

MANUEL SILVA SUÁREZ, ed.

TÉCNICA E INGENIERÍA EN ESPAÑA

II

EL SIGLO DE LAS LUCES

De la ingeniería a la nueva navegación

Pedro Álvarez de Miranda
Arturo Ansón Navarro
Juan José Arenas de Pablo
Horacio Capel Sáez
Fernando Cobos Guerra
Irina Gouzevitch
Víctor Navarro Brotons

Guillermo Pérez-Sarrión
Manuel Sellés García
Manuel Silva Suárez
Julián Simón Calero
Hélène Vérin
Siro Villas Tinoco

REAL ACADEMIA DE INGENIERÍA
INSTITUCIÓN «FERNANDO EL CATÓLICO»
PRENSAS UNIVERSITARIAS DE ZARAGOZA

Publicación número 2.562
de la
Institución «Fernando el Católico»
(Excma. Diputación de Zaragoza)
Plaza de España, 2 • 50007 Zaragoza (España)
Tels.: [34] 976 288878/79 • Fax [34] 976 288869
ifc@dpz.es
<http://ifc.dpz.es>

FICHA CATALOGRÁFICA

El Siglo de las Luces. De la ingeniería a la nueva navegación / Manuel Silva Suárez, ed. — Zaragoza: Institución «Fernando el Católico», Prensas Universitarias; Madrid: Real Academia de Ingeniería, 2005.

624 p.; il.; 24 cm. — (Técnica e Ingeniería en España; II)
ISBN: 84-7820-815-1

1. Ingeniería-Historia-S. XVIII. I. SILVA SUÁREZ, Manuel, ed. II. Institución «Fernando el Católico», ed.

© Los autores, 2005.

© De la presente edición, Real Academia de Ingeniería, Institución «Fernando el Católico», Prensas Universitarias de Zaragoza, 2005.

Cubierta: Ambrosio Lanzaco (dib.) y Josef Dordal (grab.): «Planta y perfil del Puente y Almenara construido en el Canal Ymperial, llamado de Formigales». Lámina n.º 3 de la *Descripción de los Canales Imperial de Aragón, y Tauste. Dedicada a los augustos soberanos Don Carlos IV y Doña María Luisa de Borbón. Por el actual protector de ambos canales, el conde de Sástago*, Zaragoza, Impr. de Francisco Magallón, 1796.

Contracubierta: Ilustraciones de las láminas 3 y 4 en el tomo II del *Examen marítimo, Teórico Práctico o Tratado de Mecánica aplicado a la Construcción, Conocimiento y Manejo de los Navíos y demás embarcaciones*, de Jorge Juan y Santacilia, Madrid, Impr. de D. Francisco Manuel de Mena, 1771.

ISBN: 84-7820-814-3 (obra completa)

ISBN: 84-7820-815-1 (volumen II)

Depósito Legal: Z-3032-2005

Revisión técnica de la obra: Marisancho Menjón

Digitalización: María Regina Ramón, Cristian Mahulea, FOTOPRO S.A.

Maquetación: Littera

Impresión: ARPI Relieve, Zaragoza

IMPRESO EN ESPAÑA - UNIÓN EUROPEA

La renovación de la actividad científica en la España del siglo XVII y las disciplinas físico-matemáticas

Víctor Navarro Brotons
Universitat de València-CSIC

En el siglo XVII, en el que culminó en Europa la llamada “Revolución científica”, la actividad desarrollada en la España renacentista en el ámbito de la ciencia y de la técnica experimentó una profunda decadencia, paralela a la intensa crisis y decadencia en los ámbitos político, económico y social que experimentó España, muy especialmente Castilla, pero también los otros reinos peninsulares. Los intentos desesperados de los nuevos monarcas y sus ministros por mantener una posición hegemónica en Europa no llevaron sino a nuevos desastres y a ahondar la crisis. Actualmente, aún no contamos con una explicación satisfactoria y bien articulada sobre las circunstancias sociopolíticas, económicas y culturales de esa decadencia. No obstante, podemos apuntar algunos factores, tales como el avance de la Contrarreforma, con la consiguiente hegemonía del escolasticismo y el control o represión del pensamiento relacionado con las diferentes corrientes de la filosofía natural o la ciencia: con ello se dificultó enormemente la pluralidad doctrinal y la creatividad; el declive económico y la “traición de la burguesía”, es decir, el que los estratos medios de las ciudades, que constituían uno de los núcleos básicos de la actividad científico-técnica, no se convirtieran en una burguesía propiamente dicha y adoptaran, por el contrario, los valores impuestos por la moral contrarreformista; el retroceso de la secularización; la actitud agresiva y excluyente hacia los judíos conversos, entre los que abundaban los médicos y científicos; el cambio regresivo de la mentalidad de los grupos políticos dirigentes y, finalmente, los condicionamientos socioeconómicos, políticos y religiosos¹. Naturalmente, todos estos factores deben ser cuidadosamente cualificados en cuanto a su verdadero significado, contenido y alcance, y cabe preguntarse también si, aun siendo necesarios, son suficientes para ofrecer una expli-

¹ Véase J. M. LÓPEZ PIÑERO, 1979.

cación convincente. A mi juicio, lo pueden ser –suficientes– si se los combina con las peculiaridades, limitaciones y fragilidad que tuvo, en el siglo XVI, el cultivo de la ciencia en el ámbito hispánico.

Pero, en todo caso, crisis, aislamiento y decadencia no deben confundirse con ausencia de actividad digna de ser tenida en cuenta. Además, y como siempre suele suceder, el aislamiento distó mucho de ser completo. El profesor López Piñero propuso hace ya varias décadas la periodización de esta actividad en la España del siglo XVII en tres fases: la primera, que correspondería aproximadamente al tercio inicial de la centuria, que habría sido básicamente una prolongación de la renacentista, ignorando las nuevas corrientes; la segunda, que comprendería a grandes rasgos los cuarenta años centrales del siglo, se caracterizaría por la introducción en el ambiente médico y científico español de algunos elementos “modernos”, que fueron aceptados como rectificaciones de detalle de las doctrinas tradicionales, o meramente rechazados; finalmente, en las dos últimas décadas del siglo, algunos autores rompieron abiertamente con los esquemas clásicos e iniciaron la asimilación sistemática de las nuevas corrientes filosóficas y científicas europeas².

Este esquema de López Piñero planteaba la cuestión en términos de comparación con el resto de Europa, entendiendo la “modernización” científica española como un proceso de “aculturación”. El mismo autor se ha referido en los últimos años al retraso de la historiografía de la medicina (y yo añadiría, de muchos aspectos de la ciencia, la filosofía y la técnica) del siglo XVII, retraso que no permite todavía cualificar y confirmar en todos sus detalles la validez del esquema. A pesar de todo, nos ha proporcionado y aún nos proporciona un marco provisional de trabajo.

Nuestros actuales conocimientos permiten afirmar que el proceso de renovación que tuvo lugar en España en las últimas décadas del siglo XVII y primeras del XVIII, haciendo posible el desarrollo científicotécnico de la Ilustración, no se puede entender sin considerar la labor de los científicos jesuitas, especialmente en lo que se refiere a las disciplinas físico-matemáticas y sus aplicaciones. Los jesuitas desempeñaron un papel de primera importancia en el proceso de recepción y asimilación de las novedades, por varias razones. En primer lugar, porque las únicas instituciones que durante la mayor parte de la centuria mostraron cierta vitalidad en los estudios científicos, sobre todo a través de las cátedras de matemáticas y en el marco de la ideología jesuítica, fueron algunos de los colegios de la Compañía establecidos en España, muy especialmente el Colegio Imperial de Madrid. En segundo lugar, porque la pertenencia a la Sociedad jesuítica permitió a los profesores, españoles o extranjeros, un contacto con los científicos jesuitas europeos y, a través de ellos, con la ciencia europea en general. En tercer lugar, porque el eclecticismo jesuítico resultaba muy adecuado en el ambiente español, reacio y hostil a las novedades, cuando no indiferente. Así,

² Véase J. M. LÓPEZ PIÑERO, 1965, pp. 271-293; *id.*, 1969, pp. 21 y ss.

los científicos españoles partidarios de la renovación en estas materias, aun no perteneciendo a la Sociedad, tomaron a los jesuitas como principal modelo para sus propósitos de introducir en España la nueva ciencia³.

