

Leonardo Ortiz Acuña (*)

Galileo y la teoría científica: la defensa del heliocentrismo copernicano

Resumen: *El presente artículo analiza la defensa al copernicanismo por parte de Galileo para mostrar cómo esta, desde la perspectiva galileana, solo es posible en la medida en que se cuenta con datos empíricos acompañados por un modelo matemático con el que se pueden sistematizar estos datos. De ahí que para Galileo una teoría científica era tal en la medida en que contara con al menos tales elementos.*

Palabras clave: *Galileo. Teoría. Teoría científica. Copernicanismo. Defensa del copernicanismo.*

Abstract: *This article analyzes Galileo's defence of Copernicanism, to show that, from Galileo's perspective, this defence is only possible if there are empirical data matched with a mathematical model that systematizes those data. Hence, for Galileo, a scientific theory must count with at least those elements.*

Key Words: *Galileo. Theory. Scientific Theory. Copernicanism. Copernicanism's Defence.*

En su opúsculo acerca del movimiento de la Tierra (*Consideraciones sobre la opinión copernicana*), Galileo nos muestra dos modos de argumentación, uno que es de carácter psicológico y empírico en el que se dedica a señalar la fuerza de la creencia en el modelo heliocéntrico por parte de sus defensores, y, por otra parte, otro que es de carácter metacientífico, en el cual nos muestra cómo funciona una teoría científica como lo es

la del heliocentrismo. No obstante, este último modo de argumentación, siendo el más valioso para el discurso científico, es mucho más sutil que el primero. Por esta razón, el presente trabajo pretende enfatizar este discurso confrontándolo con uno de los escritos previos de Galileo referentes al heliocentrismo, *Sobre el orden de las órbitas celestiales*, para tener una noción clara de lo que representaba el heliocentrismo en cuanto teoría científica desde la perspectiva de Galileo, en contraste con teorías no científicas.

Para esto, se tomará en cuenta este trabajo temprano de Galileo,¹ en el cual su posición acerca del heliocentrismo parece no estar muy clara² (contrario a lo que se puede ver en el opúsculo acerca del movimiento de la Tierra) para luego contrastarlos con el último, de manera que podamos ver cómo funciona la teoría científica. Se pretende mostrar cómo el modelo matemático es esencial para la teoría científica galileana. Sin embargo, no es suficiente, ya que además de esto se debe tomar en cuenta la contrastación empírica. Así como también la sola contrastación empírica por sí sola tampoco es suficiente, sino que necesita del modelo matemático.³ En ese sentido, la falta de la confluencia de estos dos elementos es lo que hace que Galileo no exprese claramente en sus trabajos de juventud su posicionamiento acerca del heliocentrismo, a pesar de que ya para 1597, como podemos ver en su carta a Kepler, era un heliocentrista convencido. Así, la fortaleza que le da la conjunción del modelo matemático con los datos empíricos es tal que lleva a Galileo a pasar por alto la advertencia del cardenal Roberto Bellarmino de utilizar la teoría solo como hipótesis para facilitar los cálculos.

1. La teoría heliocéntrica

Ahora, ¿cómo funcionan estos elementos en la aceptación de la teoría heliocéntrica por parte de Galileo? Para analizar esto es interesante tomar en cuenta los trabajos de juventud de Galileo, en los cuales podemos ver a un Galileo más descriptivo, es decir, un Galileo que sólo recopila las opiniones de los astrónomos acerca de la posición de los planetas. Lo interesante de esto es la manera en que Galileo argumenta: En el texto *Sobre el orden de las orbitas celestiales* Galileo comienza mencionando la opinión de Aristarco de Samos y de Copérnico sobre la posición del sol en el universo, la cual rechaza dando cinco argumentos en contra de que están fundados en la autoridad de los astrónomos.

[...] because, following Aristotle, earth is the heaviest body and so should tend to the lowest place; moreover, it should also be the most distant from the heavens and so can be located nowhere else than in the center of the universe (Galilei, en Wallace, 1977, 72).

