

Estudio crítico

Vicente Mut

Víctor Navarro Brotons



Biblioteca Virtual de Polígrafos

ESTUDIO CRÍTICO FIL

© DEL TEXTO: el autor

© DE LA EDICIÓN DIGITAL: [Fundación Ignacio Larramendi](#)

Fecha de la edición digital: 2019

Lugar: Madrid (España)

DOI: <http://dx.doi.org/10.18558/FIL159>



Libro electrónico realizado por [DIGIBÍS](#).

VICENTE MUT

VÍCTOR NAVARRO BROTONS

Doctor en Ciencias Físicas



D. VICENTE MUT.

Cronista del reino de Mallorca en 1628.



DATOS BIOGRÁFICOS

Vicente Mut Amengual (¿Armengol?) nació, seguramente en Palma de Mallorca, el 25 de octubre de 1614. Era hijo de María Amengual y de Juan Mut, que pertenecía desde 1606 al estamento de «ciudadans militars», como capitán de caballos y lanzas, por un privilegio real perpetuo otorgado por Felipe II a él y a sus descendientes. Mut realizó sus primeros estudios en el Colegio de Montesión, donde ingresó a los 15 años.

El Colegio de Montesión se fundó en Palma bajo los auspicios del jesuita mallorquín Jerónimo Nadal, quien, formado y graduado en la

Universidad de París, llegó a ser lector de matemáticas en esta Universidad; en poco tiempo llegó a ser hombre de confianza de Ignacio de Loyola y se convirtió en su secretario; entre otros cargos, Nadal fue rector del primer colegio creado por los jesuitas en Mesina, que abrió sus puertas en octubre de 1548; en él implantó el nuevo método de estudios promovido por los jesuitas, de carácter humanístico y basado en los métodos y la disciplina parisinos. Las reglas por las que debía regirse el colegio, redactadas por Nadal, se convertirían en la base de la ulterior «Ratio studiorum Societatis Iesu».

Entre los profesores que enseñaron en el Colegio de Montesión en el siglo XVI destaca Macià Borrassà, nacido en Palma en 1531. Formado en la Universidad de Gandía, ingresó en la Compañía de Jesús a los veinticinco años y, en 1562, obtuvo el grado de maestro en Artes por la Universidad de Gandía. Regresó a Mallorca y fue el primer lector de la cátedra de Artes del Estudio General de Mallorca. Asimismo, Borrassà ocupó la cátedra de Teología de Montesión, siendo también rector de este colegio los trienios de 1573, 1591 y 1597. Borrassà dedicó especial atención a las matemáticas, disciplinas de las que dejó varios manuscritos, entre ellos un *Epitome scientiarum mathematicarum*, además de nutrir de libros de estas materias la biblioteca del Colegio.

Otro intelectual destacado de la Mallorca renacentista es Joan Baptista Binimelis (m. 1616). Binimelis estudió medicina en Valencia y amplió después sus estudios en Roma. En Valencia se formó en matemáticas y astronomía con Jerónimo Muñoz, catedrático de estas materias en los años de estancia de Binimelis en esta ciudad. Colaboró activamente como cartógrafo junto a su maestro Muñoz en los trabajos de delimitación de fronteras entre las coronas de Aragón y Castilla, particularmente en la fijación de los límites de los dos reinos en la Sierra Negrete. Binimelis fue, al parecer, autor en 1566 de uno de los tres mapas aportados para resolver el litigio.

Binimelis se graduó de bachiller, maestro en artes y doctor en medicina en 1568. Posteriormente, en Roma, estudió teología y arqueología en el círculo de Girolamo Cardano, con el que acaso profundizó en cuestiones astronómico-astrológicas y cartográficas. Se ordenó de presbítero y, en 1575, era beneficiado de la Catedral de Mallorca, llegando a ser rector de la parroquia de Marraxí. En 1572 se le encargó levantar un mapa «secreto» de Mallorca con propósitos defensivos, que realizó en 1586, detallando particularmente el litoral y las torres de vigilancia. Concluido el mapa los *jurats* de Palma le encomendaron la redacción de una historia de Mallorca que quedó inédita hasta 1927. La obra incluye diversos tratados como el «Tractat del temperament propi de la illa de Mallorca». Su interés por las matemáticas, la astronomía y la astrología queda manifiesto en las obras que dejó manuscritas, lamentablemente perdidas, como un *Tractatus mathematicarum* y las *Quaestio an sint plures coeli in universo* y *Quod coelum sphaericae sint figurae*. Estas cuestiones son sin duda resultado de las enseñanzas de Muñoz, que las discute ampliamente en sus obras. Por otra parte, el inventario de sus bienes incluye *una trompa, de mirar de lluny i altre trompa*, que parecen aludir a telescopios de la época.

La *Historia de Mallorca* de Binimelis fue continuada por Joan Baptista Dameto (c. 1554-1633), interesado también por la astronomía y vinculado a Montesión y a la Compañía de Jesús. Fue alumno de Montesión y en 1602 ingresó en la Compañía como novicio. Estuvo destinado en Barcelona, Calatayud y Zaragoza, si bien finalmente abandonó la Compañía en 1614. De regreso en Mallorca estudió derecho doctorándose en 1621. En 1631 los *jurats* de Palma lo mencionan como Cronista General del reino de Mallorca. Dameto escribió una *Historia general del Reyno Baleárico* en dos volúmenes, de los que sólo se imprimió el primero en 1632. El segundo ha desaparecido. El volumen impreso se basa en gran medida en la obra de Binimelis y llega hasta la muerte de Jaume II. La *Historia* de Dameto fue continuada por Vicente Mut. Una muestra de los conocimientos de matemáticas de Dameto es su determinación de las coordenadas geográficas de Mallorca siguiendo los procedimientos recomendados por Jerónimo Muñoz.

Volviendo a los datos biográficos de Mut, el año 1629 figura como novicio en el catálogo de la Sociedad de Jesús en el noviciado de Tarragona, pero el año 1630 ya no

figura, lo que indica que abandonó la Compañía antes de empezar este curso. De nuevo en Mallorca, Mut continuó sus estudios en el Estudi General Lul·lià, doctorándose en Derecho Civil y Eclesiástico. Mut ejerció la profesión de abogado en Palma. Se conocen algunas alegaciones jurídicas presentadas por Mut en diferentes tribunales. Paralelamente siguió la carrera castrense llegando a ser sargento mayor del Reino, el segundo en la cadena de mando después del virrey, cargo que desempeñó entre 1640 y 1681. Entre sus responsabilidades, además de transmitir las órdenes a los capitanes de cada compañía, estaba la de pasar revista del estado del armamento y pertrechos, la formación a adoptar en el campo de batalla y la regulación del alojamiento. Renunció al cargo en 1681 debido a su progresiva e irremediable pérdida de visión. El mismo año 1640 fue nombrado también ingeniero militar del Reino y al año siguiente cronista en sustitución de Juan Dameto, ya fallecido. Como tal cronista continuó la *Historia general del Reyno Baleárico*, de Dameto, hasta los hechos acaecidos en la isla de Mallorca hasta el año 1650.¹ Esta obra de Mut, junto a la narración histórica, contiene numerosas aportaciones en materias como la geografía, medicina, defensa y astronomía, además de un mapa de la isla de Mallorca que es una réplica del que había trazado Binimelis.

En 1643 Mut fue nombrado contador de las fortificaciones y pocos meses después sobrestante de las mismas. Estos cargos implicaron su participación, como dirigente, en la construcción de varias obras de fortificación en diferentes zonas estratégicas de Mallorca y Menorca. Recordemos que, además de las eventuales amenazas militares, consecuencia de los conflictos bélicos con Francia, en aquellos días las Islas Baleares estaban sometidas de manera constante a la amenaza de desembarcos de sarracenos o a las incursiones de piratas de cualquier procedencia. Como ingeniero militar, Mut intervino en la reparación de las murallas de la fachada marítima de Palma, la reforma del hornabeque (tipo de fortín) de las murallas de Palma, la ampliación del castillo de Sant Carles y trazó las nuevas murallas de la Alcudia en 1658. En Menorca intervino en la traza del baluarte de Sa Font, en las murallas de Ciutadella y en el castillo de Sant Antoni de Fornells, cuya construcción se había iniciado a principios del siglo XVII y que, el año 1674, cuando Mut viajó a Menorca, estaba sin terminar. También intervino en el castillo de Sant Felip de Maó, aunque en menor grado.

Cabe preguntarse donde recibió Mut formación en cuestiones de ingeniería militar y artillería. Probablemente lo hizo asistiendo a una Escuela de Artillería que existía en Mallorca asociada a la Universidad.

¹ Vicente Mut comenta los resultados de Dameto y señala los errores, particularmente en lo tocante a la longitud. Véase *Historia general del Reino de Mallorca*, 1841, tomo III, pp. 311-312. Citado por Contreras (2010). Como veremos más adelante, una de las empresas de Mut fue reformar las longitudes geográficas.

Mut, además, tomó parte en las Campañas de Cataluña, alistado en el tercio de D. Pere de Santacília, cabeza de la bandería de los «Canamunt». Desempeñó diversas representaciones políticas. Fue consejero del Gran i General Consell en 1643 y jurado los años 1646 y 1650 por el estamento de los ciudadanos militares. Fue comisionado en 1651 por el Reino de Mallorca en la Corte de Madrid para solucionar ciertos puntos de fricción entre el estado y la iglesia. El 1 de abril de 1653 el rey le confirió privilegio de nobleza.

Mut se casó en 1643 con Aina Costurer, con la que no tuvo hijos, y en segundas nupcias con María Aina Comelas con la que tuvo su única hija, María. Murió el 27 de abril de 1687.²

LAS OBRAS DE VICENTE MUT

Mut publicó obras de teoría política, historia, hagiografía, fortificación y astronomía. Además, confeccionó un mapa de Mallorca y dejó otros trabajos manuscritos.³ En 1640 publicó en Madrid *El príncipe en la guerra y en la paz*. La obra describe la personalidad del emperador Justiniano y narra sus diversas empresas en la guerra y en la paz. Mut aprovecha este relato para exponer su doctrina política del Estado, que concordaba perfectamente con las ideas contrarreformistas sobre el asunto y es claramente antimachiavélica: el príncipe tiene que supeditar la política a los valores morales y el estado a la religión.⁴

En 1650 publicó su obra más conocida: *Tomo II de la Historia del Reyno de Mallorca*, que, como hemos adelantado, continuaba la de Binimelis-Dameto. Un año antes había comenzado a publicar sus trabajos de astronomía a los que dedicaremos especial atención. En efecto, en 1649 aparecía en Palma la epístola sobre el Sol alfonsí: *De Sole Alfonsino restituto*, en la imprenta de Pere Guasp. Sus otros trabajos de astronomía: *Observationes motuum caelestium* y el *Cometarum anni MDCLXV: enarratio physico-mathematica* tardarían 17 años en publicarse. No obstante, sabemos que sus intereses por la astronomía fueron bastante tempranos ya que en las *Efemérides generales de los movimientos de los cielos por LIV años* (Barcelona, 1638), del portugués Luis Freire de Silva, figuran varios

² Para los datos biográficos y actividades de Mut, véase Bover (1986), p. 536; Miralles i Sbert (1897-1898); Segura i Salado (1987); Serra Barceló (2006); Fornals Villalonga (2006); Joan March, *Revista Balear* (en prensa), Contreras Mas (2010).

³ Entre ellos un tratado de relojes solares basado en las obras de Oronce Finé («De solaribus horologiis, et quadrantibus libri IIII», incluido en su *Protomathesis* (París, 1532), Pedro Ruiz (*Libro de relojes solares*, Valencia, 1575) y otros autores. Actualmente el manuscrito de esta obra de Mut se conserva incompleto en la biblioteca del librero mallorquín Manuel Ripoll Billons, que nos ha permitido verlo.

⁴ Véase Trias Mercant (1985), pp. 184 y ss.

poemas laudatorios (tres sonetos y una décima) de Mut dedicados al autor. Esto indica también que hacia 1638 Freyre y Mut entablaron relación científica. Dado que sabemos que Freyre trabajaba al servicio del virrey de Cataluña es probable que Mut y Freyre se encontraran allí. Recordemos que Mut participó en la «Guerra dels Segadors» hacia 1640.

En 1664 Mut publicó un importante tratado de *Arquitectura militar* en el que mostró su enorme erudición y su dominio de las matemáticas y las técnicas de fortificación. El libro está dividido en treinta y ocho capítulos. El primero se dedica a la historia de las fortificaciones y a las armas que se utilizaban en la antigüedad. En el segundo capítulo se trata de las unidades de medida y se definen los términos utilizados en fortificación. En los capítulos posteriores se van estudiando los lados y ángulos de una plaza fuerte regular y luego sus líneas principales, como golas, traveses, cortinas y frentes. Terminado el estudio de la planta de una fortificación, pasa a ver como se hacía su delineación en el papel y en el terreno. Se estudia después el perfil, viendo los caballeros, parapetos, terraplenes y murallas. Luego se analiza la falsabraga, el foso y la estrada encubierta que rodeaban la plaza fuerte. Concluye esta parte con las obras exteriores, como revellines, hornabeques, tenazas, medias lunas y otras construcciones que completaban las defensas de la fortificación. A partir del capítulo treinta y cuatro se pasa a estudiar cómo mejorar una fortificación irregular, terminando el libro con unos axiomas que debían cumplirse en todas las plazas fuertes.⁵

El esquema que sigue Mut es el habitual en los libros de fortificación de la época, pero la forma que tiene de desarrollarlo no es la usual, ya que no se limita a presentar las partes de una plaza fuerte y a explicar cómo se delinean en el papel y como se construyen en el terreno. Además, en casi todas las secciones presenta y discute las opiniones de diversos autores, inclinándose finalmente por alguna de ellas, pero no sin volver a matizarla.

En su obra Mut recurre frecuentemente a las matemáticas para resolver diversos problemas de fortificación. Así, al estudiar la forma de inscribir un polígono en una circunferencia, al explicar cómo se halla el área de un baluarte o al calcular el volumen de tierra que se debe mover para edificar una fortificación. Para ello recurre a diversas proposiciones y teoremas matemáticos, como el teorema de Pappus-Guldin para calcular el sólido del parapeto.

Para facilitar la delineación y la construcción de las fortificaciones, Mut propone diversos instrumentos, como la brújula, el «compás con pínulas que se abre por un

⁵ Sobre Mut como ingeniero militar y sobre esta obra véase Navarro Loidi (2004), vol. I, p. 264 y ss; Fornals Villalonga (2006).

semicírculo graduado», el cuadrante, el sextante o «triángulo observatorio», la ballestilla, el planisferio y la pantómetra o compás de proporción, entre otros muchos «acomodados que sirven para la geometría práctica».

En fortificación Mut se mostró bastante ecléctico. Adoptando diferentes formas de entenderla provenientes de las diferentes escuelas que existían en la época. Resulta, en este sentido, sorprendente la cantidad de autores que cita. Además de los matemáticos de la antigüedad como Arquímedes o Euclides, menciona a una larga serie de autores coetáneos suyos como Snell, Villalpando, Marolois, Doguen, Van Ceulen, Tacquet, Clavius, Guldin, Pagan, Mersenne, Gassendi, Stevin, Lechuga y Firrufino, entre otros muchos. Puede decirse que Mut conocía bien a los autores más importantes de su tiempo sobre el tema, así como que tenía cierta experiencia práctica en la construcción de las fortificaciones. No obstante, la obra exigía del lector una formación previa, lo que la hacía difícil para los no iniciados. Esto seguramente limitó su difusión.

En la parte de esta obra dedicada a la artillería hemos encontrado el primer intento conocido de incorporación de la cinemática galileana al estudio del tiro de proyectiles en la literatura científicotécnica española del siglo XVII. Así, al estudiar los «tiros de proyección», dice que una bala disparada desde lo alto del árbol o palo de una galera, por mucha velocidad que la galera lleve, caerá al pie del árbol. La causa de este comportamiento del proyectil según Mut es que la bala toma la dirección de la línea que forma el movimiento del que la tira de manera que cae al pie del árbol porque va siguiendo la dirección del impulso. La explicación es ambigua e imprecisa; no obstante, la referencia inmediata a Galileo, Mersenne y Gassendi para más detalles sobre el asunto, indica inequívocamente la fuente de estas ideas toscamente expuestas.

Más adelante, y siempre en el contexto de la discusión de cuestiones de balística, menciona confusamente la ley galileana de la caída de graves: «la bala o piedra cuando va cayendo al suelo en cada espacio adquiere velocidad en duplicada razón de los tiempos; y la aceleración le produce ímpetu violento. No es sólo movimiento natural, sino que es mixto de natural y violento, sin incompatibilidad alguna...». El enunciado, tomado al pie de la letra, es evidentemente erróneo. No obstante eso, al estudiar el caso del tiro horizontal analiza correctamente la trayectoria del proyectil en forma parabólica, basándose en el carácter mixto del movimiento y en la proporcionalidad entre los espacios recorridos y los cuadrados de los tiempos.⁶

⁶ Véase Víctor Navarro Brotons (1979), donde expuse por primera vez este aspecto de la obra de Mut. También, en mi tesis doctoral, Navarro Brotons (1978). Véase también Juan Navarro Loidi, *op.cit.*

Estas ideas sobre el movimiento de los proyectiles le servirán a Mut para sugerir, a manera de analogía, una trayectoria parabólica para el cometa de 1664, como veremos más adelante.

Sobre la artillería, Mut publicó también *Anotaciones sobre los compendios de artillería* (Mallorca, Rafael Moyá y Tomás), obra de la que no se conocen ejemplares, ni tampoco del *Compendio de la formación de escuadrones, reducidos a su fácil y breve ejecución de ellos* (Mallorca, 1676). Y sobre cuestiones también relacionadas con la milicia, publicó *Instrucción para la milicia y sus oficiales* (Mallorca, Rafael Moyá y Tomás, 1674) e *Instrucción general para la gente y oficiales de guerra del presente Reyno de Mallorca* (Mallorca, Rafael Moyá y Tomás y Joaquín Bestard, 1663). José Almirante Torroella, general de Ingenieros y polígrafo militar del siglo XIX, añade un manuscrito titulado *De la guarnición precisa y necesaria de los soldados y artilleros, repartidos en los baluartes de la ciudad de Palma*.⁷

Como hemos adelantado, Mut diseñó un mapa de Mallorca titulado *Insula Maioricae. Latitudo G 39.35 Longitudo 25.15*, impreso en 1683 y dedicado por los jurados del reino al virrey Manuel de Sentmenat. Orientado con el SE en la parte de arriba, muestra un perímetro y unas proporciones más modernas que los mapas anteriores: llama la atención la regularización del litoral y que los accidentes costeros adquieren un mayor realismo. No figuran caminos, pero sí las torres vigía y los faros. Según Rosselló, de los 70 topónimos del litoral, el 96 % se pueden considerar correctos, proporción similar a la de los nombres del interior.⁸

En 1646 escribió un poema en el cual describía una fiesta caballeresca que tuvo lugar en el paseo del Borne de Palma, seguramente para congraciarse con los estamentos nobles de la isla.⁹ A raíz de la epidemia de peste que afectó a Mallorca en 1652 se hizo cargo de la redacción de la ejecución impuesta en Mallorca sobre los bienes reales, cuya relación se imprimió en 1654.¹⁰ Se ocupó también de textos de orientación religiosa, como la

⁷ Almirante (1876, p. 549),

⁸ Sobre la obra cartográfica de Mut, véase Rosselló (2006 y 2008).

⁹ *Relación del estafermo, que se corrió en Mallorca, domingo a 10 de junio de 1646*. Palma de Mallorca. Este opúsculo le ha sido atribuido por Bover. En 1987, Joan Alemany Mir hizo una reimpresión del ejemplar de la Biblioteca Lluís Alemany, bajo el título *Vicente Mut Armengol (1614-1687); bibliografía*, donde además del opúsculo citado, se incluyen las obras de Mut que se encuentran en dicha biblioteca.

¹⁰ *Relación de la execución de la talla impuesta en Mallorca sobre los bienes de realengo en el año 1654 por los gastos del contagio*.

biografía de la venerable sor Isabel Cifre¹¹, fallecida en olor de santidad, y la edición de un Sermón publicado en santa Eulalia por el P. Thomas de Vissiedo, confesor del obispo de Mallorca (1656).¹²

LA ASTRONOMÍA DE PREDICCIÓN EN LA ÉPOCA DE VICENTE MUT

En las últimas décadas del siglo XVI el astrónomo más desatado e influyente de Europa fue el danés Tycho Brahe. Brahe pertenecía a una de las familias de la nobleza danesa que habían controlado el poder político y social durante al menos doscientos años. El rey de Dinamarca, Federico II, le ofreció la isla de Hven y apoyo financiero con el que Tycho Brahe construyó lo que puede considerarse un centro de investigación que contaba con artesanos, discípulos, ayudantes y colaboradores; allí se fabricaban los instrumentos con los que se realizaban las observaciones; se fabricaba papel y se imprimían los trabajos; existía también una biblioteca y un laboratorio alquímico. En cuanto a los instrumentos, Tycho realizó innovaciones en las pínulas para las miras o visuales, en las escalas, en los materiales, en el diseño de los instrumentos, y en el control constante de su uso y resultados. Los instrumentos del Observatorio de Brahe significaron un cambio cualitativo en la precisión de las observaciones: se pasó de errores de observación superiores a 10' a errores inferiores a 1'. Pero además Tycho Brahe desarrolló un programa sistemático de observaciones, llevando a cabo varios miles de observaciones de estrellas, del Sol, de la Luna y de los planetas. Con estas observaciones preparó un nuevo catálogo estelar y estableció que la precesión de los equinoccios era de 51" por año y uniforme. Encontró una mejor cifra de la oblicuidad de la eclíptica, y valores mucho mejores de los parámetros de la teoría del Sol; también mejoró la teoría lunar, descubriendo dos desigualdades en longitud y latitud. A los planetas los observó en todas las partes de su órbita, y no meramente en configuraciones particulares con el Sol, como era habitual. Tycho nunca aceptó la verdad de la teoría heliocéntrica, por razones astronómico-cosmológicas y físicas y también por las derivadas del significado literal de determinados pasajes de las Sagradas Escrituras que se acomodaban bien con los otros argumentos. No obstante Tycho consideró la astronomía de Copérnico superior a la de Ptolomeo en aspectos muy relevantes, aunque criticó a Copérnico por derivar los parámetros a partir de muy pocas observaciones. Con el propósito de asumir las mejoras de la teoría de Copérnico y evitar el

¹¹ *Vida de la venerable madre soror Isabel Cifra, fundadora de la Casa de la Educación de la Ciudad de Mallorca, Mallorca, Casa dela Viuda Pizá, 1655.*

¹² *Sermón de Sancta Eulalia Barchinonense, que predicó en su parrochia de Mallorca, el muy R. P. presentado F. Thomás de Vissiedo, confesor del Muy Ilustrísimo, y Reverendiss. Señor D. Miguel Pérez... Dalo a la estampa el sargento mayor d. Vicente Mut ...Mallorca, por los herederos de Gabriel Guasp, 1656.*

inconveniente del movimiento de la Tierra, ideó un nuevo sistema en el que todos los planetas giraría alrededor del Sol y el Sol alrededor de la Tierra, que quedaría inmóvil en el centro del Universo. En este sistema, los círculos que recorren el Sol y Marte se cortan necesariamente. Tycho consideró que esta intersección era posible, ya que había llegado al convencimiento de que no existían esferas sólidas. Pero salvo para los modelos del Sol y la Luna, cuyos parámetros determinó de nuevo, el resto del sistema quedó descrito en sus rasgos cualitativos. Además, la parte planetaria de su Universo permaneció copernicana incluso en cuanto a la escala, ya que mantuvo los 3' de paralaje adoptados por Copérnico para el Sol. Aunque no encontró paralaje para las estrellas, estaba convencido de que estaban después de Saturno.¹³ El establecimiento de nuevos modelos a partir de los datos acumulados por Tycho y sus colaboradores sería obra de Kepler, que construiría una astronomía completamente nueva, basada en esos datos, pero plenamente copernicana.