I

LOS JESUITAS Y LA RENOVACIÓN CIENTÍFICA

Los Reales Estudios del Colegio Imperial de Madrid se crearon hacia 1625, aunque la inauguración oficial no tuvo lugar hasta 1629. En 1625 se redactó el plan fundacional de los nuevos estudios, que tendrían por finalidad principal educar a los hijos de los nobles, futuros gobernantes del país⁴. Establecía «estudios menores de la gramática latina» y estudios mayores, estos últimos compuestos por diecisiete cátedras: erudición, griego, hebreo, caldeo y siríaco, cronología («historia cronológica»), sùmulas y lógica, filosofía natural, metafísica, dos de matemáticas, ética, políticas y económicas, «de re militari» («donde se interpreten Polibio y Vejecio y se lea la antigüedad y erudición que hay acerca de esta materia»), historia natural, «sectas, opiniones y pareceres de los antiguos filósofos acerca de todas las materias de filosofía natural y moral», teología moral y casos de conciencia y Sagrada Escritura. En las cátedras de matemáticas se especificaba:

- 1 De matemática, donde un maestro por la mañana leer la esfera, astrología, astronomía, astrolabio, perspectiva y pronósticos.
- 2 De matemática, donde otro maestro diferente leer por la tarde la geometría, geografía, hidrografía y de relojes⁵.

Luego, las protestas de las universidades castellanas, que vieron amenazados sus intereses y prerrogativas, obligaron a suprimir las cátedras de sùmulas y lógica del plan de estudios y a prohibir la concesión de grados⁶.

Los jesuitas, deseando prestigiar los Reales Estudios, intentaron llevar a Madrid a científicos extranjeros de la Orden con experiencia docente y reconocido prestigio. Aunque algunas gestiones fracasaron, como la invitación al destacado matemático belga Gregorius de Saint-Vincent, se consiguió un pequeño grupo de profesores muy competentes, que incluía a Jean Charles della Faille (1597-1652), discípulo de Saint Vincent, y al borgoñón Claude Richard (1589-1664). Junto a ellos, en las primeras

³ Sobre los jesuitas y la renovación científica española, véase V. NAVARRO, 1996 y 2002d, donde podrán encontrarse referencias bibliográficas.

⁴ Véase J. SIMÓN DÍAZ, 1952-59.

⁵ *Ibid.*, vol. I, pp. 67-68.

⁶ *Ibid.*, pp. 71-97.

décadas de funcionamiento del Colegio Imperial residieron y enseñaron allí, o participaron de una u otra forma en las actividades relacionadas con las disciplinas físico-matemáticas, el polaco Alexius Silviu Polonus (1593-h.1653), el escocés Hugo Sempilius (1596-1654), el italiano Francisco Antonio Camassa (1588-1646), el castellano José Martínez (h.1603-?) y el vasco Francisco Isasi (1605-1650)⁷.

Uno de los textos que mejor ilustran acerca de las ideas de los matemáticos jesuitas vinculados al Colegio Imperial es el tratado *De mathematicis disciplinis libri XII* (Amberes, 1635) de Hugo Sempilius, en el que se consideran como tales geometría, aritmética, óptica, estática, música, geografía, hidrografía, meteoros, astronomía, astrología y calendario. Sobre cada disciplina o materia, Sempilius describe los conceptos básicos, algunos de los temas principales de la materia, con referencias a los autores más destacados, y los progresos realizados hasta su época. Asimismo, analiza con detalle la cuestión de si las matemáticas son o no verdaderas ciencias, en el sentido aristotélico, concluyendo que lo son, pero totalmente distintas de las demás. Aquí sigue muy de cerca la exposición e ideas de su correligionario Giuseppe Biancani en *De mathematicarum natura dissertatio* (Bologna, 1615)⁸. Esta caracterización y defensa de las matemáticas iba encaminada a apoyar y promocionar su enseñanza en el Colegio Imperial de Madrid en pie de igualdad con las otras disciplinas y, en general, a llamar la atención de los grupos dirigentes sobre su importancia y utilidad. Por otra parte, el mantenimiento de los límites entre las disciplinas se orientaba a evitar la identificación –o el compromiso– con cualquier doctrina física objeto de controversia o peligrosa. Todo ello resultaba muy funcional, desde el punto de vista táctico, para no cuestionar abiertamente la estructura tradicional del saber aristotélico-escolástico y la jerarquía de los saberes⁹. Asimismo, esta concepción de las matemáticas no implicaba su descalificación como competentes o adecuadas para tratar cuestiones físicas; al contrario, como ya había señalado el destacado matemático jesuita Christoph Clavius, profesor del Colegio Romano, los físicos podían aprender muchas cosas de las matemáticas, que, por ello, les eran cada vez más indispensables. En este sentido, Sempilius se manifiesta con claridad al referirse a la utilidad de las matemáticas para el físico, donde pregunta cómo puede éste discutir sólidamente sin la geometría acerca de los puntos, las líneas, las superficies, los indivisibles, y si éstos son positivos o negativos, reales o imaginarios; y lo mismo cabe decir de la rarefacción y la condensación, así como del movimiento y otras muchas cuestiones. Sin la geometría, dice Sempilius,

⁷ Véase, sobre estos autores y sus actividades, los trabajos citados en la nota 3.

⁸ Sobre las ideas de Biancani, véase H. SCHÜLING, 1969; G. C. GIACOBBE, 1976; P. GALLUZZI, 1973; W. A. WALLACE, 1984; P. DEAR, 1987; *id.*, 1988, pp. 67-69.

⁹ Véase P. DEAR, 1987 y 1995. Como ha sugerido M. BIAGIOLI, 1989, el debate *de certitudine mathematicarum* puede entenderse también, al menos en parte, desde una perspectiva sociológica y como resultado de las tensiones entre los matemáticos y los filósofos derivadas de su distinto estatus profesional. Véase también U. BALDINI, 1992, especialmente pp. 45 y ss.

el filósofo al estudiar el movimiento se refugia en las distinciones materiales y formales. Adornado con esta ciencia, de unos movimientos como el circular y el rectilíneo podrá deducir otros muchos¹⁰. Por otra parte, si bien en algunos casos, como el de la “esencia” de los cielos, rehúye pronunciarse, por no ser asunto de las matemáticas, en otros muchos no deja de discutir cuestiones que tradicionalmente eran competencia del filósofo natural, como la solidez de los orbes, el relieve lunar, las manchas solares, el fuego sublunar, el verdadero sistema del mundo y el movimiento planetario.

En este contexto y bajo estas condiciones, los matemáticos del Colegio Imperial se esforzaron por asimilar las novedades, como el magnetismo de William Gilbert, los descubrimientos astronómicos de Galileo, los trabajos de Christoph Scheiner, Galileo y otros autores sobre las manchas solares, los progresos en óptica, mecánica, etc.; novedades que incorporaron a sus enseñanzas. Asimismo, asumieron las críticas realizadas por Galileo y otros destacados científicos a algunos de los supuestos básicos de la cosmología aristotélica, como las dirigidas contra la incorruptibilidad de los cielos, la doctrina de las esferas celestes o las ideas sobre la naturaleza de la luna y los planetas. En cuanto al “sistema del mundo”, en general se acogían al propuesto por Tycho Brahe y consideraban inadmisibile el de Copérnico, de acuerdo con la condena de la Inquisición romana, aunque admisible como hipótesis, en el sentido de supuesto o ficción matemática¹¹. En un manuscrito titulado *Tratado de las Theóricas de los Planetas según las dos Hipótesis moviéndose y estando quieta la Tierra* y preparado para sus clases, Jean Charles della Faille, tras referirse a la teoría heliocéntrica, comenta: «Resolución escandalosa para los filósofos que se espantan de poco por ignorantes en las materias astronómicas», lo que es expresivo de las tensiones entre los filósofos y los matemáticos y de la actitud abierta a las novedades de estos últimos. Así, al ocuparse de la teoría del Sol, Della Faille describe el modelo ptolemaico y el de Philipp Lansberg, seguidor de la teoría heliocéntrica¹².

¹⁰ Sempilius, *De mathematicis disciplinis*, pp. 54-55.

¹¹ 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 matemático* para más información. Véanse los libros VII, «De Cosmographía» y X, «De Astronomía» de la obra citada, en particular. Otros profesores del Colegio Imperial, como Juan Eusebio Nieremberg o Claude Richard, manifestaron en sus escritos su preferencia por el sistema de Tycho Brahe, al tiempo que aceptaban gran parte de las principales implicaciones cosmológicas de la nueva astronomía. Véanse, sobre estos autores, los trabajos citados en la nota 3.

¹² El manuscrito de Della Faille se conserva en la Academia de la Historia, Catálogo Cortes, 9/2751. Della Faille redactó además un tratado sobre la *Fábrica y uso del antejo de larga vista*, conservado, manuscrito, también en la Academia de la Historia.

