

GALILEO: REALISMO EN LOS INICIOS DE LA CIENCIA MODERNA

Galileo: realism at the beginning of modern science

José Gustavo Sámano\*

**Resumen**

*En los orígenes de la ciencia moderna, es posible rastrear los tres elementos del realismo científico: el realismo metafísico, la teoría de la verdad como correspondencia y la tesis verificacionista. Galileo Galilei fue el fundador de la nueva ciencia y se opuso, a lo largo de su obra, sistemáticamente a un claro instrumentalismo científico que imperaba en su época. Su concepción de la naturaleza y de sus leyes escritas en forma matemática arrojan ideas de naturaleza filosófica que merecen aún ser examinadas y discutidas.*

*Palabras clave:* Galileo - realismo científico - realismo metafísico - verdad - instrumentalismo

**Abstract**

*It is possible to seek the three elements of scientific realism in the origins of modern science: metaphysical realism, correspondence theory of truth and the verificationist thesis. Galileo Galilei was the founder of the new science and he also reacted against the scientific instrumentalism of the previous era. His conception about nature and its laws, written in a mathematical way, illuminates philosophical ideas that deserve to be examined and disputed.*

*Keywords:* Galileo - scientific realism - metaphysical realism - truth - instrumentalism

---

\*Contacto: jose.samanodav@nube.unadmexico.mx <https://orcid.org/0000-0001-9176-1355>. Licenciado en filosofía en el Centro de Estudios Filosóficos Tomás de Aquino, con una Maestría en Filosofía de la Universidad de Guanajuato, con mención en Filosofía de la Ciencia. Realizó una estancia de investigación en Universidad de Granada. Actualmente es candidato a Doctor en Filosofía en la Universidad de Guanajuato. Cuenta con estudios en matemática en la Universidad Nacional Abierta y a Distancia de México (UNADM).

## 1. REALISMO CIENTÍFICO E INSTRUMENTALISMO

El realismo científico es la posición filosófica que admite que las teorías científicas empíricamente exitosas describen de manera más o menos precisa el mundo real, independiente del sujeto cognoscente. Mientras más exitosa la teoría, más se puede confiar en el nivel de precisión de la descripción de la realidad: “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).

El instrumentalismo puede ser caracterizado como la posición filosófica que defiende que todas las teorías científicas son sólo *herramientas* de simplificación de la aparente aleatoriedad de los fenómenos, y que no son, ni pretenden ser, descripciones de una realidad que provoca los fenómenos. Para los instrumentalistas, en general, el valor de las teorías científicas está dado por el valor pragmático de las mismas. Las teorías son valiosas, sobre todo, porque representan una *economía intelectual* para el científico: “...las teorías son a lo mucho legítimas, adecuadas, buenos instrumentos de trabajo, aceptables pero increíbles, o qué sé yo” (Hacking, 1996: 46)

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 (*Realismo metafísico*).
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 (*Verdad como adecuación/correspondencia*).
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 (*tesis verificacionista*) (1999: xix).

Galileo Galilei puede ser considerado como el fundador de la ciencia moderna. A la vez, puede considerarse el primer filósofo de la ciencia en sentido estricto, ya que se preguntó por las características que debería tener esta nueva disciplina, sus fundamentos y sus alcances. Entre estas características, Galileo defenderá que la nueva ciencia (o nuevas ciencias) deberá ser realista. Claro que no utilizó este concepto, pero es la intención de este trabajo el mostrar que Galileo defendió el realismo científico, encontrando en la obra del filósofo natural italiano los rastros de los elementos del realismo científico que ha enunciado Stathis Psillos.

## 2. 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 óptica<sup>1</sup>, 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 siguen<sup>2</sup>. Sin embargo, hasta Descartes<sup>3</sup>, 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 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 otorga<sup>4</sup>.

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,

<sup>1</sup> 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.

<sup>2</sup> O parecen seguir. Por ahora, no se complicará de más el concepto. Eso pasará cuando se lleguen a las objeciones instrumentalistas.

<sup>3</sup> "...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.

<sup>4</sup> "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>).

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*”<sup>5</sup> (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*:

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 les 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

---

<sup>5</sup> La traducción es mía.

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 no<sup>6</sup>.

El primer gran reto de Galileo fue, entonces, deshacer esa brecha<sup>7</sup>. 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; sin ellos es humanamente imposible comprender una palabra; sin ellos sólo se puede escharbar desorientado alrededor de un oscuro laberinto.<sup>8</sup> (Galilei, 1964: 631-632).

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,

<sup>6</sup> 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).