Tycho desarrolló con sus observaciones una nueva teoría solar que adolecía de dos graves defectos: la paralaje solar era totalmente errónea y al corregir las alturas observadas introdujo errores en las longitudes de hasta 7' cuando las alturas observadas eran inferiores a 20°. Y debido a ello, al introducir esas correcciones de paralaje en las observaciones del solsticio invernal, obtuvo un valor de la oblicuidad de la eclíptica demasiado alto: 23° 31' 1/2, lo que era una nueva fuente de error. El progreso hacia los modernos parámetros de la teoría solar en el siglo XVII se debió en gran medida a la reducción de la paralaje solar hasta aproximarse al valor actualmente aceptado de 8,794".

Tycho también se ocupó de los efectos de la refracción, a partir de sus esfuerzos por precisar la latitud de su observatorio. Aunque Ptolomeo había hecho un estudio detallado de la refracción en su *Optica*, y él y muchos de los astrónomos posteriores eran conscientes de que la luz procedente de los astros se refractaba, hasta el siglo XVI no se planteó la necesidad de hacer correcciones en ese sentido. Para Tycho la causa de la refracción (vapores e impurezas del aire) sugería que sus efectos no sólo variaban de estación a estación, sino también de lugar a lugar y según las condiciones del clima. El resultado de sus investigaciones fue una tabla que Tycho pensaba que sólo podía proporcionar valores aproximados. Tycho consideró que para ángulos superiores a 45° la refracción era despreciable para el caso del Sol y la Luna, mientras que para las estrellas cesaba a los 20°. Como Tycho determinó sus valores empíricamente, a partir de la diferencia entre la declinación observada y la verdadera y la declinación estaba afectada por una paralaje excesiva, la tabla de refracciones de Tycho proporciona valores del tamaño de sus

¹³ Sobre Tycho Brahe y su obra la literatura es inmensa. Véase la obra de Thoren (1990), como una excelente síntesis de su vida y obras. Véase también la síntesis del propio Thoren (1989).

correcciones de la paralaje.¹⁴ No obstante, como para Tycho era una tabla de refracciones solares, nunca la usó en situaciones en las que no usó también correcciones de paralaje y ecuaciones solares que eran la causa y la compensación de las imperfecciones de la tabla.

Kepler era consciente de las contradicciones que implicaba tener tres tablas diferentes de refracción, para el Sol, la Luna y las estrellas y de que las correcciones se pararan muy lejos del cenit. En su *Parte óptica de la Astronomía* de 1604 proporcionó una ley de la refracción que daba buenos resultados para alturas por encima de los 10° y construyó una sola tabla para todos los cuerpos celestes. Sin embargo, en las *Tablas rudolfinas* presentó las tablas de Tycho Brahe.¹⁵

Hacia mediados del siglo XVII resultaba claro a un buen número de astrónomos que las correcciones interconectadas de la paralaje solar y la refracción eran de fundamental importancia para la astronomía predictiva o de posición. Si esas correcciones eran erróneas, entonces las declinaciones solares medidas lo eran también, lo que conducía a errores fundamentales en los parámetros de la teoría solar, la oblicuidad de la eclíptica, la ubicación de los equinoccios y la excentricidad solar. Como el Sol es el centro de todos los movimientos planetarios, esos errores se propagaban a todas las teorías planetarias. Puede decirse, en suma, que las teorías convergieron hacia la teoría moderna principalmente y en la medida en que los valores adoptados para la paralaje disminuyeron.¹⁶

Como señala Curtis Wilson, en las décadas siguientes a la publicación de las obras de Kepler, incluidas las *Tablas rudolfinas* (1627), los avances en las teorías astronómicas y la mejora en la precisión de las tablas dependió en gran medida de la adopción gradual y sucesiva en algunos casos, abrupta y sistemática en otros, de seis innovaciones keplerianas.¹⁷

¹⁴ Como Maeyana ha mostrado, Tycho determinó los valores definitivos de la refracción del Sol exclusivamente por su búsqueda matemática de acuerdo entre la teoría y la observación, es decir, no como un parámetro independiente. Sus valores muestran una mayor dependencia de la altura que los actuales; es por ello por lo que sus tablas de refracción son diferentes de las de los planetas y las estrellas. Véase Maeyana (1974), p.47. Este trabajo junto a otros de Maeyana han sido reeditados en Maeyana (2003).

¹⁵ Sobre Kepler, como en el caso de Tycho Brahe, la literatura es inmensa y continuamente creciente. La biografía de referencia sigue siendo la de Max Caspar (1993 y 2018 en versión castellana). Una útil síntesis de su obra en Gingerich (1989).

¹⁶ Véase Maeyana (1974).

¹⁷ Wilson (1989a, IX).

1. Reemplazar el Sol medio¹⁸ por el Sol verdadero. De este modo las líneas de los ápsides pasarían ahora por el Sol verdadero y las excentricidades deberían medirse desde él.

2. Adopción, como corolario, del postulado de que cada plano orbital debe pasar por el Sol verdadero con una inclinación constante con respecto a la eclíptica. Esto simplificaba enormemente la cuestión de las latitudes de los planetas.

3. La bisección de la excentricidad de la órbita de la Tierra. Ptolomeo, en sus modelos para Venus y los planetas superiores ya había incorporado la bisección de la excentricidad. Ello llevaba consigo la introducción de lo que se llamaría el punto ecuante o centro en torno al cual el planeta se movía con velocidad angular uniforme. En la antigüedad, Hiparco y Ptolomeo, para representar el movimiento del Sol y dar cuenta de la desigualdad de las estaciones, introdujeron un modelo basado en una excéntrica; es decir, el centro del orbe solar no coincidía con el centro de la eclíptica, ocupado por la Tierra. La separación entre estos centros era la excentricidad. Si a es el radio de la órbita, la excentricidad era una fracción de este radio $a.e$, siendo e un número inferior a 1. Así, si el Sol se mueve uniformemente en torno a su órbita, desde la Tierra parece moverse más lentamente cerca del apogeo y más deprisa en los alrededores del perigeo. Sin embargo, en el caso de los planetas, Ptolomeo no los dispuso en círculos excéntricos a la Tierra (o al Sol, en astronomía heliocéntrica) como lo había hecho con el Sol. Consideró que necesitaba introducir un segundo círculo, además de la excéntrica, centrado en el punto X, desde el cual el planeta se movía con velocidad angular constante. Pero ahora el planeta no se movía uniformemente con respecto al centro de su órbita, sino con respecto a ese nuevo punto X, el punto ecuante. Este modelo se acerca mucho a la elipse kepleriana con dos focos, ya que un planeta que se mueve en torno al foco ocupado por el Sol, de acuerdo con las leyes de Kepler, se mueve casi uniformemente en torno al foco vacío.¹⁹ En este modelo la excentricidad está partida en dos: la mitad corresponde a la distancia del punto ecuante al centro y la otra mitad, del centro a la Tierra (o al Sol).²⁰

¹⁸ El Sol medio es un cuerpo imaginario que se mueve uniformemente alrededor de la Tierra. Representa la posición que el Sol tendría si el centro de su órbita fuera la Tierra. Y en astronomía heliocéntrica representa la posición del Sol en el centro de la órbita de la Tierra si esta se moviera uniformemente. El Sol medio había sido tradicionalmente el punto de referencia de las órbitas y movimientos planetarios.

¹⁹ Exceptuando el caso de Marte, las excentricidades de los planetas son tan pequeñas que las diferencias entre el movimiento kepleriano y el movimiento circular uniforme con ecuante no se pueden detectar a ojo desnudo (a simple vista) y con los métodos usuales de medidas angulares. Véase Wilson (1989a y b).

²⁰ El punto ecuante o centro del movimiento uniforme estaba situado a doble distancia de la Tierra que el centro del excéntrico. Kepler fue el primero que aplicó la bisección de la excentricidad a la teoría solar. Ello significa que, en términos heliocéntricos, el centro de la órbita de la Tierra estaba sólo a la mitad de distancia del Sol que, en las teorías anteriores, siendo el resto de la desigualdad explicado por el supuesto

recorrido.²¹ Por ello fue frecuentemente ignorada y sustituida por diversos artificios geométricos. Estos recursos deberían aproximarse a los resultados que proporcionaba la ley de las áreas o ajustarse a las 14 observaciones de Tycho Brahe de las longitudes heliocéntricas de Marte con las que Kepler había contrastado su ley de las áreas.

6. Adopción de la tercera ley de Kepler, que establecía una proporcionalidad entre los cubos de los periodos de los planetas con los cuadrados de sus distancias medias al Sol. Kepler no empleó esta regla en la construcción de sus tablas, pero a la larga fue de la mayor importancia para construir la mecánica celeste newtoniana.

Por otra parte, los progresos en la astronomía de predicción se vieron enormemente facilitados por la aparición de nuevos instrumentos que, como el telescopio, ampliaron extraordinariamente el alcance de la mirada humana, o que, como el micrómetro, aumentaron la precisión considerablemente. A ello habría que añadir otros instrumentos también muy relevantes, como el péndulo para medir el tiempo, y la mejora de los ya existentes, como las meridianas instaladas en iglesias, de las que una de las más importantes fue la de la basílica de San Petronio en Bolonia, renovada por Giovanni Domenico Cassini, y usada por el mismo Cassini y por Giambattista Riccioli. Con sus 66,8 metros de longitud se trata de la meridiana más larga del mundo. Este preciso instrumento astronómico sólo consta de dos piezas, un agujero (foro gnomónico) de 2,5 cm. de diámetro y una línea de bronce sobre el suelo perfectamente orientada en la dirección norte-sur.

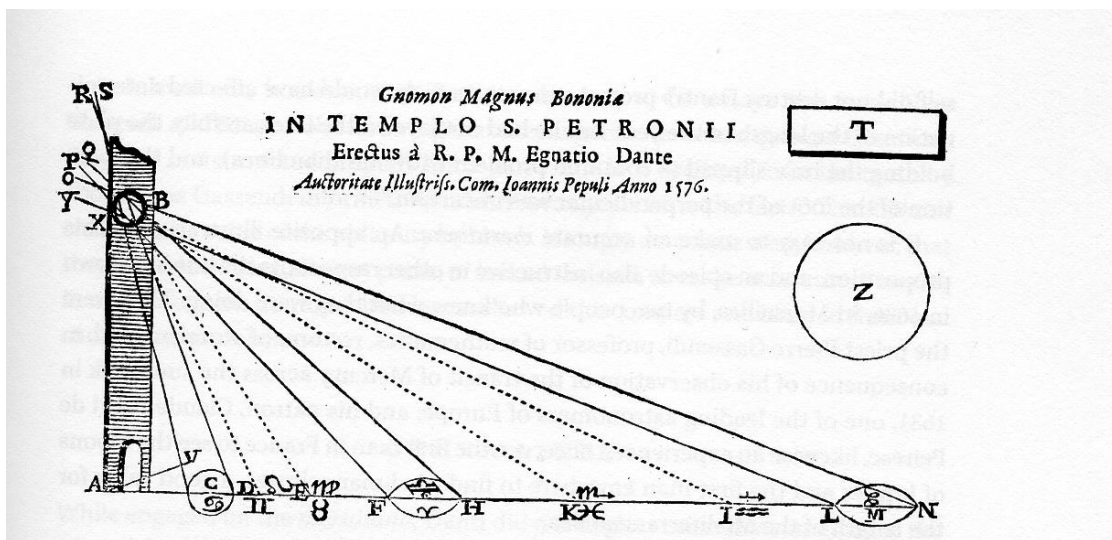


Fig. El Sol en la meridiana de San Petronio de Bolonia diseñada por Egnatio Danti, según Riccioli

²¹ Kepler, mediante un círculo auxiliar, estableció la ecuación: $t = \theta + e \cdot \text{sen } \theta$, siendo t el tiempo y θ la llamada anomalía del excéntrico. Esta ecuación no admite una solución fácil. Kepler, de hecho, para determinar θ , es decir, la posición del planeta en un tiempo dado, usó un método iterativo y desafió a los matemáticos a que encontrarán un método mejor.

Así, gracias a los nuevos instrumentos, problemas como evaluar los tamaños y distancias de los astros se vieron enormemente facilitados en su solución. Estimar el tamaño de un planeta con un telescopio era una tarea difícil. Hortensio y Horrocks usaron varios métodos. Uno era determinar el tamaño angular del campo del telescopio y estimar que parte del campo estaba ocupada por el disco del planeta. Otro era comparar el tamaño del planeta con otro planeta o con la Luna. La introducción del micrómetro permitió notables avances.²²

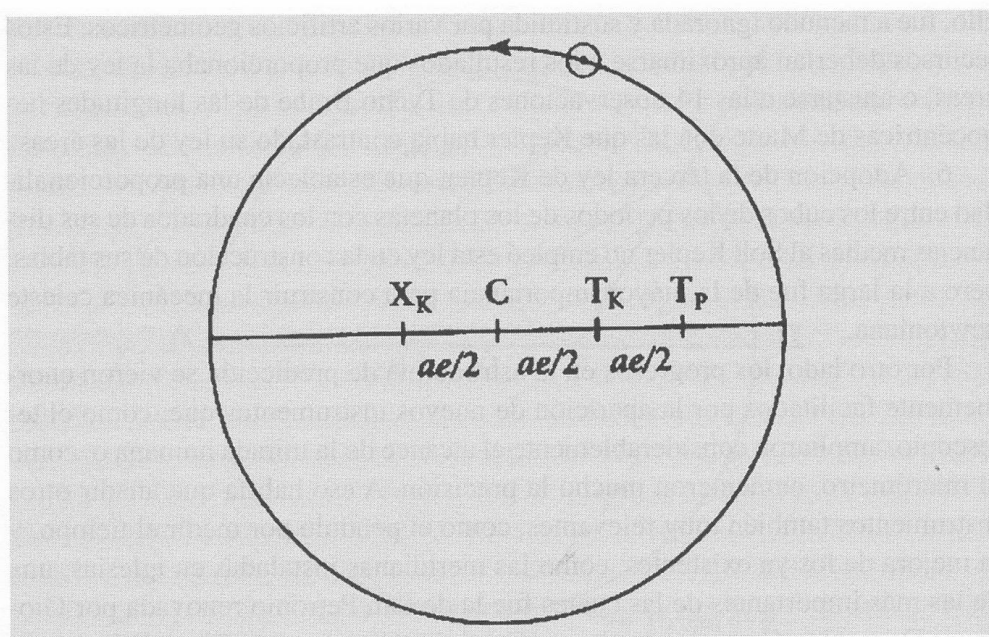
Hacia mediados del siglo XVII los viejos esquemas de tamaños y distancias se estaban descartando de manera general. Los astrónomos consideraron cada vez más que los diámetros aparentes eran más pequeños de lo que se pensaba, pero aún no tenían un método para medir las distancias absolutas. En su *Almagestum novum* el astrónomo jesuita Giambattista Riccioli rechazó el método de los eclipses y ensayó el tradicional de la dicotomía lunar usando un telescopio astronómico nuevo cuyo campo le permitía ver la Luna entera de una vez. Riccioli y Grimaldi encontraron una paralaje solar de 27'' en el perigeo y de 29'' en el apogeo y sobre la base de varias medidas Riccioli decidió que la distancia media del Sol a la Tierra era de unos 7300 radios terrestres. En su libro informó de los esfuerzos de Wendelinus que, sobre la base de la dicotomía lunar y la especulación kepleriana de que los diámetros planetarios son proporcionales a sus distancias heliocéntricas, llegó a una distancia solar de 14656 radios terrestres y una paralaje solar de 15''. Durante el tercer cuarto de la centuria la teoría solar se mejoró significativamente gracias a nuevos instrumentos. Cassini, con el recurso de la meridiana de San Petronio concluyó que la paralaje solar no excedía los 12'' y elaboró nuevas tablas de refracción aplicando la ley de Snell.²³

En su primera obra, el *Almagestum novum*, Riccioli rechazó la elipse kepleriana porque no halló la evidencia empírica suficientemente convincente. En el caso de Marte, admitió que la elipse estaba relativamente bien demostrada, pero añadió que la discrepancia entre la observación y el cálculo a partir de otro modelo basado en círculos podría deberse a otras causas que al rechazo de la elipse. Desde un punto de vista geostático, Riccioli consideró a los planetas moviéndose en complicadas espirales. Además, para Riccioli en esta época la bisección de la excentricidad no estaba confirmada por las

²² Véase Van Helden (1985; 1989) y sobre el micrómetro, McKeon (1971).

²³ Sobre Riccioli, en general, véase el volumen editado por Borgato, ed. (2002). Sobre las cuestiones citadas, véase Wilson (1970; 1989b) y Heilbron (1999). Riccioli no aceptó las tablas de Cassini, ya que consideró arbitrarios sus supuestos. En particular se opuso a asignar refracciones finitas a las estrellas por encima de los 45°, para las que ni él ni otros astrónomos habían encontrado evidencia. Sobre Cassini, la paralaje solar y la refracción, véase Heilbron (1999), especialmente pp. 120 y ss. Sobre Wendelinus, véase más adelante.

observaciones de los diámetros aparentes del Sol en el apogeo y en el perigeo. En el modelo de Ptolomeo en el que toda la excentricidad está comprendida entre la tierra y el centro de la órbita del Sol (en astronomía geocéntrica), la distancia entre los dos puntos en el perigeo es menor y en el apogeo, mayor que en la teoría de Kepler, en la que entre el observador y el centro de la órbita sólo tenemos la mitad de la excentricidad. Aunque esas distancias no pueden observarse directamente, tenemos un sustituto en el diámetro aparente del Sol, que es inversamente proporcional a su distancia a la Tierra.²⁴ Entre 1655 y 1661, usando el gran gnomon (la meridiana) de la iglesia de San Petronio en Bolonia, diseñado por Cassini²⁵, Riccioli y Grimaldi llevaron a cabo una serie de medidas del diámetro aparente del Sol; concluyeron que los resultados más fiables eran $31'0''$ para el apogeo y $32'4''$ para el perigeo, lo que implicaba una excentricidad de 0,01691, prácticamente la mitad que la determinada por el procedimiento ptolemaico tradicional.²⁶ Paralelamente Cassini, también con el mismo procedimiento, obtuvo $31^{\circ} 8'$ y $32^{\circ}10'$, lo que conducía también a una excentricidad kepleriana. De este modo, los jesuitas y Cassini confirmaron la bisección de la excentricidad proporcionando un apoyo empírico decisivo a la astronomía kepleriana.



Comparación de las distancias desde los ápsides en los modelos de Ptolomeo y Kepler para la órbita del Sol.

²⁴ Véase Heilbron (1999). Véase una tabla de semidiámetros según distintos autores desde Ptolomeo en Riccioli (1665), Libro I, p. 38.

²⁵ Cassini cambió la posición de la apertura en el techo situándola más alta que la de Danti, lo que permitía que toda la línea meridiana se situara dentro de la Iglesia. Véase Heilbron (1999), p. 89.

²⁶ Véase Wilson (1970).

Por otro lado, y en relación con la cosmografía, existía el urgente problema de las longitudes geográficas, cuyos valores estaban afectados de serios errores, no sólo en la geografía de Ptolomeo, sino en los atlas más recientes de Ortelio, Mercator y Blaeu. Y si bien se idearon nuevos procedimientos, el más fiable continuaba siendo el de los eclipses de Luna, que exigía la colaboración e intercambio de datos entre todos los observadores y la centralización de las mismas. La observación de los eclipses de Sol y Luna, además, tenía un gran valor astronómico para establecer la validez de los movimientos de los astros, diámetros, distancias, etc., de ahí que todos los mejores astrónomos europeos dedicaran una parte sustancial de su actividad a observar los eclipses y a intercambiar sus datos.

EL CULTIVO DE LA ASTRONOMÍA EN ESPAÑA EN LA PRIMERA MITAD DEL SIGLO XVII

En el siglo XVII la actividad astronómica experimentó en España una apreciable decadencia si la comparamos con el siglo anterior y con la tradición medieval. También si tenemos en cuenta que en este siglo los cambios científicos iniciados en Europa en el periodo renacentista, que en astronomía y cosmología podemos simbolizar con la obra de Copérnico, culminaron con la mecánica celeste newtoniana. No obstante, esta decadencia ha de evaluarse de forma relativa y no ha de entenderse como ausencia de actividad astronómica digna de estudio.²⁷ Entre 1601 y 1700 se publicaron en España o por autores españoles un total de 539 impresos con algún contenido astronómico, de los cuales 76 dedicados a todo tipo de pronósticos astrológicos; 75, a los cometas; 55, a los lunarios; 43, a los textos de cosmografía y arte de navegar; 31, sobre temas calendáricos; 31 de astronomía en general; 10 sobre instrumentos y 4 sobre tablas astronómicas. Todo ello por 172 autores, más algunos anónimos. A ello hay que añadir 101 textos de filosofía natural, 29 de literatura antisupersticiosa y 84 de contenido variado, con inclusión de cuestiones de astronomía.²⁸

Uno de los centros de actividad astronómica de interés siguió siendo Madrid, en torno a la Academia de Matemáticas y el Consejo de Indias.²⁹ El destacado cosmógrafo Andrés

²⁷ Sobre la actividad astronómica en España en el siglo XVII véase Navarro Btorons (1978, 1985, 1996, 2000, 2001, 2002a y b, 2003, 2007b, 20014).

²⁸ Estadística provisional realizada por V. Navarro, V. Rosselló, V. Salavert y V. Darás. Un avance de la misma en Rosselló Botey (2000).

²⁹ Sobre la Academia de Matemáticas de Madrid, véase Vicente y Esteban (1991). Sobre el Consejo de Indias, véase también Portuondo (2009) y Brendecke (2009).

García de Céspedes y sus colaboradores del Consejo de Indias llevaron a cabo, a finales del siglo XVI y principios del XVII, una serie de observaciones astronómicas con nuevos instrumentos especialmente diseñados para calcular de nuevo los parámetros de la excéntrica solar.³⁰ Pero además, García de Céspedes propuso la creación de un observatorio astronómico en El Escorial, uno de cuyos principales objetivos sería la elaboración de nuevas tablas astronómicas. Parte de su labor relativa a la elaboración de nuevas tablas fue recogida por Suárez de Argüello. Este autor, abogado de profesión y astrónomo aficionado publicó en 1608 un libro de *Ephemerides*, basado en diferentes autores, entre ellos el catedrático de Astronomía de Salamanca (Muñoz o alguno de sus discípulos), García de Céspedes, Andrés de León, Copérnico y Tycho Brahe.³¹

García de Céspedes, además de cosmógrafo mayor de Indias, se encargó de la cátedra asociada a la Academia de Matemáticas de Madrid que había fundado Felipe II a instancias de Juan de Herrera. El *curriculum* de esta cátedra era similar al establecido en la cátedra de Astronomía y Matemáticas de Salamanca y los contenidos también debieron ser similares, con más énfasis acaso en la Academia en lo relativo a las cuestiones propiamente cosmográficas. El sucesor de García de Céspedes en la Academia y en el puesto de cosmógrafo mayor del Consejo de Indias fue Juan Cedillo Díaz. Cedillo, nacido en Madrid en 1560, estudió al parecer en la Universidad de Salamanca, donde debió asistir a las clases de Muñoz. Cedillo, además de sus diversas tareas como cosmógrafo y profesor, continuó la tarea iniciada por anteriores profesores de la Academia de traducir al castellano obras relevantes de matemáticas y astronomía.

Entre las obras traducidas por Cedillo al castellano figura el *De revolutionibus* de Copérnico, del que llegó a traducir los dos primeros libros y parte del tercero. Se trata,

³⁰ Véase Navarro Brotons (2000, 2002c y 2014).

³¹ *Ephemerides generales de los movimientos de los cielos [...] según el serenissimo Rey Don Alonso en los quatro planetas inferiores, y Nicolao Copérnico en los tres superiores que mas conforma con la verdad y observaciones [...] al meridiano de la Villa de Madrid...*, Madrid, 1608. Picatoste (1891), pp. 306-307, menciona varios manuscritos de astronomía, redactados hacia 1587, que atribuye a Suárez de Argüello. Este autor, abogado de profesión, en el prólogo a sus *Ephemerides* dice que se ha basado principalmente en los trabajos de Andrés de León. Andrés de León, probablemente natural de Valladolid, pertenecía a la orden de los clérigos regulares menores y al parecer había preparado unas nuevas tablas astronómicas. Mantuvo correspondencia con Clavius y Magini sobre cuestiones de astronomía. En estas cartas, habla de sus tablas, para las que dice haber utilizado las observaciones de García de Céspedes (en la carta a Magini) y del "cathedratico de prima de mathematicas de Salamanca" (carta a Clavius) y comenta las coincidencias y discrepancias entre sus datos y los de Tycho Brahe. La carta de Andrés de León a Clavius, Valladolid, 14 de febrero de 1609, en Baldini y Napolitani, eds. (1992). La carta a Magini, Pesaro, 8 de septiembre de 1611, en Favaro (1886), pp. 357-360.

por lo tanto, de la primera versión castellana de la gran obra de Copérnico.³² Cedillo tituló a su traducción *Idea astronomica de la fabrica del mundo y movimiento de los cuerpos celestiales*, aunque no puso su nombre en la portada ni el de Copérnico.