Entre los manuscritos que se conservan de Della Faille figura un *Tratado de cónicas*, unos *Problemas para escribir relojes*, un *Tratado de arquitectura*, un texto sobre el método en la geometría¹³ y una traducción al castellano de la obra de Giovanni Batista Baliani *De motu naturali gravium solidorum* (Génova, 1638)¹⁴. Della Faille se interesó también por la cartografía náutica y al parecer diseñó una carta con un método propio para resolver el «problema de los rumbos», cuya naturaleza exacta ignoramos. No obstante, conocía bien la proyección de Mercator y sus ventajas para la navegación¹⁵.

Della Faille fue nombrado en 1644 preceptor del hijo bastardo de Felipe IV Juan José de Austria, convirtiéndose pronto en su consejero indispensable y acompañándolo en todas sus campañas militares. La formación recibida por Juan José de Austria en contacto con el jesuita debió influir decisivamente en su interés por la ciencia, ya que años después se convirtió en un mecenas de los científicos españoles, teniendo a

¹³ El *Tratado de arquitectura* se conserva en la Biblioteca de Palacio de Madrid, Ms. n.º 3729. Véase F. J. SÁNCHEZ CANTÓN, 1941, pp. 276-279. Un estudio de la parte matemática de este tratado en I. VÁZQUEZ PAREDES, 1980. El texto sobre el método en la geometría se conserva en la Biblioteca de la familia Della Faille. En la Academia de la Historia, M.S. Col. Cortes, n.º 9/2732, hemos visto otro ejemplar, más amplio, de este texto, con fecha de 1640.

¹⁴ Conservada en un volumen de manuscritos en la Academia de la Historia, Col. Cortes, n.º 9/2751, atribuidos, en el Catálogo de Cortes, a Juan de Rojas y Della Faille. El manuscrito se titula *De el movimiento natural de los cuerpos graves*. En la correspondencia de Della Faille con Michael Florent van Langren, cosmógrafo y matemático del rey de España en Bruselas, puede verse un testimonio del interés del primero por la obra de Baliani. Así, en carta fechada el 24 de enero de 1639, Della Faille escribe: «Estos días he visto un librito de cinco o seys pliegos de papel, en Genua, por un caballero llamado Juan Bautista Baliano, del movimiento de los perpendículos o pesos colgados de un hilo, por medio de los quales medimos el tiempo. [...] Fuera desto, trata del movimiento natural de los pesos que caen y de los que bajan por planos inclinados al horizonte». Véase O. VAN DER VYVER, 1977, p. 141.

¹⁵ En sus *Advertencias [...] a todos los profesores y amadores de la matemática tocantes a la proposición de la longitud por mar y tierra* (Madrid, 1634), Van Langren menciona un «Problema de los rumbos», obra de Della Faille y «especulación muy ingeniosa y nueva que dan. Particularmente el camino que los navegantes desean de seguir en la mar» (fol. 4r). Y en su escrito sobre *La verdadera longitud* (1644) invita al lector (p. 5) a estudiar los trabajos de este autor sobre el tema. En la correspondencia con Van Langren (véase O. VAN DER VYVER, 1977) Della Faille se refiere varias veces al tema de las cartas náuticas. Así, el 24 de febrero de 1635 (pp. 101-103) le habla de diversas cartas de grados de longitud creciente realizadas por Luis Carduchi (matemático e ingeniero militar que sucedió a Firrufino en la cátedra de fortificación y artillería del Consejo de Guerra), Camassa y Sempilius. Da también una relación de los autores que habían escrito sobre el problema de la loxodromía: Pedro Núñez, Edward Wright, Simon Stevin, Willebrord Snell y otros. En otras cartas se refiere a su propia carta náutica, que tiene la forma de un rombo, cuyas ventajas son difíciles de advertir por la información que ofrece (véase la misiva de 14 de marzo de 1637, pp. 111-113). En la de 8 de julio de 1637 (pp. 119-121) comenta los mapas en proyección de Mercator y los aprueba para la navegación, y en carta de 8 de septiembre de 1638 (pp. 137-142) dice que entre sus funciones de cosmógrafo está la de hacer cartas de grados crecientes.

su servicio a médicos tan significativos del movimiento de renovación como Juan Bautista (o Giovanni Battista) Juanini.

II

LA ACTIVIDAD CIENTÍFICA DE VICENTE MUT EN MALLORCA

En las décadas centrales del siglo, entre los autores que desarrollaron una notable actividad científica y contribuyeron a su renovación hay que destacar al mallorquín Vicente Mut. Mut nació en 1614 en Palma de Mallorca, se doctoró en jurisprudencia y siguió la carrera militar hasta llegar a ser sargento mayor de Palma, administrador e ingeniero. Desempeñó también la profesión de abogado, fue jurado de la ciudad y, desde 1641, cronista general de su patria. Murió en Palma el 27 de abril de 1687¹⁶. Publicó obras de historia, hagiografía, táctica militar, fortificación y astronomía. Como historiador y cronista destaca su *Historia del Reino de Mallorca*, escrita como continuación de la de Juan Dameto. En su tratado de fortificación *Arquitectura militar* (Mallorca, 1664) se encuentra el primer intento de incorporación de la cinemática galileana para el estudio del tiro de proyectiles de toda la literatura impresa en la España del siglo XVII. Así, al abordar el tiro horizontal analiza correctamente y de acuerdo con Galileo la trayectoria del proyectil en forma parabólica, basándose en el carácter mixto del movimiento y en la ley galileana para el de caída¹⁷. Por otra parte, estas ideas sobre el movimiento de los proyectiles las usó para sugerir, a modo de analogía, una trayectoria parabólica para el cometa de 1664.

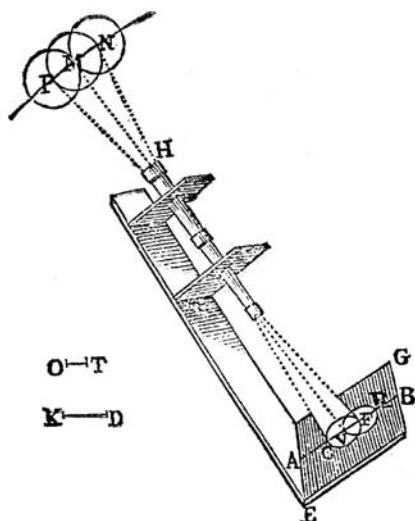
Como científico, la importancia de Mut reside, sobre todo, en sus trabajos de astronomía, que lo convierten en uno de los astrónomos más destacados de la España del siglo XVII. En la década de 1640 Mut inició su relación epistolar con los jesuitas Athanasius Kircher y Giambattista Riccioli sobre cuestiones científicas, convirtiéndose en uno de los principales corresponsales de este último en temas de astronomía¹⁸.

¹⁶ Sobre Vicente Mut, véase J. M. BOVER, 1842, p. 546; la entrada correspondiente, a cargo de V. NAVARRO, en J. M. LÓPEZ PIÑERO *et alii* (dirs.), 1983, vol. II, pp. 95-97; V. NAVARRO, 1979, 2002a y V. NAVARRO y E. RECASENS (en prensa).

¹⁷ V. MUT, *Arquitectura militar*, pp. 81-82.

¹⁸ La correspondencia de Mut con Kircher se conserva en el Archivio della Pontificia Università Gregoriana de Roma, en los volúmenes de la correspondencia de este último. En total, son siete cartas de Mut a Kircher, la primera fechada en marzo de 1646 y la última en julio de 1651 (vols. III, XIII y XIV de dicha correspondencia). En la primera carta (XIII, fol. 140r) Mut escribe: «Algunos aficionados a las matemáticas que ay en este Reyno, hemos tenido nuevas del Arte Magnética que ha escrtio tan doctamente V. P. y con ocasión de ir mi hermano a Roma he querido vesar a V. P. su mano con esta carta suplicándole le encamine en comprar dicho libro, con los de una lista que lleva». En las otras cartas, entre otras cuestiones, le transmite datos de sus observaciones astronómicas. El 25 de mayo de 1647 Riccioli escribía a Kircher: «Non dubito quin observationes D. Vincentij Muti fuerint valde

Etione lentium crystallinarum, non erat mihi evidens, illam speciem iustam esse, & non nimis contractam, aut ampliatam. Prodiit postea *Sol Alfonso* D. Vincentij Muti, in quo hic modus traditur. Telescopium, inquit ille, sit optimarum lentium, eiusq. machina, præsertim arundines, sint immunes ab omni alteratione temporum, annulique lentium exactè rotundi, & sic aptati, vt species Solis immissa per lentem conuexam, non sit maior specie, per concavam lentem proiecta in chartam; seu tabella, & charta E G, sit in tali distantia à lente caua, vt imago Solis lucida per circulum mundum ac nitidissimi marginis excipiat, sitque orthogonalis axi tubi H V. In obscurissimo itaque conclauis serenissimo celo, ipsoque meridiei tempore, quando scilicet species Solis non obliq. sed rectè chartam percurrit, excipiat circino Solaris imaginis diameter CF, in linea verticali AB, (quâ ope perpendiculi addisces,) eaque trasferatur in alteram chartam KD, ac diuidatur in particulas æquales quàm minimas; & notetur extrema C, & F. Deinde immo-



to prorsus instrumento diebus sequentibus, si Solis altitudo meridiana diminuat, imago lucida attolletur, critque exempli gratia in situ VR: notetur igitur extremum ipsius V, & intervallum C V, mensuretur in partibus lineæ K D, sitque eius portio OT: ex tabula autem declinationis Solis, sumatur declinatio conueniens tum meridiei, quo notatum est extremum C, sumptaq. C F, tum meridiei, quo notatum est extremum V; subtracta enim declinatione minori à maiore, nota erit differentia decli-

Iudicium de Diametro Luminarium inuenta à D. Vincentio Muto, & de ipsius in hoc artificio.

