aceptadas, por la radicalidad de sus conceptos, sobre todo en lo referente a las *entidades teóricas* que postulaba (campo electromagnético, corriente de desplazamiento, ondas electromagnéticas), éstas ganaron algunos adeptos rápidamente, como Hertz, Helmholtz y Heaviside. De hecho, se le debe a Heaviside (1894) la reducción de las ecuaciones de Maxwell a sólo ocho, que corresponden a las formulaciones en cálculo diferencial e integral de las leyes de Gauss para el campo eléctrico y el magnético, la ley de Ampere y la ley de Faraday. La formulación más conocida de las ecuaciones de Maxwell es en su notación diferencial:

Ley de Gauss para la electricidad	$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$
Ley de Gauss para el magnetismo	$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$
Ley de Faraday	$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$
Ley de Ampere	$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$

La teoría electromagnética de James Clerk Maxwell predecía la existencia de ondas electromagnéticas, de las cuales la luz era sólo un tipo. Dichas ondas fueron detectadas experimentalmente en 1888 por Heinrich Hertz, lo cual constituía una sorprendente confirmación de la teoría. Además, Hertz calculó la frecuencia y la amplitud de la onda, con las cuales podía determinar la velocidad de la misma: la velocidad era la predicha por

Maxwell, la velocidad de la luz. El mismo Hertz describió de manera sucinta la obra del eminente físico escocés: “La teoría de Maxwell es el sistema de ecuaciones de Maxwell”.

2.3 Entes teóricos

Un estudiante decía de Perrin: “Ve” átomos – no hay ninguna duda- de la misma forma que Santo Tomás veía serafines.

-Mary Jo Nye

2.3.1 Definición de ente teórico

Las ecuaciones de Maxwell, tal como las ha transmitido Heaviside en su forma más conocida, son una descripción del campo electromagnético. La genial intuición de Maxwell consistió en concebir que los fenómenos eléctricos y magnéticos son manifestaciones de una sola naturaleza, y que los campos eléctrico y magnético están íntimamente conectados, inseparables uno del otro. Las ondas electromagnéticas consistían en ondas transversales en las que los campos eléctrico y magnético eran perpendiculares entre sí, y siempre se encontraban juntos. Para Maxwell, además, dichas ondas electromagnéticas se desplazaban a través del éter.

El campo electromagnético, las ondas electromagnéticas y el éter son ejemplos de *entes teóricos*. Otros ejemplos son el electrón, el átomo, la fuerza de gravedad, los quarks, la materia oscura y las ondas gravitacionales. Se definen como entidades teóricas a aquellos objetos, o entes, que son definidos y/o postulados por una teoría científica, de manera que obtengan sentido mediante la referencia a dicha teoría.

Considérense los siguientes ejemplos de entidad teórica. El primero es la entidad “planeta”. Un planeta, actualmente, es un cuerpo (de cierta cantidad de masa) que gira alrededor de una estrella en una órbita estable⁶⁷. Pero dicho término ha evolucionado de distintas maneras a través de la historia. En principio, un planeta es “observable” a simple vista: es un punto en el cielo que se confunde fácilmente con una estrella. Después de observarse con atención a lo largo de un gran periodo de tiempo, se pueden identificar

⁶⁷ En aras de una exposición más fluida, ignórese los satélites, cometas y asteroides, así como las distinciones entre protoplanetas, planetoides, exoplanetas y demás cuerpos que ahora son parte de los descubrimientos de la astrofísica.

algunas de esas estrellas que no se mueven como todas las demás. El primer sentido de la palabra *planeta* fue, precisamente, el de ser una “estrella errante”. Cuando Claudio Ptolomeo expuso su teoría geocéntrica, se podía caracterizar el concepto *planeta* como cualquier astro que giraba alrededor de la Tierra siguiendo un movimiento de retroceso⁶⁸ cada periodo de tiempo; además, dichos astros se movían según un esquema de epiciclos y deferentes. Con excepción de la luna y el sol, cinco de los puntos en el cielo habían obtenido un nuevo estatus conceptual. Con la revolución copernicana, el concepto *planeta* cambiaría. Ahora se trataba de cualquier cuerpo que girara alrededor del sol, *incluida la Tierra*. Hasta el momento, la Tierra no se había considerado un planeta, ya que se consideraba inmóvil en el centro del universo. Así pues, el término planeta se seguía aplicando a los mismos puntos en el cielo y, a partir de entonces, a la gigantesca masa debajo de nuestros pies. El sentido de un mismo término cambia según la teoría, lo cual determina el tipo de *entidades* que pueblan el mundo: un planeta es una entidad de distinto tipo según la teoría que la defina.

El segundo ejemplo lo constituyen las ondas electromagnéticas. James Clerk Maxwell encontró que la velocidad de las perturbaciones en las líneas de fuerza de Faraday debería ser la misma de la luz. De aquello, Maxwell dedujo que 1) la luz era una onda electromagnética, 2) que deberían existir más tipos de ondas electromagnéticas, de distinta longitud, y amplitud de onda y 3) que todas ellas deberían desplazarse a la velocidad de la luz. Ahora bien, como se expuso antes, Heinrich Hertz descubrió las ondas predichas por Maxwell alrededor de 20 años después de la muerte de éste. El descubrimiento de las ondas de radio fue uno de los grandes éxitos de la teoría electromagnética. A diferencia de los planetas, las ondas electromagnéticas eran postuladas por la teoría de Maxwell y nadie jamás había observado o detectado alguna, además de la luz. Pero para muchos, la luz era una perturbación transversal que se transmitía en el éter, no una onda electromagnética. Éstas eran un tipo de entidad que sólo tenían sentido dentro de la teoría de James Clerk Maxwell; incluso cuando fueron detectadas, dichas entidades sólo podían ser concebidas, y descritas, por la teoría electromagnética.

De estos dos ejemplos, pueden extraerse varias conclusiones. Primeramente, que los entes teóricos pueden ser *observables*, como los planetas, o pueden ser *no observables*,

⁶⁸ Retrogradación.

como las ondas electromagnéticas⁶⁹, que no son observables sino por la acción de aparatos y técnicas específicas; en muchos casos, dichas entidades sólo pueden ser detectadas por sus efectos. Además, dichas entidades pueden variar de distintas maneras de una teoría a otra: el contenido del concepto planeta ha ido cambiando a través del tiempo, de manera que algunos objetos que no se consideraban planetas antes, como la misma Tierra, ya lo son, o bien otros han dejado de serlo, como Plutón; la luz pasó de ser presión instantánea, a corpúsculos que viajan en el vacío, una perturbación en el éter y, finalmente, una onda electromagnética⁷⁰, y además se postuló que debía haber más tipos que nadie había visto *ni se podían llegar a ver*, pero que sí podían ser detectadas experimentalmente con los medios adecuados.

Los entes teóricos tienen, al menos, dos orígenes claros. Pueden ser objetos conocidos que al ser definidos y acotados por una teoría específica, toman otro sentido, por lo que distintas teorías pueden definir de maneras distintas un mismo objeto conocido mediante la experiencia. El delimitar o extender un concepto en términos de una teoría específica puede cambiar una clasificación de objetos conocidos por la experiencia. El término “cometa” ha evolucionado desde la astronomía antigua, que designaba el paso de un objeto extraño en el cielo, a veces presagiando calamidades, hasta un tipo de astro específico con una órbita muy excéntrica.

Pero a veces, un ente teórico es implicado por una teoría. La teoría electromagnética de Maxwell postuló varias entidades que no habían sido observadas y que tardarían mucho tiempo en detectarse: la corriente de desplazamiento y las ondas de las que ya se ha hablado. Pero estas entidades se postulan como resultado de una teoría que intentaba explicar otros fenómenos ya conocidos. Estas entidades son definidas en aras de una consistencia lógica que la misma teoría exige, o bien como un presupuesto que pretende ser una explicación: la teoría cinética de gases, también formulada por James Clerk Maxwell, suponía que los gases estaban compuestos por pequeñas partículas, de manera que la presión y la temperatura de un gas podía calcularse suponiendo un tratamiento estadístico

⁶⁹ Reservamos la discusión acerca del término *observable* para el tercer capítulo, donde se problematizará el problema. En cuanto a las ondas electromagnéticas, en efecto, estas no fueron “observadas”, o detectadas si se prefiere, hasta que Heinrich Hertz realizó su experimento, en 1887.

⁷⁰ Tan solo hasta Maxwell. Con la llegada de la mecánica cuántica se empezó a hablar de fotones y de la dualidad ondulatoria-corpúscular de la luz.

del *momento* cinético promedio de dichas partículas. Por ende, un ente teórico *no observable* puede ser postulado o deducido de una teoría. El éter, que fue supuesto por muchas teorías ópticas a lo largo de tres siglos, nunca fue deducido como una consecuencia directa de las teorías que ocupaban dicho término, más bien fue postulado. Las ondas electromagnéticas, en cambio, sí son implicadas por la teoría electromagnética.

Particularmente interesante es el caso de dos de los entes teóricos no observables más polémicos de la historia de la física: el átomo y el electrón. Ambos casos son parte de un problema metafísico mucho más complejo: la naturaleza de la materia. Desde los griegos, se ha pensado que la materia puede ser continua o discreta, es decir, si es infinitamente divisible o si existe un límite a esa división. Desde que Demócrito expusiera la tesis atomista, que defendía que la materia existía de forma discreta, ésta no dejó de evolucionar y presentarse a lo largo de los siglos. La demostración de la existencia del átomo, y del electrón, implica la resolución de un problema metafísico que, a su vez, implica uno epistemológico: la creencia en una entidad que no es, directa o indirectamente, accesible a los sentidos.

2.3.2 Breve historia del átomo

La historia del electrón está íntimamente relacionada, y determinada, con la del átomo, al menos en los dos últimos siglos. La existencia de ambos entes implica la idea de que la materia es discreta, es decir, que se presenta en cantidades específicas, delimitadas, y concretas. La forma más fácil de imaginarlas es concebirlas como *corpúsculos* o partículas. Sin embargo, otra perspectiva se ha planteado a lo largo de la historia: que la materia es continua y, por tanto, infinitamente indivisible, concepción que puede visualizarse con la imagen de un fluido.

El concepto de átomo, literalmente “sin división” en griego, fue sugerido primeramente por los filósofos griegos Demócrito y Leucipo. En realidad, estos filósofos formularon el concepto de átomo ligado al de vacío. La hipótesis atomista fue formulada para explicar la multiplicidad del mundo sensible. Así pues, dicha teoría implicaba explicar lo “visible” mediante lo “invisible”:

Éstos (sc. Leucipo, Demócrito, Epicuro) decían que los primeros principios eran infinitos en número y creían que eran átomos indivisibles e impasibles debido a su naturaleza compacta y su carencia de vacío; afirmaban que su divisibilidad les venía del vacío existente en los cuerpos compuestos...(Simplicio, *De caelo* 242: 18).⁷¹

La existencia de diminutas partículas de materia estaba, pues, planteada, aunque el mismo Aristóteles se opuso a ella. Como indica el texto, fue Epicuro y su escuela los que se encargaron de resucitar la tesis atomista. Ésta sobrevivió y fue retomada en el renacimiento gracias a la recuperación del texto *De rerum natura*, de Tito Lucrecio Caro, quien vivió entre los siglos I a.C. y I. d.C. En este poema didáctico, Lucrecio intentó transmitir las enseñanzas de la escuela pitagórica, pero tuvo considerable influencia tanto en la ciencia renacentista como en el nacimiento de la filosofía y la ciencia moderna⁷². “A base de corpúsculos invisibles, por tanto, hace la naturaleza su faena.”(Lucrecio:137).

La doctrina atomista fue conocida para Nicolás de Cusa y Giordano Bruno, por ejemplo. Debido a éste último, la hipótesis atómica fue considerada herejía por la Iglesia Católica. Fue hasta el siglo XVI que la misma sería recuperada. Su principal exponente sería Gassendi. Para Gassendi, el átomo es:

...materia plena y la división y separación de la materia sólo es posible si hay un vacío en medio. El átomo es lo absolutamente lleno y el vacío es lo absolutamente vacío. Difieren los átomos entre ellos por el tamaño, figura y peso (el último, aportación de Epicuro). (De la Llosa, 2000: 88).

Sin embargo, la hipótesis atomista tuvo que enfrentarse a la gran concepción cartesiana de la naturaleza. Para Descartes, la materia era esencialmente continua, ya que su particular propiedad era la extensión. Dicho de otra forma, la extensión era la esencia misma de la materia, y la extensión es continua, tal y como lo concibe la mente. Al identificar la materia con el espacio, y, a la vez, reducir el espacio a su idea matemática, clara y distinta, la implicación que surgía era que no existía el vacío. En efecto: si la materia es extensión, y el espacio es extensión, entonces no puede existir algo tal como el

⁷¹ Extraído de Kirk, Raven y Schofield, 2014, p. 534.

⁷² “El libro fue editado nueve veces en latín entre 1600 y 1700”, (De la Llosa, 2000: 92).

vacío. Descartes desarrolla su teoría de los vórtices, donde la materia es un fluido infinitamente divisible y los fenómenos perceptibles son causados por el movimiento de dicha materia.

El principal argumento en contra del atomismo era de origen escéptico: si no se podían ver dichas partículas, entonces se podía dudar de su existencia. Así que el contrargumento no podía venir de la experiencia, sino de la razón: la hipótesis atómica empezó a ganar adeptos cuando parecía que era compatible, o *coherente*, con otras teorías o experiencias aceptadas.

En el siglo XIX, la hipótesis atómica empezó a ganar adeptos y al final del periodo ya era ampliamente aceptada. Poco a poco perdió el contenido más abiertamente metafísico para convertirse en, al menos, un instrumento de explicación científica, en especial en la química.

Fue John Dalton el primero en exponer una teoría científica del átomo en su obra *A New System of Chemical Philosophy*, publicada en 1808. La teoría atómica de Dalton se basaba en la ley de proporciones definidas o ley de Proust. Esta ley experimental, enunciada en 1795, dice “que los elementos participan en los compuestos en proporciones que siempre son expresables como números naturales asignados a cada elemento” (Aboites, 2018: 195). La idea atómica se implicaba por el hecho de que los compuestos “nunca presentaban la participación de un elemento como fracción de una unidad, sugiriendo que son unidades indivisibles de cada elemento” (ibídem)⁷³.

Sin embargo, el mismo Dalton era consciente de que no todos los científicos aceptaban la hipótesis atómica:

El doctor Thompson y la mayor parte de los químicos británicos después de mí, parecen considerar los equivalentes como sinónimos de los átomos; pero el doctor Wollaston no los reconoce como tales; parece considerar a los átomos como una investigación ulterior. Gay Lussac y los químicos franceses más avanzados adoptan el lenguaje de los volúmenes como más significativo.

⁷³ Dalton declaró lo siguiente: “Ya por el año 1803 había resuelto en mi mente las varias combinaciones conocidas por entonces del azoe [nitrógeno] y oxígeno y había determinado casi sin dudas que el gas nitroso [en términos modernos, NO, óxido nítrico] es un compuesto binario y el óxido nitroso [N₂O, óxido nitroso] uno ternario” (De la Llosa, 2000: 366-67).

