

EPISTEMOLOGÍA E HISTORIA DE LA CIENCIA

SELECCIÓN DE TRABAJOS DE LAS XX JORNADAS
VOLUMEN 16 (2010)

Pío García
Alba Massolo

Editores



ÁREA LOGICO-EPISTEMOLÓGICA DE LA ESCUELA DE FILOSOFÍA
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE LA FACULTAD DE FILOSOFÍA Y HUMANIDADES
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons atribución NoComercial-SinDerivadas 2.5 Argentina



Galileo Galilei, los climas, y la tradición del *Tractatus de sphaera* de Johannes de Sacrobosco

Roberto de Andrade Martins*

1. Introducción

Este trabajo estudia una obra poco conocida de Galileo Galilei: el *Trattato della sfera ovvero cosmografia* que él compuso aproximadamente en el 1596 (seguramente antes del 1604), cuando todavía no defendía el sistema de Copérnico (Favaro, 1891).

Galileo Galilei fue profesor de matemática de la Universidad de Padua del 1592 hasta el 1610. En este período escribió para sus estudiantes el *Trattato della sfera*, que es un libro texto de astronomía. El *Trattato della sfera* de Galileo no fue publicado durante la vida del autor. Se publicó solamente en el 1656, por “Buonardo Savi” – seudónimo del padre Urbano Daviso. Muchos creían que no era una obra de Galileo, pues defendía la astronomía de Ptolomeo (Galileo, 1656; Galileo, 1891).

Esta obra de Galileo es basada sobre el *Tractatus de sphaera* de Johannes de Sacrobosco (siglo XIII) – uno de los libros de astronomía más populares de todos los tiempos (aproximadamente 250 ediciones), del siglo XIII hasta el XVIII. El *Tractatus de sphaera* de Sacrobosco era un libro muy simple y pequeño, con informaciones generales sobre los cielos, sus movimientos, y también sobre la Tierra. El título del *Tractatus de sphaera* viene de las esferas celestes, y también de la *esfera armilar*, que era un instrumento empleado para explicar la estructura y los movimientos celestes. Su contenido está presentado en el inicio del libro, que aquí reproducimos a partir de una traducción castellana antigua:

El tratado de la Sphera lo dividimos en quatro capitulos. diremos primero de la composición de la Sphera, que cosa sea Sphera, que sea su centro, y que sea el Exe de la Sphera, y qual sea el Polo del mundo: quantas sean las Spheras, y qual sea la forma del mundo. En el segundo trataremos de los circulos de que la Sphera material se compone, y la sobre celestial (que por esta se imagina) se entiende estar compuesta. En el tercero del Nacimiento y Ocaso de los Signos, y de la diversidad de los dias, y de las noches, y division de los Climas. En el quarto de los circulos y movimientos de los Planetas, y de las causas de los Eclipses. (Rocamora y Torrano, 1599, fol. 222v)

Sacrobosco escribió su *Tractatus* aproximadamente en el 1230. El libro pronto se hizo popular, y en poco tiempo empezó a ser copiado y comentado por muchos profesores de toda Europa.

* Grupo de História e Teoria da Ciência, Unicamp, Brasil.

En el siglo XIII han comenzado a aparecer nuevas versiones y comentarios sobre el libro de Sacrobosco por Michael Scot, John Pecham, Bernard de la Treille, Campanus de Novara, Robertus Anglicus y otros. En el siglo XIV fueron escritos nuevos comentarios, por Cecco d'Ascoli, Nicole Oresme, Pierre d'Ailly, Henry of Sirenberg, Blasius de Parma y muchos otros. En el siglo XV hay importantes comentarios de Franciscus Capuanus de Manfredonia, Jacques Lefèvres d'Étaples, Wenceslaus Faber von Budweis, Pedro Ciruelo y otros. En el siglo XVI la obra de Sacrobosco es todavía muy importante, y surgen los comentarios de Joannes Baptista Capuanus, Erasmus Oswald Schreckenfuchs, Francesco Giuntini, Christoph Clavius (con 500 páginas) y otros (Thorndike, 1949).

El *Trattato della sfera ovvero cosmografia* de Galileo es parte de esta tradición basada en el libro de Sacrobosco. Comparando el libro de Galileo al de Sacrobosco, se ve que la secuencia y el contenido son muy similares. Sin embargo, Galileo no se refiere al nombre de Sacrobosco en su libro.