Artificium prædictum proculdubio eximium est, ac dignum solertissimi Astronomi huius ingenio, sed difficillimè praxeos, quia requiritur obseruatio plurium dierum, in quibus non possumus euidentem securitatem habere, nullam commotiunculam factam fuisse in instrumento, tantilla autem sufficit ad errorem vno minuto maiorem obseruationi ingerendum, vt ipsemet fateatur, quare fatius esse credere in eodem die numerare, transitum speciei lucidæ telescopio tali exceptæ, perpendicularo exquisitè exhibente tempus, ac reliqua peragere, vt docui hoc lib. 3. cap. 10. Dummodo certi essemus, refractionem radiorum Solarium, quæ fit à perpendiculari in lente propiori chartæ, non dilatare imaginem Solis amplius quàm oporteret ad hanc praxim, quod quia incertum est, ideò industriam quidem tanti viri laudo, sed suspectam habeo semidiametrum Solis hinc derivatam.

Ceterum etsi modi hi propè veram diametrum exhibeant, non sufficiunt tamen ad exactam earum mensuram, nisi concilientur, quæ concilianda dixi hæc schol. 1. præsertim verò Eclipses totales Lunæ ac Solis, & annulares Solis, de quibus vide nostram diligentiam lib. 4. cap. 16. à num. 15. ad 18. nam propter Eclipses coactus sum diametrum Solis apogæi, quam ex obseruationibus ipsius immediatis nactus eram 30'. 30". circiter, extendere ad 30'. 50". & perigæam ad 34'. 8". Alioquin de his minutis tot erūt opiniones, quot obseruatores & obseruationes.

Hoc item capite numero 6. de tempore, quo totus Solis discus oritur aut occidit, ex antiquorum methodo quædam dixi, sed non interui nostras obseruationes, ope perpendiculi factas, de quo lib. 2. cap. 20. exactissime exhibente singulis vibrationibus singula secunda scrupula horaria primi mobilis. Aliquis igitur selectas huc inferere placuit ad eruditionem Lectoris, quarum prior tabella continet factas celo non solum innubilo, sed etià nitidissimo ac serenissimo horizonte, posterior tabella continet factas horizonte quidem ignubilo, sed vaporibus rubicundis referto, & exhibente Ellipsim Solaris imaginis longè ampliorem, quàm aliàs.

Temporis ab ortu Solaris limbi superioris, ad ortum limbi inferioris, obseruationum Bononiæ.						
Horizonte	Annus Menf. Dies			Vibrationes Perpendiculari	Tempus l. ll.	
	1641	Septembr.	24	184	3	4
			28	186	3	6

1.1. Dispositivo empleado por Vicente Muto para calcular el diámetro aparente del Sol, según Giambattista Riccioli (Almagestum Novum). Se basa en la obtención de la imagen del astro a su paso por el meridiano en una pantalla perpendicular al eje óptico del telescopio. Un dispositivo similar había sido empleado por Scheiner para observar las manchas solares.

Sobre este tema publicó tres obras, todas en Mallorca: *De sole alfonso restituto* (1649), *Observationes motuum caelestium* (1666) y *Cometarum anni MDCLXV* (1666). En la primera, lo más destacado es la descripción del procedimiento que usó para determinar el diámetro aparente del Sol, inspirado en el que empleó Christoph Scheiner para observar las manchas solares a partir del método de la cámara oscura; consiste en obtener la imagen del astro a su paso por el meridiano en una pantalla perpendicular al eje óptico del telescopio.

En su segunda obra de astronomía reunió los resultados de más de veinte años de observación de los cielos¹⁹. Mut se valió de un anteojo telescópico compuesto de dos lentes convexas –el descrito por Kepler– y de «casi ocho palmos» (aprox. 160 cm)²⁰, un micrómetro y un péndulo para medir el tiempo²¹. En esta obra discutió también las ventajas del estudio del movimiento de los planetas mediante elipses. Así, el capítulo II se titula «Observationes planetarum cum adnotationibus Astronomicis, praesertim circa motum per Ellipses». Aunque Mut parece convencido de que los planetas se mueven por círculos, reconoce que «para facilidad del cálculo el conjunto de

exactae; habent enim nescioquos veritatis et diligentiae characteres». La carta la ha editado I. GAMBARO, 1989, carta 13, p. 89. J. FLETCHER, 1970, cita a Mut (incorrectamente: Vincentius Mutz) en relación con una carta de éste a Kircher de 1649. Véase también J. FLETCHER, 1988; en este trabajo el nombre de Mut aparece correctamente citado gracias a la rectificación de T. F. GLICK, 1971. Sobre la correspondencia de Mut con Riccioli, aunque no se conservan los originales, este último cita numerosos fragmentos y datos de las cartas de Mut en sus obras de astronomía y geografía: *Almagestum Novum*, *Geographia reformata* y *astronomia reformata*. En el *Chronicon* del *Almagestum Novum*, Riccioli dice de Mut: «Maioricensis, Astronomiae peritissimus observat sedulò Maiorae, scripsit egregium opusculum de Sole Alphonsino: Huic ego plurimum debeo». Véase más adelante y V. NAVARRO, 1979 y 1996.

¹⁹ Muchos de ellos recogidos por Riccioli en el *Almagestum Novum*, en la *Astronomia reformata* y en la *Geographia reformata*. Véase, como ejemplos notables, en las pp. 59-60 de la *Astronomia reformata* (en lo sucesivo AR) la referencia a Mut sobre la refracción de los astros; en la p. 156, AR, observaciones de la Luna fuera de los eclipses; la p. 243, donde Riccioli menciona una carta de Mut de 1650 a propósito de las distancias entre las Pléyades y sus coordenadas, datos que reproduce; observaciones de Júpiter (pp. 307 y ss., AR); *id.* Marte (pp. 322-323, AR); *id.* Venus (pp. 334-335, AR); en la p. 285, AR, puede verse también un cuadro comparativo de los datos obtenidos por Mut de Saturno cerca del perigeo y los deducidos de diversas tablas.

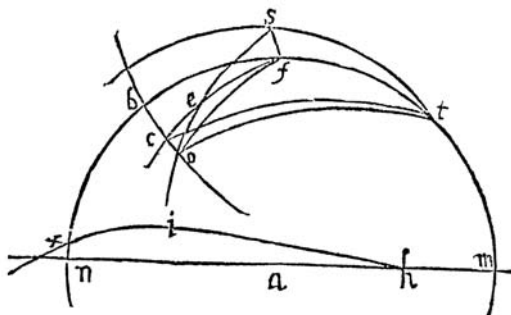
²⁰ Dice Mut que ha experimentado (*expertus sum*) que con otros más largos y potentes el limbo de la luna, las manchas y la sombra se diluyen demasiado.

²¹ Sobre el micrómetro descrito por Mut, no queda claro ni cuándo comenzó a usarlo ni cuál fue su fuente de información sobre el instrumento. En esta obra Mut expone sus observaciones en cada capítulo 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 tras dar algunos datos de sus observaciones describe un telescopio de dos lentes convexas provisto de un diafragma de apertura, «subtensis filis in interiore foco». Sin embargo, según R. McKEON, 1971, 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 *Systema Saturnium*, en 1659.

círculos puede resolverse en elipses»; por ello piensa que «deben admitirse sistemas formados por éstas»²².