Aunque no niegan la existencia de átomos y sus combinaciones, *no van más allá de la expresión de los hechos*⁷⁴. En ambos casos sería hacerles injusticia a esos autores presentándolos como [rehusando] los átomos. (De la Llosa, 2000: 367)

En 1802, Gay-Lussac enuncia la ley que lleva su nombre. Esta ley establece que la presión de un volumen fijo de un gas es proporcional a su temperatura. A partir de esta ley, fue posible calcular la escala absoluta de temperaturas (Kelvin). Por la misma época, Dalton formula su ley de las presiones parciales, que “establece que en una mezcla de gases la presión total es la suma de las presiones de los gases en la mezcla cuando cada uno actúa independientemente” (Ley Koo, 1999: 18). No obstante, tanto Dalton como Gay-Lussac e mostraban reticentes a aceptar como verdadera la ley del otro. La conciliación de ambas leyes vendría con la hipótesis de Avogadro.

En 1811, Amadeo Avogadro enuncia la hipótesis que lleva su nombre, y que después se convertiría en ley, que dice que “en volúmenes iguales de todos los gases, medidos en las mismas condiciones de presión y temperatura, existen igual número de moléculas” (Aboites, 2018: 195). En la actualidad, la ley de Avogadro se interpreta de la siguiente forma: existe el mismo número de moléculas para un mol de cualquier sustancia, o bien, el mismo número de átomos en un mol⁷⁵ de un determinado elemento.

Entre Enero y Julio de 1860, aparecen en la revista *Philosophical Magazine* una serie de trabajos titulados *Illustrations of the Dynamical theory of Gases*⁷⁶, escritos por James Clerk Maxwell. En esta obra, Maxwell se propone “demostrar las leyes del movimiento de un indefinido número de pequeñas, duras, y perfectamente elásticas esferas actuando unas sobre otras sólo durante el impacto” (:377). Una vez más, Maxwell utiliza una hipótesis provisional para dar cuenta de leyes fenomenológicas:

En lugar de decir que las partículas son duras, esféricas y elásticas, si nos place podemos decir que las partículas son centros de fuerza, de las cuales la acción es insensible excepto cuando la distancia es muy corta, donde súbitamente aparece como una fuerza

⁷⁴ Las cursivas son mías.

⁷⁵ En un mol existen $6,022045 \times 10^{23}$ unidades elementales, ya sean moléculas, átomos, etcétera. Éste número también se conoce como el número de Avogadro.

⁷⁶ Previamente leídos en el Encuentro de la Asociación Británica en Aberdeen, el 21 de Septiembre de 1859.

repulsiva de una gran intensidad. Es evidente que cualquier asunción nos guiará a los mismos resultados. (:378).

La aceptación definitiva de la hipótesis atómica vendría de la mano de Albert Einstein y su explicación del movimiento browniano. Para explicar el movimiento aleatorio de un grano de polen en un líquido, Einstein asumió que dicho movimiento era el resultado de colisiones aleatorias de partículas atómicas contra el grano de polen. Sin embargo:

...esto supone que la observación del movimiento Browniano es prueba suficiente de confirmación de la hipótesis atómica, esto último basado en la suposición de que “no hay ninguna otra hipótesis que pueda explicar el desplazamiento aleatorio de las partículas en el movimiento Browniano”. (Aboites, 2018: 197)

2.3.3 Breve historia el electrón

En 1947, R. A. Millikan, responsable de la medición de la carga exacta del electrón mediante el experimento de la gota de aceite, publicó un en la revista *American Journal of Physics* una nota titulada “El descubrimiento de Franklin del electrón”. En esta nota, Millikan advierte que Benjamin Franklin ya había concebido, en 1747, el “átomo de electricidad”:

La materia eléctrica consiste de partículas extremadamente sutiles, que pueden permear la materia común, incluso los metales más densos, con tal facilidad y libertad que no encuentra resistencia perceptible alguna. (Ley Koo, 1999: 13)

A pesar de que dicha entidad fue propuesta en el siglo XVIII, tendría que esperar 150 años para verse resucitada de nuevo. La idea de Franklin se presentó cuando las investigaciones de la electricidad estaban en ciernes. Aún era común hablar de *fluidos* eléctricos y casi todas las hipótesis se consideraban falaces.

No obstante, a inicios del siglo XIX se iniciaron investigaciones y experimentos mucho más precisos sobre la electricidad. Como se vio en el subcapítulo anterior, dichas investigaciones fueron hechas por personajes como Oersted, Ampere y Faraday, entre otros.

El mismo Michael Faraday se mostraba escéptico ante la existencia de fluidos eléctricos o la existencia de los átomos (Siegel). Irónicamente, sería una de las leyes experimentales de Faraday la que contribuiría a tomar en serio la hipótesis del “átomo de electricidad”.

Humpry Davy, mentor de Michael Faraday, había descubierto el proceso de descomposición electro-química, lo que lo había llevado a descubrir varios elementos químicos. Este descubrimiento era un apoyo experimental más a la hipótesis de Dalton. Davy había enseñado el proceso a Faraday y éste realizó una serie de experimentos que fueron publicados en su obra *Experimental Researches in electricity and Magnetism*. Faraday relacionó el fenómeno de la descomposición electro-química con la cantidad de electricidad proporcionada al compuesto con el que se trabajaba: la acción de descomposición química de una corriente es constante para una misma cantidad de electricidad. Faraday declara que:

...si adoptamos la teoría o la fraseología atómica, entonces los átomos de sustancias que son equivalentes entre sí en su acción química ordinaria, tienen cantidades iguales de electricidad naturalmente asociados con ellos. Pero debo confesar que soy celoso del término átomo; porque aunque es muy fácil hablar de átomos, es muy difícil formar una idea clara de su naturaleza especialmente cuando se consideran sustancias compuestas. (Ley Koo, 1999: 32-3).

Se puede relacionar la ley de descomposición electroquímica de Faraday con la ley de Avogadro, de donde se desprende que para generar un mol de cualquier sustancia por ése procedimiento, en el mismo periodo de tiempo, se requeriría una cantidad de electricidad específica para cada sustancia. En otras palabras, cada elemento lleva consigo un índice específico de electricidad.

La teoría electromagnética de Maxwell está construida sobre el concepto de campo electromagnético. Tal como la concibió, la teoría de Maxwell implicaba la naturaleza *continua* de los fenómenos electromagnéticos, al considerarlos perturbaciones en el campo, o en el éter. Fue Hendrik Antoon Lorentz quien relacionó el electrón con la teoría electromagnética, haciendo de esta entidad la portadora de la electricidad negativa.

Es por esta necesidad que uno se ve conducido a la concepción de los *electrones*, *i. e.* partículas extremadamente pequeñas, cargadas con electricidad, las cuales están

presentes en grandes números en todos los cuerpos ponderables, y por cuyas distribuciones y movimientos procuramos explicar todos los fenómenos eléctricos y ópticos que no están confinados al éter.

Fue J. J. Thompson el primero en postular la existencia del electrón para explicar los experimentos realizados con los rayos catódicos. Además de postular el “corpúsculo” de la electricidad, Thompson también dedujo algunas de sus principales propiedades: por ejemplo, que su masa debía de ser aproximadamente mil veces más pequeña que la del átomo del hidrógeno y que debía presentar una carga eléctrica negativa muy pequeña. Además, dicha partícula debería ser capaz de atravesar materia y ser deflectada por campos electromagnéticos (Davis & Falconer, 2005).

Sin embargo, en fecha tan tardía como 1904 aún se dudaba de la certeza de la teoría atómica, y en 1910 se desataría la llamada “batalla del electrón” (Holton, 1982). Éste célebre enfrentamiento fue protagonizado por los científicos R. A. Millikan y Felix Ehrenhaft. Ambos científicos, por diferentes métodos experimentales, trataron de determinar el valor mínimo de la carga negativa e . Millikan, mediante su célebre experimento de la gota de aceite, encontró valores para las cargas negativas eran múltiplos enteros de una cierta constante⁷⁷(e).

Ya desde los primeros meses, en el verano de 1909, Millikan decía que las cargas realmente siempre resultaban ser 1, 2, 3, 4, o algún otro múltiplo exacto de la carga más pequeña que he podido obtener sobre una gotita [de agua]⁷⁸, cabiendo con holgura dentro de los límites del error de mis medidas en el cronómetro. Aquí estaba, por tanto, la primera prueba definitiva, clara e indudable de que la electricidad era definitivamente de estructura unitaria. (Holton, 1982: 71)

⁷⁷ “El resultado de Millikan había llegado justo a tiempo de ayudar a Rutherford y a Geiger en su nuevo trabajo: habían medido la magnitud de la carga de la partícula α con un resultado de 9.3×10^{-10} ues, y supusieron que debía ser igual a $2e$. Por tanto, e debería ser igual a 4.65×10^{-10} ues.

⁷⁸ El experimento original de Millikan consistía en suspender pequeñas gotas de agua en un fuerte campo electromagnético generado por dos placas. Al activarse las placas y rociarse agua, mediante un dispositivo se analizaba la caída de las gotas, de las que se conocía la carga eléctrica total y la fuerza necesaria para contrarrestar el efecto de gravedad, de manera que si la gota era lo suficientemente pequeña, y con los valores conocidos, se podían calcular experimentalmente valores muy pequeños. Sin embargo, el experimento con gotas de agua era demasiado complicado y se tenían que analizar múltiples gotas a la vez. Millikan se percató de que el experimento se podía hacer de mejor manera con gotas de aceite unitarias, que eran más estables. Con esta modificación del experimento, se obtuvieron resultados más precisos. Véase (Millikan, 1917).

En efecto, si todos los resultados experimentales de la medición de la carga eléctrica eran siempre múltiplos enteros de una constante, era casi imposible evitar la conclusión de que la naturaleza de la electricidad era discreta y no continua. Si la electricidad fuera continua, los datos experimentales deberían arrojar valores aleatorios y más pequeños que aquella constante. No obstante, esos fueron precisamente los resultados que arrojaron los experimentos de Ehrenhaft en 1910:

Ehrenhaft informó sobre más de 300 medidas, obteniendo un nuevo e interesante resultado: las partículas no tienen una carga única o el doble de esa carga, sino que pueden también tener cargas “entre y por debajo” de esos valores. Las veintidós medidas de la carga reproducidas en el periodo de Ehrenhaft, se extienden desde 7.35×10^{-10} ues hasta 1.30×10^{-10} ues; alrededor de un tercio de la carga elemental que había medido previamente. Ehrenhaft concluyó que estos resultados no pueden ser siempre explicados como incorrecciones en el método. Esas cantidades están, más bien “en la naturaleza”. (Holton, 1982: 86).

Por lo que a la comunidad científica se le presentaba un problema metafísico al mismo tiempo que trataba de solucionar un problema estrictamente científico. No sólo se trataba de decidir cuál de los dos científicos tenía los mejores resultados, también estaba en juego la naturaleza de los fenómenos eléctricos: aceptar la teoría (y el método) de un científico equivalía a aceptar una concepción metafísica particular de la naturaleza⁷⁹.

Finalmente, los datos y la hipótesis de Millikan fueron ganando aceptación. Esto se debió a que los datos proporcionados por Millikan coincidían en mayor parte con el trabajo de otros reconocidos científicos⁸⁰. Al mismo tiempo, la teoría atómica iba siendo cada vez más aceptada y perfeccionada a la luz de los avances de la mecánica cuántica.

⁷⁹ “Parecía, más bien, que el mismo conjunto de observaciones podía ser usado para demostrar la plausibilidad de dos teorías diametralmente opuestas mantenidas con convicción por dos oponentes bien dotados y por sus respectivos colaboradores. Ni siquiera existía inicialmente el convincente testimonio de investigadores independientes.” (Holton, 1982: 88)

⁸⁰ “...the electron has recently taken on added importance because it has been found to carry with it not merely all molecular and atomic magnitudes, as therefore, but also all of the most significant of the radiation constants, such as Planck’s h , the Stefan-Boltzmann constant σ , the Wien constant C_2 , all X-ray constants, i.e. the wave lengths of characteristic X-rays, etc.” (Millikan, 1917: 231)

Es interesante la propia concepción que Millikan tenía sobre el electrón. Mientras Ehrenhaft pensaba que los datos proporcionados por los experimentos no eran concluyentes en cuanto a la naturaleza de la carga eléctrica, es decir, que no se podía estar seguro de si la carga era continua (y por lo tanto infinitamente divisible) o discreta (y por lo tanto con una unidad mínima), Millikan estaba seguro de que los datos *revelaban* un hecho del mundo. En otras palabras, Millikan se mostraba realista en cuanto a la existencia de los electrones:

Él pensaba en el electrón como un corpúsculo discreto, de carga eléctrica unitaria, cuyas acciones *pueden verse con los propios ojos*⁸¹. Verdaderamente no estaba muy lejos de asegurar que el mismo electrón puede ser visto. “El que haya visto el experimento”, escribe en su autobiografía al tratar el experimento de la gota de aceite, “y lo han visto cientos de investigadores, ha visto, en efecto, el electrón.” Y de nuevo, en términos más generales, incluso: “Pero el mismo electrón, que ha sido medido por el hombre..., no es algo incierto ni una hipótesis. ES UN NUEVO HECHO EXPERIMENTAL que esta generación a la que pertenecemos ha visto por primera vez, pero que podrá ser visto por cualquiera que lo desee de ahora en adelante.” (Holton, 1982: 59)

⁸¹ Las cursivas son mías.

Capítulo III. La controversia del realismo en la Filosofía de la Ciencia

3.1 Teorías como instrumentos

Él (Duhem) quiere sugerir que la física puede ser desarrollada sin tener que responder estas dos preguntas: ¿Existe una realidad material distinta de la apariencia sensible? Y, si existe, ¿cuál es la naturaleza de tal realidad? Duhem no propone que dichas preguntas son incontestables. Más bien, él sugiere que es posible abstenerse de contestarlas, es decir, que se puede permanecer agnóstico ante las respuestas.

-Stathis Psillos

Pierre Duhem fue un físico, historiador y filósofo de la ciencia francés, cuyo trabajo fue influyente en la concepción positivista de la ciencia de la primera mitad del siglo XX. Junto a Henri Poincaré y Ernst Mach, fue el principal promotor de las tesis instrumentalistas acerca de la ciencia, en general, y de la física, en particular, a inicios del siglo pasado.

Como se verá más adelante, las ideas de Pierre Duhem aún se discuten y muchos de sus argumentos presentan la forma más sencilla posible, por lo que muchos anti-realistas las siguen esgrimiendo⁸². Debido a esto, dichos argumentos no han perdido el vigor que tuvieron cuando fueron formuladas a principios del siglo pasado; en todo caso, parecen haber ganado pertinencia con el paso del tiempo, por lo que no es de extrañar que distintos autores de diferentes corrientes sigan citando a Duhem, ya sea para defender el antirrealismo o para tratar de refutar sus tesis.

⁸² “But the most powerful argument I know is found in Pierre Duhem’s *Aim and Structure of the Physical Theory*, reformulated in a particular pointed way by Bas van Fraassen in his recent book, *The Scientific Image*.” (Cartwright, 1990: 4).