Hay diferencias de estilo. Sacrobosco ha citado en su libro algunos poetas clásicos, como Virgilio, Ovidio y Lucano; muchos de los comentarios adicionaron otras citas literarias (Martins, 2003). Galileo no mencionó ningún poeta en su libro: dejó fuera de su *Tratado* casi todas las partes del trabajo de Sacrobosco que contenían referencias a los poetas romanos. No sabemos la razón por la que evitó las citas poéticas.

También hubo muchas adiciones hechas por Galileo. En varias partes de su *Tratado* presenta informaciones más detalladas que el libro de Sacrobosco. Añade incluso tópicos que no son discutidos por el autor medieval.

En un trabajo reciente, presentamos un análisis detallado de la primera parte del libro de Galileo (Martins & Cardoso, 2008). En este artículo analizaremos un único caso: el tratamiento de Galileo de los climas. Esta es una importante parte del capítulo 3 del *Tractatus de sphaera*. Galileo añadió varios detalles y una tabla que no existe en el texto de Sacrobosco.

El análisis de este ejemplo nos permitirá comprender un poco sobre el modo como se componían los comentarios al *Tratado* de Sacrobosco, y nos permitirá también comprender algo sobre el método del historiador de la ciencia.

2. Los climas geográficos

¿Qué significa “clima”, en el contexto del *Tractatus de Sphaera*? La palabra “clima” viene de κλίμα, en griego, que quiere decir *inclinación*. Se empleó este término desde Eudoxo de Cnidos para indicar la latitud geográfica de un local. Muchas veces se decía “la inclinación del universo”. Se comprendía que una persona en el ecuador (bajo la línea ecuatorial celeste) debía ver los polos celestes en el horizonte. Si la persona se aleja del ecuador, hacia el norte, el polo norte se levanta

sobre el horizonte, y la inclinación del eje celeste con respecto al horizonte (o "altura del polo") es igual a la latitud geográfica.

Hiparco de Nicea dio a esta palabra un significado más restrictivo y técnico y la relacionó a un conjunto de fajas paralelas al ecuador terrestre. Introdujo la idea de un sistema de círculos paralelos en los cuales ciertas propiedades astronómicas importantes tenían una diferencia significativa. La principal diferencia era la duración máxima del día (durante el solsticio de verano).

Se sabía (por consideraciones teóricas y no por observación) que para una persona en el ecuador todos los días y noches del año tienen la misma duración. Cuando uno se aleja del ecuador hacia el norte, hay diferencias cada vez mayores entre los días y las noches, en invierno y en verano. En el día del solsticio de verano las noches son más cortas y los días más largos, y en el solsticio de invierno, los días son más cortos y las noches más largas. Cuando uno llega al círculo polar, el día del solsticio de verano tiene 24 horas y no hay noche.

Hiparco imaginó un sistema de círculos paralelos al ecuador espaciados de tal modo que la duración máxima del día, en el solsticio de verano, varía media hora de uno para lo siguiente. En este sistema, los *climas* son fajas de la superficie de la Tierra en las cuales la duración máxima del día varía solamente media hora.

La longitud geográfica exacta de estos paralelos puede ser calculada matemáticamente, si uno sabe un sólo parámetro astronómico: la *oblicuidad* (ó *declinación*) de la *eclíptica*. Este es el ángulo máximo que la línea Tierra-Sol forma con el plano ecuatorial. Su valor cambia lentamente, y en el tiempo de Galileo tenía valores próximos de $23^{\circ} 30'$. Ptolomeo empleó un valor de $23^{\circ} 51' 20''$ para la declinación de la eclíptica y calculó las latitudes de paralelos correspondientes a una larga lista de duraciones máximas del día. Probablemente Hiparco había calculado una tabla semejante de paralelos.

Hay 24 climas del ecuador hasta el círculo polar. Sin embargo, por influencia astronómica, se nombraban 7 climas especiales (correspondientes a los 7 astros errantes) que pasaron a ser considerados los únicos relevantes. Posiblemente esta doctrina empezó con el astrónomo y geógrafo Serapio, discípulo de Hiparco.

El mismo sistema de los climas fue empleado por Ptolomeo. Para él, el inicio de la serie de climas no corresponde ni a la duración de 12 horas (ecuador) ni a la de 12 horas y media. El primero clima empieza en el paralelo para el cual la duración máxima del día es de 12 horas y 45 minutos, y termina en el paralelo en el cual esta duración es de 13 horas y 15 minutos. El paralelo en el cual la duración es exactamente 13 horas es el medio del primero clima. El segundo clima empieza donde el primero termina: va del paralelo donde el día máximo es de 13 horas y 15 minutos hasta el paralelo en el cual el día máximo es de 13 horas y 45 minutos. Y así sucesivamente para los otros climas.