Lo anterior es un rasgo que no encontramos en el Galileo de madurez, ya que justamente contra esta actitud a la hora de hacer ciencia dirige todos sus esfuerzos científicos, pues para él el “intérprete de la naturaleza no era Aristóteles, Platón, Demócrito, o ninguno de los antiguos, sino la naturaleza que hablaba por sí misma” (Shea, 1983, 53). Lo que parece interesante del modo de argumentar de Galileo en este pequeño tratado de juventud es la poca concreción de sus ideas, la ambigüedad con que las presenta, y la distancia que toma de las posiciones expuestas, como si solamente estuviese describiendo sin tomar partido (o tomando partido tímidamente), lo cual contrasta claramente con el Galileo de madurez.⁴

Además, esta falta de concreción por parte de Galileo, como se puede ver en el texto, va acompañada de una falta argumentos cimentados en el análisis matemático, el cual será muy importante para él en sus futuros trabajos. Por otra parte, cercano a este periodo, como nos señala Finocchiaro (2010), se puede ver en otros escritos de Galileo que ya hay un convencimiento por parte de

Galileo respecto de la tesis heliocéntrica, ya que este escribe a Kepler en 1597 al recibir una copia de *Mysterium cosmographicum* mencionándole cuánto le alegra saber que hay otros copernicanos convencidos. Pero lo más importante para la tesis que aquí defiende no es este reconocimiento acerca del heliocentrismo, sino el señalamiento de que ha trabajado en muchos argumentos refutatorios del geocentrismo, los cuales, sin embargo, no pretende publicar:

Lo haré [leer el libro de Kepler] con tanta mayor alegría cuanto me convertí a la doctrina de Copérnico desde ya hace muchos años, gracias a la cual descubrí las causas de un gran número de efectos naturales de los que está fuera de duda que la hipótesis común pueda rendir cuenta de ellos. Escribí sobre esa materia varias consideraciones, razonamientos y refutaciones que hasta el momento no me atreví a publicar, espantado por la suerte de Copérnico mismo, nuestro maestro, que si bien se aseguró una gloria inmortal al lado de algunos, se expuso, por otra parte, –de enorme que es el número de los tontos – a la burla y el desprecio de muchos otros. Sin duda me enardecería yo en dar a luz mis reflexiones si hubiese muchos hombres como tú, pero como más bien hay pocos, prefiero dejar para más adelante semejante empresa (Galileo, citado por Koestler, 1986, 284).

Como señala Finocchiaro (2010), esto puede ser interpretado no solo como una muestra de miedo por parte de Galileo, sino también como un reconocimiento de su parte de que su argumentación aún no es completa y que por lo tanto no tendrá la potencia retórica (pero sobre todo, teórica) para convencer a los adversarios del heliocentrismo, aunque sí la tiene para convencerlo a él.

En este sentido, desde la perspectiva aquí defendida, el convencimiento de Galileo acerca de la verdad de la teoría heliocéntrica proviene del desarrollo por su parte de una serie de razonamientos matemáticos que le permiten crear un modelo fiel de lo que es el universo. La falta de una noción de modelo matemático en la construcción de teorías científicas previo a 1597 es

claro que sin las matemáticas el mundo no puede ser comprendido, ya que, después de todo, la naturaleza está escrita en lenguaje matemático (Galilei, 1981).

En ese sentido, podríamos pensar las matemáticas como una de las primeras características que vería Galileo en una teoría científica, a diferencia de una teoría no científica, la cual operaría por medio de simples cualidades, al modo aristotélico. Para Galileo, el problema de este modo de operar por medio de cualidades en la ciencia es el problema clásico entre lo aparente y lo real, ya que para Galileo es importante eliminar los posibles errores producidos por la percepción humana, por lo que la ciencia debe tratar las propiedades primarias de los objetos y no las propiedades secundarias.⁷ Por esta razón, una teoría basada en cualidades no sería una teoría científica, y así, una teoría científica es tal en la medida en que se basa en las propiedades primarias del objeto, las cuales son sistematizables por medio de las matemáticas.