Es importante destacar que las ideas de Duhem, Poincaré y Mach están íntimamente relacionadas con el desarrollo de la física de su tiempo. A finales del siglo XIX, la teoría electromagnética de Maxwell empezaba a rendir sus primeros grandes frutos; el descubrimiento de los rayos catódicos y la naturaleza de la radiación eran problemas acuciantes; el experimento de Michelson-Morley y las ecuaciones de Lorentz preparaban el camino para el surgimiento de la teoría de la relatividad; los científicos comenzaban a hablar sin tapujos acerca de entidades inobservables a simple vista, como los electrones, los átomos o las ondas electromagnéticas. No obstante, los grandes avances de la física del siglo XIX parecía justificar cierto nivel de optimismo entre la comunidad científica: “a finales del siglo XIX parecían conocerse los principios fundamentales que rigen el comportamiento del mundo físico” (Crichton, 2000: 11)⁸³.

No obstante, Duhem contrapone a semejante optimismo un escepticismo racional que, si bien no es hostil al desarrollo de la física contemporánea a él, sí sirve como freno a la implementación, o aceptación, de ideas metafísicas que no estaban justificadas del todo. Inclusive, los argumentos escépticos y anti-realistas no dejaron de rendir algunos frutos: Mach implementó una crítica a la hipótesis del éter, cuya existencia resultó ser refutada.

3.1.1 La teoría física

En su libro *La théorie physique, son objet, sa structure*, de 1914, Pierre Duhem identifica dos posturas que se han tenido, históricamente, acerca del objeto propio de una teoría física. La primera sostiene que el objetivo de la teoría física es *explicar* “un conjunto de leyes establecidas experimentalmente” (1914/2003: 5). La segunda postura defiende que las teorías científicas resumen y clasifican dichas leyes experimentales, pero *sin pretender explicarlas*.

Explicar es “despojar a la *realidad* de las *apariencias* que la envuelven como si fueran velos, a fin de contemplar esta realidad desnuda y de cara a cara” (:5). Es decir, explicar tiene una clara connotación realista. Se supone la existencia de una realidad última

⁸³ La cita corresponde a Alastair I. M. Rae. *Quantum physics: illusion or reality*. Cambridge, Cambridge, RU, 1994.

de la cual la teoría física da cuenta de manera más o menos precisa, en el caso de considerarse verdadera. Duhem objeta que la observación de los fenómenos no nos pone, sin embargo, en relación con dicha realidad oculta: la observación, y la experimentación, nos pone en relación con esas mismas apariencias, así que no es necesario suponer nada más “debajo” de los fenómenos; en todo caso, no es lícita tal suposición.

Duhem, con Poincaré y Mach, se inclina por la segunda postura:

La teoría física no es una explicación. Es un sistema de proposiciones matemáticas, deducidas de un pequeño número de principios, cuyo objeto es representar, de la manera más simple, más completa y más exacta posible un conjunto de leyes experimentales⁸⁴. (Duhem, 1914/2003: 22).

El primer producto epistemológicamente importante de la actividad científica sería, pues, la ley experimental. Al existir varias leyes experimentales, las teorías científicas tendrían como objetivo el representar dichas leyes de la manera más simple posible. Piénsese en los casos analizados en el capítulo anterior: la ley del péndulo, la ley de la caída libre de los cuerpos y las leyes de Kepler; las primeras leyes de la mecánica y las leyes del movimiento planetario que se conocieron a inicios de la ciencia moderna son regularidades que, en una primera aproximación, no parecen guardar ninguna relación entre ellas. Pero la teoría de la gravitación universal unifica dichas leyes en un cuerpo teórico. De la misma manera, varias leyes experimentales de la electricidad y el magnetismo eran ya conocidas cuando James Clerk Maxwell las sistematizó en su teoría electromagnética. De hecho, desde inicios del siglo XIX los físicos que trabajaban en la disciplina, estaban buscando una teoría que resumiera, en pocos principios, las leyes conocidas.

La teoría física ordena, clasifica y resume las leyes experimentales. Para el instrumentalista, como Duhem, dicho ordenamiento es una *representación*, de muchas posibles, de las leyes que el investigador ha obtenido mediante la experiencia controlada. De ninguna manera pueden ser *explicaciones* de una realidad subyacente a los propios fenómenos. La razón para adoptar tal postura viene directamente del escepticismo. En efecto, el problema es saber cuándo una teoría es verdadera.

⁸⁴ En cursivas en el original.

De modo que una teoría *verdadera* no es una teoría que da una explicación de las apariencias físicas conforme a la realidad, sino una teoría que representa de manera satisfactoria un conjunto de leyes experimentales. Una teoría *falsa* no es un intento de explicación basado en suposiciones contrarias a la realidad; es un conjunto de proposiciones que no concuerdan con las leyes experimentales. *El acuerdo con la experiencia es el único criterio de verdad para una teoría física*⁸⁵. (Duhem, 1914/2003: 23).

Si se recuerda lo dicho en el primer capítulo, el criterio que Duhem exige a una teoría física es más un criterio de coherencia lógica que de correspondencia con la realidad, puesto que ésta última se ha puesto en entredicho. Una teoría, pues, debe condensar en el menor número de proposiciones o “hipótesis fundamentales” el mayor número posible de leyes experimentales. Esto establece al menos dos criterios de preferencia entre dos teorías: 1) es mejor la teoría que explica más y 2) es mejor la teoría que explica con menos. Recuérdese que, en efecto, fue ése el mismo razonamiento empleado por Copérnico y por Galileo para defender la teoría heliocéntrica: permitía explicar los mismos fenómenos que el geocentrismo pero recurriendo sólo a unos cuantos principios y suposiciones que eran, en todo caso, menores que aquéllos a los que recurrían los peripatéticos.

Tomando en cuenta lo anterior, es comprensible que Duhem siga a Ernst Mach al pensar que las teorías científicas representan una “economía intelectual” (1914/2003: 25). En efecto, al clasificar las leyes experimentales y reducirlas a unos cuantos principios fundamentales, el científico no tiene que memorizar una gran cantidad de aquellas; el científico puede deducir leyes particulares de los principios generales de la teoría. De la ley de Faraday, que es una ley fundamental de la teoría electromagnética, se puede inferir la ley de Lenz; de la ley de Gauss para la electricidad se puede deducir la ley de Coulomb; de la ley de la gravitación universal se puede deducir la ley de la caída libre de los cuerpos; etcétera.

Pero Duhem apunta oportunamente que “la ley experimental ya representaba una primera economía intelectual” (:25). En efecto, una ley experimental es, según el instrumentalista, un informe resumido acerca de una regularidad encontrada en la

⁸⁵ Todas las cursivas del párrafo pertenecen al original.

experiencia: la ley de Ampere es un resumen de múltiples experiencias es las que el paso de corriente eléctrica a través de un alambre conductor desviaba un objeto imantado, como una brújula. En su forma matemática, la ley de Ampere indica los resultados de todas las variaciones posibles, permitiendo al investigador deducir una multiplicidad casi ilimitada de casos sin tener que realizar *todos* esos casos posibles. Evidentemente, aquí es donde entra una objeción escéptica: para que la ley experimental sea verdadera, deberá serlo en todos los casos; es decir, que técnicamente el experimentador debería haber realizado todos los experimentos con todos los valores de todas sus variables para poder dar con la ley *universal* adecuada. Ante tal imposibilidad, el científico deberá extrapolar de un gran número de experiencias controladas, del mayor número posible, una ley física. La ley física será tan correcta como correctas sean sus predicciones. Pero según Henri Poincaré: “Por sólidamente asentada que pueda parecernos una previsión no estamos jamás *absolutamente* seguros de que la experiencia no la desmentirá, si nos proponemos verificarla. Pero la probabilidad es a menudo bastante grande para que prácticamente podamos contar con ello” (1963: 136).

Puesto que no se puede saber si una determinada teoría es verdadera al no poderla comparar directamente con la realidad, ya que hacer esto implicaría el tener acceso a esa realidad “nouménica” oculta a la experiencia, el instrumentalista busca el valor de la misma en la coherencia y armonía que la teoría guarda con las leyes experimentales que pretende clasificar. Así entendida, una teoría es una herramienta epistemológica que nos ayuda a sistematizar nuestras experiencias del mundo en una estructura lógicamente ordenada, cuyos principales elementos son las leyes físicas. Las mismas leyes físicas constituyen, también, una economía del pensamiento, al ser informes resumidos de una multiplicidad de experiencias controladas, o de regularidades observadas. Las teorías y las leyes físicas son *representativas* cuando se limitan, precisamente, a la mera descripción sucinta de las regularidades observadas, pero tratan de ser *explicativas* cuando precisan dar cuenta de una realidad subyacente a los fenómenos y que es, en principio, inaccesible a la experiencia directa.

Una teoría física deberá, según Duhem, *representar* el mayor número de leyes experimentales en el menor número de principios. Puesto que las leyes físicas son formuladas matemáticamente, la teoría también deberá mantener esa característica, por lo

que la teoría completa presentará una estructura lógico-matemática y las leyes físicas particulares podrán ser obtenidas por deducción de la teoría así formada.

La representación consiste, precisamente, en la formulación matemática de la ley física: la ley de Faraday no es solamente la constatación de que cada vez que se pasa un imán a través de una bobina ésta producirá una diferencia de potencial eléctrico, es la fórmula matemática que nos permite calcular de qué manera están relacionadas las cantidades de cambio de flujo magnético y la corriente inducida.

La explicación consiste en otorgar a algún elemento de la “realidad” oculta la causa de los fenómenos observados. Michael Faraday *explicó* los fenómenos eléctricos y magnéticos como manifestaciones de las líneas de fuerza. Aunque primeramente las utilizó como un medio de *representación* geométrica, posteriormente les atribuyó un estatus ontológico real con fines explicativos.

A lo largo de la historia de la física, las leyes y teorías científicas han desarrollado ambas operaciones, representar y explicar, pero según Pierre Duhem es la representación la parte estrictamente científica de aquellas. Por ejemplo, las leyes de Maxwell son la parte estrictamente representativa y la que aún se conserva. Pero las mismas leyes de Maxwell, como ya se ha expuesto, fueron *representadas* de manera distinta a medida que avanzó el pensamiento del físico escocés: primero se les representó geoméricamente mediante las líneas de fuerza de Faraday, después les atribuyó existencia real a esas líneas de fuerza mediante la hipótesis de los vórtices moleculares y posteriormente postuló que las ondas electromagnéticas consistían en vibraciones del campo electromagnético que se transmitían a través del éter. Tanto los vórtices de materia imponderable, como las líneas de fuerza o el éter han sido desechados como elementos innecesarios de la teoría electromagnética y lo que se ha conservado son las ecuaciones de Maxwell⁸⁶.

Defender el instrumentalismo implica que, precisamente, es la parte representativa lo esencial de las teorías científicas. En efecto, a lo largo de la historia de la ciencia, Duhem encuentra múltiples casos en la que las *explicaciones* han sido insostenibles, descartadas, falsadas, etcétera; mientras que las *representaciones* se han mantenido en mayor o menor

⁸⁶ También se ha conservado el concepto de *campo*. Éste último es tan ampliamente aceptado que representa un reto para el antirrealista. En efecto, éste puede seguir pensando que se trata simplemente de una herramienta, sumamente útil, dentro del *corpus* de la física. Pero el realista ve en el campo electromagnético una *entidad* perfectamente descrita por las ecuaciones de Maxwell.

medida. Por ejemplo, a pesar de que la ley de la caída de los cuerpos libres, tal como la formuló Galileo, es falsa, se puede seguir utilizando para ciertos cálculos, ya que aún cuando es falsa no se muestra tan alejada de los datos de la observación cuando la altura no es muy grande. Por otro lado, la ley de Coulomb puede ser utilizada para calcular la intensidad de una carga eléctrica sin importar si la transmisión de la fuerza es mediada por un campo electromagnético, por líneas de fuerza o por una fuerza de acción a distancia; sin importar cuál sea el caso, la ley de Coulomb sigue siendo *útil* al electricista y al físico.

3.1.2 Clasificación natural

“La teoría no es solamente una representación económica de las leyes experimentales; es también una *clasificación* de estas leyes” (Duhem, 1914/2003: 27). Al reducir al menor número de principios, postulados o leyes fundamentales un gran número de leyes físicas, la teoría no sólo constituye una economía del pensamiento, también implica que algunas leyes son más universales que otras, de manera que las más particulares puedan ser deducidas matemáticamente de aquéllas; en otras palabras, las leyes particulares deberán ser casos de las leyes más generales, por lo que éstas serán más fundamentales que las primeras. La economía para el pensamiento es que, precisamente, el científico no deberá memorizar todo el enorme conjunto de leyes experimentales existentes, sino solo los principios y leyes fundamentales, de manera que pueda deducir lógica y matemáticamente la que necesite en cada caso.

Si una teoría es mejor que otra al explicar más leyes con menos principios y siendo una estructura epistémica lógicamente coherente, entonces la clasificación que implica es también mejor: es más útil. No obstante, para el instrumentalista tal teoría, por buena que sea, no puede ser tomada por una explicación de la realidad subyacente a los fenómenos; esto implica que la clasificación de las leyes que representa sólo tiene un valor de utilidad, pero no de verdad⁸⁷. Cuando mucho, la clasificación es más útil, sencilla o clara, pero por muy buena que sea no puede ser tomada como una explicación. Para Duhem, sin embargo,

⁸⁷ O que su valor de verdad *es* su utilidad. O bien, su valor de verdad puede verse reducido a la coherencia lógica que guarde en sí misma la clasificación.

puede existir una objeción: la de las teorías *muy* exitosas. En efecto, puede haber aquí una contradicción, pero Duhem tratará de resolverla ateniéndose a la premisa instrumentalista.

La teoría electromagnética de Maxwell es aceptada al día de hoy como una de las teorías fundamentales de la física. No existe una teoría alternativa que explique mejor los fenómenos electromagnéticos. Todas las leyes experimentales que representan los fenómenos eléctricos y magnéticos pueden deducirse de las cuatro leyes de Maxwell. Para el instrumentalista, sin embargo, dichas leyes siguen siendo tan sólo un instrumento de representación matemática de los fenómenos, pero no una *explicación* de los mismos. Como Maxwell había advertido, su teoría electromagnética era una descripción del campo electromagnético (1864/1996). Su teoría es explicativa en tanto que reconoce que debe *existir* el campo electromagnético y que los fenómenos observados son una manifestación del mismo. La teoría es tan buena, que no sólo clasifica las leyes de la electricidad y el magnetismo en cuatro leyes fundamentales y unos cuantos principios y postulados, también las leyes de la óptica son clasificadas por ella, al hacer de la luz una onda electromagnética⁸⁸. Ésta teoría es, pues, una de las más exitosas que tiene la física. Pero según Duhem, siguiendo a Mach, es sólo un instrumento de representación, una economía intelectual.

Pierre Duhem ve claro el problema: cualquiera podría verse tentado a admitir que una teoría muy exitosa deberá de reflejar en algún grado la naturaleza de la realidad: no es sólo una herramienta útil, “nos invita a ver en ella una *clasificación natural*⁸⁹” (1914/2003: 28).