En esta misma introducción, Cedillo presentó algunas ideas cosmológicas no coincidentes totalmente con las de Copérnico, pues aunque sitúa al Sol en el centro del cosmos, dice que los planetas se mueven por el aire cósmico como peces por el agua, tal y como afirmaba ya su maestro Jerónimo Muñoz. También dejó claro que los epiciclos y las excéntricas no son orbes, sino círculos, movidos por inteligencias situadas en el centro de las excéntricas, o del mismo planeta, en los epiciclos.

Entre los manuscritos de Cedillo se conserva también un fragmento de un tratado de la *Sphaera*, expuesta a la manera tradicional, con la tierra en el centro, los cuatro elementos, el primer móvil, el firmamento, etc., probablemente destinado a introducir a los alumnos en estos temas. También se conserva un texto dedicado a la teoría de los aspectos, en el que se advierte la influencia de Tycho Brahe, al que sigue Cedillo en las distancias de los planetas. Entre las observaciones astronómicas de Cedillo figuran las relativas al cometa de 1618.³³ Este cometa de 1618, que dio lugar a la célebre polémica entre Galileo y Grassi, de la que surgiría *Il saggiatore*, de Galileo, fue seguido con atención en España por diversos autores. Nosotros hemos inventariado 18 impresos dedicados al cometa, además de los diversos manuscritos que quedan, de valor muy escaso desde el punto de vista astronómico.

Entre los manuscritos de Cedillo, que incluyen traducciones de diversas obras, figura la traducción del tratado sobre los cometas, de Giovanni Camillo Glorioso, *De cometis dissertatio astronomico-physica habita in Gymnasio Patavino anno Domini MDCXIX... in qua per triplices, easque celebriores hypotheses ultro citroque disputatur*.³⁴ Glorioso fue sucesor de Galileo en la Universidad de Padua y en esta obra discutió ampliamente las diversas teorías sobre la génesis y naturaleza de los cometas y defendió su naturaleza

³² Véase Vicente y Esteban (1991); Esteban y Gómez (1991) La traducción de Cedillo se conserva en la Biblioteca Nacional de Madrid, Ms. 9091. Ha sido editada recientemente por Granada y Gómez Crespo (2019), con un estudio sobre Cedillo y su obra.

³³ Incluidas en el Ms. 9092, fols. 91r-100r, Madrid, Biblioteca Nacional.

³⁴ Biblioteca Nacional de Madrid, Ms. 9093. La letra del manuscrito no es de Cedillo, que no parece que fuera el autor de la traducción, ya que la obra de Glorioso, *Cometis dissertatio astronomico-physica...* se publicó en Venecia en 1624, aunque se basaba en el texto redactado por Glorioso en 1619. Cedillo murió en 1625.

celeste, criticando también la creencia en las esferas celestes. Para Camillo Glorioso los cometas se formaban de exhalaciones de los planetas o del Sol condensadas en el éter. También suscribió la teoría de Kepler de que eran cuerpos transitorios que se movían en línea recta.³⁵ Ignoramos si la traducción se realizó también en el entorno de Cedillo y la Academia de matemáticas, o la llevaron a cabo los jesuitas del Colegio Imperial³⁶. En cualquier caso, es un buen testimonio del interés con que se seguían en la corte los escritos de los autores de otros lugares de Europa.

Cedillo observó el cometa de 1618, y algunas observaciones las realizó en compañía de varios nobles, citados como el «doctor Silveyra», el licenciado «Montenegro», el doctor «Juan Bautista Vélez» y el «procurador Argüello»; también menciona la presencia de frailes dominicos. El instrumento usado para medir distancias angulares era un «radio astronómico». En otro manuscrito anónimo, redactado por un autocalificado discípulo de Cedillo, se exponen las observaciones del cometa y se discute la teoría sobre la formación de los cometas y su carácter de signos o causas de sucesos particulares.³⁷ El discípulo de Cedillo nos dice que su maestro aceptaba que los cometas pueden ser celestes, formados de exhalaciones planetarias, o sublunares, formados a partir de exhalaciones terrestres.

La importancia de la obra de Tycho Brahe para la reforma de la astronomía no necesita ser subrayada. Fue este autor principalmente quién con sus observaciones y gracias a la gran precisión de sus instrumentos hizo posible una revisión en profundidad de los modelos ptolemaicos y, con ello, la nueva astronomía o «física celeste» de Kepler. Como hemos adelantado arriba, Brahe no aceptó, sin embargo, la teoría heliocéntrica y propuso como alternativa su bien conocido sistema, con el que pretendió asumir las ventajas del de Copérnico y evitar los inconvenientes derivados de su teoría basada en el movimiento de la Tierra. Por otra parte, con sus trabajos sobre la supernova de 1572 y el cometa de 1577, y otros trabajos posteriores, Brahe contribuyó de forma muy destacada a cuestionar la existencia de las esferas celestes y la incorruptibilidad de los cielos.

³⁵ Un estudio de esta obra de Camillo Glorioso, en Rosselló (2000 y 2002-2003). Véase sobre Glorioso, Favaro (1983), pp. 325-372 y Baldini (2001).

³⁶ Camillo Glorioso es un autor citado con frecuencia por los jesuitas. Claude Richard, p. ej., lo menciona varias veces.

³⁷ Incluido en el mismo legajo Ms. 9092, fols. 102r-105v. En la p. 101r, con letra diferente a la de Cedillo y a la del discípulo de éste, hay también datos y consideraciones sobre el cometa, y al final de la página se lee «Sylveira», nombre que corresponde a uno de los observadores citados por Cedillo. Granada y Gómez Crespo opinan que el autor más probable de este informe es Miguel Sylveira. Asimismo, que el cometa de que se trata aquí es el que Kepler llamó segundo, de los tres que aparecieron en 1618 en rápida sucesión, y no el que Cedillo observó en diciembre, que fue el tercero kepleriano.

Las obras de Tycho Brahe circularon por la España de finales del siglo XVI y primeros años del XVII, siendo bien conocidas y utilizadas por los cosmógrafos de la Academia de Matemáticas y otros astrónomos españoles, como hemos señalado anteriormente. En cuanto a las cuestiones cosmológicas, como hemos visto también, la doctrina de las esferas celestes y la incorruptibilidad de los cielos ya había sido criticada por Jerónimo Muñoz desde 1570, siendo recogidas sus ideas por varios de sus discípulos. También Andrés de León opinaba que «los cielos no son como dizen los peripatéticos»³⁸.

La condena de la teoría heliocéntrica de 1616 hizo prácticamente imposible que los astrónomos católicos la defendieran públicamente en el siglo XVII. Pero, aunque esta condena y la censura inquisitorial que pesaba sobre las obras de muchos astrónomos europeos, principalmente del área protestante, limitó mucho su difusión, no la impidió³⁹. En este sentido, uno de los textos más interesantes de astronomía escritos en la España de las primeras décadas del siglo XVI es un voluminoso manuscrito de 378 folios que contiene la traducción anotada y comentada de los seis primeros libros del *Almagesto* de Ptolomeo, obra de Juan Vélez, un abogado aficionado a la astronomía que es muy probablemente el «doctor Juan Vélez» mencionado por Cedillo⁴⁰. La obra citada debió comenzarla en 1621⁴¹. En 1631 debía tener ya muy avanzada la redacción, aunque siguió añadiendo anotaciones, al menos hasta después de 1635⁴². Vélez proyectaba dedicar la obra a Felipe IV. A su excelente traducción del *Almagesto*, Vélez añadió amplias y detalladas exposiciones de los datos, técnicas de cálculo, modelos y teorías propuestas por los astrónomos árabes (al-Battani, al-Fargani, Thabit Ibn Qurra, etc.), cristianos medievales (la astronomía alfonsí, principalmente), renacentistas (Regiomontano, Peurbach, Copérnico, Pedro Núñez, Reinhold y las *Tablas pruténicas*, Maestlin, Clavius, Magini, etc.) y los de finales del siglo XVI y primeras décadas del XVII (Tycho Brahe, sobre todo, pero también Longomontano, Kepler, Lansbergen y españoles como García de Céspedes).

³⁸ En la carta a Clavius citada.

³⁹ Sobre la censura de las obras científicas, véase Pardo (1991).

⁴⁰ Tratados de astronomía y matemáticas tomados de Ptolomeo y otros autores, Biblioteca del Escorial, K-I-11. Las primeras noticias de este manuscrito las dio Sánchez Pérez (1929), pp. 214 y 241. Presenté una primera descripción del contenido de este manuscrito en Navarro Brotons (1996). Recientemente Gómez Crespo (2007) ha publicado un estudio del manuscrito, principalmente de las cuestiones dedicadas a discutir la teoría de Copérnico. También incluye una antología de textos del manuscrito.

⁴¹ En el folio 189v del Ms. citado, Vélez menciona, como un ejemplo, la determinación del auge del Sol para 1621, calculada en Madrid.

⁴² En el fol. 359v, Vélez menciona un eclipse de Luna observado en 1631, «cuando esto se escribía». En el fol. 24r, en nota al margen, cita la obra, de Hugo Sempilius, *De mathematicis disciplinis*, publicada en 1635. Sobre esta obra y su autor, véase abajo.

En los comentarios al libro I del *Almagesto*, Vélez incluyó un amplio discurso sobre el movimiento de la Tierra, en el que expuso con detalle los argumentos a favor y en contra de dicho movimiento, habituales en la literatura sobre el tema. A saber, argumentos astronómico-cosmológicos, físicos y bíblicos. En este sentido, destaca la claridad y rigor con que Vélez explica los diversos movimientos atribuidos por Copérnico a la Tierra: rotación, traslación y movimientos del eje terrestre introducidos por Copérnico para explicar tanto el paralelismo del eje de rotación terrestre como la precesión de los equinoccios, su supuesta irregularidad y la variación de la oblicuidad de la eclíptica. Asimismo, Vélez describe las ventajas del sistema de Copérnico sobre los modelos ptolemaicos. Finalmente, y tras ponderar los diversos argumentos, deja claro que el único decisivo contra el movimiento de la tierra procede de «los dogmas de nuestra sagrada religión». En relación con ello, reproduce el decreto de la Inquisición romana condenando la teoría heliocéntrica.

El autor preferido por Vélez y por quien muestra mayor admiración es, desde luego, Tycho Brahe, cuyas obras muestra conocer con profundidad. Así, todos los datos anteriores a Tycho Brahe sobre la precesión de los equinoccios, la oblicuidad de la eclíptica o los modelos del Sol y de la Luna son revisados a la luz de las aportaciones del astrónomo danés. También aporta Vélez una discusión del problema de la refracción astronómica, igualmente a partir de Tycho Brahe, cuya tabla de refracciones reproduce, así como una crítica a García de Céspedes por haber negado la importancia del fenómeno. En cuanto a las cuestiones cosmológicas, Vélez niega, de acuerdo con Brahe, la existencia de las esferas celestes y considera la materia celeste fluida y «penetrable», mencionando las observaciones de cometas y otros fenómenos astronómicos. Menciona, asimismo, las fases de Venus y los satélites de Júpiter descubiertos por Galileo, aunque no lo cita.

Esta obra y la del jesuita Juan Eusebio Nieremberg, a la que nos referiremos después, son los primeros textos españoles conocidos en los que se citan y comentan las obras e ideas de Kepler. A través de su obra, Vélez cita las *Tablas rudolfinas*, el *Epítome de la Astronomía copernicana*, *Paralipomena a Witellio o Parte óptica de la Astronomía*, la *Astronomía nova* y el tratado sobre los cometas (*De cometis*), y comenta algunas de las ideas astronómicas y cosmológicas de Kepler. Así encontramos referencias y comentarios a la dinámica planetaria kepleriana, el movimiento elíptico de los planetas, la posición de los cometas y la refracción atmosférica. También menciona a Kepler a propósito de las distancias de las estrellas a la Tierra, que considera imposibles de calcular.

Como hemos señalado, Vélez no menciona nunca a Galileo, ni siquiera cuando se refiere a las observaciones de los satélites de Júpiter o a las fases de Venus. Esto es tanto más extraño por cuanto Galileo había llevado a cabo negociaciones en 1612 con el gobierno español acerca del procedimiento que había ideado para determinar las longitudes geográficas. Estas negociaciones se renovaron en 1616 y 1620 y a finales de la década 1620-1630 cuando

Galileo le envió un telescopio a Felipe IV.⁴³ Pero parece que Galileo resultaba un autor más incómodo que Kepler. Tampoco figura mencionado Galileo en el libro *Uso de los anteojos*, publicado en Sevilla en 1623, relativo a la corrección de los defectos de la visión mediante lentes. Este libro, escrito por Benito Daza Valdés, contiene un diálogo sobre observaciones de la Luna mediante un telescopio, claramente inspirado en el *Sidereus nuncius* del que se parafrasean algunos fragmentos.⁴⁴

En la primera mitad del siglo XVII la Universidad de Salamanca mantuvo su cátedra de Matemáticas y Astronomía, cátedra que desempeñaron sucesivamente: Antonio Núñez Zamora, desde la muerte de Serrano⁴⁵, en 1598, hasta 1612; Bartolomé del Valle, hasta 1615; 1615-1623: Francisco de Roales; 1624-1640 Núñez Zamora y 1640-47, sin provisión.

Antonio Núñez Zamora publicó en 1610 un tratado sobre los cometas en el que dedicó especial atención a la supernova de 1604: *Liber de cometis, in quo demonstratur Cometam anni 1604 fuisse in firmamento*, escrito hacia 1605. Núñez Zamora se ocupa de la naturaleza de los cometas, de la materia que los forman y de su causa formal y eficiente. Para Núñez Zamora los cometas pueden engendrarse en el cielo, que es corruptible, pueden admitir substancias extrañas y su materia es de la misma especie que la terrestre. En cuanto a las «novas» de 1572 y 1604, las sitúa en el firmamento o cielo de las fijas y dice que las llama cometas porque hay que convenir en algún nombre para los fenómenos que se producen de nuevo en el cielo por procesos o causas similares. Como su maestro Muñoz, Núñez Zamora insiste en el carácter demostrativo de las disciplinas matemáticas y la certeza con las que los matemáticos establecen sus conclusiones. Así, la ausencia de paralaje de las novas apoyaría su naturaleza celeste.

A pesar de la actividad, de cierto interés, de Núñez Zamora, la cátedra de Salamanca experimentó una notable decadencia si se la compara con la época de Jerónimo Muñoz. En 1616, año de la condena de la teoría de Copérnico por la Inquisición romana, se discutió «si la tierra se mueve». Pero en el periodo 1598-1625, la visita del rector a la cátedra se

⁴³ Véase Navarro Brotons y López Piñero (1983), Navarro Brotons (2001 y 2014).

⁴⁴ Véase Navarro Brotons (2001 y 2014).

⁴⁵ Gabriel Serrano era natural de Castalla, no publicó ninguna obra pero dejó manuscritos de astrología y astronomía. Mantuvo correspondencia con Christoph Clavius, el matemático jesuita más destacado de su época, profesor del Colegio Romano. Serrano era discípulo de Jerónimo Muñoz, al que elogia en la carta a Clavius como uno de los grandes sabios de su época. Ocupó la cátedra de Matemáticas de Salamanca entre 1592 y 1598, Previamente había ocupado un «partido» o adjuntía creado cumpliendo la real orden de Felipe-II. Sobre Serrano véase Navarro Brotons (2002), pp. 284 y 285 y Navarro Brotons (2019), p. 191.

omitía con frecuencia, escaseaban los alumnos y, a veces, faltaba el profesor. El número de alumnos en el curso 1604-1605 fue de seis; trece, en el de 1614-1615, y ninguno, en 1624-1625. A partir de 1624, la impresión general es de ausencia de oyentes y de abandono.⁴⁶

En contraste con el estado de languidez de la cátedra de Matemáticas de Salamanca, la de la Academia de Matemáticas proseguía sus actividades, que continuarían tras la muerte de Cedillo en 1625, ahora desarrolladas por los jesuitas. Además, en el Colegio Imperial de Madrid se fundaron unos Reales Estudios, regentados por los jesuitas, en los que se establecieron dos cátedras de Matemáticas para enseñar: «1. De Matemática, donde un maestro por la mañana leerá la esfera, astrología, astronomía, astrolabio, perspectiva y pronósticos. 2. De matemática, donde otro maestro diferente leerá por la tarde la geometría, geografía, hidrografía y de relojes»⁴⁷.

Un manuscrito procedente de los primeros años de funcionamiento de los Reales Estudios titulado *Conclusiones cosmográficas*, nos informa de algunas de las cuestiones que defendían los estudiantes, tales como que «el cielo estrellado es de naturaleza del Ayre continuado desde la superficie de la tierra y agua...»; «todas las estrellas y planetas son de materia del fuego elemental y se mueven por ministerio angélico»; «todos los cometas están en la región de las estrellas, sobre la luna y son de materia de fuego, no se hacen de nuevo, ni se corrompen, lo mismo sienten de las nuevas (estrellas nuevas o *novae*)...»; «aunque la tierra puede moverse circularmente de suyo no lo hace ni por su movimiento se pueden salvar todas las apariencias de las estrellas cómodamente»; «poseer el medio y corazón del universo por su naturaleza se le debe a la tierra...».⁴⁸

Otro testimonio de las ideas que circulaban por los Reales Estudios del Colegio Imperial sobre astronomía y cosmología nos lo ofrece la «filosofía renovada de los cielos» incluida en la *Curiosa filosofía y tesoro de las maravillas de la naturaleza* del profesor de Historia Natural Juan Eusebio Nieremberg. En esta obra, Nieremberg se muestra relativamente bien informado de los nuevos conocimientos y descubrimientos astronómicos realizados hasta la fecha en que compuso su libro (hacia 1629); además, no rehúye la discusión de sus implicaciones cosmológicas. Nieremberg se refiere aquí, de nuevo, a la teoría de Copérnico, manifestándose contrario a la misma. No obstante, considera obsoleto el sistema de Ptolomeo y muestra sus simpatías por el de Tycho Brahe, como era frecuente entre los

⁴⁶ Véase Navarro Brotons (2002c).

⁴⁷ Véase Simón Díaz (1952-59), vol. I, pp. 67-68.

⁴⁸ Madrid, Biblioteca Nacional, Ms. 9093, fols. 5r-v. Este manuscrito está encuadrado con obras de Juan Cedillo Díaz.

científicos jesuitas, aunque también se hace eco de la idea del movimiento espiral, y afirma que los astros se mueven con movimiento propio. Además, menciona los descubrimientos de Galileo sobre el relieve lunar, los satélites de Júpiter y Saturno (el anillo, como es sabido, no fue interpretado como tal hasta Huygens); también alude a las fases de Venus: «la estrella de Venus suele verse con instrumentos ópticos lucir la mitad, como media Luna», y a las manchas solares, acogiéndose en este último punto a la interpretación de algunos de sus correligionarios de las manchas como satélites del Sol. Niega la solidez de las «esferas celestes», citando observaciones de trayectorias de cometas, *novae* y movimientos planetarios; defiende la corruptibilidad de los cielos y que las estrellas se mueven por ímpetu propio, así como que los astros son de la misma naturaleza que la Tierra. En síntesis y si exceptuamos la importante cuestión del heliocentrismo, las ideas cosmológicas expuestas por Nieremberg acusaban fuertemente los resultados de los progresos en el saber astronómico y coincidían, en general, con los puntos de vista de los mejores astrónomos de la Compañía.⁴⁹

En su obra *De mathematicis disciplinis* (Amberes, 1635) Hugo Sempilius, rector del Seminario de Escoceses del Colegio Imperial de Madrid, dedicó una parte sustancial a los temas de cosmografía, geografía, hidrografía y meteoros, astronomía, astrología y calendario. Sempilius discute cuestiones astronómico-cosmológicas, tales como la solidez de los orbes, el relieve lunar, las manchas solares, el fuego sublunar, el verdadero sistema del mundo y el movimiento planetario, aportando los nuevos descubrimientos y observaciones astronómicas de Tycho Brahe, Muñoz, Galileo, Kepler, Scheiner, etc. También menciona los satélites de Júpiter y Saturno y las fases de Venus.⁵⁰

Entre los primeros profesores de matemáticas y astronomía de los Reales Estudios figuraban Jean Charles della Faille y Claude Richard. Richard y Della Faille, además de las enseñanzas establecidas en los Reales Estudios, asumieron también las tareas cosmográficas del Consejo de Indias y absorbieron las cátedras de matemáticas de la llamada «Academia de Matemáticas» que impartía el cosmógrafo mayor. Estos dos autores eran fundamentalmente matemáticos y es en este campo donde realizaron un trabajo original y dejaron una importante producción impresa y manuscrita. Su producción en cuestiones

⁴⁹ Véase Nieremberg (1630). Sobre el cultivo de la astronomía y las matemáticas por los jesuitas del Colegio Imperial de Madrid, véase Navarro Brotons (1996, 2002a, 2003, 2014).

⁵⁰ Véanse los libros VII, "De Cosmographia" y X, "De Astronomia" de la obra citada. Sobre el sistema del mundo, Sempilius describe el de Copérnico, del que dice que está en contradicción con los principios de la física y las Sagradas Escrituras; le parece mejor el de Tycho Brahe, aunque, en su opinión, también presenta dificultades, ya que concede demasiado poco espacio a los tres planetas superiores; añade que se han propuesto otras ingeniosas vías para explicar los fenómenos y finalmente no se pronuncia y remite a su *Diccionario mathematico* para más información.

de astronomía o cosmografía fue fundamentalmente didáctica y también se conservan manuscritos autógrafos o copias de sus clases. También realizaron algunas observaciones astronómicas, fundamentalmente de eclipses y cometas.

Los textos que podemos atribuir a Della Faille de esta materia incluyen un *Tratado de las theóricas de los Planetas según las dos hipótesis moviéndose y estando quieta la Tierra; De los globos celeste y terrestre y Fábrica y uso del astrolabio de Juan de Rojas*. También se conserva un tratado sobre la construcción de telescopios: *Fábrica y uso del telescopio*.⁵¹ En el tratado de las teorías o modelos de los planetas, Della Faille describe la teoría heliocéntrica y dice que es una «resolución escandalosa para los filósofos que se espantan por poco por su ignorancia de las matemáticas». Menciona a Copérnico y a Lansbergen. Después de describir el orden planetario copernicano, añade que en general los astrónomos aceptan actualmente que los cielos son fluidos y hace una crítica semejante a la anterior a los filósofos, que defienden «con las armas» la doctrina de la incorruptibilidad de los cielos. En apoyo de la teoría de los cielos fluidos, menciona las observaciones de los cometas, que se mueven por encima de la Luna con movimientos variados y diferentes de los planetas.

Della Faille dice que no discutirá qué sentencia es la verdadera, ya que con las dos «se salvan todos los fenómenos». A continuación, expone la teoría del Sol según Georg Peurbach y según Philipp Lansbergen, dejando claro que en el caso de Lansbergen es la Tierra la que se mueve por la excéntrica. Sigue la teoría de la Luna según Ptolomeo y la de los planetas superiores de acuerdo también con los modelos ptolemaicos. El manuscrito finaliza en este punto.

En el *Tratado de los globos celeste y terrestre*, Della Faille explica con detalle cómo describir todo tipo de círculos en la esfera, cómo confeccionar los globos, trata de la descripción de los círculos particulares en la esfera celeste y terrestre, y el uso de los globos. Sobre los globos terrestres dice que su principal uso es para la navegación, «porque las tablas planas están sujetas a muchos errores».

Como cosmógrafo mayor del Consejo de Indias desde 1638, Della Faille tenía la obligación de supervisar la elaboración de mapas. Della Faille estudió las obras de los principales autores que habían tratado la loxodromia y la proyección de Mercator, como Pedro Nunes, Edward Wright, Simon Stevin, Willebrod Snell y otros, y discutió con Van Langren la manera de elaborar mapas de latitudes crecientes. Aparentemente, Della Faille dibujó una carta náutica, utilizando su propio método, para resolver el «problema de los rumbos».