En ese sentido, la argumentación matemática se vuelve esencial para que Galileo pueda defender plenamente la teoría heliocéntrica, y esto lo podemos ver en la forma de argumentación en el periodo de juventud contrastado con el periodo de plena defensa del copernicanismo, como veremos a continuación.

3. La teoría científica en el opúsculo sobre el movimiento de la Tierra

Como señala Shea (1983), en la época inmediatamente posterior a la publicación de *De revolutionibus orbium caelestium*, esta obra “se convirtió en la bandera de quienes reaccionaban contra las fuerzas del conservadurismo académico” (132). En ese sentido, la defensa del copernicanismo era realizada principalmente por poetas y literatos que veían en la teoría una forma de emancipación de la autoridad escolástica. No obstante, estos no eran capaces de argumentar racionalmente en favor de ella.

En este contexto, no es de extrañar que el posicionamiento de Galileo fuese oscuro, ya que él, por una parte, no ve en los argumentos

en favor la fuerza necesaria para poder defender científica y racionalmente el heliocentrismo (como lo muestra su escrito *Sobre el orden de las órbitas celestiales*), y por otra, ve una gran fortaleza en los argumentos en contra, ya que estos han sido mucho más elaborados por autores con un amplio conocimiento del problema. Por eso:

Antes de embarcarse resueltamente en la aventura copernicana, Galileo necesitaba cierta seguridad de que valía la pena el riesgo y, en especial, el riesgo de un matemático que se enorgullece del poder explicativo de la geometría (Shea, 1983, 136).

Pero, entonces ¿qué cambió para 1615?, momento en que vemos un Galileo más anuente a debatir acerca de esta teoría.⁸ Es claro que, por una parte, existen eventos esenciales previos a este periodo que han dado una gran fuerza a esta teoría, como lo son la superficie escarpada de la Luna, la existencia de estrellas nuevas, la naturaleza de la Vía Láctea, los satélites de Júpiter, las manchas solares, los cuales fueron presentados por Galileo en el *Sidereus Nuncius* y que, como señala Pitt (1986), son los elementos esenciales que le dan a Galileo evidencia de la verdad de la tesis copernicana.

Sin embargo, también existen otras situaciones que debilitan la teoría como lo es la caída de los cuerpos (la idea de que un cuerpo no podría caer en dirección perpendicular al punto del que se deja caer), el vuelo de las aves, y la no desintegración del planeta ante el giro de este.⁹

Nótese que estos datos empíricos, así como los hemos enumerado, son de carácter cualitativo. Además, solamente debían dar a Galileo evidencia de que algunos elementos de la teoría geocéntrica son erróneos. No, empero, para refutar el núcleo de la teoría.¹⁰ Sin embargo, hay otro elemento esencial que cambia en esta época y que podemos ver en el modo de argumentar de Galileo:

If the earth revolves around the sun, the difference in visibility of the stellar sphere between midnight and noon would be equal to that cause done earth by a mountain whose height is 1 and 1/7 miles; on earth the difference in visibility of the stellar sphere

para poder defen-
el heliocentrismo
re el orden de las
, ve una gran for-
ntra, ya que estos
s por autores con
oblema. Por eso:

tamente en la
leo necesitaba
la pena el ries-
un matemático
explicativo de
)

abió para 1615?,
lileo más anuente
Es claro que, por
nciales previos a
gran fuerza a esta
ie escarpada de la
nuevas, la natura-
ites de Júpiter, las
teron presentados
cius y que, como
mentos esenciales
de la verdad de la

ten otras situacio-
o lo es la caída de
cuerpo no podría
r al punto del que
s, y la no desinte-
de este.⁹

píricos, así como
carácter cualita-
an dar a Galileo
entos de la teoría
o, empero, para
Sin embargo, hay
ibia en esta época
lo de argumentar

l the sun, the
stellar sphere
would be equal
y a mountain
s; on earth the
stellar sphere

resulting from climbing such a mountain is
1° and 32 min on each side; these quantities
are based on the traditional estimates of
astronomical distances (which are: distance
between the earth and the sun = 1,216 earth
radii; radius of the stellar sphere = 45,225
earth radii; and sphere is much greater; so
the difference in stellar horizon would be
much less than 1° 32 min; and that would be
unlikely to be noticeable" (Carta de Galileo
a Mazzoni, 30 de mayo de 1597, citado por
Finocchiaro, 2010, 47).