La facilidad con que cada ley experimental halla su lugar en la clasificación creada por el físico, la claridad deslumbrante que se esparce sobre este conjunto ordenado con tanta perfección nos convencen de forma irrefutable de que semejante clasificación no es puramente artificial, que un orden semejante no es el resultado de una agrupación puramente arbitraria impuesta a las leyes por un organizador ingenioso. Aunque no podemos dar cuenta de nuestra convicción, pero tampoco podemos librarnos de ella, vemos en la ordenación exacta de este sistema la marca en la que se reconoce una *clasificación*

⁸⁸ “Las relaciones de la electricidad y de la luz son ahora conocidas; los tres dominios de la luz, de la electricidad y del magnetismo, antes separados, no forman más que uno, y esa anexión parece definitiva.” (Poincaré, 1963: 140).

⁸⁹ En cursivas, en el original.

natural. Sin pretender explicar la realidad que se oculta bajo los fenómenos cuyas leyes agrupamos, percibimos que las agrupaciones establecidas por nuestra teoría corresponden a afinidades reales entre las cosas mismas. (Duhem, 1914/2003: 30).

Un realista argumentaría exactamente como declara Duhem: si una teoría es tan exitosa debería de ser porque representa de alguna manera una parte de la realidad, aunque sea en algún mínimo grado. Sería bastante difícil imaginar que una “clasificación arbitraria” guardara una relación tan exacta con los fenómenos⁹⁰.

Una buena teoría no sólo lo es porque logra sistematizar las leyes experimentales conocidas, lo que implica representar también los fenómenos que aquellas resumen, además debe *predecir* fenómenos que aún no se han observado o bien que no se habían concebido hasta entonces. Cuando Augustin-Jean Fresnel presentó su teoría ondulatoria de la luz, Poisson, uno de los científicos presentes, replicó que si la teoría fuera correcta, de sus principios se deducía que si se proyectaba luz sobre un disco opaco, en una pantalla detrás de dicho disco habría un punto justo en el centro que brillaría tanto como la luz emitida en un principio. Para Poisson era evidente que tal experiencia no era posible y que, por tanto, la teoría debería ser errónea, ya que entraría en conflicto con la experiencia. Sin embargo, el experimento se realizó y la predicción de Poisson, que pretendía ser una reducción al absurdo, se confirmó. Al punto de luz resultado del experimento se le conoce como punto de Arago, y resultó ser una extraordinaria confirmación de la teoría ondulatoria de la luz (Crew, Henry, 1981).

Por extraordinarias que puedan ser las predicciones de una teoría física, no se puede concluir de ello que la misma ha de ser una *explicación*, en el sentido que Duhem da al término, puesto que el científico no puede jamás estar seguro de que la teoría se refiera a una realidad subyacente a los fenómenos. La teoría de Fresnel postulaba la existencia del éter, que era el medio que se perturbaba para producir la onda. Sin embargo, una vez demostrada la inexistencia del éter, las ecuaciones de Fresnel siguen funcionando para *representar* los fenómenos ópticos. Como lo ha demostrado la historia de la ciencia, por mucho que un físico pueda estar seguro de la validez de una de sus teorías o hipótesis, nunca se puede conseguir la absoluta certeza, siempre hay un resquicio para el

⁹⁰ Éste argumento es conocido como *non miracle argument* (NMA) o argumento del milagro. Será tratado un poco más adelante.

escepticismo. Es justo este resquicio escéptico el que no abandonará Duhem y el que representa el mejor argumento para el instrumentalismo: por muy exitosa que sea una teoría en representar las leyes experimentales y predecir nuevos fenómenos, el investigador *nunca* podrá estar absolutamente seguro de que dicha teoría se refiere a una realidad oculta; en otras palabras, por más que el físico confíe en que su teoría es *explicativa*, no podrá, sin embargo, explicar en qué basa su intuición:

Así pues, la teoría física nunca nos proporciona la explicación de las leyes experimentales, nunca nos descubre las realidades que se ocultan tras las apariencias sensibles. Pero cuanto más se perfecciona, más presentimos que el orden lógico con el que se clasifica las leyes experimentales es el reflejo de un orden ontológico; más sospechamos que las relaciones que establece entre los datos de la observación corresponden a relaciones entre las cosas; más adivinamos que tiende a ser una clasificación natural.

El físico no podría explicar esta convicción; el método que utiliza está limitado por los datos de la observación. (Duhem, 1914/2003: 31)

En efecto, el límite de la investigación científica es, propiamente, la experiencia⁹¹. Postular una realidad oculta que es fundamento de los fenómenos observados en la experiencia sería, en todo caso, una hipótesis *metafísica* que escaparía a los fines propios de la ciencia. Inclusive, la estructura propia de esa realidad postulada no ha podido ser definida: "...ora es la simplicidad la que se esconde bajo las apariencias complejas; ora es, por el contrario, la simplicidad la que es aparente y la que disimula realidades extremadamente complicadas" (Poincaré, 1963: 138). En todo caso, la confianza que pudiera tener el científico en la capacidad explicativa de las teorías tendría que ser un acto de fe, y por ello mismo irracional:

Pero si bien el físico que siente incapaz de justificar esta convicción, es igualmente incapaz de apartar su mente de ella. Por más que se convenza de que sus teorías no tienen ninguna capacidad para captar la realidad, de que sólo sirven para dar una representación resumida y clasificada de las leyes experimentales, no puede creer que un sistema capaz de

⁹¹ "La experiencia es la única fuente de la verdad: sólo ella puede enseñarnos algo nuevo; sólo ella puede darnos la certeza." (Poincaré, 1963: 133)

ordenar de forma tan simple y tan cómoda un enorme montón de leyes, en principio tan inconexas, sea un sistema puramente artificial. (Duhem, 1914/2003: 32)

No obstante, es en la historia de la física donde Pierre Duhem encuentra argumentos en contra de concebir a las teorías como clasificaciones naturales. En efecto, cada vez que se ha creído que se encuentra una explicación a los fenómenos, otra teoría ha surgido que refuta lo dicho, y lo único que se conserva es la parte representativa de la teoría, su aspecto puramente formal y matemático. Así pues, por mucha confianza que inspire determinada teoría, no se puede asegurar que sea la explicación última, porque ya ha pasado antes que lo que se creía como explicación última ha resultado no serlo.

A pesar de que ninguna teoría puede ser aceptada como una explicación, Duhem defiende que la finalidad de cualquier teoría debe ser “convertirse en una *clasificación natural*” (:37). Esta se convertiría en una meta idealista para las teorías mientras el investigador esté siempre consciente de que la teoría es meramente representación y la clasificación natural es inalcanzable. En efecto, ha habido científicos, como el mismo Isaac Newton, que han guardado una posición escéptica ante la posibilidad de descubrir los fundamentos últimos de la realidad. Ante tal imposibilidad, “mirar con cuidado” se ha vuelto un imperativo metodológico y la modestia un valor necesario en la práctica científica. Aunque, como Duhem se percata hábilmente, también ha habido algunos que, como Descartes, se han dejado llevar por sus descubrimientos hasta declarar que se tiene la verdad fundamental:

Si bien algunos de los grandes físicos se enorgullecieron del poderoso método que utilizaban hasta el punto de exagerar sus posibilidades, y creyeron que sus teorías descubrirían la naturaleza metafísica de las cosas, muchos investigadores por los que sentimos una gran admiración fueron más modestos y más clarividentes: reconocieron que la teoría física no era una explicación, sino que vieron en ella una representación simplificada y ordenada, que agrupaba las leyes según una clasificación cada vez más perfecta y cada vez más natural” (1914/2003: 67).

3.2 NMA: el argumento del milagro

Las virtudes pragmáticas no nos dan ninguna razón, por encima de los datos empíricos, para pensar que una teoría es verdadera.

-Bas van Fraassen

Las teorías físicas actuales pueden considerarse muy exitosas. La mecánica cuántica es, por mucho, la teoría más confirmada en la historia de la humanidad. El funcionamiento de una vasta cantidad de aparatos, desde smartphones hasta aceleradores de partículas, da cuenta de su éxito. Tomar a la teoría cuántica como ejemplo no es superfluo: éste es un caso que podría ser esgrimido contra Duhem. Si la teoría cuántica es tan exitosa, ¿debería ser considerada como una *clasificación natural*? ¿Es la teoría cuántica puramente *representativa* o, basado en su éxito, es pertinente tomarla como una *explicación*? En otras palabras, ¿es la teoría cuántica una descripción *aproximada* de la realidad última del universo?

Un instrumentalista, como Duhem o Mach, responderá que, en efecto, la teoría cuántica, o cualquier otra, es representativa, es decir, se limita a clasificar las leyes experimentales, mismas que constituyen, tan solo, una economía intelectual. Pero, si este es el caso, existen dos objeciones que se pueden hacer ante esta perspectiva. La primera de ellas es que debería haber al menos una teoría posible que sea mejor, es decir, debería existir otra clasificación de leyes experimentales, y siempre sería posible encontrar teorías alternas, en muchos casos mejores, que la mejor disponible actualmente. Es decir, que si la teoría de Maxwell es una teoría física aceptada como la mejor representación de las leyes experimentales del electromagnetismo, deberían de existir otras clasificaciones que resumieran la experiencia de igual o mejor forma que la teoría de Maxwell. Lo mismo para la mecánica cuántica, la teoría general de la relatividad, etcétera. La segunda objeción es que, si la teoría sólo pretende clasificar las leyes experimentales *previamente conocidas*, entonces ¿cómo explica el instrumentalista las predicciones o experiencias nuevas?

Para el instrumentalista, el pasmoso éxito de las teorías científicas debería ser algo similar a un milagro, a una coincidencia cósmica, puesto que por mucho que las teorías

científicas tiendan a ser una clasificación natural, en la práctica nunca podrían llegar a serlo, puesto que su función es meramente representar. Y deberían existir, en principio, múltiples, por no decir infinitas, representaciones.

3.2.1 Exposición del NMA

El argumento del milagro, o NMA (*Non Miracle Argument*, literalmente “argumento del no milagro”) es invocado por los defensores del realismo científico como la principal objeción contra las tesis instrumentalistas. Este argumento toma como principal premisa el éxito de las teorías científicas, mismo que es innegable tanto para realistas como para antirrealistas. Según los primeros, el instrumentalismo es incapaz de explicar dicho éxito y, en cambio, el realismo científico constituye la mejor explicación para ello. En otras palabras, el argumento del milagro concluye que el éxito de las teorías científicas está determinado por el grado de “ajuste” entre aquellas y el mundo real; entre más *verdadera* la teoría⁹², más exitosa será ésta.

Existen teorías científicas altamente exitosas. Éste éxito consiste en el alto grado de confirmación de los fenómenos que predice la teoría. La confirmación es tanto cualitativa como cuantitativa: la teoría electromagnética de Maxwell predice la existencia de ondas electromagnéticas (predicción cualitativa) y también sirve para calcular los valores de dichas ondas, como su amplitud, frecuencia, velocidad, etcétera (predicción cuantitativa). Para la época de Duhem, las teorías físicas existentes eran tan eficaces que se podía calcular el valor de la carga eléctrica con una precisión increíble. En la actualidad, dicha precisión no ha hecho más que incrementarse. Las predicciones y cálculos que se realizan con las teorías son las más exitosas en la historia de la ciencia. ¿Cómo se explica semejante éxito?

Simplificando el proceso de formación de las teorías científicas y siguiendo lo dicho por Duhem, se puede decir que primero se obtienen las leyes empíricas, por proceso de inducción, y después se formulan teorías que clasifiquen a aquellas. Recapitulando lo dicho anteriormente, las teorías serán mejores cuantas más leyes logren sistematizar en una sola estructura lógica: cuanto más logre explicar con el menor número de principios y

⁹² Es decir, entre más se corresponda con la realidad.

suposiciones, mejor será la teoría. Manteniendo las tesis instrumentalistas, puede darse el caso de que dos o más teorías sean igual o más o menos exitosas que otra, u otras, alternas. En tal caso, puesto que no se tiene ninguna certeza de que alguna sea más “verdadera” que la otra, se pueden utilizar ambas. Históricamente hablando, varias teorías mutuamente excluyentes han coexistido así, aunque sea por un breve tiempo.

Aceptadas las tesis instrumentalistas, cualquier teoría podría ser aceptada como una clasificación de leyes empíricas siempre y cuando guarde una cierta coherencia lógica interna, es decir, que no implique contradicciones consigo misma *ni con la experiencia*. Ahora bien, el número de teorías debería ser técnicamente infinito. Puesto que no hay ninguna razón para pensar que las teorías, entendidas como clasificaciones, tengan algún fundamento en un hipotético mundo real inaccesible a la experiencia, el único criterio válido será la utilidad que la teoría brinde al científico.

La teoría aceptada, ya sea por su coherencia interna o con el resto de los conocimientos científicos admitidos por los sujetos epistémicos pertinentes, o por su utilidad, da sentido no sólo a las leyes empíricas que clasifica, sino también a las experiencias *previas* que son el fundamento de las leyes. Por lo tanto, las teorías científicas también clasifican los hechos *previamente conocidos* en un sistema específico. Pero siempre es posible imaginar, o crear, otra teoría que clasifique mejor, o de distinta manera, esos hechos.

Pero las teorías altamente exitosas también proporcionan *predicciones nuevas*. Estas predicciones nuevas son casos no observados o concebidos con anterioridad, y que sólo tienen sentido al interior de la teoría que los predice. Por ejemplo, la experiencia que propuso Poisson sobre el rayo de luz sólo pudo ser concebida admitiéndola como una consecuencia de la teoría ondulatoria de Fresnel, pero *no como una consecuencia de múltiples experiencias previas*. Al contrario, la concepción corpuscular de la luz *impedía* imaginar semejante experiencia; negaba el resultado que resultó ser verdadero. La teoría corpuscular de la luz se mostraba, por tanto, incompatible con la observación.

Así pues, las teorías altamente exitosas predicen nuevos tipos de fenómenos que las leyes empíricas por sí solas no pueden. Pero si se concibe a las teorías como clasificaciones útiles de las leyes empíricas ya conocidas, entonces es difícil justificar que dichas teorías además generen predicciones novedosas. En efecto, ¿cómo es posible que una teoría, cuya

única finalidad es servir de economía intelectual al investigador, logre adelantarse a la experiencia y también clasifique nuevos fenómenos que no habían sido concebidos hasta que la misma teoría los sugirió? Porque es fácil imaginar que se pueden encontrar fenómenos nuevos mediante la observación y la experimentación, de eso no hay ninguna duda; una vez que se descubren fenómenos nuevos y leyes empíricas nuevas, pues se agregan al corpus admitido por la teoría más aceptada o bien se crea una nueva teoría (es decir, una nueva clasificación). Pero el hecho de que una teoría implique la existencia de fenómenos absolutamente novedosos no tiene una explicación satisfactoria si se admite el instrumentalismo: “Porque en un constructo instrumentalista –algo como ‘cajas negras’, cálculo sintáctico y similares- *no existe ninguna razón para esperar que las teorías sean capaces de ser empíricamente exitosas*” (Psillos, 1999: 76) La única explicación posible es que es una *casualidad*. No obstante, a juzgar por el éxito de la mayor parte de las teorías físicas existentes, las probabilidades de que una clasificación técnicamente arbitraria de leyes empíricas rinda semejantes frutos deberían ser casi nulas: el filósofo J.J.C. Smart argumenta contra los instrumentalistas que ellos “deben de creer en *coincidencias cósmicas*” (Psillos, 1999: 72).