Los siete climas principales estaban asociados a ciudades o locales importantes por donde pasaba el paralelo del medio de estos climas: (1) Meroe (2) Syene (3) Alexandria (4) Rhodes (5) Helesponto y Roma (6) Mediolanum (7) Borysthenes.

3. Galileo y los climas

El *Tractatus de Sphæra* de Sacrobosco describía exactamente estos siete climas tradicionales. El *Trattato della Sfera* de Galileo presenta los climas de una forma diferente:

Los geógrafos llaman de clima al espacio de la Tierra comprendido entre dos círculos paralelos a la equinoccial, con tal distancia entre ellos que el día máximo crece media hora. Ptolomeo solamente presentó siete de estos climas, que eran suficientes para incluir las partes de la Tierra más conocidas en aquel tiempo, cuando todavía no habían avanzado mucho hacia el polo.

Pero en nuestro tiempo, en el cual las navegaciones modernas ampliaron mucho el espacio conocido hacia el Septentrión, los geógrafos modernos multiplicaron el número de climas hasta 22, e estos son los que se pueden comprender en la tabla siguiente. (Galileo, 1656, pp. 90-91, Galileo, 1891, p. 243)

El *Trattato della Sfera* de Galileo presenta entonces un cuadro con 49 paralelos, informando su latitud y la duración del día más largo de cada uno, identifica el inicio, medio y fin de los 22 climas “modernos”, y indica lugares por donde transita el medio de cada clima.

Comprendemos que Galileo quería presentar una versión actualizada de los climas geográficos. Pero ¿de donde sacó las informaciones de su cuadro? Quizás Galileo calculó los datos de su tabla; quizás los sacó de otro autor, sin decirlo. ¿Es posible descubrir de donde salieron estos datos?

Hay varios indicios que uno puede notar y que podrían ayudarnos a aclarar este punto.

(1) El libro de Galileo fue escrito en un dialecto italiano, pero el cuadro de los climas tiene informaciones en latín.

(2) Galileo mencionó 22 climas. Otros autores del siglo XVI mencionaban diferentes números. El famoso cosmógrafo Petrus Apianus (Peter Bienewitz), por ejemplo, describió 9 climas (Apianus, 1553, fols. 7v, 8r).

(3) Las tablas de los climas presentadas por diferentes autores estaban calculadas para diversos valores de la declinación de la eclíptica. El cuadro de Galileo corresponde a una declinación de la eclíptica de 23° 29', que no era muy común en el siglo XVI.

4. Las tablas de climas de Galileo y de Clavius

Después de una busca en diversos comentarios del *Tractatus* de Sacrobosco del siglo XVI, encontramos en el comentario de Christoph Clavius un cuadro muy semejante al de Galileo

(Clavius, 1585, pp. 429-430) Las informaciones en latín son exactamente las mismas. Además, el cuadro de Clavius utiliza también la declinación de la eclíptica de $23^{\circ} 29'$; tiene 22 climas; e los números presentados son casi idénticos a los de Galileo.

Como la primera edición del comentario de Clavius a Sacrobosco es del 1570, es evidente que Clavius no podría copiar su tabla de Galileo, pero lo inverso era posible. Sin embargo, hay unos pocos números diferentes en las dos tablas.

Quizás Galileo calculó todos los números, que tenían que ser iguales o semejantes a los de Clavius ya que emplearon el mismo valor de la declinación de la eclíptica; y los números diferentes serían porque uno de ellos se equivocó en los cálculos.

Para aclarar esto, en primero lugar nosotros calculamos todos los valores de las latitudes de los 49 paralelos relevantes, empleando el valor de $23^{\circ} 29'$ para la declinación de la eclíptica. Los resultados son casi idénticos a los publicados por Clavius. Las latitudes de casi todos los paralelos son exactamente las mismas (en grados y minutos) Sin embargo, hay diferencias importantes para dos de los paralelos.

Paralelo	cálculo	Clavius
7	$24^{\circ} 11'$	$23^{\circ} 11'$
15	$45^{\circ} 31'$	$44^{\circ} 29'$

Para uno de ellos, el cálculo da al valor de $24^{\circ} 11'$ y Clavius indica $23^{\circ} 11'$ (quizás un lapso de copia) En otro paralelo, el calculo nos lleva al valor $45^{\circ} 31'$, y Clavius indica $44^{\circ} 29'$ Son diferencias muy grandes y que una persona podría identificar leyendo cuidadosamente la tabla de Clavius y notando una irregularidad en el crecimiento de las latitudes. Efectivamente, hay un ejemplar de la edición del libro de Clavius del 1602 donde un lector atento corrigió estos números.