<sup>7</sup> 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).

*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 matemáticas<sup>9</sup>. Lo 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 esta 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:

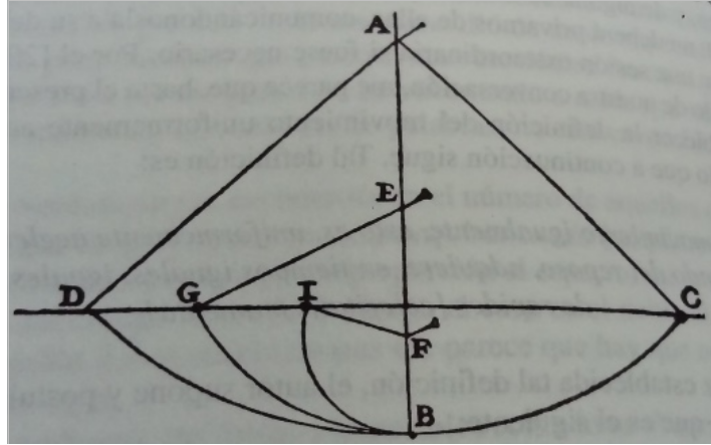
Donde  $T$  es el periodo que el péndulo tarda en hacer una oscilación completa,  $l$  es la longitud del hilo del cual cuelga un cuerpo de masa cualquiera y  $g$  es la aceleración de la gravedad, que es igual para todos los cuerpos (a determinada distancia del centro de la Tierra, por convención, se maneja el valor a nivel del mar:  $9.81 \text{ m/s}^2$ ). 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 ecuación<sup>10</sup>. 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 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

<sup>9</sup> 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: “. . . 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*, como que no podría tener ciencia alguna cierta hasta que no hubiera conocido a quien lo ha creado.” (Descartes, 1995: 29-30).

<sup>10</sup>

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, 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 tiempo<sup>11</sup>) (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, 2015: 469).

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

<sup>11</sup> En cursivas, en el original.

$3x$ , en el triple de tiempo  $5x$ , etcétera<sup>12</sup>. 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 Feyerabend (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.

La tercera 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.

### 3. 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 el *De revolutionibus*

<sup>12</sup> 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).



*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 contemplado<sup>13</sup>, 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 aspirar era a *salvar los fenómenos*<sup>14</sup>, 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 Ptolomeo<sup>15</sup>. Sin embargo, esto no impedía que se concibiera el universo más o menos como el concebido por el modelo aristotélico-ptolemeico. 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 las causas de estos movimientos, o sus hipótesis, cuando por medio de ningún proceso racional puede averiguar las verdaderas causas de ellos. Y*

<sup>13</sup> Como la precesión de los equinoccios.

<sup>14</sup> 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).

<sup>15</sup> 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)

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 observaciones*<sup>16</sup>, 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, 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.<sup>17</sup> 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 mediceos: 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 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 acostumbrados, 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*<sup>18</sup> el movimiento de la Tierra y la inmovilidad del Sol, por cuanto permitía *salvar mejor las apariencias celestes* y converios, *sin*

---

<sup>16</sup> Todas las cursivas del párrafo son mías.

<sup>17</sup> 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.

<sup>18</sup> En cursivas en el original, en adelante todas las cursivas son mías.

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 III<sup>19</sup> 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 qué 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 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, también muy relevante, 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

<sup>19</sup> La dedicatoria al Papa venía inmediatamente después de la advertencia al lector que, como se dijo anteriormente, en la edición original venía sin firma.

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, 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.

#### 4. 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 heredará 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 ese 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 *apariencia* 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 matemática<sup>20</sup>. 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 naturaleza, las matemáticas que se dan, de manera innata, aunque discursiva<sup>21</sup>, 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. La forma geométrica es homogénea con la materia; he aquí por qué las leyes geométricas tienen un

<sup>20</sup> “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).

<sup>21</sup> 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 *nóesis* (inteligencia o intuición). (Alegre Gorri, 2010: L-LI).

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).

## 5. CONCLUSIONES

Por lo tanto, está demostrado que es posible encontrar los tres componentes del realismo científico en la obra de Galileo Galilei. El componente del realismo metafísico es menos evidente que los otros dos, puesto que es aceptado solo de manera implícita, mientras que explícitamente, en varias partes de su obra, ha defendido la tesis verificacionista y la teoría de la verdad como correspondencia.