Para el realista, sin embargo, dicho éxito no genera ninguna sorpresa. Sobre el realismo, Putnam escribe que es la única filosofía de la ciencia que no hace del éxito de la ciencia un milagro⁹³. En efecto, que una teoría verdadera genere la posibilidad de acceder a fenómenos impensables sin la ayuda de aquella es precisamente el resultado que cabe esperar de una teoría que pretende describir cómo es realmente el mundo. Entre más exitosa es una teoría, más se confía en que dicha descripción es exacta, o aproximadamente exacta.

Así pues, NMA defiende la pretensión realista de que las teorías científicas exitosas deben ser aceptadas como verdaderas (o, mejor, aproximadamente verdaderas) descripciones del mundo, tanto en sus aspectos observables y no observables. En particular, la pretensión realista consiste en aceptar que las teorías científicas exitosas describen

⁹³ “The positive argument for realism is that it is the only philosophy of science that does not make the success of Science a miracle. The terms in mature scientific theories typically refer (this formulation is due to Richard Boyd), that the theories accepted in a mature science are typically approximately true, that the same terms can refer to the same even when they occur in different theories –these statements are viewed as not necessary truths but as a part as the only scientific explanation of the success of science and its relations to its objects.” (Putnam, 1975: 73).

verdaderamente (o casi) el mundo inobservable *es la mejor explicación*⁹⁴ de por qué estas teorías son empíricamente exitosas. Esto es, es la que mejor explica por qué los fenómenos observables son como estas teorías predicen que son. (Psillos, 1999: 71).⁹⁵

3.2.2 NMA: objeciones

Existen teorías científicas altamente exitosas. El éxito de estas teorías debería tener alguna explicación. Para el realista, el éxito consiste en el ajuste entre lo que dice la teoría y la realidad, por lo que el éxito de aquélla es una característica que es exigible y que constituye un rasgo esencial deseable en las teorías científicas. En otras palabras, para el realista, las teorías científicas pretenden *des-cubrir* la realidad, y el éxito de ellas es una medida del grado de ajuste con la última. No obstante, para el instrumentalista las teorías son sólo herramientas que representan una economía intelectual y de las cuales es imposible saber si existe una correspondencia con la realidad. ¿Cómo explica el antirrealista el éxito de las teorías físicas altamente confirmadas o aceptadas como correctas? Putnam explica que los instrumentalistas deberían creer en “milagros” o coincidencias cósmicas, puesto que, si se está dispuesto a admitir la tesis central del instrumentalismo, no debería existir ninguna razón para esperar predicciones novedosas para teorías que sólo pueden ser representativas *a posteriori*; solamente por una improbable coincidencia las teorías podrían generar nuevos descubrimientos.

Por las razones antes señaladas, muchos realistas se inclinan por el NMA como el principal argumento de defensa del realismo científico: es la mejor explicación para el éxito de la ciencia porque, precisamente, es lo que espera que le pase a las teorías cuando son verdaderas. Y puesto que los antirrealistas no pueden explicar el éxito de las teorías científicas, sino por mera coincidencia, entonces es preferible el realismo científico que el instrumentalismo.

Existen, pues, al menos dos formas de contraargumentar el NMA. El primero sería que la forma propia del argumento es incorrecta y, por lo tanto, inaceptable. El segundo

⁹⁴ En cursivas en el original.

⁹⁵ La traducción es mía.

sería negar una de sus premisas: NMA supone que no existe una explicación satisfactoria del éxito de la ciencia que no sea la que ofrece el realismo científico; por lo que, si se demuestra tal premisa como falsa, el argumento se vendría abajo.

Para algunos filósofos de la ciencia, el NMA es una forma de *inferencia a la mejor explicación* (IBE: *inference to the best explanation*)⁹⁶. La forma del *Non Miracle Argument* puede ser representada de la siguiente manera: el realista espera de una teoría correcta que produzca confirmaciones experimentales *nuevas*⁹⁷; el instrumentalista, sin embargo, no espera esto, simplemente espera sistematizar el conocimiento de resultados experimentales previos. Así pues, el realismo científico es preferible porque *explica* el hecho de que las teorías científicas brinden confirmaciones experimentales nuevas, condición que no parece imponer el instrumentalismo. Por lo tanto, es preferible el realismo científico al instrumentalismo. Ahora, una inferencia a la mejor explicación es un razonamiento en el que se debe elegir una entre dos o más posibilidades que expliquen un cierto fenómeno; ante la imposibilidad de una comprobación directa, se elige la explicación que parezca más *probable* de entre todas las disponibles.

Supóngase un hecho p que requiere ser explicado. Para esto último, se cuenta con las hipótesis $h1$ y $h2$. Por alguna razón, existe una premisa q tal que hace pensar que $h1$ es más probable que $h2$. En tal caso, racionalmente hablando, se puede concluir que $h1$ es la hipótesis que explica p , puesto que le asigno una probabilidad mayor de explicación que la de $h2$. Es decir, si tengo varias hipótesis que pretenden explicar un determinado fenómeno, y tengo razones para inclinarme en favor de alguno de ellos, es racionalmente aceptable concluir que éste último es la explicación correcta del fenómeno en cuestión.

Algunos filósofos argumentan que la IBE es una forma de argumentación circular y, por lo tanto, falaz. En efecto, tal parece que la IBE tiene como premisa aquello que quiere justificar. En efecto, si se tienen las hipótesis $h1$ y $h2$ y ambas pretenden ser la explicación del fenómeno p , debería tener una forma de *comprobar* cuál de ellas es la explicación *verdadera*. A falta de tal comprobación, lo que cabe esperar es obtener pruebas subsidiarias

⁹⁶ Por ejemplo, Hilary Putnam (Psillos, 1999: 71) y Van Fraassen (1996).

⁹⁷ Es decir, las teorías científicas deberían brindar la posibilidad de predecir observaciones o fenómenos completamente nuevas, tales como la predicción del punto de Arago, que ya se ha expuesto antes, o las fases de Venus; en aquellos ejemplos, dichas predicciones sólo fueron posibles gracias a las teorías que las sustentaban: anteriormente, con las antiguas teorías disponibles, no fue posible su predicción o siquiera su concepción.

en favor de una u otra hipótesis. Dichas pruebas subsidiarias, incapaces de determinar por sí mismas qué hipótesis es la correcta, tan sólo pueden generar confianza en favor de una u otra alternativa. Así, muchas pruebas subsidiarias $q_1, q_2 \dots q_n$ aportan confiabilidad a la hipótesis h_1 . No se puede concluir, no necesariamente hablando, que h_1 es la explicación del fenómeno p ; en todo caso, sólo se podría decir que *es más probable*. Por lo que se necesita, además, otra premisa que afirme que la explicación más probable debe ser la explicación correcta. Es decir, la inferencia a la mejor explicación concluye que la hipótesis más probable debe ser considerada la correcta, pero para llegar a ello, debe tener una premisa, explícita o implícita, que declare, precisamente, que la hipótesis más probable debe ser tomada como cierta y, además, una o varias premisas que definan cuál tiene dicha probabilidad. Eso parece, a todas luces, un razonamiento circular.

En palabras de Bas C. van Fraassen: “Presentaré solamente la versión simplificada. Supongamos que tienes la evidencia E y estamos considerando varias hipótesis, digamos H y H' . La regla dice que debemos inferir H más bien que H' precisamente si H es una mejor explicación que H' ” (1996, pág. 37). Supuesta tal regla de inferencia, debería existir un procedimiento por el cual se llegue a aceptar la premisa de que H es la mejor explicación, pero eso implicaría que hay, de hecho, dos procesos de inferencia: uno para llegar a aceptar que H es mejor explicación que H' , y otro para implicar que, con ésta como premisa, *se debe* concluir que H' es la explicación correcta, puesto que es la más probable. Por lo tanto, tal razonamiento debe ser circular o, al menos, inútil. En efecto, Van Fraassen concluye que el razonamiento debería detenerse en “la hipótesis H parece ser la más probable” y no seguir hasta la consecuencia de “entonces *debe* ser la explicación correcta”. La primera razón es que parece que el paso no está completamente justificado⁹⁸. La segunda, es que el paso parece completamente inútil:

...aún si aceptáramos que la regla de inferencia hacia la mejor explicación es correcta (o valiosa), el realista necesita algunas premisas ulteriores para su argumento. Esto es así debido a que es una regla que solamente dicta una elección dado un conjunto de hipótesis rivales. En otras palabras, necesitamos estar dispuestos a creer en una de varias hipótesis antes de que la regla pueda ser aplicada. (1980: 38-39).

⁹⁸ La justificación de ese salto lógico llevaría a un problema similar al de la inducción

Todo lo anterior son objeciones basadas en la propia estructura lógica del NMA, lo cual lo convertiría en un razonamiento formalmente inválido y, por ende, incapaz de erigirse en el argumento definitivo que los realistas claman que es. La otra alternativa consistía en falsar una de las premisas del NMA. Puesto que el éxito de las teorías científicas actuales es innegable para ambas facciones, la única posibilidad es negar la tesis de que el realismo científico es el único que explica el éxito de la ciencia. Una vez más, Van Fraassen expone:

...yo sostengo que el éxito de las teorías científicas no es ningún milagro. Ni siquiera es algo sorprendente para una mente científica (darwinista). Porque cualquier teoría científica nace dentro de una vida de feroz competencia, en una selva llena de dientes y garras. Solamente las teorías exitosas sobreviven: aquellas que *de hecho* encajaron con regularidades reales en la naturaleza. (1996: 61).

El criterio en el que Van Fraassen basa ésta última contraargumentación del NMA tiene que ver con que las teorías científicas *siempre* han de estar constituidas con los datos proporcionados por la experiencia: el criterio de adecuación, por tanto, sólo es a nivel de la experiencia empírica, y a final de cuentas, los fenómenos novedosos siempre se presentan en este mismo nivel. Por ende, puesto que no es necesario presuponer una realidad oculta que fundamente la experiencia, no es sorprendente que las teorías sean exitosas, por lo que el principal argumento para defender el realismo científico, el NMA, perdería toda su fuerza.

3.3 Niveles de realismo y antirrealismo científicos

Sin embargo, la posición empirista defendida por van Fraassen acepta una interpretación realista de la semántica de las teorías científicas, pero reta la racionalidad de la creencia en entidades observables, existencia que las teorías, de ser verdaderas, implican.

-Stathis Psillos

Stathis Psillos (1999) sostiene que el argumento del milagro es una especie de *meta-abducción*, es decir, una forma de inferencia hacia la mejor explicación que tomaría a la propia IBE como premisa, lo que resultaría en una inferencia más compleja. Además, el hecho de utilizarla como premisa explícita no la haría, estrictamente hablando, circular: en todo razonamiento deductivo la conclusión ya debe estar en las premisas, como en el caso del *modus ponens*, por poner un ejemplo.

No obstante, el mismo Psillos reconoce que la posición de Van Fraassen, denominada *empirismo constructivista*, es la más fuerte de las visiones instrumentalistas de la ciencia. Entonces, puesto que tanto el instrumentalismo como el realismo científico tienen argumentos convincentes, la discusión no parece inclinarse en favor de una u otra perspectiva.

Sin embargo, existen sutiles variaciones entre estas dos perspectivas, de tal manera que algunas tesis instrumentalistas parecen no implicar contradicción con otras tesis realistas. Esto es fácilmente comprensible si se piensa en las dos divisiones que se han utilizado hasta el momento para exponer la controversia del realismo científico. Primeramente, se habló de “niveles” en los que se suele situar el realismo. Estos niveles son los productos epistémicos que la investigación científica arroja: las leyes científicas, que expresan regularidades encontradas en los fenómenos; las teorías científicas, que engloban en un solo armazón lógico-matemático distintas leyes científicas; y los entes que las propias teorías postulan. En segundo lugar, también se habló de al menos tres componentes que constituyen a todo realismo científico: un componente metafísico, la afirmación de la

existencia de un mundo independiente del sujeto cognoscente; la aceptación de una teoría de la verdad como correspondencia, es decir, que la verdad de los enunciados está determinada por su adecuación con dicho mundo, o realidad; y una instancia epistémica, que proclama que cuanto más comprobada, correcta o precisa es una hipótesis, es más probable que sea verdadera, en el sentido correspondentista.

No se puede negar alguno de los componentes del realismo científico sin caer en una forma de antirrealismo. Sin embargo, sí es posible ser antirrealista en al menos un nivel del realismo científico y ser realista en otro, u otros, niveles, sin caer en contradicción.

3.3.1 Leyes vs. Teorías

El primer producto epistémico que crea la actividad científica es la ley empírica. Para el realista, esta ley empírica⁹⁹ es, de hecho, una ley natural: una ley científica, o empírica, expresa cómo se comportan *realmente* los fenómenos; para el instrumentalista, esas leyes son informes resumidos de las regularidades encontradas en los mismos.

Por otro lado, los científicos construyen teorías que sistematizan las leyes conocidas en estructuras epistémicas complejas pero lógicamente coherentes. Estas estructuras clasifican dichas leyes, pero para el realista tal clasificación, en el caso de las teorías altamente exitosas, es un reflejo de una *clasificación natural*, es decir, que dicha estructura es un reflejo más o menos aproximado de una estructura que existe en la realidad; pero para el instrumentalista, tal clasificación representa, solamente, una *economía intelectual*.

Además, las teorías científicas también definen sus objetos de estudio según los parámetros de las mismas, por lo que a estas entidades se les conoce como *teóricas*. De estos objetos, determinados teóricamente, algunos pueden ser observables, directa o indirectamente (a través de instrumentos), y algunos sólo postulados para explicar partes de

⁹⁹ Recapitulando lo dicho en capítulos anteriores, el término *ley empírica* puede ser utilizado como sinónimo de *ley científica*. La única diferencia radicará en el sentido que se le quiera dar: para el realismo científico, la ley empírica es, además, una ley natural; para el instrumentalista, sin embargo, aceptar esta interpretación no está justificado. Sin embargo, el contenido empírico de cualquier ley científica no está puesta en duda por ninguna de estas filosofías. La única diferenciación que podría hacerse, es que una *ley experimental* es también una ley empírica, pero no toda ley empírica es experimental.

la teoría, estos últimos son denominados *entes teóricos no observables* mientras no sea posible captarlos directa o indirectamente.

Basados en esa clasificación, puede darse el caso de que se acepten las leyes empíricas como leyes naturales, pero no aceptar la teoría que las sistematiza como una clasificación natural; en otras palabras, se puede ser realista en cuanto a las leyes científicas, pero instrumentalista acerca de las teorías científicas. Tal es, por ejemplo, la posición de Nancy Cartwright y, en algún sentido, del propio Van Fraassen.