Hay otras tres diferencias, menores.

Paralelo	cálculo	Clavius
22	$55^{\circ} 36'$	$55^{\circ} 34'$
35	$64^{\circ} 9'$	$64^{\circ} 6'$
38	$65^{\circ} 6'$	$65^{\circ} 9'$

Son diferencias de solamente $2'$ o $3'$, pero significativas, ya que para todos los otros paralelos la concordancia es perfecta. Excepto por el primero de estos tres errores, los otros dos podrían ser errores de tipografía o de alguno copista (antes de la impresión) Realmente, cambiar 6 por 9

y viceversa era común, en aquel tiempo, ya que los tipos metálicos empleados para estos números eran idénticos.

¿Serían los errores del libro de Clavius producidos por un tipógrafo? Para chequearlo, comparamos 9 ediciones de su comentario: Roma, 1570; Roma, 1581; Roma, 1585, Venecia, 1591, Lyon, 1593, Lyon, 1594, Lyon, 1602; Roma, 1606; Lyon, 1607. En todas estas ediciones, los números de la tabla son los mismos¹. Por lo tanto, el error no fue de un tipógrafo, fue del autor mismo o de un copista que preparó el original para la tipografía.

Cuando confrontamos el cuadro de Clavius con el de Galileo, vemos que los errores del primero están presentes también en el libro del segundo. Es muy pequeña la probabilidad de que Galileo pudiera calcular los números del cuadro y cometer exactamente los mismos errores. Esto sugiere fuertemente que Galileo copió toda la tabla de la obra de Clavius.

Hay, sin embargo, tres diferencias entre los números de Clavius y los de Galileo – y estos valores de Clavius son idénticos a los que obtenemos hoy por el cálculo.

Paralelo	Clavius	Galileo
2	4° 18'	4° 14'
3	8° 34'	8° 38'
31	62° 25'	62° 52'

En los tres casos, uno puede pensar en errores del copista (Galileo o un auxiliar) o del tipógrafo. En los dos primeros casos, el 8 se cambió por 4 y el 4 por 8, e son líneas contiguas de la misma tabla. En el tercer caso, hubo una inversión de los números (52 en vez de 25).

5. Otras tablas de climas

Todo eso es coherente con la conjetura que Galileo copió su tabla del libro de Clavius. Hay, sin embargo, otras posibilidades. Quizás Galileo sacó sus números de un autor que los copió de Clavius.

Buscando otros comentarios al *Tractatus de Sphaera* del tiempo de Galileo, encontramos que el de Francesco Pifferti (publicado en el 1604) contiene también una tabla casi idéntica a las de Clavius y de Galileo (Pifferti, 1604, pp. 348-349) Y, en este caso, el autor escribió claramente que iba a presentar “la tabla del padre Clavius”.

Hay unas pocas diferencias entre los números de Pifferti y de Clavius... y algunas son diferencias que están presentes igualmente en la tabla de Galileo.

Paralelo	Clavius	Pifferti	Galileo
2	4° 18'	4° 14'	4° 14'
3	8° 34'	8° 36'	8° 38'

31	62° 25'	62° 52'	62° 52'
38	65° 9'	65° 9'	65° 6'

Es relevante mencionar que Pifferrí fue profesor de la Universidad de Padua antes de Galileo. No es imposible que Galileo tenga sacado sus datos de un manuscrito de Pifferrí.

Sin embargo, todo esto no nos permite concluir con seguridad que Galileo sacó los números de su tabla del libro de Clavius, directa o indirectamente. Hay otra posibilidad: quizás Galileo y Clavius los sacaron de un otro autor anterior a 1570.

Buscando otras posibilidades, logramos encontrar el libro de Caspar Peucer, *Elementa doctrinae de arcubus coelestibus* (1569), donde el autor presenta una tabla de 22 climas, idéntica a la de Clavius y con los mismos errores. . pero publicada un año antes de la primera edición del comentario de Clavius (Peucer, 1569, pp. 268-269).

Es posible que Clavius tenga sacado su tabla del libro de Peucer. Por supuesto, el origen de las tablas podría ser anterior, ya que Peucer menciona su maestro Erasmus Reinhold diciendo que él había definido los 22 climas hasta la latitud de 66° 31' (como Peucer). Todavía, examinando diversas obras de Reinhold, no logramos encontrar una tabla semejante.

6. Comentarios finales

Podemos resumir nuestros resultados del modo siguiente.