Podemos ver esta misma forma de argu-
mentación en *Consideraciones sobre la opinión
copernicana* (1996):

De acuerdo con el autor del prefacio, es
imposible –a menos que se ignore todo en
geometría y en óptica– considerar verosímil
que el epiciclo de Venus tenga un tamaño tal
que le permita alejarse a ambos lados del Sol
hasta más de 40°, puesto que al encontrarse a
su distancia máxima de la Tierra su diámetro
tendría que parecer apenas la cuarta parte
del que se observa cuando el planeta se halla
en su posición más próxima, mientras que su
superficie aparente sería entonces 16 veces
mayor que en aquella otra posición (86).

Lo cual contrasta con la manera de argumen-
de los trabajos de juventud:

If the earth were located in the middle of
the universe, for an eclipse to occur the two
luminaries would have to be in opposition
to permit the interposition of the earth;
similarly, if the earth were located off from
the center, an eclipse could not occur, since
there would be no interposition of the earth.
In fact, an eclipse would happen generally
when the moon was at the greatest distance
from sun, for then it would have minimum of
light (Galileo en Wallace, 1977, 72).

Por esta razón, Finocchiaro (2010) señala
"the most relevant and important aspect of
Galileo's letter to Mazzoni is that it constitutes an
defense of Copernicanism from an astro-
ical objection. Moreover, the core of Galileo's
ing is mathematical or quantitative, and so

what we have here is a mathematical defense"
(47). En otras palabras, lo que nos muestra esta
carta a Mazzoni es el desarrollo del razonamiento
matemático que le permitirá a Galileo robustecer
la teoría copernicana.

Debido a esto, en el presente artículo se
considera que el desarrollo de sus argumentos
matemáticos unido a los descubrimientos empíri-
cos es lo que permite a Galileo hacer explícita su
posición acerca del heliocentrismo. En ese senti-
do, Galileo tiene una idea clara de lo que le con-
fiere estatus científico a una teoría, y lo podemos
ver en su modo de argumentar, es decir, la teoría
científica es un modelo matemático acompañado
de la contrastación empírica de aquel.

Así, la distinción de la que se habló en el
apartado anterior adquiere sentido: Ya no esta-
mos entre la mera distinción entre el astrónomo
y el filósofo natural, sino que estamos ante una
nueva distinción entre el astrónomo puro (una
especie de matemático) y el contemplador de la
naturaleza (el científico, casi como lo entende-
mos contemporáneamente).¹¹ Esto explica por
qué Galileo hace caso omiso de la advertencia
de Bellarmino de utilizar el heliocentrismo solo
como una hipótesis, es decir, su sentido de lo que
debe incluir la descripción fiel del mundo (la teo-
ría científica) le da una gran seguridad acerca de
la veracidad de la teoría copernicana.

En otras palabras, el convencimiento de
la veracidad del copernicanismo por parte de
Galileo no procede únicamente de lo empírico.
Por eso en la carta a Kepler ya se considera a sí
mismo un copernicano convencido, pero busca
evidencias para socializar la teoría, es decir,
la matemática ya lo ha convencido, pero para
convencer a otros necesita lo empírico. En otras
palabras, lo que necesitaba Galileo era la eviden-
cia como elemento retórico, es decir, como forma
de convencer a la comunidad científica. Por eso
Pitt (1986) señala que lo que proveen estos des-
cubrimientos empíricos es un punto de partida;
hacen al menos plausible la tesis copernicana
para aquellos que no están convencidos:

To perform the necessary reconceptualiza-
tion, Galileo had to interpret observations
of the heavens in terms of terrestrial pheno-
mena; descriptions of terrestrial phenomena

in ordinary language thereby constituted his source-base. Translating celestial observations into the language of terrestrial physics was what was involved in making the case for legitimacy of speaking of mountains on the moon. In order to interpret the requisite observations in the appropriate fashion, Galileo first had to show that such efforts were plausible to begin with (Pitt, 1986, 128).