En su libro *How the laws of physics lie*, Nancy Cartwright retoma la clasificación que la concepción heredada de la filosofía de la ciencia de la primera mitad del siglo XX propuso para entender la ciencia y sus objetivos: la distinción entre lo *fenomenológico* y lo *teórico*. Para entender esta clasificación, hará falta un ejemplo. Piénsese en la ley de Faraday. Esta ley expresa una regularidad observada en múltiples experiencias controladas (experimentos). La regularidad expresada por la ley de Faraday es, simplemente, que cada vez que se pase un imán a través de una bobina de alambre, se producirá una corriente eléctrica; mejor dicho, que cada vez que *se ha movido* un imán a través de la bobina, *se ha producido* una corriente. La expresión de la ley de Faraday, en estos términos, y con la confianza de que seguirá pasando en el futuro, es una formulación *fenomenológica*, es decir, expresa los datos tal y como los ha recibido el sujeto, es decir, expresa el fenómeno (lo que se muestra) tal y como ha sido experimentado. Si se expresa de esta manera, la ley de Faraday es puramente fenomenológica, y cualquiera que realice un simple experimento puede llegar a concluir, fácilmente, que la regla es *verdadera*. En efecto, cada vez que se repita el experimento, el resultado será el mismo. Hay, por lo tanto, una adecuación entre lo dicho (la expresión de la ley) y lo real (la experiencia). No obstante, hay una expresión *matemática* de la ley de Faraday (técnicamente hablando, hay *varias* expresiones matemáticas de dicha ley) *más general*: la de las ecuaciones de Maxwell, que dice que el cambio en el tiempo de un campo magnético producirá un campo eléctrico. Los conceptos de *campo magnético* y *campo eléctrico* son teóricos, es decir, son definidos por los parámetros de un sistema que clasifica diferentes leyes empíricas, y cobran sentido pleno sólo al interior de esta teoría. Esto se debe a que nadie puede *percibir* algo tal como un *campo electromagnético*. Percibimos un imán, su movimiento, la bobina y un foco que enciende. Técnicamente hablando, mediante un voltímetro se podría detectar y medir la

corriente, lo que convertiría a la misma en algo parcialmente, o indirectamente, perceptible. Pero el concepto de *campo* es una construcción teórica creada para darle sentido a una teoría que engloba las distintas leyes del electromagnetismo en un solo conjunto lógicamente uniforme. El campo no se puede percibir directa o indirectamente. Lo que se percibe es un efecto del mismo. La ley de Coulomb es un ejemplo perfecto. Si se pone una carga electrostática cerca de otra carga mucho mayor, se verá que la carga más pequeña es atraída o repelida por la más grande (ignorando su masa), según el signo de las cargas. Esto, sin embargo, no indica la presencia de un campo; de hecho, la formulación original de la ley de Coulomb era interpretada como la interacción de fuerzas de atracción y repulsión a distancia, análogas a la fuerza de gravedad de la teoría de Newton. El mismo James Clerk Maxwell imaginó distintos mecanismos que *ilustraran* la acción de las fuerzas magnéticas y eléctricas antes de llegar a la noción abstracta de campo electromagnético.

El punto es que existe, entonces, una diferencia entre una ley fenomenológica, que expresa más o menos las regularidades *observadas* en los fenómenos, y los contenidos *teóricos* de una teoría. Estrictamente hablando, la ley de Faraday tal y como es expresada en la teoría electromagnética de Maxwell no es la misma que la ley fenomenológica de Faraday, que solamente expresa la regularidad encontrada en el fenómeno.

La diferencia estriba, según filósofos como Nancy Cartwright y Bas Van Fraassen, en que las leyes fenomenológicas pueden ser consideradas verdaderas, en el sentido correspondentista, si se supone que la realidad a la que se ajustan es, precisamente, la realidad fenoménica, *i.e.*, la experiencia. Sin embargo, si se supone la clasificación teórica como la verdadera (de la cual la expresión fenomenológica vendría a ser sólo un caso de muchos), entonces tiene que postularse la existencia de una realidad “oculta” o inaccesible directamente al científico, de manera que al declararse una teoría como verdadera, sería por su “correspondencia” con tal realidad.

Ahora bien, se puede ser perfectamente consecuente, tomando lo anterior como premisa, si se afirma que se es “realista” en cuanto a las leyes empíricas, pero instrumentalista acerca de las teorías, que no serían más que sistematizaciones útiles de las primeras.

La división entre lo teórico y lo fenomenológico separa, comúnmente, a realistas de anti-realistas. En estos ensayos yo defiendo un tipo de antirrealismo, y típicamente es un antirrealismo que acepta lo fenomenológico y rechaza lo teórico. Pero no es la “teoría contra observación” lo que rechazo. Más bien rechazo lo teórico como opuesto a lo fenomenológico. (Cartwright, 1990: 2)

Si se toman las leyes empíricas como expresiones fenomenológicas, entonces hay una brecha epistemológica entre estas y las teorías. Asumiéndolas de esta manera, la distinción de Cartwright se ajusta a la presupuesta hasta aquí. Por ende, Cartwright sería considerada como “realista” en cuanto a las leyes experimentales, pero antirrealista acerca de las teorías, o bien, de las leyes *muy generales*. Volviendo al ejemplo de la ley de Faraday, la ecuación de Maxwell que enuncia dicha ley, es mucho más general que la ley fenomenológica que engloba. La ley de Faraday, o la de Ampere, tal como las concibe Maxwell, *nunca pueden ser verdaderas*. La formalización matemática de una ley empírica implica una idealización. Para el realista, esta idealización puede considerarse verdadera, en el caso de una teoría altamente exitosa, puesto que asume que hay una realidad “oculta” o inaccesible con la cual se ajusta esa idealización; en otras palabras, la teoría resulta verdadera si se consideran algunas cláusulas *ceteris paribus*. Tómese el caso de la ley de Coulomb, que es una ecuación muy sencilla: la ley sólo podría ser verdadera si se ignoran la masa, la interacción entre otras fuerzas, cualquier otra perturbación y si la medición es absolutamente exacta. Ahora piénsese en las ecuaciones de Maxwell: las mismas sólo podrían ser verdaderas en un sistema electromagnético ideal, sin ninguna perturbación. Puesto que las leyes de Maxwell son la descripción del campo electromagnético, se debería tener un campo completamente aislado de cualquier otra cosa para que lo que se calculara sobre él resultara ser cierto.

Al considerar una teoría como verdadera, en el sentido que le atribuye el realismo científico surge un problema relacionado con el anterior. Puesto que las teorías de la física son formuladas en lenguaje matemático y, según el realista, la clasificación de leyes empíricas tienden a ser un reflejo de la *clasificación natural* (real) de las mismas, ¿quiere esto decir que *todas* las soluciones a los distintos valores de las variables deben tener un equivalente en la realidad? Este problema es expuesto con más detalle por el Dr. Vicente Aboites. Considérese la teoría electromagnética de Maxwell, que consiste en las ecuaciones

del mismo nombre. De esta teoría se pueden deducir *todos* los fenómenos eléctricos y magnéticos, así como todas las ecuaciones conocidas que describen estos fenómenos. Entre estas ecuaciones, se encuentra la ecuación de Helmholtz.

La ecuación de Helmholtz es de enorme importancia científica y también filosófica, pues, en principio, cualquier función D que satisfaga dicha ecuación es una distribución posible de campo para una onda electromagnética. Por ejemplo, la aproximación de ondas electromagnéticas planas infinitas representan una solución particular D_1 para la función D de la ecuación de Helmholtz. Como el nombre lo indica, estas ondas representan planos infinitos que viajan en el espacio a la velocidad de la luz. Otro ejemplo son las ondas electromagnéticas esféricas, las cuales son otra solución particular D_2 para la función D de la ecuación de Helmholtz. Estas ondas representan ondas esféricas que parten de un origen y que se expanden esférica y uniformemente al infinito. La luz producida por una bombilla eléctrica sería una representación experimental aproximada de estas ondas. Un ejemplo más serían las ondas electromagnéticas cilíndricas, que son otra solución particular D_3 para a función D de la ecuación de Helmholtz (...) Estas tres diferentes soluciones a la ecuación de Helmholtz son las más frecuentemente utilizadas en la descripción de las ondas electromagnéticas.

Sin embargo, el desarrollo tecnológico de mediados del siglo XX con la invención del láser por Mainman (Mainman 1961), enfrentó a los científicos a una nueva estructura espacial para la radiación electromagnética, para la cual las descripciones de onda plana, esférica o cilíndrica hasta entonces conocidas no eran adecuadas. La búsqueda de una solución particular D_4 de la ecuación de Helmholtz que pudiera adecuadamente describir un rayo láser dio como resultado las llamadas ondas gaussianas o de Hermite-Gauss, las cuales son funciones matemáticas espaciales que son solución de la ecuación de Helmholtz y representan con mucha precisión la onda electromagnética de un haz láser. (2008: 61-63)

El doctor Aboites continúa exponiendo que la película *Star Wars* planteó el problema de encontrar una solución a la ecuación de Helmholtz que describiera la forma de un hipotético sable de luz. En efecto, se encontró dicha solución: “Estas ondas se conocen como ondas de Bessel no difractivas” (:63). Aboites se pregunta, en el mismo lugar: “¿Toda solución matemática de la ecuación de Helmholtz representa una distribución espacial de radiación electromagnética que puede existir en el mundo real?”. El realista tendrá que

concluir que sí, en el caso de que la teoría sea considerada verdadera. Sin embargo, será imposible comprobar *todos* los casos posibles. Para el instrumentalista este problema será irrelevante, la ecuación de Hemplholtz ha funcionado hasta ahora para describir los fenómenos observados y se puede conservar como correcta mientras lo siga haciendo.

Estos dos problemas revelan que asignar un valor de verdad correspondentista a una teoría conlleva una meta imposible. La teoría es una representación *ideal y universal*, y es técnicamente imposible alcanzar las condiciones ideales y analizar todos los casos. No obstante, eso tampoco quiere decir que la teoría no sea verdadera en el sentido que le asigna el realista, simplemente no se puede estar seguro de que lo sea, o no.

Ser realista o instrumentalista en cuanto a las leyes científicas y a las teorías que las engloban refleja un problema auténticamente filosófico y metafísico. De alguna manera, ambas facciones podrían estar de acuerdo en que al menos las leyes, en un nivel estrictamente fenomenológico, podrían considerarse aproximadamente verdaderas en el sentido correspondentista, esto debido a que se adecúan, precisamente, con la realidad *fenoménica*. Es decir, hay al menos una “realidad” en la que realistas e instrumentalistas coinciden en aceptar, la de la experiencia sensible. El problema surge cuando se ha de postular una realidad más profunda que subyace a la experiencia sensible y que, de alguna manera, es el fundamento de ésta; es más, lo que propone el realista es que, de alguna manera, esta realidad postulada es más *real* que la experiencia sensible, ya que tendría que ser ontológicamente anterior a ésta.

Sin embargo, no parece existir un consenso claro acerca de la finalidad de presuponer una realidad que fundamenta a la experiencia sensible, o una realidad *nouménica*, en el sentido atribuido por Kant. Existe una tradición, que se remonta a Platón, de explicar las apariencias sensibles como pálidos reflejos de una realidad ideal perfecta y, en general, mucho más simple que los fenómenos que se aparecen a la sensibilidad. Platón consideraba que los movimientos irregulares descritos por los planetas eran en realidad movimientos circulares simples que *parecían* ser complejos. Esta tradición, por tanto, concluye que la verdadera realidad debe ser más simple que el aparente caos de la experiencia sensible. Así pues, las leyes científicas y las teorías *des-cubiertas* por los científicos no hacen más que mostrar esa simplicidad subyacente a los fenómenos. Por otro lado, otra vertiente realista podría asumir que esa realidad es mucho más compleja.

No obstante, como advierte el Dr. Vicente Aboites, el hecho de que la realidad nouménica postulada no pueda ser completamente conocida, o que no se pueda comprobar o acceder a su estructura ontológica última, no implica que ésta no exista. Por lo tanto, postularla es perfectamente racional. Se presupone que el auténtico antirrealista, aquel que niegue incluso la tesis del realismo metafísico, negará al mismo tiempo el realismo científico en sus tres niveles y también las dos restantes componentes. Sin embargo, pueden existir antirrealistas con tesis menos radicales. Porque al menos las relaciones observadas entre los fenómenos deben ser, en algún sentido, reales. Así también, las cosas captadas mediante la experiencia deben también tener algún grado de realidad; si no se es un auténtico antirrealista metafísico, al estilo de Berkeley, el antirrealista científico debe mantener al menos la confianza en el mundo captado a través de la experiencia, ya que todo el discurso científico se cimienta sobre aquella. Por esto, no es casualidad que Van Fraassen conciba en su propia filosofía que: “La ciencia se propone ofrecernos teorías empíricamente adecuadas; y la aceptación de una teoría involucra como creencia solamente que una teoría es empíricamente adecuada. Ésta es la enunciación de la posición antirrealista que defiendo; la llamaré *empirismo constructivo*” (1996: 28).

Posiblemente, el principal atractivo del instrumentalismo en general, es que pretende librar de la ciencia de una tesis metafísica que parece no ser tan necesaria:

Con esta nueva imagen de las teorías en mente, podemos distinguir entre dos actitudes epistemológicas que podemos adoptar frente a una teoría. Podemos afirmar que es verdadera (*i.e.* que tiene un modelo que es una réplica fiel, en todo detalle, del mundo) y pedir que sea creída, o podemos simplemente afirmar su adecuación empírica y pedir que sea aceptada como tal. En los dos casos hacemos una apuesta: la adecuación empírica va más allá de lo que podemos saber en cualquier tiempo. (No tenemos todos los resultados de la medición; nunca vamos a tenerlos todos; y, en todo caso, nunca mediremos todo lo que es medible.) No obstante, hay una diferencia: la afirmación de adecuación empírica es bastante más débil que la afirmación de verdad, y la resistencia a aceptar nos libra de la metafísica.” (Van Fraassen, 1996: 94)

Tanto el realismo científico como el instrumentalismo tienen argumentos convincentes para inclinar el debate en su favor. Sin embargo, hasta este punto, tal vez lo

único que podría concluirse es que debe existir al menos una realidad, o un grado de ella, accesible al conocimiento: la de la experiencia sensible. Aceptar un sustrato nouménico que fundamente a la experiencia dependerá de la reticencia a aceptar ciertas tesis metafísicas, aunque el éxito de algunas teorías científicas hagan pensar en que la posibilidad de que esta realidad “última” exista.

Finalmente, las leyes y teorías científicas pueden ser entendidas, en un lenguaje ontológico, como relaciones entre entidades, fenómenos o cosas. Así pues, una discusión sobre el realismo de dichas construcciones epistémicas es, *ipso facto*, también una discusión sobre la organización de *cosas* y *entidades* que pueblan el mundo. Las teorías suelen describir el tipo de entidades que constituyen la realidad. Inclusive, suelen *predecir* la existencia de cierto tipo de entes que parecen ser sugeridos por las relaciones encontradas en los fenómenos. Así, surge un problema propiamente ontológico directamente de la controversia del realismo científico: el de los entes teóricos que *no son observables*.