El concepto de los 22 climas, y el cálculo de los paralelos empleando la declinación de la eclíptica igual a 23° 29' está presente en el trabajo de Caspar Peucer (y quizás en el de su maestro Erasmus Reinhold).

Clavius sacó su tabla del libro de Peucer (o de Reinhold). Pifferrí sacó su tabla de Clavius. Probablemente Galileo sacó su tabla de Clavius, o de Peucer, o de Reinhold, o de un manuscrito de Pifferrí. Ciertamente no calculó su tabla, ya que reproduce errores de Peucer y Clavius (y de Pifferrí)

Este ejemplo muestra como los autores de aquel tiempo componían sus obras. en gran parte, copiando directamente partes de otros libros, sin citarlos, y quizás introduciendo errores. Galileo no fue una excepción a la práctica de su tiempo.

Este ejemplo nos muestra también algunos de los aspectos del trabajo del historiador de la ciencia. No es posible estudiar una obra sin compararla con otras del mismo período. El estudio de un trabajo lleva a preguntas y conjeturas, y hay que buscar otros libros y compararlos con extremo cuidado, examinando las hipótesis historiográficas y procurando aclarar los puntos oscuros. Unas veces es posible sacar conclusiones claras; otras veces, no es posible decidir entre diversas posibilidades.

Agradecimientos

Agradezco a la FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) y al CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Brasil) por el apoyo recibido para el desarrollo de esta investigación. Agradezco también a la Universidad de Oklahoma por la oportunidad de consultar muchos de los libros necesarios para esta investigación en su biblioteca de Historia de la Ciencia.

Nota

1 Si aceptamos la conclusión de Favaro (1891) que Galileo escribió su *Trattato* antes del 1604, hay otras cinco ediciones que podrían ser relevantes y que no fue posible consultar: Venecia, 1596, Lyon, 1600, Venecia, 1601, S. Gervasio, 1602, Venecia, 1603.

Referencias bibliográficas

- Apianus, Petrus (1553) *La cosmographie de Pierre Apian, docteur et mathematicien tres excellent, traictant de toutes les regions, pais, villes & citez du monde, par artifice astronomique, nouvellement traduite de latin en françois* par Gemma Frisius. Paris: Vivant Gautherot.
- Clavius, Christoph (1585) *Christophori Clavi Bambergensis ex Societate Iesu, in Sphaeram Ioannis de Sacro Bosco commentarius*. Nunc tertio ab ipso auctore recognitus, & plerisque in locis locupletatus. Romæ: ex officina Dominici Basæ.
- Favaro, Antonio (1891) Avvertimento [Trattato della sfera ovvero cosmografia] Vol 2, pp. 205-209, in: Galilei, Galileo. *Le opere di Galileo Galilei*. Edizione Nazionale sotto gli auspicii di su Maestà il Re d'Italia. Ed. Antonio Favaro. Firenze. G. Barbèra.
- Galilei, Galileo (1656) *Trattato della sfera*. Roma. Nicolò Angelo Tinassi.
- (1891) Trattato della sfera ovvero cosmografia. Vol. 2, pp. 211-255, in: Galilei, Galileo. *Le opere di Galileo Galilei*. Edizione Nazionale sotto gli auspicii di su Maestà il Re d'Italia. Ed. Antonio Favaro. Firenze. G. Barbèra.
- Martins, Roberto de Andrade (2003) Las fuentes literarias del Tratado de la Esfera de Sacrobosco. Pp. 307-314, in: Rodríguez, Victor & Salvatico, Luis (eds.) *Epistemología e Historia de la Ciencia. Selección de Trabajos de las XIII Jornadas*. Vol. 9 Córdoba. Universidad Nacional de Córdoba.
- Martins, Roberto de Andrade, Cardoso, Walmir Thomazi (2008) O *Trattato della sfera ovvero cosmografia* de Galileo Galilei e algumas cosmografias e tratados da esfera do século XVI *Episteme* 13 (27): 15-38.
- Peucer, Caspar (1569) *Elementa doctrinae de circulis caelestibus*. Vitebergae. excudebat Iohannes Crato.
- Pifferi, Francesco (1604) *Sfera di Gio. Sacro Bosco tradotta, e dichiarata da don Francesco Pifferi*. Siena. Saluestro Marchetti.
- Rocamora y Torrano, Ginés de (1599) *Sphera del universo*. Madrid. Iuan de Herrera.
- Thorndike, Lynn (1949) *The Sphere of Sacrobosco and its commentators*. Chicago. University of Chicago Press.