Así, podemos decir que el conocimiento puede ser provisto por las matemáticas, y la experiencia simplemente permite comprobar lo que las matemáticas le han dado, sin que esto sea un matematismo platónico, sino un modo de operar (un método) que nos permite construir teorías científicas.

De esta manera, desde el punto de vista de Galileo la teoría heliocéntrica es verdadera, es decir, no es una construcción teórica que simplifica los cálculos matemáticos (instrumentalismo), sino que es un reflejo fiel del mundo, de cuya realidad no puede dudar en la medida en que la experiencia concuerda con el modelo matemático que la describe. Esto es lo que impulsa a Galileo a obviar la advertencia del cardenal Bellarmine de asumir la tesis copernicana solo como hipótesis.

Notas

1. Wallace (1977), en el prefacio de su *Galileo's Early Notebooks*, señala que la época de producción de estos textos por parte de Galileo no es muy clara. Por una parte, Stillman Drake considera que son de alrededor de 1590, para cuando Galileo ya estaba enseñando en la Universidad de Pisa, pero por otra parte Antonio Favaro considera que son trabajos de la época de estudiante de Galileo, de alrededor de 1584.
2. La razón por la que la posición de Galileo no es clara, e incluso tiende a parecer una posición arístotélico-ptolemaica, se debe a que, como señalan Finocchiaro (2010) y Wallace (1977), estos textos de esta época son simples introducciones a la astronomía para estudiantes principiantes, es decir, son los textos utilizados en los cursos impartidos por Galileo.
3. Finocchiaro (2010) señala al menos doce criterios para la aceptabilidad de lo que él llama presunciones guías (*guiding assumptions*) por parte de Galileo. No obstante, el mismo Finocchiaro es claro en que lo más probable es que estos no hayan sido conscientes para Galileo. Lo que Finocchiaro pretende es, exclusive, hacer una reconstrucción analítica del modo en que una teoría se vuelve aceptable para Galileo. Por otra parte, en el presente trabajo me dispongo a señalar los que considero dos elementos que sí eran claros para Galileo, y que en ese sentido modifican su modo de argumentar acerca del heliocentrismo: su perspectiva metodológica y su modo de socializar su punto de vista.
4. Es claro que en este respecto podría haber elementos de carácter psicológico y circunstancial que llevaran a Galileo a tener esta actitud tan distinta a la que tendrá posteriormente. Sin embargo, ese tipo de elementos son poco interesantes para la presente investigación debido a dos razones: no son elementos que puedan ser objeto de conocimiento y, además, son elementos que no son relevantes para la teorización acerca del funcionamiento de la ciencia. Por otra parte, si son textos de juventud, como señala Favaro, es posible que su formato tenga que ver con el formato propio de las disputaciones medievales.
5. Por supuesto, esto está en el contexto del conflicto entre el instrumentalismo y un cierto realismo metodológico que se deriva del famoso prefacio de Andreas Osiander agregado a la primera edición de *De revolutionibus orbium caelestium* de Copérnico. No obstante, como se puede observar, Galileo le da un matiz distinto asociado al uso de las matemáticas.
6. El énfasis es mío.
7. Para ampliar este tema, véase mi artículo *Galileo y Descartes: la matematización de la física*, publicado en la *Revista de Filosofía de la Universidad de Costa Rica*, número 135, volumen LIII, de enero-abril 2014, páginas 107-116.
8. En 1615, Galileo se atreve a viajar a Roma para defender el copernicanismo. Como señala Shea (1983), Galileo habló con múltiples personalidades notables, con las cuales sostuvo debates sobre el tema.
9. Claramente, estas tesis son erróneas, pero para el momento no había manera de refutarlas. En ese sentido, siguiendo a Popper, así como son enunciadas, estas tesis tendrían el mismo valor científico que las tesis en favor del heliocentrismo.
10. Podríamos decir, siguiendo a Lakatos, que son elementos del cinturón protector del programa de investigación, mas no son elementos del núcleo firme del programa.