La tercera obra de astronomía citada de Vicente Mut es un opúsculo de 20 páginas dedicado al cometa de 1664, con algunas observaciones relativas a otro cometa aparecido en 1665. En ella el mallorquín incluye las observaciones que, realizadas en Valencia, le comunicaba su amigo el jesuita José de Zaragoza, así como las de otros observadores mallorquines, como Miguel Fuster. Sobre la trayectoria del cometa, además de convenir con «Kepler, Galileo, Cysatus y Gassendi [siguiendo a Séneca] [que] sitúan a los cometas en la suprema región del aire o bien en el éter», Mut avanza la hipótesis de que aquélla podía ser, al menos en parte, parabólica. Y, para explicarlo, asimila, a modo de analogía, el movimiento del cometa a la trayectoria parabólica de un proyectil, tal como la estudió en su *Arquitectura militar*. Así, el cometa, al «debilitarse el movimiento rectilíneo, se inclina con una trayectoria parabólica»²³. Esta explicación por analogía con la trayectoria de los proyectiles fue usada también por Johannes Hevelius²⁴.

Una gran parte de las observaciones y técnicas de Mut fueron recogidas, usadas y divulgadas por Riccioli en sus obras de astronomía y geografía. En España, la influencia de Vicente Mut se concretó sobre todo en la obra de José de Zaragoza, al que nos referiremos más adelante.



1.2. Estudio de la trayectoria del cometa de 1664 según Vicente Mut. Mut apuntó que la trayectoria del cometa, en la región más cercana a la Tierra (letra a), era semejante a una parábola (línea hix).

²² V. MUT, *Observationes motuum coelestium*, p. 63. Citamos por la versión castellana de los textos escogidos de Mut realizada por V. NAVARRO y L. PIÑERO, en J. M. LÓPEZ PIÑERO *et alii*, 1976, pp. 240-241.

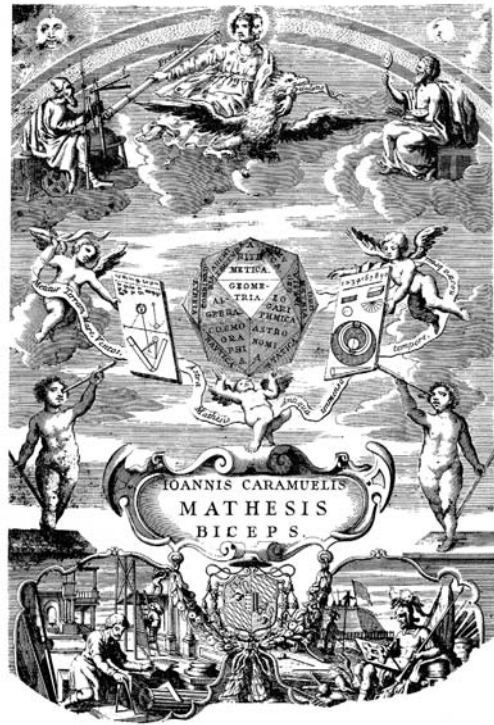
²³ V. MUT, *Cometarium anni MDLXV*, p. 13. Citamos por la versión castellana de los textos escogidos de Mut realizada por V. NAVARRO y L. PIÑERO, en J. M. LÓPEZ PIÑERO *et alii*, 1976, pp. 239-240.

²⁴ Si bien Hevelius estudió el movimiento del cometa desde la perspectiva copernicana. Véase J. A. RUFFNER, 1971. La propuesta de Mut fue comentada por A. G. PINGRÉ, 1783-1784, vol. I, p. 143.

III

JUAN CARAMUEL Y LOBKOWITZ (EL “MATEMÁTICO AUDAZ”) Y SU INFLUENCIA EN ESPAÑA

Otro autor destacado de mediados del siglo XVII es Juan Caramuel y Lobkowitz. Nacido en Madrid en 1606, ingresó en la Orden del Císter en el monasterio de la Espina (Valladolid) y a partir de 1635 recorrió los Países Bajos, Francia, Bohemia, Alemania, Austria y, finalmente, Italia. En 1673 fue nombrado obispo de Vigevano, ciudad en la que murió en 1682²⁵. Caramuel escribió trabajos de casi todas las disciplinas, desde



1.3. Grabado-retrato de Caramuel y portada de su Mathesis Biceps. En el poliedro del centro figuran los nombres de las disciplinas matemáticas puras y aplicadas: Arquitectura, Aritmética, Álgebra, Geometría, Combinatoria, Kybeia (probabilidades), Náutica, Cosmographía, Astronomía, Táctica, Geodesia, Orometría... En la cinta que portan los ángeles se lee, en versión castellana: «La matemática antigua mide la tierra, el mar, los vientos, los astros, en tiempo inmenso; nuestra matemática lo hace con mayor brevedad».

²⁵ Sobre Caramuel, véase la entrada correspondiente, a cargo de S. GARMA PONS, en J. M. LÓPEZ PIÑERO *et alii*, 1983, vol. 1, pp. 168-171, y la bibliografía citada en este trabajo; también, S. GARMA, 1978; D. PASTINE, 1975; J. VELARDE, 1989; P. PISSAVINO, ed., 1990.

la teología a las matemáticas. Aunque desarrolló la mayor parte de su actividad científica y filosófica fuera de España, mantuvo estrechas vinculaciones con su patria y correspondencia con algunos autores españoles, como Juan Bautista Nieremberg. Sus obras, además, tuvieron una notable influencia en nuestro país.

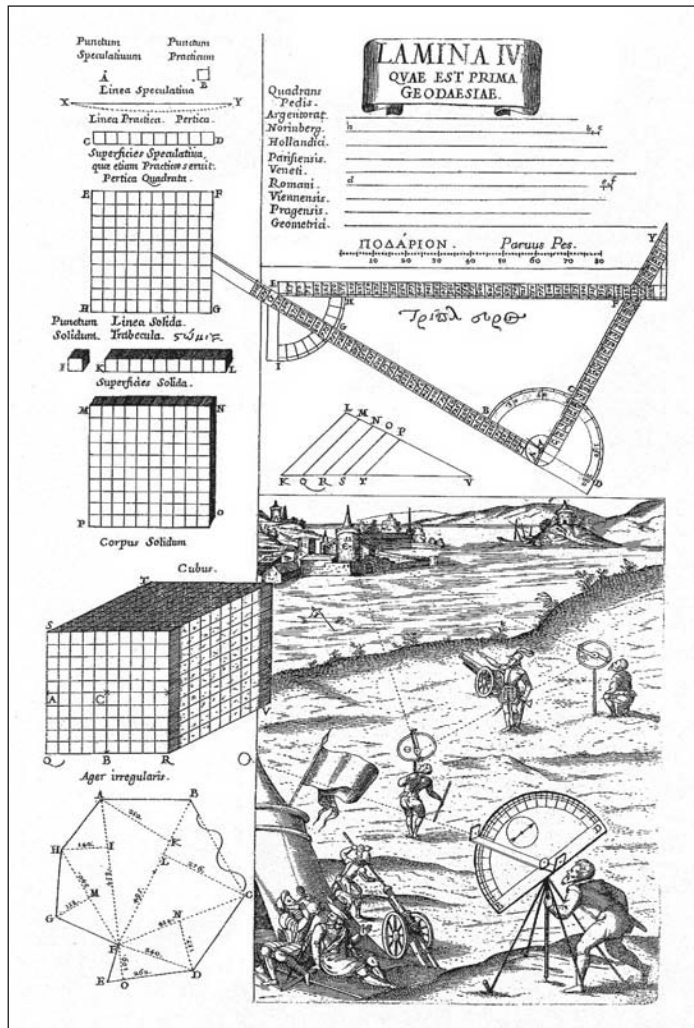
Caramuel se ocupó prácticamente de todas las materias de la ciencia y la filosofía de su época, e intervino activamente en numerosas polémicas y debates, aportando sus puntos de vista. Mantuvo, además, correspondencia y relaciones amistosas y de colaboración con numerosos sabios de su época como Gassendi, Marin Mersenne, Athanasius Kircher, Michael Florent van Langren, Carlos de Sigüenza y Góngora, Tomás Cornelio, A. M. Rheita, G. Wendelinus y, al parecer, Descartes²⁶. Su *Mathesis biceps vetus et nova*, publicada en Italia en 1670, es la enciclopedia de las ciencias matemáticas “puras” y “mixtas” –es decir, físico-matemáticas y aplicadas– más amplia y completa, aunque obviamente no siempre original, de las aparecidas en Europa hasta entonces. Sus principales contribuciones corresponden a las matemáticas. En otras materias, como las relacionadas con la física o la biología, aún nos falta un estudio en profundidad de su obra²⁷.