⁵¹ Manuscritos conservados en la Academia de la Historia, Colección Cortes, Ms. 9/2751. Véase en Navarro Brotons (1996) sobre los manuscritos de Della Faille.

En las *Advertencias [...] de la longitud por mar y tierra* (Madrid, 1634), el cosmógrafo e ingeniero belga Michael Florent van Langren menciona un *Problema de los rumbos*, obra de Della Faille, con una «especulación muy ingeniosa y nueva que denota particularmente el camino que los navegantes desean seguir en la mar». Pero hasta hoy no hemos encontrado el trabajo citado por Van Langren y la naturaleza exacta del método de Della Faille es desconocido. En todo caso, Della Faille y otros jesuitas del Colegio Imperial contribuyeron a la introducción de la proyección de Mercator en las cartas náuticas españolas.⁵²

Della Faille fue el principal valedor en Madrid del cosmógrafo e ingeniero citado Michael Florent van Langren. Miembro de una prominente familia flamenca de constructores de globos y mapas, Van Langren es bien conocido en la historia de la astronomía como autor del primer mapa publicado de la Luna con una nomenclatura de las formaciones (cráteres, mares, montañas...). Van Langren basó su nomenclatura en los nombres de personajes relevantes: reyes, príncipes, políticos, científicos, exploradores, líderes religiosos y santos, y tituló su mapa lunar *Plenilunii lumina Austriaca Philippica*. Estos trabajos de Van Langren sobre la Luna están relacionados con su idea de resolver el problema de la determinación de la longitud geográfica utilizando la Luna para determinar el tiempo. Equipado con unas efemérides para predecir el tiempo de las apariciones y desapariciones (a la salida y puesta del Sol en el creciente y el menguante lunar respectivamente) de las formaciones lunares, un navegante podría, en principio, conocer el tiempo en una longitud dada por las efemérides observando esos acontecimientos. Comparando el tiempo predicho con el tiempo local podría encontrar la diferencia de longitud. Con este procedimiento, Van Langren aspiraba a obtener el premio prometido por Felipe II y Felipe IV al inventor de un método seguro para determinar las longitudes geográficas en el mar. A pesar del apoyo de Della Faille y de dos destacados estudiosos belgas, Gottfried Wendelen y Erik Puteanus, Van Langren no obtuvo la recompensa. Hay que señalar que el método fallaba porque las manchas lunares particulares no se presentan instantáneamente, sino gradualmente. Por otro lado, las *Tablas astronómicas y hidrográficas* que, según parece, había compuesto ya hacia 1626, nunca se publicaron y han desaparecido.⁵³

⁵² Véase, de Van Langren, las *Advertencias [...] a todos los profesores y amadores de la matemática tocantes a la proposición de la longitud por mar y tierra*, Madrid, 1634 (f. 4^o), sobre Della Faille. Asimismo, en su escrito sobre *La verdadera longitud* (1644), Van Langren invita al lector (p. 5) a estudiar los trabajos de Della Faille sobre el tema. En la correspondencia con Van Langren, Della Faille se refiere varias veces al tema de las cartas náuticas. Véase Van der Vyver (1977).

⁵³ Sobre Van Langren, véase Wauters (1891); De Smet (1973); Vanpaemel (2007); Navarro Brotons (2014). Sobre Van Langren y su mapa lunar, Whitaker (1999). Véase también, sobre la selenografía de Van Langren, Bosmans (1903a y b; 1910).

Van Langren fue un excelente astrónomo. Además de sus observaciones de la Luna, realizó observaciones de eclipses de Luna y de Sol, del diámetro del Sol, de planetas, estrellas y cometas. La mayor parte de estas observaciones las realizó en Bruselas, pero algunas las hizo durante su estancia en Madrid entre 1631 y 1634. En Madrid, el rey Felipe IV observó la Luna con el telescopio de Van Langren. Della Faille le animó constantemente a publicar sus trabajos, ofreciéndole ayuda para escribirlos en latín. Aunque quedaron en su mayoría inéditos, consiguieron cierta difusión a través de las obras de otros autores, principalmente Wendelen, Riccioli y Caramuel.⁵⁴

Juan Caramuel y Lobkowitz es uno de los matemáticos más destacados de la España del siglo XVIII. Caramuel nació en 1606. Era hijo de un ingeniero de Luxemburgo. Estudió artes en la Universidad de Alcalá y en 1625 ingresó en la orden del Císter. Prosiguió sus estudios en Salamanca, enseñó teología en Alcalá a sus compañeros de la orden y viajó a Portugal para ampliar estudios de matemáticas y lenguas orientales. Trasladado a los Países Bajos, en 1632 asistió en Lovaina a las clases del matemático jesuita Ignace Derkennis. En 1635 participó como ingeniero militar en la defensa de Lovaina contra el ataque de franceses y holandeses. Fue nombrado predicador real por el gobernador de los Países Bajos y recibió otros nombramientos honoríficos de la reina madre. En los Países Bajos, Caramuel desarrolló una intensa actividad política, religiosa y científica. Redactó y publicó textos a favor de los derechos que asistían a la Corona de España sobre el reino de Portugal, entonces anexionado a esa Corona, y otros de apoyo a los gobernantes españoles. Se doctoró en teología en 1638 en la Universidad de Lovaina, gracias al apoyo de Gerard Campans, abad de Dunas, y publicó varios textos de teología defendiendo el probabilismo moral. Aspiró a una cátedra de Teología, sin éxito, por la oposición de los protojansenistas y en 1641 empezó la guerra abierta con el jansenista Libert Froidmont, el primer editor del *Augustinus*.⁵⁵

En el ámbito científico, Caramuel entabló relación con varias personalidades destacadas de los Países Bajos y publicó un buen número de trabajos, todos ellos en Lovaina: *Coelestes metamorphoses, sive circulares Planetarum theoricæ* (1639), *Mathesis audax* (1642), *Sublimium ingeniorum crux* (1642), *De novem syderibus circa jovem visis* (1643), *De perpendicularum inconstantia* (1643) y *Solis et artis adulteria* (1644). También dejó manuscritos, como los dedicados a discutir las ideas de Van Helmont: *Philosophia helmontiana* y *helmontii physica*. Y mantuvo una abundante correspondencia con varias

⁵⁴ Véase abajo.

⁵⁵ Sobre Caramuel, Véase Garma (1978, 1983), Ceñal (1953), Pastine (1983), Velarde (1989).

personalidades, como Pierre Gassendi, Marin Mersenne, Wendelen, Anton Maria Schyr-laeus de Rheita, Marcus Marci o Fabio Chigi.

Entre los autores con los que Caramuel entabló relación sobre cuestiones científicas destacan Van Langren (Langrenus), Wendelen (Wendelinus) y Van Helmont. En sus varias obras publicadas en Lovaina, Caramuel citó abundantemente los trabajos de Van Langren y Wendelen y sus opiniones sobre los mismos. Posteriormente, en la *Mathesis bíceps, vetus ete nova* (1670), una de las enciclopedias de matemáticas puras y mixtas más amplia (según mi conocimiento, la más amplia publicada en Europa hasta entonces), reunió todos sus trabajos sobre estos temas, así como buena parte de la correspondencia que había mantenido con otros científicos y filósofos.

Caramuel discutió con Van Langren y Wendelen sobre varias cuestiones astronómicas, cosmológicas y cosmográficas, como el sistema del mundo, los modelos planetarios, la forma de Saturno, el uso del péndulo para medir el tiempo o la determinación de las longitudes. Sobre la determinación de las longitudes, Caramuel aparece citado por Van Langren, entre los que propusieron un método por optar al premio ya mencionado, hacia el 1630. También, según parece, inició la elaboración de un mapa de la Luna con nomenclatura, cosa que preocupó a Van Langren. Posteriormente, abandonó el proyecto e hizo una descripción detallada de la propuesta de Van Langren, que incluyó en la *Mathesis bíceps*, con un análisis crítico de la misma y un elogio de la personalidad de Van Langren. Le caracterizó como un «matemático, muy afable y dulce, capaz de muchas cosas», lamentando que «las recompensas no se hacen según los méritos, y mientras se exalta a los indolentes e ignorantes se deja destruidos a los bravos y los sabios».⁵⁶ Uno de los temas por los que más se interesó Caramuel fue el del péndulo y su aplicación para medir el tiempo. En varias ocasiones y en una carta a Wendelen de 1644, reproducida en la *Mathesis bíceps*, Caramuel reivindicó para Van Langren la prioridad en el uso del péndulo para medir el tiempo de determinados fenómenos astronómicos, incluidos los diámetros aparentes del Sol y la Luna, el tiempo de paso de las formaciones lunares, el movimiento de los satélites de Júpiter y las ascensiones de algunas estrellas.⁵⁷ Además, discutió extensamente con Wendelen sobre si las oscilaciones del péndulo eran o no isócronas. El

⁵⁶ Véanse las *Advertencias* de Van Langren y Caramuel (1670), p. 574 y ss: «Articulus V: Marium, Insularum, et aliorum locorum longitudes Langrenus demonstrare conatur: eosque nominat, quien idipsum promiserunt hoc saeculo».

⁵⁷ La carta a Wendelen en Caramuel (1670), p. 1709-1711. Véase también la p. 577 donde Caramuel afirma que Van Langren le comunicó a Wendelen y a Puteanus en 1627 el uso del péndulo para medir el tiempo, teniendo en cuenta que consideraba isócronas las oscilaciones del aparato. Véase también la p. 1451 donde reivindica de nuevo para Van Langren la invención.

año 1643, Wendelen y Caramuel hicieron experimentos de común acuerdo para dilucidar esta cuestión. Acordaron que para oscilaciones de arcos pequeños eran isócronas, si bien Wendelen mantuvo que la duración no era la misma en verano que en invierno.⁵⁸

Entre las referencias de Caramuel a Van Langren en sus trabajos, figura una relativa a una lámina (Caramuel dice *Lamina y Tabulam*) de unos cinco pies semejante a un astrolabio o un ecuatorio con la que se podían obtener las efemérides planetarias. En la lámina estaban representadas las órbitas de los planetas, con sus excentricidades y latitudes. La lámina, por otro lado, se podía mover gracias a dos péndulos. Como la lámina era copernicana, ya que El Sol estaba en el centro, fue, según parece y comenta Caramuel, criticada por algunos teólogos. Caramuel insiste en que el sistema de Copérnico se puede sostener como hipótesis, no como tesis, por lo que el instrumento es perfectamente legítimo, puesto que el sistema de Tycho Brahe y el de Copérnico son equivalentes en términos de su valor predictivo.⁵⁹

Caramuel tenía una gran admiración por Wendelen como astrónomo. En la parte de su *Mathesis* que llama «Astronomía oscillatoria», Caramuel describe un modelo lunar propuesto por Wendelen, «in libello autem speciali» y dice de este autor que se ocupó mucho sobre las cosas celestes, pero publicó poco: «multa de Coelestibus cogitabat, pauca edidit».⁶⁰

Govaart o Gottfried Wendelen (latinizado Wendelinus) (Herck-la Ville, 1580-Gante 1667) fue el astrónomo belga más destacado del siglo XVII. Se formó con los jesuitas y en la Universidad de Lovaina. Enseñó matemáticas durante un año en Digne, donde conoció a Gassendi. Fue ordenado sacerdote en Bruselas, en 1619, y en 1620 fue nombrado rector de Geetbets. Después, en 1633, fue nombrado rector en su lugar de nacimiento, donde vivió hasta 1648. Este año pasó a ser miembro de la catedral de Tournai. Se retiró el 1658 y vivió el resto de su vida en Gante.⁶¹

Wendelen fue un copernicano convencido y recibió elogios de Galileo, Riccioli, Descartes y Newton por sus trabajos. Fue corresponsal de sus contemporáneos Mersenne, Gassendi, Ismaël Boulliau, Constantin Huygens, Caramuel y Riccioli, entre otros

⁵⁸ Véase Caramuel (1670), p. 435 y ss. la discusión sobre las oscilaciones pendulares y las experiencias hechas en Lovaina por él y por Wendelen.

⁵⁹ Caramuel (1670), p. 1694.

⁶⁰ *Ibid.*, p. 1494.

⁶¹ Sobre Wendelen, véase Godeau (1938), p. 180-184; Sylvester (1932, 1935, 1936); Hallyn (1998) y Hallyn (2007), p. 1204-1205.

destacados intelectuales y científicos. Como astrónomo trabajó en algunas cuestiones clave, cuya resolución era necesaria para mejorar las teorías y tablas astronómicas. Junto a Jeremiah Horrocks y Johannes Remo Quietanus, fue uno de los primeros que aproximó el valor de la paralaje solar a los valores aceptados actualmente. Wendelen hizo observaciones solares y lunares desde comienzos del siglo XVII y estudió los registros de los eclipses de la antigüedad, así como de los equinoccios y solsticios. En 1626 publicó *Loxias seu de obliquitate solis diatriba* (Amberes), donde concluyó que la oblicuidad había ido disminuyendo desde la época de Tales, y proporcionó tablas por calcular la oblicuidad en cualquier tiempo. Y en 1625, observando con el telescopio las dicotomías lunares y utilizando el método de Aristarco, concluyó que la paralaje solar no podía ser mayor de 1'. A partir de esta corrección en la paralaje solar, dedujo que la refracción del Sol no podía ser diferente de la de la Luna y las estrellas. Después, en mayo de 1635, en una carta a Gassendi (publicada en 1658), afirmó que la paralaje solar debía ser reducida a 14" o 15", basando estas afirmaciones en observaciones de los diámetros de los planetas.⁶² En un escrito posterior (*Luminarcani arcanorum caelestium lampas*, 1643), redujo la excentricidad de la órbita de la Tierra (que es una fracción de uno) a 0,01745 (lo que apoyaba la bisección de la excentricidad kepleriana), con una ecuación del centro máxima de 2° 0' y mejoró los valores de las *Tablas rudolfinas* de las distancias solares medias de Mercurio y Venus. Seguramente se sirvió de la tercera ley de Kepler para llegar a estos resultados. Wendelen fue también el primero en aplicar la tercera ley de Kepler a los satélites de Júpiter.⁶³

Uno de los trabajos más importantes y difundidos de Wendelen fue *Eclipses lunares ab anno MDLXXIII ad MDCXLIII observatae: quibus Tabulae Atlanticae superstruuntur earumque idea proponitur* (1644), en el que Wendelen presentó los resultados de las observaciones de eclipses hechas por otros autores y por él mismo. La obra incluye también los parámetros para las tablas del Sol y la Luna, que Wendelen llamó «Tablas Atlánticas», derivados de sus observaciones. Wendelen no dejó de señalar la importancia de los eclipses para establecer las longitudes geográficas.

Como hemos señalado, la astronomía fue uno de los temas en que la circulación del conocimiento fue más intensa, formándose importantes redes de relaciones y correspondencia. Autores como Gassendi, Riccioli, Boulliau o Athanasius Kircher fueron importantes nudos de esas redes de comunicación a través de la correspondencia entre los astrónomos. Wendelen, Johannes Hevelius, Boulliau o Caramuel escribieron numerosas

⁶² Véase Gassendi (1658), vol. VI, p. 428.

⁶³ Véase Wilson (1989b), p. 171 y 149.

cartas a Gassendi para informarle de sus observaciones y trabajos. Pero seguramente el autor que acumuló más información sobre astronomía y geografía, gracias sobre todo a la correspondencia, fue Riccioli. De hecho, se puede decir que la red de correspondencia astronómica centrada en Riccioli fue la más grande del siglo XVII, antes de la constitución de las grandes sociedades y academias científicas de ámbito estatal. Eso le permitió, a Riccioli, incluir en sus obras de astronomía y geografía hechos y teorías de un considerable número de autores europeos y asegurar que los datos y las teorías circularan por todo Europa. Gracias a los libros de Riccioli (*Almagestum novum*, *Astronomia reformata*, *Geographiae et hydrographiae reformatae libri duodecim*, etc), tenemos información de autores que publicaron muy poco o no publicaron nada, o de autores que padecían una difusión de sus trabajos muy limitada.

Así, si tomamos el ejemplo de Michael Florent van Langren, que publicó muy poco, en las obras de Riccioli encontramos mucha información de los trabajos como observador del autor belga que el italiano obtuvo principalmente por cartas, como el mismo Riccioli no deja de indicar. En la sección de la *Astronomía reformata*, dedicada a los eclipses o a las observaciones de la Luna fuera de los eclipses, encontramos una serie de datos de observaciones de Van Langren, así como referencias al uso del péndulo por este autor para medir el tiempo, su estimación del diámetro aparente del Sol y de la paralaje solar y de su distancia de la Tierra; también encontramos, en otros lugares, observaciones de las estrellas, particularmente las Pléyades, sobre las que Riccioli incluye una tabla de distancias relativas entre ellas, según el autor belga. También incluye Riccioli información abundante sobre los trabajos selenográficos de Van Langren.⁶⁴

En cuanto a Wendelen, sus principales contribuciones, además de su trabajo publicado sobre los eclipses, fueron incorporadas y diseminadas por Riccioli, quien también hizo una evaluación de las *Tablas atlánticas* de Wendelen, comparándolas con las otras tablas más destacadas de la época como las de Lansbergen, Longomontanus, Tycho, Kepler, Boulliau o Vincenzo Renieri.⁶⁵

Este es, a grandes rasgos, el contexto sobre el cultivo de la astronomía y la cosmología y la circulación de las ideas en el que Vicente Mut desarrolló su labor astronómica.

⁶⁴ Véase, en Riccioli (1665), p. 101 y ss. observaciones de Van Langren de eclipses de Luna; en la p. 156 y ss. observaciones de Van Langren de la Luna fuera de los eclipses; en la p. 88, sobre el péndulo; en la p. 113, sobre la paralaje solar; en la p. 119, sobre el diámetro aparente del Sol; en la p. 210, sobre la distancia de la Tierra al Sol; en la p. 243, sobre las Pléyades. Véase en Riccioli (1661), p. 317 y ss. una descripción del procedimiento que propuso Van Langren para determinar la longitud geográfica.

⁶⁵ Véase en Riccioli (1665), p. 126 una comparación de las diferentes tablas a partir de las observaciones de los eclipses.

LA OBRA ASTRONÓMICA DE VICENTE MUT

Como hemos adelantado, el interés de Mut por la astronomía ya lo manifestó en 1638, es decir, a los 24 años, dedicando varios poemas a un autor portugués de efemérides.⁶⁶ La primera observación de que tenemos noticia es algo posterior: un eclipse de Luna el 14 de abril de 1642.⁶⁷ A partir de esta fecha llevó a cabo observaciones de eclipses, estrellas y planetas casi todos los años hasta 1666, fecha de publicación de sus dos últimas obras de astronomía. En 1646 entró en contacto epistolar con Athanasius Kircher, al que transmitió observaciones astronómicas.⁶⁸ En 1647 Riccioli escribió a Kircher elogiando la pericia de Mut como observador, lo que indica que la relación con Mut había comenzado ya ese año.⁶⁹ Por otra parte, el año 1642 algunos jesuitas de Madrid, presumiblemente del Colegio Imperial, le enviaron un informe sobre un eclipse de Luna acaecido el 7 de octubre.⁷⁰ Posteriormente, en la década de los años 1650, inició su amistad con el padre José de Zaragoza cuando este estuvo destinado en Mallorca. Es decir, las relaciones científicas de Mut se dieron básicamente con jesuitas y, salvo de sus amigos y colaboradores de Mallorca, como Miguel Fuster y Diego Desclapés, no tenemos datos de ninguna otra conexión que tenga que ver con sus intereses

⁶⁶ Me he ocupado de la obra astronómica de Mut en Navarro Brotons (1978, 1979, 1996, 2003, 2014), y en Navarro Brotons, Recasens Gallart (2007), Navarro Brotons, Rosselló Botey (2006). En Navarro Brotons, ed. (2009) editamos en facsímil las obras astronómicas de Mut e incluimos una versión en catalán.

⁶⁷ Descrita en las *Observaciones*, cap. I, p. 2.

⁶⁸ Athanasius Kircher (1602-1680) fue uno de los intelectuales más famosos de la Europa católica. Nacido en Fuda (abadía de Geisa, en Hesse), ingresó en la Compañía de Jesús en 1616 y fue ordenado sacerdote en 1626 después de tres años de estudio en Maguncia. Este mismo año fue nombrado profesor de filosofía, matemáticas, hebreo y siríaco en la Universidad de Wurzburg. Kircher comenzó entonces a desarrollar sus intereses sobre una amplia variedad de saberes, lo que caracterizaría su carrera posterior. En 1633 se trasladó a Roma donde fue nombrado profesor de matemáticas del Colegio Romano. De sus estudios e investigaciones resultaron más de treinta volúmenes sobre magnetismo, acústica, óptica, astronomía, medicina, numerología, filología, arqueología, geología y teología, pensados para contribuir a la *pansophia* (sabiduría universal). Su *Museum Kircherianum* fue considerado uno de los mejores museos científicos de su época. Fue el primero en describir Júpiter y Saturno y creó lo que podríamos llamar un banco de datos de observaciones y descubrimientos astronómicos, proporcionando información a un buen número de astrónomos con los que mantuvo correspondencia. Entre los correspondientes de Kircher figuran varios españoles, como Caramuel, José de Zaragoza, Vicente Juan de Lastanosa u otros establecidos en España como Jean Charles della Faille. Sobre la correspondencia con Caramuel, véase Ceñal (1953). Sobre Zaragoza véase Navarro Brotons (1996, 2002, 2003, 2014). La correspondencia de Mut con Kircher en Navarro Brotons, ed. (2009). Sobre Kircher, en general, véase Findlen, ed. (2004) y la extensa bibliografía que figura en este trabajo. Sobre Kircher y la astronomía, véase sobre todo Siebert (2006).

⁶⁹ Carta de Riccioli a Kircher, de 25 de mayo de 1647, reproducida en Gambaro (1989), p. 89: «Non dubito quin observationes D. Vincentii Muti fuerint valde exactae; habent enim nescioquos veritatis et diligentiae caracteres...».

⁷⁰ Véase Mut, *Observaciones*, cap. I, p. 8.

científicos.⁷¹ Así, a pesar de haber sido expulsado de la Orden, Mut parece que mantuvo buena relación con los jesuitas. Con ellos es probable que adquiriera conocimientos básicos de matemáticas y astronomía que completaría de manera autodidacta. En cuanto a Miguel Fuster y Diego Desclapés, del primero no tenemos más información que la que el mismo Mut proporciona al mencionar sus observaciones del cometa de 1665.⁷² Diego Desclapés fue catedrático de Prima de Cánones en la facultad de Derecho mallorquina y «Sostenedor y Consultor del Santo Oficio.» Al final de su vida se ordenó sacerdote, siendo nombrado canónigo y sochantre de la catedral de Palma. Desclapés dejó manuscrito un *Apparato astronomico*, consistente en un conjunto de anotaciones de procedimientos de matemáticas aplicadas a la astronomía, incluyendo una mención expresa a los logaritmos, una de las primeras efectuadas en un texto castellano. Desclapés aparece en las obras astronómicas de Mut encargado de la censura eclesiástica de su obra *De sole Alphonsino restituto*. Además, es mencionado por Mut como colaborador para verificar la medida de media legua mallorquina y como observador del cometa de 1665 junto con Mut: «el canónigo D. Diego Desclapés (a las 7;30 h) con el telescopio y la vista libre y aguda miraba conmigo, con mucha atención, la aproximación del cometa a la estrella precedente; ...»⁷³

Mut debió llegar a poseer una excelente biblioteca de materias científicas y técnicas, como se deduce de la gran cantidad de obras que cita en sus libros de arquitectura militar, matemáticas y astronomía y que muestra haber leído en muchos casos. En una de las cartas a Kircher le ruega que facilite a su hermano, que ha ido a Roma, la manera de adquirir el *Arte magnética* de este autor y otros libros «de una lista que lleva».⁷⁴ También debió valerse de medios similares para adquirir los telescopios y otros instrumentos que usaba. En todo caso, el autor que más le influyó y con el que tuvo más relación fue Giambattista Riccioli. Durante al menos dos décadas, Mut mantuvo correspondencia con el jesuita de Ferrara, al que le enviaba los resultados de sus observaciones, que Riccioli fue incluyendo en sus tres grandes obras: el *Almagestum novum*, la *Astronomia reformatata* y la *Geographiae et hydrographiae reformatatae libri duodecim*, llegando Mut a ser uno de los autores más citados por Riccioli, si

⁷¹ Sobre Miguel Fuster no tenemos más información que la que el propio Mut proporciona, al mencionar sus observaciones y colaboración, muy elogiosamente. En la Biblioteca Nacional de Madrid, Ms.8930, se conserva un *Aparato astronomico*, anotaciones de matemática elemental, de este autor. Véase Trias Merchant (1985), pp.187-188 i Navarro Brotons, Rosselló Botey (2006), p.51.