3.3.2 Entes teóricos

James Clerk Maxwell obtenía, en el año de 1856, el premio “Adams”, que otorgaba la Universidad de Cambridge, por su ensayo titulado *On the stability of the motion of Saturn's Rings*, donde explicaba que el movimiento de los anillos de Saturno solamente se podían explicar si estaban constituidos por pequeños pedazos de materia que rotaban alrededor del planeta. Por diversas razones, Maxwell estaba convencido de que, a pesar de que no eran perceptibles a través del telescopio, estos diminutos pedazos de materia eran la única explicación posible para el fenómeno observado. En efecto, James Clerk Maxwell tenía razón. Para explicar la estabilidad de los anillos de Saturno, que parecen sólidos, Maxwell trató estadísticamente a los diferentes cuerpos, que suponía se movían aleatoriamente, de manera que no tenía por qué analizar el movimiento de cada uno, tan sólo el resultado de un promedio de un número muy grande de ellos. James Clerk Maxwell imaginó que un tratamiento análogo podía explicar el comportamiento de los gases.

El físico escocés imaginó que, análogamente a lo que ocurría con los anillos de Saturno, los gases podían ser concebidos como un conjunto de moléculas (o átomos) cuyos movimientos aleatorios eran susceptibles de tratamiento estadístico. De esta suposición,

surgió la teoría cinética de gases. Para Maxwell, esta hipótesis podía ser interpretada como una mera herramienta que ayudara con los cálculos, siempre y cuando coincidiera con las observaciones¹⁰⁰. De hecho, no sólo coincidía con las observaciones, a las que pretendía explicar, sino también con otras leyes ya aceptadas por la comunidad científica, por ejemplo la ley de Avogadro, la ley de Gay-Lussac y la de Boyle-Mariotte. Es decir, parecía que los fenómenos de los gases y las leyes empíricas que aparentemente obedecían eran explicados por la hipótesis atómica. En todo caso, la hipótesis atómica se mostraba *coherente* con los fenómenos y con el *corpus* de conocimiento científico admitido. Sin embargo, era tan sólo una hipótesis, y el mismo Maxwell veía tan sólo un valor práctico en ella. Como se explicó en el capítulo anterior, pasarían décadas hasta que se aceptó la existencia de los átomos.

Tanto en el caso de los anillos de Saturno como en el de los gases, James Clerk Maxwell *postuló* la existencia de un cierto tipo de objetos, que no habían sido observados, para explicar fenómenos perceptibles. El comportamiento de los gases es percibido a simple vista y analizado con diversos instrumentos de medición; los anillos de Saturno sólo son perceptibles a través de instrumentos como el telescopio. Pero el importante punto en común de es que las entidades postuladas por ambas teorías no son, ni directa ni indirectamente, observables¹⁰¹.

Existe, pues, una clasificación epistemológica para los objetos que pueblan el mundo, determinada por su nivel de *accesibilidad* a la experiencia: entes directamente observables, como una silla, otras personas y el Sol; entes indirectamente observables, como las células a través del microscopio, los anillos de Saturno, que se pueden observar a través de un poderoso telescopio, o las ondas de radio, que se detectan mediante distintos aparatos; y entes no observables, que se supone que existen porque parece que así cobra sentido una teoría, pero para los que no hay un medio de observación posible, ni directa ni indirecta; o bien, que no se han observado todavía, ya sea porque no existe la tecnología

¹⁰⁰ “If the properties of such a system of bodies are found to correspond to those of gases, an important physical analogy will be established, which may lead to more accurate knowledge of the properties of matter. If experiments of gases are inconsistent with the hypothesis of these propositions, then our theory, though consistent with itself, is proved to be incapable of explaining the phenomena of gases. In either case it is necessary to follow out the consequences of the hypothesis.” (Clerk Maxwell, 1965: 378)

¹⁰¹ O por lo menos no lo eran en el tiempo de Maxwell.

que lo permita o porque la misma teoría que los concibió prohíbe, de alguna manera, la posibilidad de su observación.

La filosofía de la ciencia clásica solía clasificar a los objetos del mundo en observables y teóricos. El sol, por ejemplo, sería un ente observable a simple vista; al contrario, un átomo sería un ente teórico, ya que no era observable a simple vista. Sin embargo, dicha clasificación se mostró superflua, ya que el mismo sol, como el mismo objeto de observación, se veía modificado según la teoría en la que desempeñara un papel: para la astronomía precopernicana, el sol era casi el equivalente a un planeta, puesto que se desplazaba en un orbe alrededor de la Tierra; para la astronomía copernicana, el Sol era el centro mismo del universo; para la astronomía moderna, es una estrella muy común de entre todas las que existen en el universo. Así pues, resultaba que un criterio estrictamente empirista, sin *contaminación teórica*, por decirlo de alguna manera, era técnicamente imposible. Inclusive para un individuo sin formación científica siempre había alguna interpretación teórica: el sol representaba a Dios para muchas culturas. Así pues, parecía que todas las entidades que poblaban el mundo eran, a final de cuentas, teóricas en algún sentido. Por lo cual, la dicotomía *observable/teórico* resultó ser superflua. No es superfluo, sin embargo, referirse a *entes teóricos no observables*. En efecto, el sol es, en definitiva, una entidad; y también es claramente observable. Por lo que la división en *observable/inobservable* se muestra más pertinente y fructífera que la de *observable/teórico*¹⁰².

Hay teorías que postulan la existencia de ciertas entidades para explicar los fenómenos. Sin embargo, se puede adoptar una de dos posturas ante estas entidades. La primera es la interpretación realista: puesto que dichas entidades *explican* (en el sentido que le otorga Pierre Duhem a la palabra) la realidad subyacente a los fenómenos entonces deben aceptarse como verdaderas, como realmente existentes en el mundo (en el caso de que la teoría sea realmente exitosa); y la perspectiva instrumentalista: puesto que no se puede estar seguro de que dichas entidades existan, y hasta que las mismas sean detectadas directa o

¹⁰² “Expresiones tales como “entes teóricos” y “dicotomía observables/teóricos” son, a primera vista, ejemplos de errores categoriales. Los términos o los conceptos son teóricos (introducidos o adaptados para los propósitos de la construcción de teorías; los entes son observables o inobservables.” (Van Fraassen, 1996: 30). Curiosamente, Aristóteles ya clasificaba las entidades de manera similar, al considerar seres *sensibles* y *no sensibles*, en la Metafísica; análogamente, dejaba de lado los entes no sensibles como objeto de estudio de la Ontología y más bien los relegaba al apéndice de la Metafísica que era la Teología.

indirectamente, deben ser aceptadas sólo como herramientas que facilitan la comprensión de los fenómenos. Lo último quiere decir que esta división epistemológica implica que una entidad puede cambiar su estatus de inobservable a observable, aunque sea sólo parcialmente. Por ejemplo, las ondas electromagnéticas fueron entidades teóricas no observables¹⁰³ hasta que fueron debidamente detectadas las ondas de radio, los rayos X, la luz infrarroja, etcétera. Los átomos fueron considerados entes teóricos no observables aún cuando su existencia era ampliamente aceptada. Este último caso revela que no sólo la observación, directa o indirecta, constituye un criterio de aceptación de una entidad de estas características. El átomo y el electrón fueron aceptados antes de ser “visibles” porque, al igual que el caso de los anillos de Saturno, parecían ser la única explicación coherente con los fenómenos observados y el resto de las teorías científicas admitidas.

Una buena parte de la controversia sobre el realismo descansa, precisamente, en determinar la posición más racional que debe adoptarse ante este tipo de entidades. La historia de la ciencia no es un factor determinante para este problema. El éter fue una entidad teórica presente en distintas teorías, que parecía mostrarse coherente con las observaciones. Sin embargo, jamás fue detectado. Los científicos que se mostraron escépticos ante la hipótesis del éter, o que lo aceptaban con una actitud instrumentalista, tuvieron la razón al creer que dicha entidad no existía, a pesar de no mostrar contradicción directa con las observaciones. Por otro lado, fueron muchos científicos y filósofos los que se mostraron claramente hostiles ante la hipótesis atómica; Maxwell consideraba a su propia teoría cinética como “provisional” y cuya mayor virtud era ser “empíricamente adecuada”. Resulta que en el caso de las entidades no observables postuladas por una teoría altamente exitosa, no hay un patrón claro de fracasos o éxitos sobre el cual erigir una postura a favor o en contra del realismo.

Es interesante que una buena parte de la controversia del realismo científico se ha concentrado, precisamente, sobre los entes teóricos. En el ensayo titulado *The ontological status of theoretical entities*, Grover Maxwell señala, precisamente, que la distinción observacional/teórico es insuficiente y que, contrario al instrumentalismo de Ernest Nagel, se debe optar por la significación realista de las entidades teóricas, puesto que no hay ninguna distinción real entre lo que es observable y lo teórico; en otras palabras, todos los

¹⁰³ Con la sola excepción de la luz.

objetos definidos o contemplados por una ciencia en específico son teóricos y, puesto que no hay ninguna diferencia real entre entidades observables y teóricas, y esto implica que cualquier entidad sea observable en principio. De lo cual se deduce que si una entidad no es observable, simplemente no es observable aún o la teoría que la sostiene es incorrecta. Pero se puede confiar en la realidad de tales entidades en la medida en que la teoría sea exitosa: cuanto más predicciones correctas tenga una teoría, mayor confianza habrá en que las entidades que postulan existen en la realidad. Esta es, precisamente, una de las tesis del realismo científico.

A diferencia de las leyes y las teorías científicas, los entes teóricos presentan la posibilidad de confirmación. Una ley empírica, como la ley de Boyle, es una idealización de una regularidad encontrada en la naturaleza, independientemente de si se la interpreta desde el realismo o del instrumentalismo. Pero, estrictamente hablando, la ley de Boyle coincide sólo parcialmente con la observación; no se corresponde totalmente con la experiencia. Y lo mismo vale para cualquier ley y teoría científicas. Sin embargo, una entidad, como el electrón, sólo tiene que ser percibida, directa o indirectamente, para que su existencia sea aceptada. En otras palabras, las entidades *existen* en sentido estricto, y sus relaciones, expresadas por las leyes y las teorías, *existen* como resultado de sus interacciones, pero, en todo caso, este tipo de existencia está supeditado a la existencia real de los entes.

Es por lo anterior que las entidades teóricas, observables y no observables han gozado de más atención por parte de los filósofos de la ciencia y de los mismos científicos: es el único nivel del realismo científico que puede resolverse mediante la experiencia. En efecto, tal como se expuso en el segundo capítulo, la discusión acerca de la existencia de los átomos y los electrones ha cesado una vez que se han logrado detectar o se ha logrado experimentar con ellos. Exactamente ha pasado para cualquier entidad que fue puesta en discusión a lo largo de la historia de la ciencia: las bacterias, las ondas electromagnéticas, la corriente de desplazamiento, los quarks, los agujeros negros, las estrellas de neutrones, la radiación de fondo, etcétera. Ian Hacking expone:

El trabajo experimental proporciona la evidencia más fuerte para el realismo científico. Esto no se debe a que probemos teorías sobre entidades. Es porque las entidades

que en principio no pueden ser ‘observadas’ son manipuladas regularmente para producir un nuevo fenómeno y para investigar otros aspectos de la naturaleza. (2010: 262)¹⁰⁴.

Tomando esto en cuenta, y siguiendo una vez más a Hacking, existe una brecha epistemológica entre el realismo acerca de las teorías científicas (y de las leyes) y el de las entidades teóricas. El experimentador es, la mayor parte del tiempo, realista acerca de las entidades que él “usa”, pero esto no implica necesariamente que sea realista acerca de las teorías en las que se apoya; en otras palabras, puede concebir a las teorías científicas instrumentalmente y a los entes teóricos no observables de manera realista mientras *trabaja* con ellos, y todo esto sin caer en contradicción.

El realismo científico acerca de las leyes y teorías científicas es presentado por Hacking como una meta ideal a la que tiende la actividad de las distintas disciplinas científicas. Esta es, precisamente, la meta inalcanzable que Pierre Duhem identificaba en las teorías que pretendían, o pretenden, alcanzar el título de *clasificaciones naturales*. El realismo acerca de las entidades teóricas se apoya, sin embargo, en lo que se puede hacer actualmente¹⁰⁵. En efecto, si se detecta un rastro en una cámara de burbujas, algo debe haberlo provocado.

Por lo tanto, la controversia del realismo científico, en cuanto a las entidades teóricas no observables, es un debate que se presenta cada vez que una nueva entidad es propuesta, pero que queda resuelta una vez que se ha logrado experimentar y detectar, directa o indirectamente, la entidad en cuestión. No obstante, las leyes científicas y las teorías que las clasifican no admiten semejante tratamiento, por lo que la controversia está condenada a repetirse indefinidamente en estos niveles por más aceptadas o exitosas que se muestren.

¹⁰⁴ La traducción es mía.

¹⁰⁵ “I recognize that many a scientific realism concerning theories is a doctrine not about the present but about what we might achieve, or possibly an ideal at which we aim. So to say that there is no present theory does not count against the optimistic aim. The point is that such scientific realism about theories has to adopt the Peircian principles of faith, hope and charity. Scientific realism about entities needs no such virtues. It arises from what we can do at present.” (Hacking, 2010: 264)

Conclusión

En la *Crítica de la razón pura*, Immanuel Kant llegaba a la conclusión de que el hombre estaba condenado a buscar explicaciones metafísicas debido a la misma estructura de la racionalidad. De la misma manera, el análisis de la historia de la física, y de la ciencia en general, nos revela una conclusión similar: la controversia del realismo está condenada a suscitarse cada cierto tiempo.

En efecto, en los ejemplos históricos analizados y en las distintas posiciones de la filosofía de la ciencia se ha podido comprobar que hay una especie de movimiento pendular: la actitud de la comunidad científica ante las tesis realistas parecen oscilar desde un abierto rechazo hasta un optimismo, mismo que se desmorona después de cierto tiempo. Este cambio en las concepciones metacientíficas, o metafísicas, ha sido analizado por historiadores y filósofos de la ciencia, y cada uno de ellos ha dado una explicación distinta del fenómeno. Sea cual sea la explicación, es ineludible el hecho de que, desde el punto de vista de la controversia realismo científico vs instrumentalismo, el cambio del punto de vista de la comunidad científica se puede exponer de la manera siguiente:

- 1) En cuanto surge una teoría o una ley científica nueva, o se postula una entidad nueva, la posición natural del científico, o de la comunidad epistémica pertinente, es el escepticismo. Y esta es una posición intelectual perfectamente racional. En efecto, una característica esencial de la actividad científica es someter las hipótesis a comprobación exhaustiva. Por lo tanto, esta posición es racionalmente aceptable, e incluso deseable.
- 2) Un segundo momento es cuando una ley o teoría es ampliamente aceptada por la comunidad científica. Como aclaraba Duhem, es difícil para el científico no ver en el éxito de una teoría un posible reflejo de una realidad última; es casi imposible resistirse a creer que se ha encontrado la verdad. Pero, a excepción de las entidades debidamente detectadas, directa o indirectamente, jamás se puede estar seguro de haber alcanzado la verdadera descripción del mundo, puesto que para saber si se ha alcanzado se debería saber de antemano cuál es dicha descripción, lo cual es imposible y absurdo.