- II. Nótese que estamos ante el surgimiento de un nuevo método de conocimiento y ante la introducción de un nuevo modelo de investigador, a saber: el científico que conocemos hoy en día.

Referencias

- Bert, E. A. (1954). *The Metaphysical Foundations of Modern Science*. New York: Anchor Books.
- Clavelin, M. (2001). Galilée astronome philosophe. En *Largo campo di filosofare*. Fundación Canaria Orotava de Historia de la Ciencia, 19-40.
- Galilei, G. (1981). *El ensayador* (Trad. de J. M. Revuelta). Buenos Aires: Aguilar.
- _____. (1895). *Le opere di Galileo Galilei*. Vol. V (A. Favaro, ed.). Firenze: Tipografia di G. Barbera.
- Galilei, G. y Kepler, J. (2007). *La gaceta sideral. Conversación con el mensajero sideral* (C. Santos, tr.). Madrid: Alianza Editorial.
- Koyré, A. (2009). *Estudios galileanos* (M. Gonzalez Ambóu, tr.). México D. F.: Siglo Veintiuno.
- Koestler, A. (1986). *Los sonámbulos*. Barcelona: Salvat.
- Lakatos, I. (1989). *La metodología de los programas de investigación científica* (J. C. Zapatero, tr.). Madrid: Alianza Editorial.
- Shea, W.R. (1983). *La revolución intelectual de Galileo* (C. Peralta, tr.). Barcelona: Ariel.

- Finocchiaro, M. A. (2010). *Defending Copernicus and Galileo*. London: Springer.
- Wallace, W.A. (1977). *Galileo's Early Notebooks: The Physical Questions*. Indiana: University of Notre Dame Press.
- Copérnico, N., Digges, T. y Galilei, G. (1996). *Opúsculos sobre el movimiento de la Tierra* (A. Elena, tr.). Madrid: Alianza Editorial.
- Pitt, J. C. (1986). The Character of Galilean Evidence. *Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*, 1, 125-134.
- _____. (1988). Galileo, Rationality and Explanation. *Philosophy of Science*, 55 (1), 87-103.
- Hall, R. (1990). Was Galileo a Metaphysicist?. En: Levere, T. H. y Shea, W. R. (Eds.). *Nature, Experiment, and Sciences*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 105-121.

(*) **Leonardo Ortiz Acuña** (loa226@gmail.com). Bachiller en filosofía por la Universidad de Costa Rica. Estudiante egresado del programa de Licenciatura en Filosofía (Universidad de Costa Rica). Estudiante de Física en la Universidad de Costa Rica. Estudiante del programa de Maestría académica en Estadística (Universidad de Costa Rica).

Recibido: el viernes 10 de julio de 2015.
Aprobado: el viernes 17 de julio de 2015.

te, el mismo Finocchiaro más probable es que intentes para Galileo. es, exclusive, hacer del modo en que le para Galileo. Por bajo me dispongo a os elementos que sí que en ese sentido umentar acerca del a metodológica y su le vista.

recto podría haber ógico y circunstancia tener esta actitud posteriormente. Sin os son poco interacción debido a dos e puedan ser objeto n elementos que no ción acerca del fun- r otra parte, si son la Favaro, es posible con el formato pro- eales.

ntexto del conflicto un cierto realismo el famoso prefacio o a la primera edi- *bium caelestium* de se puede observar, asociado al uso de

mi artículo *Galilización de la física, filosofía de la Univer-* 135, volumen LIII, 07-116.

viajar a Roma para Cómo señala Shea múltiples personalida- tuvo debates sobre

óneas, pero para el refutarlas. En ese sí como son enun- nismo valor científ- heliocentrismo.

Lakatos, que son or del programa de mentos del núcleo