⁷² Véase Mut (1666a), pp.3, 5 y 7 y 8.

⁷³ Mut (1666a), p.7. Sobre Desclapés, véase Trias Merchant (1985) y sobre todo Contreras (2017). En la Biblioteca Nacional de Madrid, Ms.8930, se conserva el *Aparato astronomico* de este autor.

⁷⁴ Mut a Kircher, Marzo de 1646. Véanse las cartas de Mut a Kircher editadas en Navarro Brotons, ed. (2009).

exceptuamos a los grandes nombres como Tycho Brahe y Kepler, y por supuesto los clásicos: Ptolomeo y Copérnico. En este sentido, y esta será una de nuestras conclusiones, podemos decir que Mut contribuyó de manera destacada a la empresa de Riccioli de renovar la astronomía de predicción de su época a través de un programa sistemático de observaciones y una revisión crítica basada en ellas de los distintos modelos astronómicos y tablas, programa llevado a cabo con la inestimable ayuda de Grimaldi y otros colaboradores.⁷⁵ Esto viene a ser lo que el propio Mut dice en la dedicatoria de sus *Observaciones*: «Ofrezco estas observaciones a quien desee someter a examen las tablas de los movimientos celestes», en la que menciona a algunos de los autores principales de la astronomía de la época, concluyendo la lista con Riccioli, quien «en el *Nuevo Almagesto* estructuró todo el saber astronómico con doctísima pluma y observaciones muy exactas posibilitando mayores cosas». Y en su primera obra publicada, la *Epístola sobre el Sol alfonsí*, en el apéndice dedicado a describir algunas observaciones dice, dirigiéndose al mecenas al que dedicó la obra, «añadiré algunas observaciones realizadas con el telescopio, para que mandes (a los astrónomos) que las examinen y distingan las más conformes a la verdad. Sabemos también que en las teorías de los movimientos celestes se han de corregir muchas cosas; pero para este examen espera el *Nuevo Almagesto* del padre Giambattista Riccioli, digno monumento de tan doctísimo barón».⁷⁶

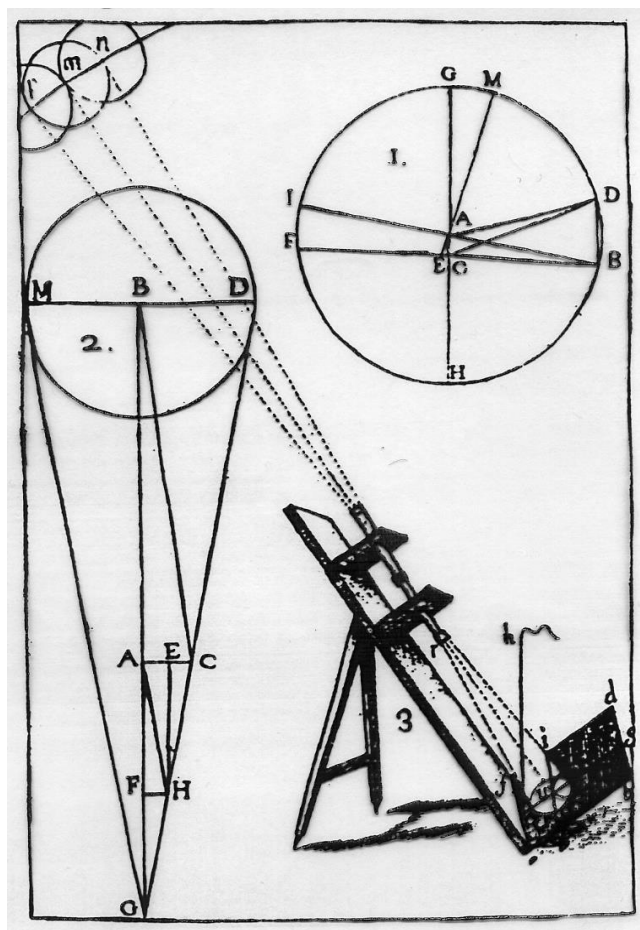
Riccioli fue sin duda la fuente principal de información de Mut y su principal referencia en cuestiones astronómicas. Y esto se nota en la propia evolución en los puntos de vista de Mut, en la que debió de tener gran influencia la propia evolución de Riccioli, como veremos con ejemplos tan significativos como la aceptación por Mut de la bisección kepleriana de la excentricidad solar.

Centrándonos ya en las obras de Mut comenzaremos, siguiendo el orden cronológico de publicación, por la *Epístola sobre el Sol Alfonsí restituido*. Esta obra tiene, como sugiere el nombre, un carácter reivindicativo y está orientada a mostrar que las *Tablas alfonsíes* en lo relativo al modelo o «teórica» y parámetros del movimiento del Sol mantenían su vigencia y eran las que mejor se ajustaban a los fenómenos astronómicos pertinentes, como los eclipses de Luna y de Sol. Ello siempre y cuando se utilizara la paralaje solar adecuada.

⁷⁵ Sobre la importancia de Grimaldi, véase Baldini (2002).

⁷⁶ *Epístola sobre el Sol alfonsí*, pp. 24-25. Mut se refiere aquí primero a las *Tablas mediceas* de Reinieri: «Ya que por un regalo tuyo se han aumentado las *Tablas mediceas* para que se publiquen las tablas de casi todos los astrónomos...» Las *Tabulae motuum caelestium universales* las dedicó su autor Vincenzio Reinieri (Reinieri, 1646) al mismo mecenas que Mut, Bernardino Fernández de Velasco y Tovar, bajo los auspicios del cual se publicaron. Esta obra incluía los cánones de las *Tablas alfonsíes, copernicanas (pruténicas), danesas, rudolfinas, de Lansbergen*, y las del propio Reinieri. Reinieri (Génova 1606-Pisa 1647) fue amigo y corresponsal de Galileo y se le recuerda habitualmente por sus trabajos sobre los satélites de Júpiter. Fue profesor de matemáticas en la Universidad de Pisa. Sólo publicó la obra citada. Véase Hatch (2007b).

Con tal motivo, Mut comienza por exponer la manera de calcular los semidiámetros del Sol y la Luna, un aspecto fundamental de la astronomía de la época, como hemos comentado anteriormente. Mut hace un rápido repaso de los distintos procedimientos utilizados desde la Antigüedad, mostrando, como siempre, su excelente conocimiento de la literatura sobre el tema y, finalmente, elige un procedimiento inspirado en el que usó Christoph Scheiner para observar las manchas solares, elaborado a su vez a partir del dispositivo de la cámara oscura. Consiste en obtener la imagen del Sol a su paso por el meridiano en una pantalla perpendicular al eje óptico del telescopio. La variación de la declinación del Sol en días sucesivos, que es conocida, da el ángulo que este recorre en el meridiano. Al propio tiempo, a esta variación en declinación le corresponde un desplazamiento proporcional de la imagen en la pantalla. Para estimar el diámetro aparente del Sol no hay más que observar cuándo la imagen del Sol se desplaza en la pantalla una distancia idéntica al diámetro de dicha imagen y recurrir a las relaciones de proporcionalidad citadas. Con este procedimiento Mut encontró los valores $31'18''$ en el apogeo y $32'46''$ en el perigeo.⁷⁷



En el dibujo, dispositivo empleado por Vicente Mut para evaluar el diámetro aparente del Sol. (Figura en *De Sole Alfonsino restituto*).

⁷⁷ Sobre el dispositivo de Scheiner, véase Schreiber(1898), McKeon (1971) i Daxecker (2004).

Seguidamente Mut evalúa el diámetro de la Luna con el mismo dispositivo y, comparando su imagen con la solar, resulta un diámetro en el apogeo en el plenilunio de $29^{\circ}40''$. Con estos datos, Mut discute ahora la distancia de la Luna a la Tierra en el plenilunio y en el apogeo y trata de mostrar que Tycho se equivocó al afirmar que esta era de 58;8 semidiámetros terrestres. Según Mut, y conforme a las propias hipótesis y observaciones de Tycho Brahe, es de aproximadamente 62 semidiámetros terrestres. Seguidamente establece la paralaje horizontal de la Luna en $55^{\circ}27''$ y discute prolijamente el tamaño de la sombra de la Tierra, tratando de mostrar que la sombra apogea verdadera es mayor de lo que se observa. Todo ello le sirve de fundamento para defender que la paralaje horizontal del Sol en el apogeo es de $4^{\circ}37''$ y concluir que, de acuerdo con las observaciones de Tycho Brahe y las suyas propias, las «Tablas alfonsíes del Sol son sin duda las más verdaderas... si las corriges con la verdadera paralaje» (p. 32).

Para completar su demostración, Mut evaluó la duración del recorrido del Sol entre los equinoccios con las medidas de las alturas meridianas del Sol corregidas por la «paralaje verdadera», para calcular de nuevo los parámetros de la excéntrica solar y comprobar que estaban de acuerdo con los de las *Tablas alfonsíes*.

Mut completa su reivindicación explicando que el rey Alfonso rechazó la teoría de la precesión de los equinoccios presentada inicialmente, que incluía el movimiento llamado de acceso y receso de la octava esfera o movimiento de trepidación, sumado a un término lineal, de modo que el rey basó la precesión de los equinoccios finalmente en Albategnius, «considerada la más veraz por todos los astrónomos», para quien la tasa de precesión era constante, de un grado en 66 años. Para ello se apoya en la autoridad de Augustinus Riccius y su maestro Abraham Zacut y reproduce fielmente el relato de Riccius que expone estas ideas.⁷⁸

La precesión de los equinoccios, o movimiento de las estrellas de Oeste a Este en torno a los polos de la eclíptica (en astronomía geocéntrica)⁷⁹, fue descubierta por Hiparco al comparar las longitudes trópicas de las estrellas obtenidas por Timocharis (siglo III a. C.), con las que él mismo midió. Ptolomeo, que es nuestra fuente de información sobre Hiparco, discutió el asunto y comparando las observaciones de Hiparco con las

⁷⁸ Mut, p. 39 i ss. Véase Riccius (1513), pp. 31 y ss. Nacido en Casale, en el Piemonte, Riccius fue matemático y médico del papa Paulo III y fue conocido sobre todo por la obra citada por Mut, dedicada a Gelotto del Carretto, marqués de Savona (1455?-1530). El mismo Riccius nos informa de que fue discípulo de Abraham Zacut. Sobre este autor, véase Delambre (1819), pp. 377-381; Duhem (1914), pp. 258, 263-264; Chabás-Goldstein (2000), p. 161.

⁷⁹ En astronomía heliocéntrica, la precesión se interpreta a partir de la rotación del eje terrestre en torno a los polos de la eclíptica de Oeste a Este.

suyas concluyó en una tasa de precesión de 1° en 100 años. Además, consideró que la medida correcta del tiempo era el año trópico y no el sideral.⁸⁰ Hacia el siglo IX, con nuevas observaciones, los astrónomos árabes obtuvieron nuevos valores para el año trópico y para la tasa de precesión. Encontraron que el año sideral era muy parecido al que se deducía de los datos de Ptolomeo, mientras que el valor del año trópico parecía haber variado desde los tiempos de Ptolomeo.⁸¹ Una solución era afirmar que el año trópico había cambiado mientras que el sideral no. Ello implicaba una variación de la precesión con el tiempo, que fue llamada trepidación. Sin embargo, no todos los astrónomos medievales aceptaron la variación de la precesión. En un tratado atribuido a Thabit Ibn Qurra, *Sobre el movimiento de la octava esfera*, se consideraba fijo el año sideral y se introducía una precesión variable.

Las *Tablas alfonsíes*, de las que sólo se conservan los cánones, fueron compuestas hacia 1272 bajo los auspicios de Alfonso X, rey de Castilla y León, por Isaac ben Sid y Judá ben Moisés ha-Cohen. En el capítulo 49 de los cánones se describe una tabla para el cálculo de la precesión que sólo considera un término teórico. Pero en las versiones parisienses de las *Tablas alfonsíes*, producidas a partir de 1320, se presenta un modelo de precesión con dos términos, uno lineal, de 49.000 años y otro periódico de 7000 años. El término lineal en realidad es la diferencia entre el año trópico alfonsí y el año juliano, que es convencional y por lo tanto carece de significado astronómico y nada induce a pensar que este término se encontrase ya en las *Tablas alfonsíes* castellanas. En cambio, nada parece oponerse a que el término periódico procediera de las *Tablas alfonsíes* castellanas.⁸²

La obra concluye con algunas observaciones de eclipses y planetas.

Mut envió su obra sobre el Sol alfonsí a Riccioli, quién la recibió cuando ya tenía prácticamente concluido el *Nuevo almagesto*⁸³ No obstante, en el apéndice de la parte I

⁸⁰ Véanse Pedersen (1974) y Evans (1998).

⁸¹ La tasa de precesión está relacionada con la diferencia entre el año sideral y el trópico. Si S es la longitud del año sideral, T la del trópico, m el movimiento solar diario y p el incremento de las longitudes estelares por la precesión, $p=m(S-T)$.

⁸² Véase Goldstein (1994) sobre la precesión de los equinoccios y, sobre las *Tablas alfonsíes*, Goldstein y Chabás (2008). Véase también Casanovas (1987), sobre la precesión en la *Tablas alfonsíes*. Sobre la precesión entre los cultivadores de la astronomía en Al-Ándalus, véase Samsó (1992).

⁸³ Recordemos que Mut publicó la *Epístola sobre el Sol alfonsí* en 1649 y la aprobación de la obra es de febrero de ese año. El texto básico del *Nuevo almagesto* estaba ya concluido en 1647, año en el que se

del tomo I, Riccioli hizo amplios comentarios sobre los distintos aspectos del trabajo del mallorquín.⁸⁴ En primer lugar, describió con detalle el dispositivo empleado por Mut para determinar el diámetro aparente del Sol. No dejó de señalar que el procedimiento era digno del ingenio de su autor, pero a continuación expuso sus reservas. Escribió que su práctica es difícilísima ya que requiere realizar observaciones durante varios días en los que no podemos tener la seguridad de que el instrumento no ha experimentado algún movimiento. También apuntó que la refracción de los rayos solares puede dilatar la imagen del Sol más de lo que conviene. Además, Riccioli añadió que había que conciliar los valores así obtenidos con los eclipses totales de Luna y de Sol y los anulares, ya que a causa del eclipse el diámetro del Sol se contrae. Finalmente insistió en la incertidumbre que persistía todavía sobre la cuantía del diámetro aparente del Sol. Sobre esta cuantía hay tantos valores como observadores, concluyó Riccioli.

Sobre la medida del diámetro aparente de la Luna, Riccioli también puso en duda la fiabilidad del procedimiento de Mut. Según Riccioli, Mut encontró valores superiores a los verdaderos, porque el Sol y la Luna muestran un diámetro algo mayor por el telescopio que dilata la imagen. Y, en todo caso, las observaciones de los diámetros deben estar de acuerdo con las de los eclipses.

Sobre la distancia de la Luna a la Tierra, Riccioli consideró correctas las críticas de Mut a Tycho Brahe, pero para Riccioli toda la defensa del «Sol alfonsí» por Mut estaba viciada por aceptar una paralaje solar excesiva y no tener en cuenta adecuadamente las refracciones. Así, por ejemplo, las estimaciones de los equinoccios eran erróneas por usar una paralaje demasiado grande. En cambio, Riccioli coincidió con Mut en la cuestión de la precesión de los equinoccios en relación con las *Tablas alfonsíes*. También coincidió en otros aspectos, como sobre el uso de telescopios más o menos potentes y sus méritos respectivos.

Como hemos adelantado, Mut tardó casi dos décadas en publicar sus otras dos obras de astronomía, aunque no interrumpió su dedicación a la astronomía, además de sus otras ocupaciones, incluida la preparación de su *Arquitectura militar*.

Su obra de astronomía más importante es sin duda *Observaciones de los movimientos celestes con anotaciones astronómicas y diferencias entre los meridianos deducidas de los eclipses*. En esta obra reunió los resultados de más de veinte años de observación de

inició la impresión, aunque Riccioli continuó revisando el texto y añadiendo información diversa hasta 1650. Véase Baldini (1996).

⁸⁴ Riccioli (1651), vol. I, p. 735 i ss.

los cielos, si bien muchos de ellos habían sido difundidos ya por Riccioli en sus tres grandes obras. La obra se compone de tres partes o capítulos dedicados, respectivamente, a las observaciones de eclipses, observaciones de planetas y discusión de sus movimientos y trayectorias y determinación de las longitudes geográficas; concluye con un apéndice dedicado a un eclipse de Sol del año 1666.

Las *Observaciones* comienzan con una curiosa dedicatoria «A quien le pueda interesar» en la que Mut hace un rápido recorrido por la historia reciente de la astronomía a través de algunos de sus autores más destacados. Seguidamente señala que, a pesar de las realizaciones de estos grandes autores, «subsisten aún dificultades que hay que superar y exigen que se intenten comprobaciones más precisas de la armonía de los movimientos celestes». Pide que se conceda confianza a sus observaciones porque se han realizado sin prejuicios y con total ingenuidad y crítica a los astrónomos que describen con todo detalle sus propias observaciones, pero mutilan las ajenas para impedir que sus hipótesis preconcebidas sean refutadas. Concluye diciendo que no dedica su trabajo a ningún patrocinador, «ya que tan pequeña obra no necesita las riquezas de un mecenas y prefiero la crítica al elogio. Además, no he visto ningún libro bien acogido por causa de su patrocinador».

Una dedicatoria, en suma, totalmente diferente a la que redactó, con ampulosa retórica, en la *Epístola sobre el Sol alfonsí*, dirigida a un rico aristócrata. El tiempo no había pasado en vano: los ánimos reivindicativos de Mut se habían enfriado y acaso había experimentado también que el éxito de los buenos libros no dependía de los mecenas a los que se los dedicaba.

En el primer capítulo Mut presenta los resultados de sus observaciones de quince eclipses de Luna y siete de Sol ocurridos entre 1642 y 1663. Todas las observaciones las realizó en Mallorca, salvo un eclipse de Sol y otro de Luna ocurridos en 1652 que observó en el viaje que realizó a Madrid, citado arriba. Para determinar el tiempo de las distintas fases de los eclipses de Luna, Mut se vale usualmente, como era habitual, de la altura de alguna estrella de coordenadas bien conocidas, mientras que en los de Sol es la propia altura del Sol la que le sirve para fijar los tiempos del eclipse. En cuanto a instrumentos, al principio de la obra dice que utilizaba un telescopio «de casi 8 palmos» (unos 160 cm) y añade que prefiere este a otros más largos y potentes, ya que ha experimentado que estos «atenúan demasiado el limbo, las manchas y la sombra de la Luna y muestran los inicios más tarde y los finales más lentamente».⁸⁵ No menciona ningún tipo de reloj, salvo en una ocasión, en la que se refiere a un «reloj itálico» usado por Riccioli. En cuanto al péndulo para medir el tiempo, lo menciona en el capítulo 2 para establecer la amplitud y

⁸⁵ Más adelante, en el epígrafe 17, p. 8, vuelve a discutir los méritos respectivos de los telescopios.

división del ocular del telescopio, pero no en el capítulo de los eclipses. En la *Epístola sobre el Sol alfonsí* mencionaba el péndulo para medir el tiempo que tarda el Sol en pasar por el meridiano, pero mantenía serias dudas sobre la «doctrina de los [autores] más recientes sobre las vibraciones del péndulo».⁸⁶

Junto a sus observaciones, Mut menciona para cada eclipse observaciones de otros autores, principalmente Riccioli, Gassendi, Wendelinus, Boulliau⁸⁷, Hevelius⁸⁸ i Renieri, todos ellos destacados autores de la época. Junto a estos autores, cita observaciones de otros menos conocidos, cuya información obtuvo indirectamente a través de las obras de Riccioli y la correspondencia publicada de Gassendi, que también le proporcionó información sobre observaciones de autores como Wendelinus, Boulliau o Hevelius. Los autores españoles que Mut cita como observadores de eclipses son Caramuel, Zaragoza, Brisuela y otros jesuitas de Madrid. Junto a las observaciones, Mut proporciona los datos

⁸⁶ Riccioli realizó una importante serie de experimentos sobre la caída de graves y sobre los péndulos descritos en su *Nuevo almagesto*. En el vol. I, pp. 84 y ss., Riccioli estudia las propiedades del péndulo y describe sus experimentos. Riccioli y sus colaboradores no consiguieron obtener un péndulo, cuyo periodo fuera de un segundo, pero se acercaron mucho y construyeron péndulos para medir pequeños intervalos de tiempo. En el vol. II, p. 381 y ss., en el contexto de la discusión sobre el movimiento de la Tierra, al que era contrario, Riccioli describe sus experimentos sobre la caída de graves. El científico jesuita y sus colaboradores confirmaron la ley de caída de graves de Galileo de los números impares y midieron la aceleración de la gravedad. Por otra parte, aunque Riccioli afirmó que la regla de proporcionalidad entre el peso y la velocidad, defendida por los aristotélicos, era falsa, mantuvo la distinción entre cuerpos graves y leves y consideró la levedad como una cualidad positiva análoga a la gravedad. Además, mostró con sus experimentos que, en el aire, los cuerpos, ya fueran de distinto peso absoluto y del mismo material o ya fueran del mismo peso absoluto pero distinto peso específico, no caían con la misma velocidad. Riccioli (1651), p. 730, criticó a Mut por afirmar en la *Epístola sobre el Sol alfonsí*, p. 50, que todos los graves, incluso los de peso desigual, caen en el mismo tiempo. Mut cambió de actitud con respecto al péndulo y en sus *Observaciones*, cap. III, p. 21, describe un péndulo de periodo un segundo y cita a Riccioli, Mersenne y Hevelius. Asimismo, como hemos visto a propósito de su *Arquitectura militar*, Mut se familiarizó con la cinemática galileana. Sobre Riccioli, el péndulo y la caída de graves, véase Koyré (1966), Borgato (2002 b), Dear (1995).

⁸⁷ Ismaël Boulliau (Loudun, 1605-París, 1694), fue uno de los astrónomos más destacados de su época. Estudió y vivió permanentemente en París. Disfrutó del mecenazgo de la familia De Thou y ayudó a los hermanos Dupuy en la Biblioteca Real. Fue amigo de Gassendi y Mersenne. Estableció una amplia red de correspondencia con científicos y eruditos de su época. Uno de sus objetivos era reformar la astronomía, lo que además de las discusiones teóricas exigía, a su juicio, nuevas observaciones. Copernicano convencido, Boulliau (1645) aceptó los eclipses keplerianos, y contribuyó de manera destacada a difundirlos, pero trató de presentar una cosmología alternativa a la de Kepler. Véase Hatch (2007a) y abajo.