Por otra parte, Caramuel no se decidió entre la vieja y la nueva imagen de la naturaleza, lo que determinó algunos de sus errores o la orientación poco fructífera de sus trabajos, pero también algunas virtudes. En la inserción en su obra de nuevas experiencias y teorías procede de modo desordenado, siendo difícil, si no imposible, detectar alguna sistematicidad que no sea externa al propio discurso científico, es decir, retórica y pedagógica. Las teorías recogidas por Caramuel son frecuentemente contradictorias entre sí; pero esto no le preocupa, pues estas contradicciones son la prueba de la imposibilidad de aferrarse a una hipótesis y considerarla definitivamente establecida. Caramuel no renuncia a las ideas de progreso en la ciencia, pero el progreso no hace más que desplazar la duda y la inseguridad de un argumento a otro. Como en Gassendi, en Caramuel el progreso lo es de la cantidad de saber, es decir, de la masa de observaciones, de la herencia acumulada de las miradas de los hombres al universo, no del espíritu humano. Como en Gassendi también, la modernidad, vivida y planteada por Descartes como ruptura, nacimiento y comienzo absoluto es, en Caramuel, como lo será en Leibniz, percibida más bien como renacimiento y al propio tiempo como continuidad y prolongación²⁸. Rasgos que veremos reaparecer entre los “novatores” de finales del siglo y principios del XVIII, aunque muchas veces se derivan de consideraciones tácticas, en el marco de su programa de introducción y asimilación de la ciencia moderna.

²⁶ Véase, además de las obras citadas, R. CEÑAL, 1953.

²⁷ Sobre la astronomía de Caramuel, véase V. ROSSELLÓ, 1999 y 2002-2003.

²⁸ Sobre Gassendi, véase L. SUMIDA JOY, 1982: *Gassendi the atomist. Advocate of history in an age of science*, Cambridge, Cambridge University Press, 1982.



1.4. Lámina dedicada a la geodesia, del tratado de Caramuel Mathesis Biceps, 1670. Puede verse la determinación de ángulos con un teodolito muy simple, ya usado en el siglo XVI: un círculo (o semicírculo) de latón (como un astrolabio) graduado, con una alidada y una brújula.

Esto último nos lleva al eclecticismo y probabilismo consiguiente de la epistemología de Caramuel, características que comparte con muchos científicos y pensadores jesuitas, aunque imprimiéndoles el sello de su proteica personalidad. Caramuel aceptó el programa de matematización de la física, así como el papel fundamental en la ciencia de la experiencia y la experimentación. Trató, además, de extender la matematización del saber a las disciplinas morales y teológicas y ambicionó una unificación y organización del saber a partir de la combinatoria, siguiendo la corriente de pensamiento de inspiración luliana, que extiende su influencia a lo largo del siglo XVII (Izquierdo, Kircher...), culminando en la obra de Leibniz. Pero defendió con vigor la independencia respecto de toda escuela y también estuvo fuertemente influenciado por la "filosofía química" de Van Helmont, con el que mantuvo una

estrecha relación, y por el pansiquismo renacentista y las corrientes paracelsistas que llevaron a la iatroquímica. Así, aunque aceptó que el mecanicismo cartesiano era una hipótesis productiva en mecánica, óptica y astronomía, consideraba que no podía aportar explicaciones válidas en los fenómenos de la vida o en cuestiones como el magnetismo. Con lo cual Caramuel se sitúa también dentro de una tradición “vitalista” u “organicista” que renacería con fuerza a finales del siglo XVII y en el XVIII. Por otra parte, también reprochaba a Descartes el total desprecio por la cultura académica universitaria, pues, en su opinión, aunque ésta estaba necesitada de muchas críticas y revisiones, llevaba todavía la fuerza que le confería una tradición venerable.

IV

LA ACTIVIDAD CIENTÍFICA DE JOSÉ DE ZARAGOZA EN VALENCIA Y EN EL COLEGIO IMPERIAL DE MADRID

La segunda generación de profesores de matemáticas del Colegio Imperial comienza con José de Zaragoza, uno de los matemáticos más destacados de este siglo y de toda la historia de las matemáticas en España. Formado en la Universidad de Valencia, Zaragoza ingresó en la Compañía a los 24 años. Enseñó teología en el Colegio de Palma de Mallorca, donde entró en contacto con Vicente Mut. De Palma pasó a Valencia, donde enseñó teología en el Colegio jesuita. En esta ciudad residió más de un decenio, dedicándose en privado a la investigación y a la enseñanza de las matemáticas. Su labor fue allí de la mayor importancia, ya que hizo posible que Valencia se convirtiera en uno de los núcleos más activos de la renovación científica española. A finales de los años 1670 Zaragoza fue nombrado titular de la cátedra de matemáticas de los Reales Estudios, desempeñando además otros cargos, como el de cosmógrafo real y maestro de matemáticas del monarca. Durante estos años publicó parte de sus trabajos, quedando otros muchos inéditos²⁹.

Zaragoza publicó varias obras de matemáticas con intención didáctica, y con ellas contribuyó a elevar el nivel de estas materias en España. Tales son su *Arithmetica universal* (Valencia, 1669), que incluye también álgebra; *Trigonometría* (Mallorca, 1672) y tablas de logaritmos (Madrid, 1672) y un tratado de *Geometria* euclidea y sus aplicaciones, que se imprimió en latín y en castellano, con comentarios y adiciones de Zaragoza. Pero además, este autor llevó a cabo investigaciones originales de geometría, en el contexto de la recuperación y extensión de la geometría clásica. En esta línea hay que incluir sus trabajos *Geometria magna in minimis*; *Loca Plana Appoltonii Pergaei*; *Data Euclidis, singulari methodo demonstrata*; *Trigonographia: et data*

²⁹ Para la biografía de Zaragoza y relación de sus obras, véase A. COTARELO, 1935; véase también la entrada correspondiente, por V. NAVARRO, en J. M. LÓPEZ PIÑERO *et alii*, 1983; V. NAVARRO, 1996; V. NAVARRO y E. RECASENS (en prensa); y la bibliografía citada al final del capítulo.

promota y *De ellipse et circulo*. Su obra más importante es la *Geometria magna in minimis* (Toledo, 3 vols., 1674). En ella utilizó el concepto de centro mínimo de un sistema de puntos (o “centro de masas” de la física) análogo al usado por Giovanni Ceva cuatro años después, y con él construyó una teoría geométrica que resulta isomorfa a la de la estática de un sistema de cuerpos aislados. Algunos de los resultados a los que llegó son: construcción de una teoría geométrica del cálculo baricéntrico; restitución y generalización, en términos de la geometría clásica, del lugar 5.º de Apolonio; cálculo de las razones originadas en un triángulo por transversales que pasan por un punto interior (relaciones llamadas “de Ceva”); relación cuadrática entre los lados de un cuadrilátero y sus diagonales (teorema de Euler); resolución del problema del tetraedro mínimo. Es interesante destacar que a principios del siglo XIX Lazare Carnot indicaba la importancia de introducir en geometría pura el “centro de distancias mínimas”, es decir, lo que Zaragoza había hecho siglo y medio antes³⁰.

En el ámbito de la astronomía, Zaragoza, como Vicente Mut, fue un excelente observador. Entre sus numerosas observaciones destacan las de los cometas de 1664 y 1677. El informe relativo al primero, remitido a la Academia de Ciencias de París, se conserva manuscrito y constituye un detenido estudio del fenómeno³¹. Zaragoza, además de sus observaciones, describe las de otros autores: Vicente Mut, Miguel Fuster, Enrique de Miranda, Claude François Milliet Dechales, Gilles de Gottignies y Geminiano Montanari. Estudia con detalle el movimiento aparente del cometa y trata de analizar su trayectoria, concluyendo que ésta se acerca más a la línea recta y es intermedia entre ésta y la circunferencia; y añade: «Dejo el elíptico porque puede nacer de los dos»³². Sobre el lugar «verdadero» del cometa, Zaragoza demuestra que siempre estuvo «sobre la Luna», de lo que se deduce, «contra la común filosofía peripatética y su príncipe Aristóteles», que los cielos son fluidos y corruptibles³³. De acuerdo con Riccioli, Zaragoza afirma que la cola del cometa era de materia consistente como la cabeza o núcleo y no encendida, sino iluminada por los rayos solares. La oposición de la cola al Sol la explica suponiendo que la materia del cometa era heliótrópica, de modo que la cabeza del astro siempre miraba al Sol como «la brújula al norte». Esta idea la adoptó de Riccioli³⁴. En cuanto a las observaciones del cometa de

³⁰ Sobre la obra matemática de Zaragoza, véanse especialmente los trabajos de E. RECASENS, 1991, 1994, 1997, 2000 y 2003.