No obstante, es importante considerar que el realismo científico de Galileo es un tipo entre varios posibles. El científico italiano acepta la existencia de *leyes naturales*, que éstas existen independientemente de la mente del investigador, y que la misión del científico es descubrirlas utilizando el lenguaje adecuado, y que un buen indicio de que se está alcanzando una hipótesis verdadera sobre la naturaleza, es la coincidencia de las predicciones con la experiencia. Pero lejos de conformarse con este criterio, que sería suficiente para la concepción tripartita del realismo científico, Galileo agrega una condición más: la hipótesis ha de estar en consonancia con las reglas de la razón. Es decir, Galileo pone como condición de la científicidad de una hipótesis, su coherencia lógica, consigo misma y con la razón en general, puesto que los diferentes niveles de la realidad, el hombre, la naturaleza y Dios, han de ser necesariamente racionales. En estos términos, para Galileo la condición impuesta por la tesis verificacionista es redundante si la hipótesis coincide con la razón y es necesariamente verdadera; sin embargo, si no es necesariamente verdadera, o no es posible mostrar que así sea, el criterio verificacionista se alza como la principal guía metodológica para encontrar la hipótesis correcta.

Finalmente, se puede observar que la actitud de Galileo no es hostil contra toda forma de instrumentalismo. Metodológicamente hablando, generar teorías para salvar las apariencias es útil para realizar predicciones, pero la auténtica meta del filósofo natural ha de ser, según el italiano, develar la verdadera estructura de la naturaleza, y contemplar así la perfección de la obra divina.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aboites, V. (2008). *Introducción a la filosofía de la matemática*. Guanajuato: Libros cielo abierto.
- Alegre Gorri, A. (2010). Platón, el creador de las ideas. En Platón, *Diálogos I* (págs. XVII-CXXIII). Madrid: Gredos.
- Applebaum, Wilbur. (2000). *Encyclopedia of the scientific revolution: from Copernicus to Newton*. New York: Garland publishing Inc.
- Copérnico, N. (1543/2015). Sobre las revoluciones de los orbes celestes. En S. Hawking, *A hombros de gigantes* (págs. 17-350). Barcelona: Crítica.

- Descartes, R. (1995). *Los principios de la filosofía*. Madrid: Alianza universidad.
- Descartes, R. (2010). Discurso del método. En R. Descartes, *I* (págs. 97-152). Madrid: Gredos.
- 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.
- Feyerabend, P. K. (1986). *Tratado contra el método*. Madrid: Tecnos.
- Fisher, K. (1986). *Galileo Galilei*. Barcelona: Herder.
- Galilei, G. (1638/2015). Diálogos sobre dos nuevas ciencias. En S. Hawking, *A hombros de gigantes* (págs. 357-553). Barcelona: Crítica.
- Galilei, G. (1964). Il Saggiatore. En G. Galilei, *Opere Vol. I* (págs. 595-808). Torino: Unione Tipografico-Editrice Torinese.
- Galilei, G. (1975). *Diálogo sobre los sistemas máximos (jornada primera)*. Buenos Aires: Aguilar.
- Galilei, G. (1989). *Sidereus Nuncius*. London: University of Chicago Press.
- Galilei, G. (1994). *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo ptolemaico y copernicano*. Madrid: Alianza Editorial.
- Galilei, G. (1998). Consideraciones sobre la opinión copernicana. En A. Elena, *Opúsculos sobre el movimiento de la Tierra*. México: Alianza Editorial.
- Galilei, G. (2015). Diálogo sobre dos nuevas ciencias. En S. Hawking, *A hombros de gigantes* (págs. 357-554). Barcelona: Crítica.
- Hacking, I. (1996). *Representar e intervenir*. México D.F.: Paidós.
- *Hyperphysics*. (s.f.). Obtenido de <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/kepler.html>
- Kepler, J. (1596/1999). *Mysterium cosmographicum/The secret of the universe*. Norwalk: Abaris books.
- Koyré, A. (2005). *Del mundo cerrado al universo infinito*. México: Siglo XXI.
- Koyré, A. (2009). *Estudios Galileanos*. México D.F.: Siglo XXI editores.
- Kuhn, T. S. (1978). *La revolución copernicana*. Barcelona: Ariel.
- Psillos, S. (1999). *Scientific realism: how science tracks truth*. New York: Routledge.
- Rioja, A., & Ordoñez, J. (Sin año). *Teorías del universo, Vol I (de los pitagóricos a Galileo)*. Madrid: Síntesis S.A.
- Vernet, J. (2000). *Astrología y astronomía en el renacimiento*. Barcelona: 1980.
- Westfall, R. (1980). *La construcción de la ciencia moderna*. Barcelona: Editorial Labor, S.A.
- 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.