⁸⁸ Johannes Hevel o Hevelius (Danzig, 1611-Danzig, 1687), fue uno de los mejores observadores e instrumentistas de su época. Estudió jurisprudencia en la Universidad de Leyden, y fue consejero de su ciudad natal. Estableció un observatorio llamado Stellaburgum en su casa de Danzig. Elaboró mapas lunares: 40 grabados mostrando la Luna en diferentes fases publicados en su *Selenographia* (1647). Entre 1642 y 1647 observó muchas cometas. Véase abajo sobre esto último. Véase Habashi (2007).

para los tiempos que se deducen o calculan a partir de las diferentes tablas astronómicas: principalmente las *Tablas rudolfinas* de Kepler, las *Tablas* de Lansbergen⁸⁹, las *Tablas philolaicas* de Boulliau, las de Wendelinus o *Tablas atlánticas*, las *Mediceas* de Renieri y ocasionalmente las de Tycho-Longomontanus llamadas *Danesas*, las *Pruténicas* (o copernicanas) y las *Alfonsíes*. Además de las *Tablas* y a partir de ellas se publicaron diversas efemérides, de las que debió valerse también Mut. Kepler publicó efemérides basadas en sus tablas para los años 1617-1630. Lorenz Eichstadt publicó unas efemérides continuando las de Kepler (*Pars prima ephemeridum novarum coelestium* (1663-1640), Stettin, Rhet). Francisco Montebruni publicó efemérides basadas en las *Tablas* de Lansbergen. Noël Dret (o Durret), cosmógrafo real del cardenal Richelieu, publicó efemérides basadas en las *Tablas* de Lansbergen y de Kepler. Andreas Argoli publicó efemérides desde 1621 al final del siglo basadas principalmente en Tycho Brahe.⁹⁰

Desde la Antigüedad clásica los eclipses de Luna eran la base empírica usada para determinar el movimiento de la Luna, ya que en un eclipse la longitud de la Luna es igual a la del Sol añadiendo 180°. Mut, como ya advierte en su dedicatoria, ofrece sus observaciones precisamente para «someter a examen las tablas de los movimientos celestes». A lo largo del texto va discutiendo diversos temas relacionados con los datos obtenidos por los diferentes autores y las predicciones calculadas a partir de las tablas. Así, pone de relieve las discrepancias en la duración observada de los eclipses, y entre las duraciones observadas y lo predicho por las tablas; lo atribuye a diversos factores, como la inconstancia de la sombra de la Tierra o el uso del telescopio, y a que el movimiento de la Luna es probablemente más rápido en los eclipses, como apuntó Longomontanus y, sobre todo, Kepler. También sugiere posibles causas ópticas. Aprovecha asimismo los datos de los eclipses para evaluar el tamaño del semidiámetro de la sombra terrestre.

A propósito de un eclipse de Luna en la que ésta estaba a una altura de 28° 27' discute de nuevo sobre la cuestión de las refracciones y dice que no las ha tenido en cuenta porque

⁸⁹ Philip Lansbergen (Gante, 1561-Middlebur, 632), hijo de padres protestantes que abandonaron los Países Bajos por razones religiosas, Lansbergen estudió en Francia e Inglaterra. Se instaló en Leiden dedicándose a la teología y de Leiden pasó a Goes, también como pastor protestante. Finalmente, se trasladó a Middelburg. Practicó la astronomía, las matemáticas y la medicina. Copernicano convencido, no aceptó las elipses keplerianas y describió modelos basados en combinaciones de círculos, de acuerdo con la tradición. Elaboró sus propias tablas, Lansbergen (1632), que tuvieron una notable difusión. Véase Roode (2007). Véase también Vermij (2002).

⁹⁰ Andrea Argoli (Tagliacozzo, 1570-Padua, 1657) fue conocido principalmente por su producción de efemérides que van desde 162 hasta 1700. Fue profesor de matemáticas en Roma y en Padua. Basó sus efemérides, que tuvieron una gran difusión, también en España, en las *Tablas pruténicas*, *Tycho Brahe* y las *Tablas Rudolfinas*. Véase Wilson (1989) y Truffa (2007). También Mascella, Pelusi.

«en este horizonte mallorquín» las estrellas fijas cerca de una altura de 15° mostraban una refracción inferior a la indicada en la *Tabla* de Tycho Brahe. Trata de explicar por qué en el cielo mallorquín las refracciones, con tiempo sereno y estable, son menores que en otros lugares.⁹¹ En todo caso, insiste en la variabilidad de las refracciones y defiende la *Tabla* de Tycho Brahe, ya que si se acepta la opinión que eleva las refracciones hasta el cenit, todos los lugares de las estrellas fijas del catálogo de Tycho estarían afectados de error.

En este capítulo Mut presenta de nuevo sus observaciones del diámetro del Sol con el dispositivo descrito en *De Sole*. Después, señala que Riccioli le pidió que se ocupara de la dicotomía de la Luna según el método de Aristarco.⁹² Riccioli, por ese procedimiento, había obtenido un valor de $28''$.⁹³ Mut examina cuidadosamente la cuestión y plantea serias dudas sobre la fiabilidad del procedimiento. Aquí aprovecha para revisar sus propias ideas sobre la paralaje solar defendidas en la *Epistola sobre el Sol alfonsí*. Finalmente dice que «a partir de los eclipses, la dicotomía lunar y las observaciones realizadas con toda la precisión posible no concluimos nada. Utilizamos mientras tanto la paralaje del Sol a media distancia de $2'30''$ minutos, a lo cual se adhiere toda la astronomía antigua (cap. I, p. 22, epígrafe 46). Más adelante, en las conclusiones del capítulo, acepta la bisección de la excentricidad. Al propio tiempo, señala que la teoría del movimiento lunar que mejor se ajusta a los eclipses es la kepleriana.

El capítulo II se titula «Observaciones de los planetas con anotaciones astronómicas, principalmente sobre el movimiento según elipses». Comienza con una descripción del procedimiento empleado para adaptar su telescopio, de dos lentes convexas, a la medida de distancias angulares celestes y a continuación detalla los resultados de sus observaciones. Mut expone cómo ha estimado la amplitud angular de su telescopio y la división del ocular con cuatro procedimientos: observando las manchas de la Luna; «por una estrella

⁹¹ Riccioli (1651), p. 738, criticará a Mut por estas afirmaciones y dice que le parece extraño que, en Mallorca, rodeada por el mar, no se aprecien las refracciones a determinada altura. Esta es una de las causas, según Riccioli, del error de Mut en la estimación de la paralaje.

⁹² Riccioli (1651), Volumen I, *Appendix ad partem I*, pp. 731 y ss.: «Anno 1650. Cum per literas rogassem D. Vincentium Mutum ut intenderet in dichotomiam Lunarem...». La idea de Aristarco era la de esperar hasta que la Luna estuviese iluminada en su mitad por el Sol, que en ese momento se encontraría formando el vértice de un ángulo recto.

⁹³ Wendelinus, por el mismo método, había obtenido una paralaje solar de $1'$ que luego redujo a $14''$ o $15''$ basándose en sus observaciones de los diámetros de los planetas. Wendelinus le comunicó estos resultados a Riccioli, animándolo a emplear el método de la dicotomía. Véase Van Helden (1985), pp. 112 y ss. sobre Wendelinus, Riccioli y la dicotomía lunar. El procedimiento seguido por Aristarco, en las pp. 5 y ss. Véase también Wilson (1989b), pp. 171, sobre Wendelinus y Riccioli.

próxima al meridiano que pasa por el campo visual del telescopio, mientras un compañero cuenta las vibraciones de la plomada», lo que permite obtener el tiempo y el arco de tránsito; mediante la distancia de Saturno o Júpiter a una estrella fija, y finalmente colocando cerca del foco interior del vidrio ocular «un anillo atravesado por hilos finísimos que forma cuadrados iguales muy pequeños (a la manera de las retículas o paralelogramos para trazar figuras)». Así, añade, el campo visual del telescopio se observa subdividido en muchos cuadrados iguales cuyos lados se miden por los procedimientos expuestos.

Se trata, por lo tanto, de equipar el telescopio con un micrómetro, siendo esta la primera referencia al micrómetro y su uso de la literatura astronómica española, según nuestro conocimiento. No obstante, de lo que dice Mut en esta obra no queda claro ni cuando comenzó a usarlo ni cual fue su fuente de información sobre el instrumento. Mut expone sus observaciones en este capítulo, como en el anterior, cronológicamente y al llegar a 1653 dice que desde el 19 de noviembre hasta febrero siguiente se ocupó asiduamente de los diámetros aparentes de Júpiter, Marte y Venus y de sus variaciones. Y para apoyar sus afirmaciones sobre el diámetro de estas planetas invita al «astrónomo» a que se prepare un telescopio de dos lentes convexas provisto de un diafragma de apertura y «los hilos extendidos en el foco interior». Pero, según MacKeon, la idea de situar hilos o una rejilla en el foco no se difundiría en Europa hasta después de la publicación por Huygens de su Sistema Saturnium, en 1659.⁹⁴ Por ello, cabe pensar que sería en la década de los años 1660, cuando Mut redactaba esta obra, cuando debió tener noticias del micrómetro.⁹⁵

⁹⁴ El instrumentista y astrónomo Eustachio Divini, en la dedicatoria al mapa lunar publicado en 1649, situaba una rejilla en el ocular, no en el foco. Huygens introdujo unas varillas cerca del foco y publicó el procedimiento en 1659 y, en 1662, Malvasia publicó las *Ephemerides Novissimae*, al final de las cuales describe una rejilla situada en el foco de su telescopio. Por otra parte, la invención del micrómetro por Gascoigne no se difundió hasta la década 1660-1670. Véase McKeon (1971).

⁹⁵ Galileo, para estimar el diámetro de un objeto celeste, se sirvió de una escala de modo que con el ojo derecho se observaba el objeto y con el izquierdo la escala. Así, nos encontramos ya con uno de los elementos del micrómetro: la escala. Por su parte, Martin Hortensius trató de determinar el alcance angular de su telescopio tomando dos estrellas que caen en el campo visual del instrumento; posteriormente determinó la distancia entre las estrellas midiéndola o mediante un catálogo estelar. Obtenido el campo visual, lo dividió visualmente tomando dos estrellas «circa contiguas in Cornu capricorni» que abarcaban un octavo del campo. Esta última medida le dio una distancia de unos 5 minutos y 1/4 que comparó finalmente con Júpiter. Mediante esta comparación encontró que Júpiter cubría 1/5 de esta distancia y tenía, por lo tanto, un diámetro de 1 minuto aproximadamente. Por el mismo método encontró que la Luna tenía un diámetro de 31 o 32 segundos. Con este procedimiento Hortensius hizo mentalmente lo que procuraba la rejilla del micrómetro. En ambos casos se trataba de dividir el campo visual del telescopio. Véase McKeon (1971). Mut, antes de introducir una rejilla en su telescopio, lo que no debió suceder hasta después de 1659, debió usar un procedimiento similar al de Hortensius, es decir, un micrómetro imaginario, dividiendo el campo visual tal y como él mismo lo describe en su *Observaciones*, cap. II, p. 1.

Una de las mejores observaciones de Mut fue la relativa al diámetro de Júpiter, recogida por Riccioli en el *Nuevo almagesto* a partir de la información que le proporcionó Mut en una carta y descrita con todo detalle en la obra que comentamos. El procedimiento consistía en observar Júpiter en conjunción con una estrella de coordenadas bien conocidas, en este caso de trata de Zaniah (η Virginis), y en estimar la distancia recorrida por el planeta en días sucesivos en relación a la estrella. Mut observó que en 24 horas Júpiter recorrió una distancia de casi tres diámetros suyos. Concluyó que el diámetro de Júpiter era de unos $48''$. Riccioli y Grimaldi usaron un procedimiento idéntico, coincidencia de la que se felicita Riccioli, como Mut no deja de señalar. Los italianos concluyeron en un valor de $46''$.⁹⁶

Otra de las contribuciones de Mut recogidas por Riccioli es la relativa a las Pléyades, a sus distancias relativas y a sus coordenadas. Mut dice que el año 1650, durante todo el mes de enero «observé la constitución de las Pléyades» y describe parte de sus resultados (cap. II, p. 51, ep. 30). Señala que los catálogos de Tycho Brahe y Lansbergen «descolocan estas Pléyades». Mut le envió sus observaciones a Riccioli, quién las incluyó en la *Astronomia reformatata* en dos cuadros en los que figuran las distancias entre las estrellas, sus coordenadas eclípticas y su magnitud.⁹⁷

En otro apartado, Mut insiste en las limitaciones e insuficiencias del catálogo de Tycho Brahe elaborado sin el recurso del telescopio. En particular comenta cómo una de las Híadas, θ^1 Tauri en realidad forma parte de un conjunto de dos estrellas distantes entre sí 5 minutos: ¿cuál de las dos observó Tycho? «¿Puede ser –se pregunta Mut– que la vista desnuda de Tycho no distinguió entre las dos iguales? ¿Puede ser que por esa causa algunas distancias de las fijas consignadas por Tycho a veces difieren hasta 4 minutos de los lugares asignados en el *Catálogo* del mismo Tycho?» (cap. II, p. 40, ep. 6).

⁹⁶ Véase Mut, *Observaciones*, cap. II, p. 29. Riccioli (1651), vol. I, pp. 710-711, describe con detalle sus observaciones en el *Nuevo almagesto*, T. I, pp. 710-711. No menciona ningún precedente del micrómetro, como la rejilla usada por Divini, pero como explica Bonoli (2002), la información que proporciona Riccioli de las características de los instrumentos no es muy abundante, quizás a la espera del *Liber organicus* que nunca se llegó a publicar. Mut menciona las anteriores medidas de Hortensius, bastante similares a las suyas. Sobre las medidas de los diámetros de los planetas realizadas por Hortensius, véase también Van Helden (1985), pp. 101-02.

⁹⁷ Riccioli (1665), p. 243, escribe, tras señalar que había recibido de Van Langren resultados de sus observaciones sobre las distancias entre las Pléyades, «At Doctissimus, et Amicissimus noster D. Vincentius Mutus Maiorice observandis sideribus addictissimus, peritissimusque; in Epistola ad me Anno 1650. Martis 5, transmissa, non modò communicavit earum distantias exactissimis instrumentis unà cum Telesopio acceptas, sed etiam Longitudinem, ac Latitudinem, et magnitudinis gradum...». Dice Riccioli que las distancias entre las estrellas consignadas por Van Langren eran similares a las de Mut, aunque no recibió del primero los datos de las coordenadas de las estrellas.

Además de las estrellas y los diámetros planetarios, Mut también realizó abundantes observaciones de los movimientos de la Luna y los planetas, muchas de las cuales también figuran en la *Astronomia reformata* de Riccioli. Así, sus observaciones de la Luna y su posición relativa con respecto a determinadas estrellas fijas, y la comparación de estos datos con las predicciones de las tablas de Boulliau y Lansbergen le permiten a Mut señalar las incertidumbres que pesan sobre el movimiento de nuestro satélite fuera de las sicígias. Mut señala, además, que dada esta incertidumbre no es muy recomendable calcular las longitudes geográficas a partir de la posición y el movimiento de la Luna, siendo preferible el método de los eclipses.

En el libro V de la *Astronomia reformata*, dedicado a Saturno, el capítulo VI está dedicado a presentar las observaciones de este planeta cerca del perigeo de la órbita, hechas en Mallorca por Vicente Mut los años 1650 y 1654, «con la posición de Saturno deducida de las observaciones y de cinco tablas»: las *Pruténicas*, las *Danasas*, las *Rudolfinas*, las de Lansbergen y las de Boulliau. Las observaciones de Mut fueron incluidas por Riccioli entre las 71 observaciones de Saturno, antiguas y modernas, que usó para evaluar los méritos de las diferentes tablas.⁹⁸

Mut también realizó observaciones de Marte y Venus, asimismo recogidas por Riccioli en su obra.⁹⁹ Cabe señalar que no todas las observaciones de Mut registradas por Riccioli y obtenidas a través de la correspondencia entre los dos astrónomos figuran en la obra de Mut. Por ello, la *Astronomia reformata* de Riccioli es una inapreciable fuente de información de la labor del astrónomo mallorquín.

Para el caso de Marte, «el más fugaz entre los planetas», Mut reconoce que las *Tablas rudolfinas* «son las que más se acercan a las observaciones, aunque están construidas con un difícilísimo procedimiento mediante elipses» (cap. II, p. 63, ep. 51). Como ya hemos

⁹⁸ Riccioli (1665), p. 296. La tabla de las observaciones de Mut de Saturno, en Riccioli (1665), p. 285. Riccioli concluyó que sus propias tablas y las de Boulliau eran las mejores para Saturno, seguidas por las de Kepler y las de Longomontanus. En tercer lugar, se situaban las de Lansbergen y las *Pruténicas*. No obstante, según Wilson (1970), p. 102, los cálculos de Riccioli presentan bastantes errores. En todo caso, como señala Wilson, la ventaja de las *Tablas rudolfinas* de Kepler era ampliamente reconocida a mediados de la centuria para Mercurio y Marte, no así para Júpiter y Saturno. Wilson ha comparado los valores deducidos de las *Tablas* de Kepler con los derivados de tablas actuales para 26 casos y ha encontrado un error promedio de 3' 12". Una comparación similar entre los valores de Riccioli para las predicciones de las *Tablas rudolfinas* y las actuales da una discrepancia promedio de 20' 25". Sobre los errores en las longitudes planetarias de las *Ephemerides* de Kepler, véase también en Gingerich (1993), el capítulo «Kepler's place in Astronomy», pp. 331 y ss.

⁹⁹ Sobre Marte, véase el «Libro VII», dedicado a Marte, p. 317, en el que Riccioli describe las observaciones de varios autores, incluido Mut. Sobre Venus, véase el «Libro VIII», p. 329.

adelantado, en esta obra Mut aceptó la bisección de la excentricidad. Asimismo, y aunque escribe: «juzgo muy cierto que los planetas se mueven en círculos, ya que el movimiento circular es el más natural para la perpetuidad del giro en todas direcciones que sin interrupción repiten los cuerpos celestes», hay que decir, no obstante, que considera admisibles los sistemas basados en elipses.

Mut, como muchos de los astrónomos de la época, no entendió el verdadero alcance y significado de la obra de Kepler y los esfuerzos de este autor por construir una dinámica celeste. Pero sí que advirtió las ventajas de la astronomía kepleriana desde el punto de vista predictivo. Así, aceptó la primera ley y prefirió, en cuanto a la segunda, la alternativa propuesta por Boulliau, a quien sigue muy de cerca. Boulliau en la *Astronomia philolaica* trató de ofrecer una cosmología diferente a la kepleriana. Criticó los supuestos y conclusiones de Kepler y aunque aceptó las elipses, argumentó que era más sencillo suponer que los planetas se movían por sí mismos y que su movimiento, impartido por la creación de Dios, se conservaba. En lugar de los métodos indirectos «no geométricos» de Kepler, Boulliau propuso cálculos directos basados en los movimientos medios.

Como los círculos y las elipses son secciones cónicas, Boulliau imaginó que los planetas se movían por la superficie de un cono oblicuo, cada uno de ellos recorriendo una elipse en torno al Sol situado en el foco inferior. Por construcción, el eje del cono bisecaba la base y, al mismo tiempo, definía el foco superior (vacío) de la elipse, así como un número infinito de círculos paralelos a la base. La posición del planeta en la elipse en un tiempo dado (el «problema de Kepler») vendría definida por la intersección de un círculo, con lo que en un instante dado su movimiento sería uniforme y circular, de acuerdo con la tradición astronómica. Mientras Kepler invocaba un complejo sistema de fuerzas, Boulliau explicaba el movimiento elíptico por medio de la geometría. Pero los fundamentos de la propuesta de Boulliau fueron puestos en cuestión por Seth Ward, profesor de matemáticas en Oxford. Según Ward, la teoría de Boulliau equivalía a una elipse en la que el foco vacío funcionaba como un punto ecuante. Ward no advirtió que la llamada «hipótesis elíptica simple» con el foco superior como un ecuante no era empíricamente adecuada ni equivalente a la ley de las áreas de Kepler. De hecho, el procedimiento de Boulliau conducía a anomalías verdaderas (el ángulo desde el Sol al afelio y al planeta) menos precisas que las derivadas de los métodos keplerianos. Comparando las ecuaciones de Boulliau con las de Kepler, proporcionadas por el propio Boulliau, para anomalías medias de 45°, 90° y 135°, aparecen diferencias de 2'44", 0'53" y 2'3". Las máximas corresponden a los octantes de la anomalía y, dado que son diferencias en la longitud heliocéntrica, podrían ser mayores en un factor de 3. Por ello Boulliau modificó ligeramente su hipótesis, aunque pronto abandonó esta modificación. Al leer la crítica de Ward, Boulliau le respondió con su *Astronomia philolaica fundamenta Clavius explicata* (París, 1657). Boulliau atacó

Sea Marte en E. Buscamos FEB y conocemos EFG y FB, excentricidad bisecta en A. Tracemos la tangente a la elipse en E. $FED=BEC$ por las propiedades de la elipse (Mut remite a las cónicas de Apolonio). Tracemos AC paralela a EF. Dado que el triángulo XEC es isósceles, $XE=XC$. Por otra parte, BAX y BEF son semejantes y BA y AF son iguales, luego BX y XE son iguales. Resulta de ello que BXC es también isósceles y por tanto $XBC=XCB$, siendo su suma igual a AXB, por ser este ángulo exterior al triángulo.

Los ángulos AXB y FEB son iguales. Así, el cálculo de FEB se reduce al cálculo de XCB.

De la semejanza entre BAX y BFE y de que FB es doble de AB se deduce:

$$BE+EF=2(BX+XA)$$

Y por las propiedades de la elipse:

$$BE+EF=GH$$

$$\text{Luego, } BX+XA=GH/2=AG$$

Pero $BX=XC$, ya que XBC es isósceles, como vimos arriba.

Por lo tanto, $XC+XA=AG=AC$, luego C está en un círculo de radio AC.

Tenemos, pues, un triángulo ABC del que:

AB es conocido (semiexcentricidad)

AC es conocido

BAC es suplementario de la anomalía media, que se supone conocida. Por tanto, se puede calcular ACB, cuyo doble nos da la «ecuación» que se buscaba.

Señala Mut, a continuación, que con este método la diferencia entre las posiciones observadas y las calculadas resulta en los octantes de casi 8'. Y añade que Boulliau, reconociendo esto y en respuesta a las críticas de Seth Ward, enmendó un poco la trayectoria de Marte suponiendo que el planeta no está en I sino en O, de modo que la anomalía media verdadera es KFG.

A Mut le parece incongruente que la línea del movimiento medio FI no pase por O: «resulta poco armonioso que la línea del movimiento medio no pase por un punto del cual es motor». De todos modos, acepta la corrección a efectos de cálculo y propone un método mucho más simple que el de Boulliau para calcularla. Así, por las propiedades de la

elipse, $AR/AS=NI/KN$. Pero $NI/KN=Tangente$ de la anomalía media $GFI/Tangente$ de la anomalía verdadera GFK . Conocida la anomalía verdadera y con el método anteriormente expuesto se puede calcular la ecuación que se buscaba.

Finalmente, el capítulo III trata de la determinación de las longitudes geográficas deducidas de los eclipses descritos en el capítulo I. Mut comienza por señalar que el método de los eclipses de Luna es el más fiable para calcular las longitudes.¹⁰¹

Mut, de los diferentes datos de eclipses obtenidos, particularmente los de Esmirna, señala que los mapas han de corregirse y las longitudes de los lugares del Mediterráneo acortadas, lo que ya había adelantado en el primer capítulo, «como lo habían proclamado Snell, Wendelinus y Gassendi a partir de otras observaciones» (cap. I, p. 16, ep. 35). Según Mut, desde el estrecho de Cádiz a las costas de Trípoli y Alejandría, siguiendo el paralelo 36, habría $44^{\circ}15'$ (cap. III, p. 74, ep. 11). Sobre los mapas, Mut insiste en que se usen los basados en la proyección de Mercator con latitudes crecientes, «para la precisión del arte de navegar» (cap. III, p. 75, ep. 12).

Seguidamente discurre sobre el problema del número de leguas que corresponden a un grado de círculo máximo. Para ello, junto a diversos cálculos y comparaciones, aporta sus propias experiencias, entre ellas el uso de un péndulo que bate segundos para medir el tiempo de los pasos y sus trabajos corográficos con Diego Desclapés para medir distancias. Concluye que un grado del círculo contiene $18 \frac{1}{2}$ leguas «hispanas verdaderas», es decir, consideradas en una «superficie perfectamente esférica, sin curvaturas o giros»

Incluye Mut una tabla de coordenadas geográficas de una serie de ciudades. En general, los datos de Mut no coinciden exactamente con los de Riccioli, aunque las diferencias siempre son pequeñas. No hay una diferencia sistemática, por lo que las diferencias dependen de los datos de que dispusiera cada uno y que considerara más fiables. Comparándolas con los datos actuales, unas veces es más preciso Mut y otras Riccioli. Los errores no suelen superar un grado, lo que significa una mejora considerable con respecto a las tablas de longitudes anteriores.

¹⁰¹ Riccioli (1651) vol. I, Parte 2, pp. 585 y ss. Trata de la «Problemática geográfica». En primer lugar se ocupa del diámetro de la tierra y de la determinación de la meridiana; después de la altura del polo, etc. En la p. 608 y ss. comienza el estudio de las longitudes geográficas por diversos métodos: relojes, satélites de Júpiter, variación de la iluminación en los eclipses de las manchas lunares (método de Van Langren), distancia lunar a una estrella fija, y otros, y hace un análisis crítico de todos los procedimientos. En Riccioli (1661), libro 8, pp.312 i ss. Riccioli estudia de nuevo la cuestión con más amplitud.