³¹ En la Biblioteca de Ste. Geneviève de París, Ms. n.º 1045, fols. 42-92, con el título *Discurso del cometa del año 1664 y 1665*. Hemos localizado otra copia en la Academia de la Historia de Madrid, Col. Cortes, 9/2705. A. G. PINGRÉ (1783-1784), vol. II, pp. 13-21, comenta este trabajo e incluye un extracto de él (el primer capítulo) en francés. Un estudio detenido de este manuscrito y del conjunto de las obras de astronomía de Zaragoza, en V. ROSSELLÓ, 2000.

³² ZARAGOZA, *Discurso del cometa...*, fols. 73v-74r.

³³ *Ibid.*, fols. 76r y ss.

³⁴ RICCIOLI, *Almagestum Novum*, p. 128.

1677, según Cassini fueron las primeras realizadas en Europa, siendo mencionadas en el *Journal des Savants* y en las *Mémoires* de la Academia de Ciencias de París³⁵.

Por otra parte, el jesuita redactó otros muchos trabajos de astronomía y elaboró tablas astronómicas. Algunos de ellos, que quedaron inéditos, los preparó para sus clases en el Colegio imperial³⁶. La única obra de esta materia que llegó a imprimirse es su *Esphera en común celeste y terráquea* (Madrid, 1675); pretendía ser una versión renovada y adaptada a los nuevos conocimientos de los textos tradicionales de la *Sphera* y es una muestra elocuente de la preocupación de su autor por difundir en el ambiente español los avances en el conocimiento científico. El esquema del libro es el habitual en este tipo de tratados (*I. De la Esphera en común. II. De la Esphera celeste. III. De la Esphera terráquea*). En general, Zaragoza se limita a recoger y sintetizar la información e ideas contenidas en los textos publicados en Europa en el siglo XVII por sus correligionarios y, muy en especial, por Riccioli, aunque ocasionalmente aporta observaciones propias. La obra de Riccioli, sobre todo el *Almagestum Novum*, fue de inapreciable valor para los matemáticos españoles, tanto por su carácter de formidable enciclopedia del saber astronómico de mediados del siglo XVII como porque les servía de referencia y autoridad en la que apoyarse para establecer el alcance y límites del discurso astronómico-cosmológico en la España de la época.

En la descripción de los distintos sistemas astronómicos, Zaragoza incluye la teoría heliocéntrica, de la que dice que «está condenada por la congregación de los SS. Cardenales Inquisidores como contraria a las Divinas Letras, aunque por modo de hipótesis o suposición pueden todos valerse de ella para el cálculo de los planetas, conque sólo se condena la actual realidad de esta composición, pero no su posibilidad»³⁷. Y añade que si se comparan los sistemas de Copérnico y Brahe se verá que sólo se diferencian en que Copérnico pone al Sol en el centro del Universo y Brahe a la Tierra. También describe el sistema propuesto por Riccioli en el *Almagestum Novum*.

³⁵ *Journal pour l'année MDCLXXVII* (París, 1718), vol. 4, p. 120; *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences*, vol. X (París, 1730), p. 592. En las *Mémoires* se encuentra el informe de Cassini según el cual las observaciones de Zaragoza «ont précédé celles des autres astronomes». En la Biblioteca del Observatorio de París se conserva una carta de Zaragoza a Cassini sobre el cometa y otras cuestiones (B-4, 12, suite) y un memorándum de Cassini que acredita a Zaragoza como el primer observador del cometa (B4-1, p. 175). Cassini también señala que discutió la cuestión con Zaragoza. En la Academia de la Historia, Col. Cortes, 9/2782, hay una copia del manuscrito de Zaragoza. Carlos SOMMERVOGEL, *Bibliothèque de la Compagnie de Jésus*, XI vols., Bruselas, 1890-1900, vol. VIII, p. 1468, indica que en el Archivo Vaticano (Spagna, n.º 149) se conserva un manuscrito de Zaragoza relativo a este cometa con el título *Observationes cometæ habitæ in oppido Argandæ ab Astrophilo anno 1677*.

³⁶ Así, por ejemplo, en el manuscrito titulado *Astronomia theórica et practica* (Bibl. Nacional de Madrid, Ms. 8932) se lee: «Tradita discipulis suis in Matritense academia Imperialis Collegii, 1673». Véase, sobre este manuscrito, V. ROSSELLÓ, 2000, pp. 183 y ss.

³⁷ ZARAGOZA, *Esphera...*, pp. 42-43.

Sobre las cuestiones cosmológicas generales, Zaragoza coincide básicamente con Riccioli. Defiende la corruptibilidad de los cielos, sin entrar, por lo demás, en las sutiles distinciones de Riccioli sobre la naturaleza «accidentalmente incorruptible» de la región celeste³⁸; sostiene que los cielos son fluidos, aunque el firmamento y el aqueo cristalino son sólidos, no sin añadir que la sentencia que afirma que éstos son también fluidos es asimismo probable. En cuanto a la dinámica planetaria, Zaragoza, como Riccioli, recurre a los ángeles o inteligencias superiores³⁹. Sobre la magnitud de los cielos, adopta estas cifras: más de 100.000 semidiámetros terrestres para la esfera de las fijas y 7.400 de distancia media para el Sol, adaptadas de las que da Riccioli⁴⁰. Sobre los modelos para describir los movimiento planetarios, Zaragoza, como Vicente Mut, a quien cita, se hace eco de la primera ley de Kepler⁴¹. Además, al ocuparse del magnetismo, en la parte III de la obra, indica que «aun Keplero [sic] atribuye el curso de los planetas al magnetismo del Sol»⁴². No obstante, para el jesuita «todas las apariencias de los movimientos planetarios se salvan con un movimiento espiral», teoría de orígenes remotos que aparece descrita por distintos matemáticos de la Compañía, incluido Riccioli⁴³. También comenta Zaragoza los nuevos descubrimientos astronó-

³⁸ Sobre Riccioli, véase E. GRANT, 1994, pp. 263-265.

³⁹ ZARAGOZA, *Esphera...*, p. 52.

⁴⁰ ZARAGOZA, *Esphera...*, pp. 55 y 175. Riccioli evaluó las distancias del Sol en 7.260 y 7.572 semidiámetros de la Tierra, decidiéndose por una distancia media del Sol de 7.300 semidiámetros. Por otra parte, la gran expansión de la esfera de Saturno le llevó a proponer una distancia de 200.000 s.t. para la esfera de las fijas. Véase RICCIOLI, *Almagestum Novum*, parte 1.^a, libro VI, cap. VII, p. 419, donde da como distancias a las fijas más de 100.000 s.t., según un método, y 210.000 s.t. según otro. Véase A. VAN HELDEN, 1986, pp. 114 y ss.

⁴¹ ZARAGOZA, *ibid.*, p. 80. En la *Astronomía theórica y práctica* expone la teoría de la Luna de Kepler y su propia teoría, valiéndose también de modelos elípticos. Véase V. ROSSELLÓ (2000), pp. 192 y ss.

⁴² *Esphera...*, p. 199. Zaragoza se hace eco de las reservas de sus correligionarios hacia las ideas de Gilbert y Kepler y afirma que las «experiencias [...] hacen muy probable el magnetismo de la Tierra, pero no exceden los términos de la probabilidad», pudiéndose explicar, en su opinión, dichas experiencias por la existencia de «ocultas minas de piedra imán que hay por toda la Tierra».