Ambas posiciones filosóficas, realismo científico e instrumentalismo, se muestran como posiciones perfectamente racionales según los estadios de evolución de una hipótesis científica. Sin embargo, no es posible saber *a priori* el estatus que goza cierta teoría entre la

comunidad científica. Les corresponde a los historiadores y filósofos de la ciencia determinar ese estatus.

Las posiciones filosóficas del realismo y el instrumentalismo no sólo juegan un papel pasivo en el desarrollo de las teorías científicas. Ha sido la intención de este trabajo demostrar que estas ideas filosóficas han sido importantes en el desarrollo de muy diferentes hipótesis y en la concepción misma de lo que se entiende como ciencia. Así que los científicos no sólo han reaccionado *a posteriori* acerca de qué sentido se le debe de dar a una teoría científica, o a una ley científica, o a una entidad teórica; los científicos de distintas épocas han construido sus hipótesis con un realismo o un instrumentalismo perfectamente bien formulado que les ha servido de directriz metodológica en el curso de sus investigaciones. En algunos casos el resultado ha sido más feliz que en otros. No obstante, no se puede negar el influjo que estas tesis filosóficas han tenido a lo largo de la historia de la ciencia. Y tampoco se puede negar que lo seguirán teniendo, así como la controversia se seguirá repitiendo una y otra vez.

Bibliografía

1. Aboites, V. (2008). *Introducción a la filosofía de la matemática*. Guanajuato: Libros cielo abierto.
2. Aboites, V. (2014). La naturaleza de la luz en los Elements de la philosophie de Newton de Voltaire. En *El mundo del libro: tesoros bibliográficos en la biblioteca Armando Olivares* (págs. 205-233). Guanajuato: Universidad de Guanajuato.
3. Aboites, V. (2018). La ciencia y el mundo físico de acuerdo a W. T. Stace. *Valenciana*, 187-205.
4. Agazzi, A., & Pauri, M. (2000). *The reality of the unobservable: observability, unobservability and their impact on the issue of scientific realism*. Dordrech: Kluwer Academic Publ.
5. Alegre Gorri, A. (2010). Platón, el creador de las ideas. En Platón, *Diálogos I* (págs. XVII-CXXIII). Madrid: Gredos.
6. Alonso, M., & Finn, E. J. (1999). *Física volumen I: Mecánica*. Naucalpan: Addison Wesley Longman.
7. Applebaum, Wilbur. (2000). *Encyclopedia of the scientific revolution: from Copernicus to Newton*. New York: Garland publishing Inc.
8. Berkeley, G. (1999). *Principles of human knowledge and three dialogues*. USA: Oxford University Press.
9. Bolton, G. (1982). *Ensayos sobre el pensamiento científico en la época de Einstein*. Madrid: Alianza universidad.
10. Braun, E. (2014). *Electromagnetismo*. México D.F.: Fondo de cultura económica.
11. Bunge, M. (1981). *Teoría y realidad*. Barcelona: Ariel.

12. Bunge, M. (2007). *A la caza de la realidad: la controversia sobre el realismo*. Barcelona: Gedisa.
13. Carmona, G. (2016). *Michael Faraday, un genio de la física experimental*. Ciudad de México: Fondo de cultura económica.
14. Cartwright, N. (1990). *How the laws of physics lie*. Oxford: Clarendon Press.
15. Cetto, A. (2012). *La luz*. México D.F.: Fondo de Cultura Económica.
16. Clerk Maxwell, J. (1855/1965). On Faraday's lines of force. En W. Niven, *The scientific papers of James Clerk Maxwell* (págs. 155-229). New York: Dover publications.
17. Clerk Maxwell, J. (1861-2/1965). On physical lines of force. En W. Niven, *The scientific papers of James Clerk Maxwell* (págs. 451-513). New York: Dover publications.
18. Clerk Maxwell, J. (1864/1996). *A dynamical theory of the electromagnetic field*. Eugene: Wipf and Stock publishers.
19. Clerk Maxwell, J. (1873). *A treatise on electricity and magnetism, vol I*. Oxford: Clarendon press.
20. Clerk Maxwell, J. (1965). Illustrations of the dynamical theory of gases. En W. Niven, *The scientific papers of James Clerk Maxwell, Vol I* (págs. 377-409). New York: Dover.
21. Copérnico, N. (1543/2015). Sobre las revoluciones de los orbes celestes. En S. Hawking, *A hombros de gigantes* (págs. 17-350). Barcelona: Crítica.
22. Crew, Henry;. (1981). *The wave theory of light and spectra*. New York: Arno Press.
23. Crichton, M. (2000). *Rescate en el tiempo*. Barcelona: Plaza & Janés.
24. Davis, E., & Falconer, I. (2005). *J. J. Thompson and the discovery of electron*. London: Taylor & Francis Library.

25. De la Llosa, P. (2000). *El espectro de Demócrito*. Barcelona: Ediciones del Serbal.
26. Descartes, R. (1995). *Los principios de la filosofía*. Madrid: Alianza universidad.
27. Descartes, R. (2010). Discurso del método. En R. Descartes, *I* (págs. 97-152). Madrid: Gredos.
28. Descartes, R. (2014). *I. Reglas para la dirección del espíritu; Investigación de la verdad por la luz natural; Discurso del método; Las pasiones del alma; Tratado del Hombre*. Barcelona: España.
29. Duhem, P. (1914/2003). *La teoría física, su objeto y su estructura*. Barcelona: Herder.
30. Duhem, P. (1998). Physical theory and experiment. En M. Curd, & J. A. Cover, *Philosophy of science: the central issues* (págs. 257-278). New York: Norton.
31. Faraday, M. (1839-55/1922). *Experimental researches in electricity*. New York: M. Dent & sons Ltd.
32. Feyerabend, P. K. (1986). *Tratado contra el método*. Madrid: Tecnos.
33. Fichte, J. G. (1984). *Primera y segunda introducción a la teoría de la ciencia*. Madrid: Sarpe.
34. Fisher, K. (1986). *Galileo Galilei*. Barcelona: Herder.
35. Frish, S., & Timoreva, A. (1967). *Curso de física general. Tomo I*. Moscú: Mir.
36. Galilei, G. (1638/2015). Diálogos sobre dos nuevas ciencias. En S. Hawking, *A hombros de gigantes* (págs. 357-553). Barcelona: Crítica.
37. Galilei, G. (1964). Il Saggiatore. En G. Galilei, *Opere Vol. I* (págs. 595-808). Torino: Unione Tipografico-Editrice Torinese.
38. Galilei, G. (1975). *Diálogo sobre los sistemas máximos (jornada primera)*. Buenos Aires: Aguilar.

39. Galilei, G. (1989). *Sidereus Nuncius*. London: University of Chicago Press.
40. Galilei, G. (1994). *Diálogo sobres los dos máximos sistemas del mundo ptolemaico y copernicano*. Madrid: Alianza Editorial.
41. Galilei, G. (1998). Consideraciones sobre la opinión copernicana. En A. Elena, *Opúsculos sobre el movimiento de la Tierra*. México: Alianza Editorial.
42. Galilei, G. (2015). Diálogo sobre dos nuevas ciencias. En S. Hawking, *A hombros de gigantes* (págs. 357-554). Barcelona: Crítica.
43. Hacking, I. (1996). *Representar e intervenir*. México D.F.: Paidós.
44. Hacking, I. (2001). *Representar e intervenir*. Buenos Aires: Paidós.
45. Hacking, I. (2010). *Representing and intervening*. New York: Cambridge University Press.
46. Harman, P. (1982). *Energy, force and matter: the conceptual development of nineteenth-century physics*. United Kingdom: Cambridge university press.
47. Harman, P. (1998). *The natural philosophy of James Clerk Maxwell*. United Kingdom: Cambridge university press.
48. Hawking, Stephen;. (2015). *A hombros de gigantes: las grandes obras de la física y la astronomía*. Barcelona: Crítica.
49. Heaviside, O. (1894). *Electromagnetic theory, vol I*. London: "The electrician" printing and publishing company.
50. Hempel, C. G. (1994). On the logical positivist theory of truth. En P. Horwich, *Theories of truth* (págs. 49-59). Dartmouth: Cambridge University Press.
51. Holton, G. (1982). *Ensayos sobre el pensamiento científico en la época de Einstein*. Madrid: Alianza Universidad.
52. Hume, D. (2003). *Investigación sobre el conocimiento humano*. Madrid: Mestas Ediciones.

53. *Hyperphysics*. (s.f.). Obtenido de <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/kepler.html>
54. James, W. (1973). *Pragmatismo*. Buenos Aires: Aguilar.
55. James, W. (1994). Pragmatic conception of truth. En P. Horwich, *Theories of truth* (págs. 141-55). Dartmouth: Cambridge University Press.
56. Kant, I. (1781/2006). *Crítica de la razón pura*. México D.F.: Taurus.
57. Kepler, J. (1596/1999). *Mysterium cosmographicum/The secret of the universe*. Norwalk: Abaris books.
58. Koyré, A. (2005). *Del mundo cerrado al universo infinito*. México: Siglo XXI.
59. Koyré, A. (2008). *Del mundo cerrado al universo infinito*. D.F.: Siglo XXI editores.
60. Koyré, A. (2009). *Estudios Galileanos*. México D.F.: Siglo XXI editores.
61. Koyré, A. (2013). *Estudios de historia del pensamiento científico*. D.F.: Siglo XXI editores.
62. Kuhn, T. (1987). *La teoría del cuerpo negro y la discontinuidad cuántica 1894-1912*. Madrid: Alianza universidad.
63. Kuhn, T. S. (1962/1971). *La estructura de las revoluciones científicas*. D.F.: Fondo de cultura económica.
64. Kuhn, T. S. (1978). *La revolución copernicana*. Barcelona: Ariel.
65. Kuhn, T. S. (1989). *¿Qué son las revoluciones científicas? y otros ensayos*. Barcelona: Paidós.
66. Lautman, A. (2006). Matemáticas y realidad. En A. Lautman, *Ensayos sobre la dialéctica, estructura y unidad de las matemáticas modernas* (págs. 75-82). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

67. Lautman, A. (2011). *Ensayos sobre la dialéctica, estructura y unidad de las matemáticas modernas*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
68. Ley Koo, E. (1999). *El electrón centenario*. México D.F.: Fondo de Cultura Económica.
69. Mach, E. (1893). *The science of mechanics*. La Salle: Open Court.
70. Millikan, R. A. (1917). A re-determination of the value of electron and of related constants. *Proceeding of the National Academy of sciences*, 231-236.
71. Muñoz, J., & Velarde, J. (2000). *Compendio de Epistemología*. Madrid: Trotta.
72. Newton, I. (2015). Principios matemáticos de la filosofía natural. En S. Hawking, *A hombros de gigantes: las grandes obras de la física y la astronomía* (págs. 651-1019). Barcelona: Crítica.
73. Poincaré, H. (1963). *La ciencia y la hipótesis*. Madrid: Espasa Calpe.
74. Psillos, S. (1999). *Scientific realism: how science tracks truth*. New York: Routledge.
75. Putnam, H. (1975). *Philosophical papers,, Vol 1: Mathematics, matter and method*. Cambridge: Cambridge University Press.
76. Putnam, H. (1994). *Las mil caras del realismo*. Barcelona: Paidós.
77. Quine, W. V. (1998). Two dogmas of empirism. En M. Curd, & J. A. Cover, *Philosophy of science: the central issues* (pág. 280). New York: Norton.
78. Ramsey, F. P. (1994). The nature of truth. En P. Horwich, *Theories of truth* (págs. 6-16). Dartmouth: Cambridge University Press.
79. Rioja, A., & Ordoñez, J. (Sin año). *Teorías del universo, Vol I (de los pitagóricos a Galileo)*. Madrid: Síntesis S.A.
80. Romo Feito, J. (1991). *El concepto de estado electro-tónico en Faraday*. Barcelona: Universidad de Barcelona.

81. Rorty, R. (2000). *Verdad y progreso*. Barcelona: Paidós.
82. Russell, B. (1994). On the nature of truth and falsehood. En P. Horwich, *Theories of truth* (págs. 170-85). Dartmouth: Cambridge University Press.
83. Schlick, M. (1981). Positivismo y realismo. En A. J. Ayer, *El positivismo lógico* (págs. 88-114). México D.F.: Fondo de Cultura Económica.
84. Sears, F. W., & Zemansky, M. W. (1965). *University physics*. Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company Inc.
85. Serway, R., & Faughn, J. (2005). *Fundamentos de Física Volumen 2*. México D.F.: Thompson.
86. Shapin, S. (2000). *La revolución científica, una interpretación alternativa*. Barcelona: Paidós.
87. Shapiro, S. (2000). *Thinking about mathematics, the philosophy of mathematics*. Oxford: Oxford University Press.
88. Siegel, D. M. (1991). *Innovation in Maxwell's electromagnetic theory: molecular vortices, displacement current and light*. Cambridge: Cambridge university press.
89. Stevenson, R., & Moore, R. B. (1967). *Theory of physics: an introductory course*. London: Saunders.
90. Tarski, A. (1994). The semantic conception of truth. En P. Horwich, *Theories of Truth* (págs. 341-75). Dartmouth: Cambridge University Press.
91. Tippens, P. E. (2001). *Física: conceptos y aplicaciones*. D.F.: McGrawhill.
92. Van Fraassen, B. (1980). *The scientific image*. Oxford: Clarendon Press.
93. Van Fraassen, B. C. (1998). Arguments concernign scientific realism. En M. Curd, & J. A. Cover, *Philosophy of science: the central issues* (págs. 1064-1087). New York: Norton.
94. Van Fraassen, B. C. (1996). *La imagen científica*. México D.F.: Paidós/UNAM.

95. Vernet, J. (2000). *Astrología y astronomía en el renacimiento*. Barcelona: 1980.
96. von Waltershausen, W. S. (1856). *Gauss: a memorial*. Leipzig: S. Hirzel.
97. Weidner, R. T., & Sells, R. L. (1967). *Elementary classical physics volume I*. Boston: Allyn and Bacon Inc.
98. Westfall, R. (1980). *La construcción de la ciencia moderna*. Barcelona: Editorial Labor, S.A.
99. Westfall, R. S. (1971). *Force in Newton's physics, the science of dynamics in the seventeenth century*. New York: American Elsevier Publishing company, Inc.
100. White, H. E. (1992). *Física moderna Vol I*. México D.F.: Limusa.
101. Wittgenstein, L. (1997). *Tractatus logicus-philosophicus*. Madrid: Alianza Universidad.
102. Young, T. (1802/1981). On the theory of light and colors. En H. Crew, *The wave theory of light and spectra* (págs. 45-61). New York: Arno Press.
103. Zilsel, E. (2003). The genesis of the concept of physical law. En E. Zilsel, D. Raven, W. Krohn, & R. Cohen, *The social origins of modern science* (págs. 96-122). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.