El capítulo concluye con los datos de un eclipse de Sol de 1666, es decir, el año de publicación del libro, y una observación de Marte que parece confirmar una vez más la superioridad de las *Tablas* de Kepler para Marte.

Concluye diciendo: «sobre las tablas astronómicas no emito ningún juicio: el docto astrónomo desearía que las tablas fueran ciertas con un error inferior a seis minutos, mientras audaz vaga a través de orbes desconocidos».

MUT Y LOS COMETAS DE 1664-65

Mut dedicó una de sus tres obras de astronomía publicadas a los cometas de 1664-1665. El cometa de 1664-65 fue célebre por su duración, de casi cuatro meses, y por su extraordinaria magnitud aparente, dada la corta distancia a la que se encontraba de la Tierra a finales de diciembre. Fue una ocasión para los astrónomos para la discusión de la naturaleza de los cometas y su movimiento. Una semana después de haberse perdido de vista, apareció otro que fue visible durante menos tiempo. El cometa de 1664-65 fue observado por un buen número de autores de diversas partes del mundo. En Europa, entre los observadores, figuran Huygens (en Leiden), Hevelius (en Danzig), Cassini (en Roma), G. F. Gottignies y John Ray (en Roma), Borelli (en Pisa), Adrien Auzout y Pierre Petit (en Francia), Milliet Dechaux (en Lyon), Hooke y Newton (en Londres), Geminiano Montanari (en Bolonia).¹⁰²

En España el cometa fue observado por el jesuita valenciano José de Zaragozá, que escribió un amplio estudio del fenómeno que se conserva manuscrito.¹⁰³ Otro destacado científico español, Juan Caramuel, también observó el cometa desde Italia. En el inventario que hemos realizado de los impresos españoles de las disciplinas físicomatemáticas hay siete referencias adicionales de textos publicados dedicados al cometa de 1664-65, de escaso interés astronómico.¹⁰⁴ Sin duda, los mejores estudios fueron los realizados por Vicente Mut y por Zaragozá, quienes, además, mantuvieron correspondencia sobre el fenómeno e intercambiaron los datos obtenidos.

¹⁰² Véase Pingré (1783-1784), Ruffner (1971), Kronk (1999) y Boschiero (2009), sobre estos cometas.

¹⁰³ En la Biblioteca de Ste Geneviève de París, Ms. Núm. 1045, fols. 42-92, con el título *Discurso del cometa del año 1664 y 1665*. Localicé otra copia en la Academia de la Historia de Madrid, Col. Cortes, 9/2705. Pingré (1783-1784), vol. II, pp. 13-21, comentó este trabajo y reprodujo un extracto del mismo en francés. Un estudio de este manuscrito, en Rosselló (2000).

¹⁰⁴ Un extracto de este inventario, aún no publicado, puede verse en Rosselló (2000) y, en lo relativo a la astronomía-astrología, en Lanuza (2005).

Desde la Antigüedad hasta el siglo XVII, la doctrina generalmente aceptada sobre los cometas en Europa era la aristotélica, según la cual eran fenómenos meteorológicos confinados en el mundo sublunar. Sin embargo, algunos autores de la antigüedad, como por ejemplo Séneca, afirmaron que los cometas eran cuerpos celestes semejantes a los planetas, las trayectorias de los cuales serían conocidas en el futuro. El primer intento conocido para determinar sus distancias a la Tierra se lo debemos a George Peurbach (1423-61), humanista, matemático y astrónomo de la Universidad de Viena. Su discípulo Johannes Regiomontanus escribió un tratado sobre la determinación de la paralaje de los cometas, si bien asumió, como Peurbach, que los cometas eran sublunares. El principal defecto del tratado de Regiomontano era que no tenía en cuenta el movimiento propio de los cometas.¹⁰⁵ Las observaciones de los cometas espectaculares de 1531, 1532 y 1533 llevaron a comprobar que las colas de los cometas se dirigían siempre en dirección contraria al Sol. Este descubrimiento fue anunciado por Girolamo Fracastoro en su *Homocentricum* (1538) y por Petrus Apianus en su *Astronomicum caesareum* (1540), quienes explicaron la dirección de la cola como un efecto óptico producido por los rayos de Sol. Por otro lado, Cardano, al encontrar que el movimiento propio de un cometa era más lento que el de la Luna, afirmó que los cometas eran supralunares; además, la relación constante entre la dirección de la cola y el Sol apoyaba esa idea.¹⁰⁶ Astrónomos como el valenciano Jerónimo Muñoz defendieron ya en la década de los años sesenta (1560-70) que los cometas eran cuerpos celestes.¹⁰⁷ Sin embargo, el creciente acuerdo entre los astrónomos sobre el carácter supralunar de los cometas se produjo a partir de las observaciones del cometa de 1577 y la determinación de su paralaje. Michael Maestlin (1550-1631) observó este cometa en todas las ocasiones favorables y, para cada determinación de la posición, estableció el alineamiento del cometa con dos estrellas. Concluyó que la paralaje del cometa era indetectable y le asignó una trayectoria circular exterior a la órbita de Venus. Tycho Brahe observó también el cometa de 1577, mostró que la paralaje era inapreciable y que la trayectoria aparente del cometa era un gran círculo de la esfera celeste. Posteriormente insistió en el hecho que las trayectorias aparentes de todos los cometas eran grandes círculos, al menos en las partes medias de su movimiento aparente, y que experimentaban pequeñas desviaciones de sus grandes arcos solo al principio y al final de su aparición. Los no copernicanos explicaron estas desviaciones haciendo pasar los planos de las trayectorias teóricas por puntos fuera de la Tierra, como el Sol o una estrella fija. Los copernicanos creían que esas desviaciones eran en gran parte el efecto del movimiento anual

¹⁰⁵ Véase Jervis (1985).

¹⁰⁶ Véanse Barker, Goldstein (1988) y Wilson (1989b).

¹⁰⁷ Véase Navarro Brotons (1998 y 2019).

de la Tierra. Kepler introdujo la idea de que las trayectorias de los cometas eran rectilíneas. Para Kepler los cometas eran cuerpos transitorios formados de las partes impuras del éter coagulado en glóbulos por un espíritu animal. Quizás su función era eliminar desechos del cosmos. Al principio apoyó la teoría de que las colas de los cometas eran un efecto óptico producido por el paso de la luz del Sol por la cabeza del cometa, pero después la rechazó por poco plausible.

Gassendi aceptó la idea de Kepler de que los cometas seguían trayectorias rectilíneas, pero insistió en el hecho de que el movimiento debería ser uniforme y siguió a Séneca y otros autores afirmando que eran cuerpos permanentes de la naturaleza. Johannes Hevelius, en cambio, siguió a Kepler en la idea de que los cometas se formaban de material de desecho, pero procedente de las exhalaciones terrestres. Mostró su acuerdo, por otro lado, con Cysat, que había interpretado las manchas brillantes en la cabeza del cometa como múltiples núcleos. También siguió a Kepler al concebir que la cola se formaba de una materia que fluía de la cabeza impulsada por los rayos de Sol. Hevelius pensaba además que los cometas se comportan como agujas magnéticas con una de las caras siempre girando para mantenerse perpendiculares a los rayos del Sol. Las trayectorias eran básicamente rectilíneas, pero cerca del perihelio se curvaban y, cuando los cometas se acercaban al Sol, se aceleraban, mientras que cuando se alejaban, sucedía lo contrario. La curva podría ser parabólica, como ocurría en el caso de los proyectiles, y cuando la distancia del perihelio era grande o hiperbólica para perihelios en distancias pequeñas. En todo caso, los segmentos aparentes de la trayectoria eran prácticamente rectos puesto que eran relativamente cortos con el foco situado mucho más lejos que el Sol, a quizás dos veces la distancia del perihelio. Hevelius trató de demostrar que el movimiento de los cometas implicaba el movimiento de la Tierra, como Kepler ya había afirmado.¹⁰⁸

Descartes en sus *Principia philosophiae* (1644) propuso para los cometas trayectorias sinuosas. Para él un cometa era una estrella muerta, el vórtice de la cual se había colapsado y había sido capturado por un vórtice después de otro¹⁰⁹. Su camino era casi rectilíneo, pero curvado hacia la estrella central.

Giovanni Borelli también dedicó especial atención a los cometas de 1664-65 y trató de someterlos a un modelo mecánico de los movimientos celestes. Afirmó que su trayectoria era una curva parecida a una parábola, ya que, como los planetas, obedecen a dos

¹⁰⁸ Véase Ruffner (1971).

¹⁰⁹ Al no poder sostener su propio vórtice estelar, los cometas eran capturados y arrastrados por los vórtices vecinos.

tendencias opuestas, una de las cuales procede del ímpetu de los rayos del Sol, siendo la otra la inercia o tendencia a perseverar en su estado de movimiento.¹¹⁰

En cuanto al jesuita valenciano José de Zaragoza, este, además de sus observaciones, describe las de otros autores: Milliet Dechales, Gottinguez y Montanari, entre los extranjeros, y Enrique de Miranda, Miguel Fuster y Vicente Mut, entre los españoles. Estudia con detalle el movimiento aparente del cometa y trata de analizar su trayectoria, concluyendo que esta se acerca más a la línea recta y es intermedia entre esta y la circunferencia; y añade: «dejo el elíptico porque puede nacer de los dos».¹¹¹ Sobre el lugar «verdadero» del cometa, Zaragoza demuestra que siempre estuvo «sobre la Luna», de la cual cosa se deduce, «contra la común filosofía peripatética y su príncipe Aristóteles...» que los cielos son fluidos y corruptibles.¹¹² De acuerdo con Riccioli, Zaragoza afirma que la cola del cometa era de materia consistente, como la cabeza o núcleo, y no encendida sino más bien iluminada por los rayos solares. La oposición de la cola al Sol la explica suponiendo que la materia del cometa era heliótrópica, de forma que la cabeza del astro siempre miraba al Sol como «la brújula al norte». Esta idea la adoptó de Riccioli, aunque Hevelius también expresó ideas parecidas.¹¹³

Mut empieza señalando que sobre los cometas hay una célebre controversia y que quizás los cometas de esos años 1664-65 podrán lanzar nueva luz sobre el tema. Deja claro su respeto por las ideas aristotélicas, pero dice que emprenderá el camino más seguro de los modernos. Señala que del escaso incremento de la magnitud del cometa mediante el telescopio no se puede deducir nada sobre su distancia a la Tierra. Deja la discusión de este tema para la segunda parte del texto.

Mut describe sus observaciones junto con las de Miguel Fuster y Diego Desclapés, realizadas entre el 18 de diciembre y el 23 de enero. Incluye datos sobre el color, el diámetro aparente y la longitud y dirección de la cola, además de su posición relativa respecto a determinadas estrellas. Después resume en una tabla los datos obtenidos sobre la posición del cometa (longitud y latitud), ángulo de la órbita con la eclíptica y distancia al nodo.

¹¹⁰ Véase Boschiero (2005).

¹¹¹ Zaragoza, *Discurso del cometa...* fols.73v-74r.

¹¹² *Ibid.*, fols.76r y ss.

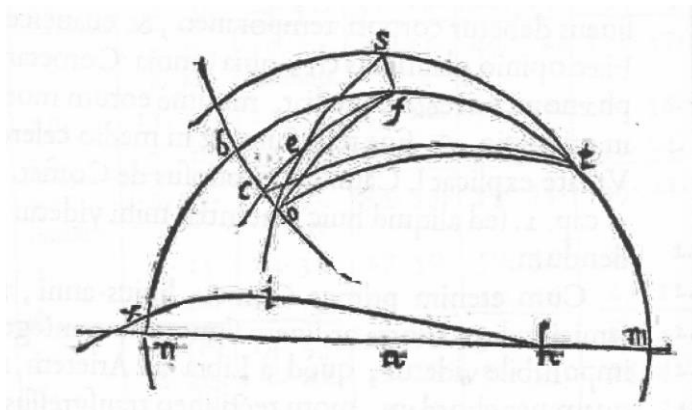
¹¹³ Riccioli (1651), vol. II, p. 128. Diego Ramírez, *Discurso etheorológico del Nuevo Cometa*, México, 1652, sugirió una hipótesis semejante, como lo comenta Rosselló (2000).

La dirección de la cola no era exactamente opuesta al Sol, sino que sufrió una desviación de dos grados. La cola se observó más corta a finales de diciembre, fenómeno que atribuye a la oposición con el Sol, que provocaba que el cuerpo del cometa la tapara.

El día uno de enero realizó «una extraordinaria observación» que le llevó a concluir que el inicio de la cola, contrariamente al extremo, estaba compuesto de materia consistente, puesto que era capaz de eclipsar una estrella. Mut dice que este hecho ya había sido señalado por Riccioli y recogido por Gassendi. En este caso, señala la discrepancia de sus observaciones, junto con las de Miguel Fuster y Diego Desclapés, con las de Zaragoza, realizadas en Valencia, según las cuales no se habría producido el eclipse de la estrella en el momento establecido por Mut.

A partir del 16 de enero el cometa empezó «a perder completamente la cola y, poco a poco, a difuminarse» y «desde el día 23 las nubes y las lluvias interrumpieron la visión del cometa casi hasta febrero.» A partir de entonces Mut dejó de observar el cometa, aunque «el Padre Zaragoza lo observó directo desde el día 7 de febrero».

Después de presentar su tabla de resultados, Mut discute la cuestión de la distancia del cometa a la tierra y dice que, relegadas las ideas peripatéticas sobre la región celeste, conviene con Kepler, Galileo, Cysat y Gassendi (siguiendo a Séneca) que los cometas son objetos percederos que se encienden en la parte más alta de la atmósfera o en la región celeste y se mueven en el plano de un círculo máximo siguiendo una línea recta. Sin embargo, considera que «a esta sentencia me parece que tiene que añadirse algo». Dice que, si el movimiento entre Libra y Aries hubiera sido estrictamente rectilíneo, habría estado demasiado próximo a la Tierra, con una desmesurada paralaje, que de hecho no fue tan enorme. Por eso postula una desviación de la línea recta en la trayectoria, como si se moviera como un fuego artificial que, acabado el ascenso, cayera en forma de arco; o como un proyectil que al debilitarse el movimiento rectilíneo sigue una línea parabólica. Y sobre esto último, remite a aquello que se ha expuesto en su *Arquitectura militar* sobre el movimiento de proyectiles.



La trayectoria del cometa: HIX y cálculo de la paralaje.

Mut se sumó así a las propuestas de astrónomos, como Hevelius o Borelli, que postularon una trayectoria parabólica, totalmente o en parte, si bien Mut lo hizo desde una perspectiva geocéntrica. Aunque estas ideas se expusieron en términos cualitativos y sin precisar ni calcular los elementos de la trayectoria, no por eso dejan de tener interés antes de que el movimiento de los cometas se sometiera al rigor de la mecánica newtoniana.

A continuación, Mut expone con detalle el problema de la distancia del cometa a la Tierra y muestra con sus observaciones y las de Zaragoza que siempre estuvo por encima de la Luna. Así, al comparar observaciones realizadas simultáneamente en Valencia y Mallorca el día 18 de diciembre, comprueba que los resultados en cuanto a la posición del cometa (ascensión recta y declinación) fueron prácticamente idénticos, con diferencias de 4' en cuanto a la ascensión recta y de 3' en la declinación. De esto se deduce claramente que la paralaje no podía exceder a la de la Luna.

Según Mut, cuando el cometa estaba hacia la mitad de su recorrido aparente se apreció una paralaje, si bien también inferior a la de la Luna. Mut expone una serie de cálculos usando el triángulo paraláctico para evaluar esta paralaje y concluye que la paralaje de altura fue de $0; 25,30^\circ$ y la horizontal de $0; 27,5^\circ$, lo cual implica una distancia en la Tierra de 127 semidiámetros. Mut reconoce las incertidumbres de este tipo de cálculo, si bien, no obstante la hipótesis, que siempre fue supralunar, parece muy confirmada.

También el segundo cometa fue siempre supralunar, aunque «para inferir el movimiento propio rectilíneo ... no contamos con observaciones suficientes».

La obra acaba con unos versos de Caramuel que, implícitamente, son una crítica a los pronósticos astrológicos catastrofistas basados en los cometas. De hecho, Mut era poco entusiasta de la astrología y ya se había manifestado en su contra en otras obras.¹¹⁴

CONCLUSIÓN

Vicente Mut fue el mejor observador de la España del siglo XVII. Colaboró estrechamente con Riccioli en el proyecto de este de renovar la astronomía sobre una firme base empírica y con nuevos métodos, técnicas e instrumentos. Hizo numerosas observaciones de eclipses, planetas y estrellas, con algunas contribuciones destacadas como por ejemplo las relativas al diámetro de Júpiter, o las distancias entre Pléyades. Fue el primer español

¹¹⁴ En *El príncipe en la guerra y en la paz*, p. 198, Mut (1640), dice: «Los pronósticos son muy dañosos a la República, porque se les da sobrado crédito; y es de modo que si el astrólogo acierta una vez (que habrá sido acaso), no se acuerda de las infinitas que yerra».

conocido en incorporar el micrómetro. También colaboró en la revisión o determinación de las longitudes geográficas para elaborar un moderno Atlas del mundo. Mut rehuyó, en general, discutir cuestiones de cosmología. A pesar de todo, cabe sospechar que sus ideas en estas cuestiones eran similares a las de Riccioli. Mut no compartía la física celeste de Kepler. Aceptó, como Riccioli, las elipses keplerianas y que el movimiento había que referirlo al Sol verdadero y no al Sol medio. Decía, no obstante, que las teorías planetarias eran construcciones imaginarias de los astrónomos y añadía que los planetas no hacen geometría. Esto sugiere que compartía las ideas de Riccioli sobre que la astronomía se tendría que limitar a «salvar las apariencias» con modelos geométricos. Para Riccioli, y seguramente para Mut, los movimientos planetarios verdaderos estarían más allá de la capacidad humana de aprehenderlos. Se resistió a ensanchar el universo más que su amigo Riccioli, quizás por una fidelidad a su antigua pretensión de «restituir» el Sol alfonsí, o quizás porque el contexto español era incluso más restrictivo que el italiano. En la cuestión de los cometas se inclinó por la opinión cada día más generalizada de los astrónomos de que eran cuerpos celestes, afirmando además que solo los aristotélicos creían en la impenetrabilidad de los cielos.

Con su obra y su influencia en José de Zaragoza, Vicente Mut contribuyó de forma notable a la renovación científica mallorquina y española.

FUENTES PRIMARIAS

- Bayer, J. (1603), *Uranometria*, Ausburg, Mangus.
- Boulliau, I. (1645), *Astronomia Philolaica*, Paris, Piget.
- Brahe, T. (1913-29), *Tychonis Brahe. Opera Omnia*, 15 vols., J. L. E. Dreyer, ed. Copenhagen, Gildendaliana (reimp. facsímil, Amsterdam, 1972. Los vols. II y III corresponden a la *Astronomiae instauratae progymnasmata*).
- Caramuel Lobkowitz, J. (1670), *Mathesis biceps, vetus et nova*, Campania, Oficina Episcopalis.
- García de Céspedes, A. (1606), *Regimiento de navegación*, Madrid, Juan de la Cuesta.
- Finé, O. (1532), *Protomathesis*, Paris, Gerardi Morrhij et Ioannis Petri.
- Gassendi, P. (1658), *Opera omnia*, 6 vols., Lyon, (facsímil, Stuttgart-Bad Cannstatt, Friedrich Frommann Verlag-Günther Holzboog, 1964).
- Gloriosi, G. C. (1624), *De cometis*, Venezia, Varisco.
- Hortensius, M. (1633), *Dissertatio de Mercurio in Sole viso et Venere invisâ*, Ludguni Batavorum (Leiden), I. Commelinum.
- Kepler, J. (1604), *Ad vitellionem paralipomena quibus Astronomiae pars optica traditur*, Frankfurt, C. Marnius.
- Kepler, J. (1618-22), *Epitome Astronomiae copernicanae*, vol. 1 y 2, Linz, Johannes Planck.
- Kepler, J. (1627), *Tabulae Rudolphinae*, Jonas Saur, Ulm.
- Lansbergen, P. (1632), *Tabulae motuum coelestium perpetuae*, Middelburgi Zelandiae, Z. Romanum.
- Longomontanus, C. S. (1622), *Astronomia Danica*, Amsterdam, Caes.
- Magini, G. A. (1619), *Tabulae primi mobilis*, Venezia, Zenari.
- Montebruni, F. (1640), *Ephemerides novissimae motuum coelestium...ad longitudinem inclitae urbis bononiae ab anno 1640 ad annum 1645. Ex Philippi Lansbergi...*, Bononiae, I. B. Ferroni, 1640.

- Mut, V. (1640), *El principe en la guerra y en la paz*, Madrid.
- Mut, V. (1650), *Tomo II de la Historia del reyno de Mallorca*, Mallorca, Herederos de Gabriel Guasp (se ha utilizado la edición de M. Moragues Pro y J. María Bover de 1841).
- Mut, V. (1649), *De sole Alphonsino restituto*, Mallorca, Petrus Giasp, 1649.
- Mut, V. (1666a), *Cometarum anni MDCLXV*, Mallorca, s. i.
- Mut, V. (1666b), *Observationes motuum coelestium*, Mallorca, Raphael Moyà,
- Nieremberg, J. E (1630), *Curiosa filosofía y tesoro de las maravillas de la naturaleza*, Madrid, Imp. Real (ed. citada, 1632).
- Núñez Zamora, A. (1610), *Liber de cometis*, Salamanca, A. Ramírez.
- Reineri, V. (1646), *Tabulae motuum coelestium universales*, Florencia, M.Forolivien.
- Riccioli, Giambattista (1651), *Almagestum novum Astronomiam veterem novamque compectens*, Bononiae (Bologna), Haeredis V. Benatij.
- Riccioli, Giambattista (1661), *Geographiae et hydrographiae reformatae libri duodecim*, Bononiae (Bologna), Haeredis V. Benatij (edición citada: 2ª ed., Venetiis, Ioannis La Noù, 1672).
- Riccioli, Giambattista (1665), *Astronomia reformata*, Bononiae (Bologna), Haeredis V. Benatij.
- Riccius, A. (1513), *De motu octavae sphaerae*, Trento (ed. citada, Paris, S.Colines, 1521).
- Ruiz, P. (1575), *Libro de relojes solares*, Valencia, Pedro de Huete.
- Scheiner, C. (1630), *Rosa ursina*, Bracciano, A. Phaeum.
- Sempilius, H. (1635), *De mathematicis disciplinis*, Amberes, B. Moreti.
- Suárez de Argüello, F. (1608), *Efemérides generales de los movimientos de los cielos*, Madrid, Cuesta.
- Langren, Michael Florent van (1634) *Advertencias...a todos los profesores y amadores de la matemática tocantes a la proposición de la longitud por mar y tierra*, Madrid, 1634.
- Wendelinus, G. (1644), *Eclipses lunares ab anno MDLXXIII ad MDCXLIII observatae quibus Tabulae Atlancticae superstruuntur*, Amberes, H. Verdussium.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Advertencia: se utilizará la abreviatura BHA para la obra: Hockey, T., ed. (2007), *The Biographical Encyclopedia of Astronomers*, 2 vols, New York, Springer.

- Almirante, J. (1876), *Bibliografía militar de España*, Madrid, M. Tello.
- Baldini, U. (1996), «La formación científica di Giovanni Battista Riccioli», en Luigi Pepe, ed., *Copernico e la questione copernicana in Italia dal XVI al XIX secolo*, Firenze, Leo S. Olschki, pp. 123-182.
- Baldini, U. (2001), «Giovanni Camillo Gloriosi», en *Dizionario Biografico degli Italiani*, vol.57, Roma, pp. 421-424.
- Baldini, U. (2002), «Riccioli e Grimaldi», en M. T. Borgato, ed., pp. 1-49.
- Baldini, U.; Napolitani, P. D., eds. (1992), *Christoph Clavius: corrispondenza*. 7 vols., Pisa, Università di Pisa (Dipartimento di Matematica).
- Barker, P.; Goldstein B. R. (1988), «The role of comets in the copernican revolution», *Studies in the History and Philosophy of Science*, 19, pp. 299-319.
- Bonner, A.; Bujosa Homar, F., dirs. (2006), *Història de la ciència a les Illes Balears*, vol. II, Palma, Govern de les Illes Balears, Lleonard Muntaner.
- Borgato, M. T. ed. (2002), *Giambattista Riccioli e il merito scientifico dei gesuiti nell'età barocca*, Firenze, Olschki.
- Borgato, M. T. (2002b), «Riccioli e la caduta dei gravi», en M. T. Borgato, ed., pp. 79-119.
- Boschiero, L. (2009), «Borelli and the comets of 1664-65», *Journal for the History of Astronomy*, 40, pp. 11-30.
- Bosmans, H. (1903a). «La selenographie de Van Langren». *Revue de Questions Scientifiques*, 53, pp. 335-340.
- Bosmans, H. (1903b), «La carte lunaire de Van Langren, conservée aux Archives du Royaume à Bruxelles». *Revue des Questions Scientifiques*, 54, pp. 107-139.
- Bover, J. (1868), *Biblioteca de escritores baleares*, 2 vols., P. J. Gelabert, Palma de Mallorca.

- Brendecke, Arndt (2016), *Imperio e información. Funciones del saber en el dominio colonial español*, Madrid, Iberomericana.
- Casanovas, J. (1987), «On the precession problem in the Alfonsine Tables», en M. Comes, R. Puig y J. Samsó, eds., *De astronomia Alphonsis regis*, Barcelona, Universidad de Barcelona, pp. 79-89.
- Caspar, M. (1993), *Kepler*, New York, Dover (la edición original es de 1984, en alemán; la tradujo C. Doris Hellman y se publicó en 1959; esta reedición en Dover incluye una actualización bibliográfica de O. Gingerich y otras adiciones; se publicó en 2018 una versión castellana en PUV-Universitat de València de M.^a Dulcinea Otero Piñero, con un prefacio de Miguel Ángel Granada).
- Ceñal, J. (1953), «Juan Caramuel. Su epistolario con Athanasius Kircher, S. J.», *Revista de Filosofía*, 44, pp. 101-147.
- Chabás, J.; Goldstein, B. R. (2000), *Astronomy in the Iberian Peninsula: Abraham Zacut and the transition from manuscript to print*, Philadelphia, American Philosophical Society.
- Chabás, J.; Goldstein, B. R. (2008), *Las Tablas Alfonsíes de Toledo*, Toledo, Diputación Provincial.
- Christianson, J. R. (2000), *On Tycho's island. Tycho Brahe and his assistants, 1570-1601*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Contreras Mas, A. (1993), «Geografía y medicina en el Renacimiento Mallorquín: el historiador Joan Bautista Binimelis», *Butlletí de la Societat Arqueològica Lul·liana*, 49, 451-484.
- Contreras Mas, A. (2010), «*Matemáticas mixtas* en Mallorca: las Escuela de Montesión (siglos XVI y XVII)», *Bolletí de la Societat Arqueològica Lul·liana*, 66, pp. 87-110.
- Contreras Mas, A. (2017), «El *Apparato Astronomico* de Didac Desclapés de Montornés i Caulelles», *Bolletí de la Societat Arqueològica Lul·liana*, 73, pp. 117-133
- Daxecker, F. (2004), *The physicist and astronomer Christopher Scheiner. biography, letters, works*, Leopold-Franzens-University of Innsbruck, Fred Steiner.
- De Smet, A. (1973), «Langren, Michael Florent van», en C. C. Gillispies, ed., *Dictionary of scientific biography*, vol. 8, New York, Charles Scribner's Sons, pp. 25-26.

- Dear, P. (1987), «Jesuit mathematical science and the reconstitution of experience in the early 17th century», *Studies in History and Philosophy of Science*, 18, pp. 133-175.
- Dear, Peter (1995), *Discipline and experience. The mathematical way in the scientific revolution*, Chicago, University of Chicago Press, 1995.
- Delambre, J. B. (1819), *Histoire de l'astronomie du Moyen Age*, Paris, 1819 (reed. Paris, J. Gabay, 2006), pp. 377-381.
- Duhem, P. (1914), *Le système du monde*, vol. II, Paris, Hermann.
- Durán, E. (1993), «Joan Binimelis i la seva Història de Mallorca», *Bolletí de la Societat Arqueològica Lul·liana*, 49, pp. 485-496.
- Evans, J. (1998), *The history and practice of ancient astronomy*, New York, Oxford University Press.
- Esteban Piñeiro, M.; Gómez Crespo, F. (1991), «La primera versión castellana de “De Revolutionibus Orbium Coelestium”: Juan Cedillo Díaz (1620-1625)», *Asclepio*, 43, pp. 131-162.
- Favaro, A. (1886), *Carteggio inedito di Ticone Brahe, Giovanni Keplero e di altri celebri astronomi e matematici del secolo XVI e XVII con Giovanni Antonio Magini, tratto dall'Archivio Malvezzi de' Medici in Bologna*, Bologna, Nicola Zanichelli, 1886.
- Findlen, P, ed. (2004), *Athanasius Kircher. The last man who knew everything*, New York and London, Routledge.
- Fletcher, J (1970). «Astronomy in the life and works of Athanasius Kircher», *Isis*, 61 (1970), pp. 42-67.
- Fletcher, J. (1988), «Athanasius Kircher and his correspondence», en J. Fletcher, ed., *Athanasius Kircher und seine Beziehungen zum gelehrten Europa seine Zeit*, Wiesbaden, Harrassowitz, 1988, pp. 139-195.
- Fornals Villalonga, F. (2006), «Ingeniería e ingenieros en las Islas Baleares en los siglos XVI y XVII», en A. Bonner y F.Bujosa, dirs., pp. 157-183.
- Gambaro, I. (1989), *Astronomia e tecniche di ricerca nelle lettere di G. B. Riccioli ad A. Kircher*, Gènova, Quaderni del Centro di Studio sulla Storia della Tecnica del Consiglio Nazionale delle Ricerche, vol. 15, 1989.

- Garma Pons, S. (1978), *Las aportaciones de Juan Caramuel al nacimiento de la matemática moderna*, tesis doctoral, Universidad de Valencia.
- Garma Pons, S. (1983), «Juan Caramuel Lobkowitz». En López Piñero *et alii*, *Diccionario histórico de la ciencia moderna en España*, vol. I, pp. 168-171.
- Gatto, R. (1994), *Tra scienza e immaginazione. Le matematiche presso il collegio gesuitico napoletano (1552-1670 ca.)*, Firenze, Olschki.
- Gingerich, O. (1982), «Dreyer and Tycho's world system», *Sky and Telescop*, 64, pp. 138-140. Reeditado en O. Gingerich, *The Great Copernicus Case and other adventures in astronomical history*, Cambridge, Mass., Cambridge University Press, 1992.
- Gingerich, O. (1989), «Johannes Kepler», en R. Taton y C. Wilson, eds., *General history of astronomy. Vol.2: Planetary astronomy from the Renaissance to the rise of astrophysics. Part A: Tycho Brahe to Newton*, pp.54-79.
- Gingerich, O. (1993), *The eye of heaven. Ptolemy, Copernicus, Kepler*, New York, The American Institute of Physics.
- Glick, Thomas F. (1971), «On the influence of Kircher in Spain», *Isis*, 62, pp. 379-381.
- Goldstein, B. R. (1985), *The Astronomy of Levi ben Gerson (1288-1344). A critical edition of chapters 1-20 with translation and commentary*, New York, Springer.
- Goldstein, B. R. (1994), «Historical perspectives on Copernicus's account of precession», *Journal for the History of Astronomy*, 25, pp. 189-197.
- Gómez Crespo, F. (2008), *Un astrónomo desconocido. El debate copernicano en El Escorial*, Valladolid, Junta de Castilla y León.
- Granada, Miguel Ángel; Gómez Crespo, Félix, eds. (2019), *Juan Cedillo Díaz: Ydea astronomica de la fabrica del mundo y movimiento de los cuerpos celestiales. Traducción de De revolutionibus I-III, de Nicolás Copérnico*, Barcelona, Universitat de Barcelona.
- Habashi, F. (2007), «Hevel (Hevelius), Johannes», en BHA, I, pp. 501-502.
- Hallyn, F. and Lammens, C. (2007), «Wendelen, Govaart (Gottfried, Godefried)», en BHA, II; p. 1205.
- Hatch, R. A. (2007a), «Bouillau, Ismaël», en BHA, I, pp.155-156.

- Hatch, R.A. (2007b), «Renieri, Vincenzo», en BHA, II, pp.963-964.
- Heilbron, J.L. (1999), *The Sun in the Church*, Cambridge, Harvard University Press.
- Hockey, T., ed. (2007), *The Biographical Encyclopedia of Astronomers*, 2 vols, New York, Springer,
- Humbert, P. (1936), *L'oeuvre astronomique de Gassendi*, Paris, Hermann.
- Jervis, J. L. (1985), *Cometary theory in fifteenth-century Europe*, Studia Copernicana 26, Polish Academy of Sciences, Wroclaw.
- Koyré, A. (1966), «Une experience de mesure», en *Études d'histoire de la pensée scientifique*, del mismo autor, Paris, Presses Universitaires de France, pp.253-283.
- Kronck, G. W. (1999), *Cometography. A catalog of comets, volume I: Ancient-1799*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Lanuza Navarro, Tayra (2005), *Astrología, ciencia y sociedad en la España de los Austrias*, tesis doctoral, Universidad de Valencia.
- López Piñero, J. M., dir. (2002), *Historia de la ciencia y de la técnica en la Corona de Castilla*, 4 vols., Valladolid, Junta de Castilla y León, vol. 3, pp. 231-259.
- López Piñero, J. M.; Glick, T. F.; Navarro Brotons, V.; Portela Marco, E., dirs. (1983), *Diccionario histórico de la ciencia moderna en España*, 2 vols., Barcelona, Península.
- López Piñero, J. L.; Navarro Brotons, V.; Portela Marco, E., dirs. (1976), *Materiales para la historia de las ciencias en España. S. XVI-XVII*, Valencia.
- Maeyama, Y. (1974), «The historical development of solar theories in the late Sixteenth and Seveenth centuries», *Vistas in Astronomy*, 16, pp. 35-60.
- Maeyama, Y. (1975), «On the order of accuray of Kepler's solar theory», *Vistas in Astronomy*, 18, pp. 169-780.
- Maeyama, Y. (1988), «The Keplerian and mean motions. A geometrical study», *Archive for History of Exact Sciences*, 38, pp. 365-383.
- Maeyama, Y. (1990), «Kepler's hypothesis vicaria», *Archive for History of Exact Sciences*, 41, pp. 53-92.
- Maeyama, Y. (2003), *Astronomy in Orient and Occident*, Hildesheim, Olms.

- March, Joan (en prensa): «Vicenç Mut (1614-1687) i els astrònoms jesuïtes del segle XVII. Algunes incògnites biogràfiques».
- Mascella, R.; Pelusi, D., «Uno scienziato abruzzese: Andrea Argoli». *Ratio Mathematica, Revista on line*, n.º 1, Gennaio-Febraio, 2005. [Acceso al número de la revista](#).
- McKeon, R. (1971), «Les débuts de l'astronomie de précision. 1. Histoire de la réalisation du micromètre astronomique», *Physis*, 13, pp. 225-288.
- Miralles i Sbert, J. (1897-1898), «Sobre Vicente Mut y su familia», BSAL, Tomo VII, pp. 187-188.
- Navarro Brotons, V. (1972), La renovación de las ciencias físico-matemáticas en la Valencia pre-ilustrada, *Asclepio*, 24, 367-370.
- Navarro Brotons, V. (1978), *La revolución científica en España. Tradición y renovación en las ciencias físico-matemáticas*, Valencia, tesis doctoral, 1978.
- Navarro Brotons, V. (1979), «Física y astronomía modernas en la obra de Vicente Mut», *Llull. Revista de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas*, vol. 2 (n.º 4), pp. 23-43.
- Navarro Brotons, V. (1985), *Tradició i canvi científic al País Valencià modern (1660-1720): les ciències físico-matemàtiques*, Valencia, Tres i Quatre.
- Navarro Brotons, V. (1996), «La ciencia en la España del siglo XVII: el cultivo de las disciplinas físico-matemáticas», *Arbor*, tomo CLIII, n.º 604-605 (1996), pp. 197-252.
- Navarro Brotons, V. (1998), «Matemáticas, cosmología y humanismo en la España del siglo XVI. La obra de J. Muñoz», en V. Navarro Brotons, E. Rodríguez Galdeano, *Matemáticas, cosmología y humanismo en la España del siglo XVI. Los «Comentarios al Segundo Libro de la Historia Natural de Plinio» de Jerónimo Muñoz*, Valencia, Instituto de Estudios Documentales e Históricos sobre la Ciencia, pp. 17-249.
- Navarro Brotons, V. (2000), «Astronomía y Cosmografía entre 1561 y 1625. Aspectos de la actividad de los matemáticos y cosmógrafos españoles y portugueses», *Cronos*, 3, pp. 349-381. En inglés: «Astronomy and Cosmography 1561-1625. Different aspects of the activities of Spanish and Portuguese mathematicians and cosmographers», en L. Saraiva and H. Leitao, eds., *The practice of mathematics in Portugal*, Coimbra, Acta Universitatis Conimbrigensis, pp. 225-275

- Navarro Brotons, V. (2001), «Galileo y España», en J. Montesinos, J., C. Solís, eds., *Largo campo di filosofare. Eurosymposium Galileo, 2001*, La Orotava, Fundación Canaria Orotava de Historia de la Ciencia, pp. 809-831.
- Navarro Brotons, V. (2002a), «El Colegio Imperial de Madrid. El Colegio de San Telmo de Sevilla», en J. M. López Piñero, dir. (2002), pp. 53-73.
- Navarro Brotons, V. (2002b), «De la filosofía natural tradicional a la física moderna (siglos XVI-XVII)», en J.M. López Piñero, dir. (2002), pp.383-437.
- Navarro Brotons, V. (2002c), «La astronomía (siglos XVI-XVII)», en J. M. López Piñero, dir. (2002), pp.231-259.
- Navarro Brotóns, V. (2002d), «Riccioli y la renovación científica en la España del siglo XVII», en M. T. Borgato, ed., *Giambattista Riccioli e il merito dei gesuiti nell'età barocca*, Firenze, Leo S. Olschki, pp. 291-319.
- Navarro Brotons, V. (2003), «Tradition and scientific change in modern Spain: the role of the jesuits», en M. Feingold, ed., *Jesuit science and the republic of letters*, Cambridge, The MIT Press, pp. 331-389.
- Navarro Brotons, V. (2005), «La Geografía y la Cosmografía en la época del Quijote», en J. M. Sánchez Ron, coord., *La ciencia y el Quijote*, Barcelona, Crítica, pp. 13-23.
- Navarro Brotons, V. (2007a), «El moviment “novator” de les ciències físico-matemàtiques», en J. Vernet, R. Parés, dirs., *La ciencia en la història dels països catalans*, 3 vols., València, Institut d'Estudis Catalans-Universitat de València, vol. II, pp. 381-413.
- Navarro Brotons, V. (2007b), «Astronomy and cosmology in Spain in the seventeenth century: the new practice of astronomy and the end of the aristotelian-scholastic cosmos», *Cronos*, 10, pp. 15-40.
- Navarro Brotons, V. (2019), *Jerónimo Muñoz: matemáticas, cosmología y humanismo en la época del Renacimiento*, València, Universitat de València.
- Navarro Brotons, V.; López Piñero, J. M. (1983), «Galileo and Spain», en *Atti del Convegno Firenze e la Toscana dei Medici nell'Europa dell'500 (Firenze, 1980)*, 3 vols., Florencia, L. Olschki, vol. II, pp. 763-776.
- Navarro Brotons, V.; Recasens Gallart, E. (2007), «El cultiu de les disciplines físico-matemàtiques als anys centrasl del segle XVII», en J. Vernet, R. Parés, dirs., *La ciència*

- en la història dels països catalans*, 3 vols., València, Institut d'Estudis Catalans-Universitat de València, vol. II, pp. 337-381.
- Navarro Brotons, V.; Rosselló Botey, V. (2006), «Renaixement i revolució científica. Les disciplines físico-matemàtiques», en A. Bonner, F. Bujosa, dirs., pp. 53-81.
- Navarro Brotons, Víctor, ed. (2009), *Vicenç Mut i Armengol (1614-1687), i l'Astronomia*, Palma, Govern de les Illes Balears, Conselleria d'Innovació, Interior i Justícia.
- Navarro Brotons, Víctor (2014), *Disciplinas, saberes y prácticas. Filosofía natural, matemáticas y astronomía en la sociedad española de la época moderna*, Valencia, PUV-Universitat de València.
- Navarro Brotons, Víctor (2019), *Jerónimo Muñoz: matemáticas, cosmología y humanismo en la época del Renacimiento*, València, PUV-Universitat de València.
- Navarro Loidi, J. M. (2004), *Las ciencias matemáticas y las enseñanzas militares durante el reinado de Carlos II*, 2 vols., Madrid, Ministerio de Defensa.
- Navarro, V.; Salavert, V.; Lanuza, T.; Rosselló, V.; Darás, V. (en prensa), *Bibliographia Physico-Mathematica Hispanica (1475-1900). Vol. II. Libros y folletos, 1601-1700*, València, Instituto de Historia de la Medicina y de la Ciencia «López Piñero».
- Osorio Romero, I. (1993), *La luz imaginaria. Epistolario de Atanasio Kircher con los novohispanos*, México, UNAM.
- Pardo Tomás, J. (1991), *Ciencia y censura. La Inquisición española y los libros científicos en los siglos XVI y XVII*, Madrid, Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Pastine, D. (1975), *Juan Caramuel: Probabilismo ed Enciclopedia*, Firenze, La Nuova Italia Editrice.
- Pedersen, O. (1974), *A survey of the «Almagest»*, Odense University Press.
- Picatoste Rodríguez, F. (1891), *Apuntes para una biblioteca científica española del siglo XVI*, Madrid, Tello.
- Pingré, A. G. (1783-1784), *Cométographie ou traité historique et théorique des comètes*, 2 vols, Paris, l'Imprimerie Royale.
- Portuondo, M. I. (2009), *Secret science. Spanish cosmography and the New World*, Chicago: The University of Chicago Press. (hay traducción al castellano).

- Romano, A. (1999), *La Contre-Réforme mathématique. Constitution et diffusion d'une culture mathématique jésuite à la Renaissance*, Rome, École Française de Rome.
- Roode, Steven M. van (2007), «Lansbergen, Philip», en BHA, I, pp. 677-678.
- Rosselló Botey, V. (2002-2003), «L'astronomía de Juan Caramuel Lobkowitz (1606-1682)», *Cronos*, 5-6, pp. 93-131.
- Rosselló Botey, V. (2000), *Tradició i canvi científic en l'astronomía espanyola del segle XVII*, València, Universitat de València.
- Rosselló Verger, V. M. (2006), «Cartografia i navegació dels segles XVI i XVII», en A. Bonner i F. Bujosa Homar, dirs., pp. 203-223.
- Ruffner, J. A. (1971) «The curved and the straight: cometary theory from Kepler to Hevelius», *Journal for the History of Astronomy*, 2, pp. 178-194.
- Samsó, J. (1992), *Las ciencias de los antiguos en al-Andalus*, Madrid, Mapfre.
- Sánchez Pérez, J. A. (1929), *Las matemáticas en la Biblioteca de El Escorial*, Madrid, Imprenta de Estanislao Maestre.
- Schechner Genuth, Sara (1988), *From monstrous signs to natural causes: the assimilation of comets lore into Natural Philosophy*, tesis doctoral, Universidad de Harvard, Cambridge, Mass.
- Schreiber, J. (1898), «P. Christoph Scheiner, S. J. und seine Sonnenbeobachtungen», *Natur und Offenbarung*, 48, pp. 1-20
- Schuppener, G. (1999), *Jesuitische mathematik in Prag im 16. und 17. Jahrhundert (1556-1654)*, Leipzig, Leipziger Universitätsverlag.
- Segura i Salado, J. (1987), «Vicenç Mut Armengol. Un savi mallorquí de fama mundial», *Faro Balear*, n.º 23.
- Serra Barceló, J. (2006), «Les matemàtiques en el Renaixement i el Barroc», en A. Bonner i F. Bujosa Homar, dirs., pp. 81-111.
- Sevillano Colom, F. «Pesas y medidas en Mallorca desde el siglo XIII al siglo XIX», *Mayurqa*, 12, pp. 66-86.

- Siebert, H. (2006), *Die grosse kosmologische Kontroverse. Rekonstruktionversuche anhand des Itinerarium exstaticum von Athanasius Kircher S. J. (1602-1680)*, Stuttgart, Franz Steiner.
- Simón Díaz, J. (1952-59), *Historia del Colegio Imperial de Madrid*, 2 vols., Madrid, C.S.I.C.
- Sommervogel, C. (1890-1900), *Bibliothèque de la Compagnie de Jésus*, 11 vols., Brussels, Oscar Schepens; Paris, Alphonse Picard (reimpresión facsímil, 12 vols, Lovaina, 1960).
- Taton, R.; Wilson, C., eds., (1989), *The general history of astronomy. Vol.2: Planetary astronomy from the Renaissance to the rise of Astrophysics. Part A: Tycho Brahe to Newton*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Thoren, V. E. (1989), «Tycho Brahe», en R. Taton y C. Wilson, eds., pp. 3-22.
- Thoren, V. E. (1990), *The Lord of Uraniborg. A Biography of Tycho Brahe*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Trías Mercant, S. (1985), *Història del pensament a Mallorca*, Mallorca, Moll.
- Truffa, G. (2007), «Argoli, Andrea», en BHA, I, p. 59.
- Van der Vyver, Omer (1977), «Lettres de J. Ch. della Faille, S. I., cosmographe du roi à Madrid, à M. F. van Langren, cosmographe du roi a Bruxelles, 1634-1635», *Archivium Historicum Societatis Iesu*, 46, pp. 72-183.
- Van Helden, A. (1974), «The telescope in the seventeenth century», *Isis*, 65, pp. 38-58.
- Van Helden, A. (1977), *The invention of the telescope*, American Philosophical Society, *Transactions*, 67, part 4. (Philadelphia).
- Van Helden, A. (1985), *Measuring the Universe. Cosmic dimensions from Aristarchus to Halley*, Chicago, University of Chicago Press.
- Van Helden (1989), «The telescope and cosmic dimensions», en R. Taton, C. Wilson, eds., pp. 106-119.
- Vanpaemel, G. (2007), «The distant Court. The culture of mathematics in the Spanish Netherlands», en V. Navarro y W. Eamon, eds., *Beyond the Black Legend: Spain and the scientific revolution*, València, Universitat de València-CSIC, pp. 267-283.

- Velarde, J. (1998), *Juan Caramuel. Vida y obra*, Oviedo, Pentalfa.
- Vermij, R. (2002), *The calvinist copernicans. The reception of the new astronomy in the Dutch Republic, 1575-1750*, Amsterdam, Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen.
- Vicente Maroto, M. I.; Esteban Piñeiro, M. (1991), *Aspectos de la ciencia aplicada en la España del Siglo de Oro*, Valladolid, Junta de Castilla y León.
- Wauters, A. (1891), «Langren (Michael-Florent van)». En: *Biographie nationale publiée para l'Académie Royale des Sciences, des Lettres et des Beaux-Arts de Belgique*, vol. XI, Bruxelles, pp. 276-292.
- Whitaker, E. A. (1989), «Selenography in the seventeenth century», en R. Taton y C. Wilson, eds., pp. 119-143.
- Willach, R. (2000), «The development of telescope optics in the middle of the seventeenth century», *Annals of Science*, 58, pp. 381-398
- Wilson, C. A. (1968), «Kepler's derivation of the elliptical path», *Isis*, 5, pp. 5-26.
- Wilson, C. A. (1970), «From Kepler's laws, so-called, to universal gravitation: empirical factors», *Archive for History of Exact Sciences*, 6, pp. 89-170.
- Wilson, C. A. (1989a), *Astronomy from Kepler to Newton: historical studies*, London, 1989.
- Wilson, C. A. (1989b), «Predictive astronomy in the century after Kepler», en R. Taton y C. Wilson, eds., pp. 161-207.