⁴³ ZARAGOZA, *Esphera...*, p. 73. Véase, sobre el movimiento espiral, RICCIOLI, *Almagestum Novum*, parte 1.^a, libro III, p. 152, sobre el moviento del Sol; parte 1.^a, lib. VI, pp. 454-455, a propósito del movimiento de las fijas; lib. VII, pp. 504-505, donde cita a Kepler, quien en la *Astronomia nova* señala que en astronomía geostática las trayectorias de los planetas superiores, al estar compuestos de varios movimientos, deben ser espirales. También, *ibid.*, parte 2.^a, lib. IX, cap. III, p. 254 y ss. En la conclusión III del cap. III de este libro, p. 260, dice Riccioli: «Probabilius est non dari corpus ullum, quod sit Primum Mobile, nec duos motus in stellis simul factos ad oppositas Mundi plagas, sed unicum versus Occidentem per spiras helicoidales, Fixarum quidem in caelo solido, Planetarum autem in fluido. Primi autem Mobilis vicem praestare tempus intelligibile, seu ideam diurni motus menti cuiusvis Intelligentia motricis insumam». Más adelante, parte 2.^a, lib. IX, cap. IX, pp. 288-289, cuando expone su propio sistema, dice: «Supra Saturnum est solida fixarum sphaerae



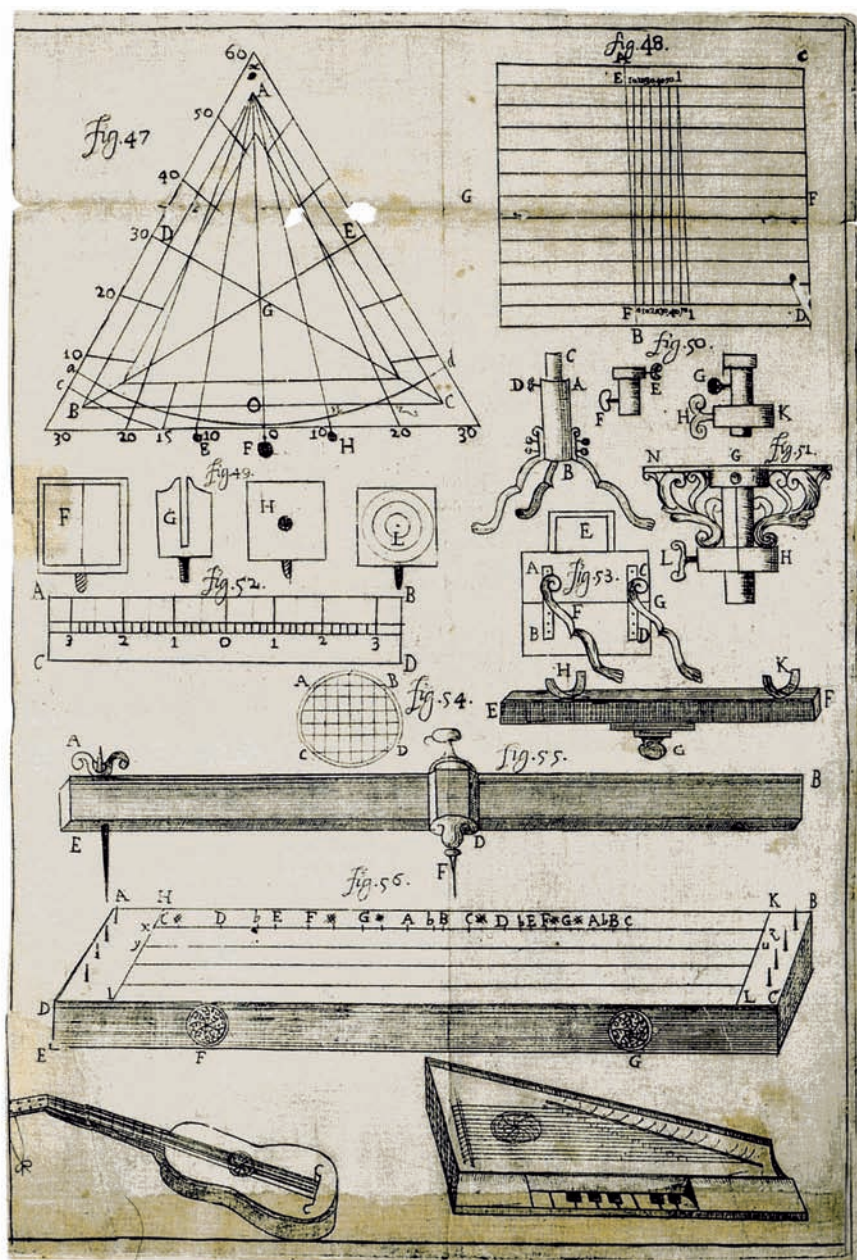
1.5. José de Zaragoza diseñó una serie de instrumentos matemáticos, por encargo del duque de Medinaceli, para el rey Carlos II. Se conservan en una caja que contiene: regla, pantómetra militar, compás armónico (para fabricar el tetracordo, afinar los órganos y templar las guitarras), triángulos (equilátero, filar y pequeño, de usos astronómico y topográfico), cruz geométrica, rombo gráfico (pantógrafo), compás de varilla, cadena de agrimensor, escuadra, tabla de equivalencias y mesa de soporte (Museo Nacional de Ciencia y Tecnología, Madrid).

micos, tales como los relativos a las fases de Venus y Mercurio, satélites de Júpiter y apariencias en torno a Saturno, manchas solares, relieve lunar y observaciones de *novae* y cometas; y discute sus consecuencias cosmológicas, siempre con las cautelas que considera necesarias. Así, aunque rechaza las esferas celestes y afirma que los cielos son fluidos y los astros corruptibles, sitúa a las *novae* en el cielo planetario para mantener sólido al firmamento⁴⁴. No obstante, apunta que es probable que sea fluido y que las «estrellas vayan por él como aves por el aire»⁴⁵. Aunque habla de las manchas solares, no menciona la rotación del Sol. Acerca de la Luna, acepta la existencia de

per unicum spiralem item motum ab Intelligentia una vel pluribus, triplicem motum apparenter exhibens, nempe in longitudinem versus Occasum, in longitud. versus Ortum, et in latitudinem ob declinationis variationem, qui tamen revera unicus est in Occidentem»; y más adelante recuerda lo dicho en otros lugares sobre el movimiento espiral. En la *Astronomía reformata* abandonará su sistema y volverá al tychónico, reafirmando con más claridad la unidireccionalidad de todas las trayectorias astrales según espiras, tal como lo ha señalado M.-P. LERNER, 1995, pp. 145-187, en p. 183, n. 93.

⁴⁴ ZARAGOZA, *Esphera...*, p. 101.

⁴⁵ *Ibid.*, p. 167.



1.6. Lámina relativa a dos de los instrumentos matemáticos diseñados por Zaragoza: el “triángulo equilátero” (figuras 47 a 54) y el “compás armónico” (fig. 55): **Fig. 47.** Triángulo equilátero; **Fig. 48.** División en 12 líneas paralelas de una de las tres planchas del triángulo; **Fig. 49.** Pínulas del triángulo; **Fig. 50.** Pie del triángulo y “cañones” para sustentarlo; **Fig. 51.** Cañón y cartelas sobre las que situar el triángulo; **Fig. 52.** Triángulo pequeño de dos pies y medio de lado y ancho AC; **Fig. 53.** Pínula para las alturas del Sol; **Fig. 54.** Círculo de bronce ABCD del anteojó y listón EF para sustentarlo; **Fig. 55.** Compás armónico (para fabricar el tetracordo); **Fig. 56.** Tetracordo (para afinar los órganos y templar las guitarras). En la parte inferior izquierda puede verse dibujada una guitarra (española); a la derecha, la figura parece representar un clavicordio, pero con una sola escala.

montes y valles, pero rechaza como poco probable que esté compuesta de los cuatro elementos terrestres y, de acuerdo con Riccioli en el *Almagestum Novum*, la considera más probablemente de sustancia celeste⁴⁶.

La parte tercera de la *Esphera* es un compendio de geografía matemática y física según se entendía en la época, del que están ausentes las nociones de geografía descriptiva de países⁴⁷. Incluye el estudio de la navegación, con los problemas de la determinación de la latitud y la longitud y de la curva loxodrómica. También se ocupa del interior de la Tierra, donde expone algunas de las ideas del *Mundus subterraneus* de su correligionario Kircher. Zaragoza acepta la existencia del fuego subterráneo postulada por Kircher, fuego que tendría en los volcanes sus respiraderos, y alude a los «pirofilacios, hidrofilacios y aerofilacios» de este autor, respecto a los cuales, con un cierto escepticismo, escribe: «No les repruebo, porque son posibles, ni les apruebo porque no basta la posibilidad para afirmar el hecho»⁴⁸. Escepticismo que aparece en otras ocasiones, como cuando al tratar de los vivientes subterráneos descritos por Kircher comenta que «el padre Kircher da una historia de hombres subterráneos más extraña que las de las Batuecas»⁴⁹.

También cabe destacar en la actividad de Zaragoza la construcción de instrumentos científicos. Su última obra editada, *Fábrica y uso de varios instrumentos matemáticos* (1675), se ocupa precisamente de una serie de instrumentos contruidos en colaboración con Baltasar de Alcázar y Juan Carlos Andosilla, de utilización geométrica, topográfica y astronómica, que el jesuita dedicó al monarca. Por otra parte, sus amigos y discípulos poseían también instrumentos diseñados por Zaragoza durante su estancia en Valencia⁵⁰.

Zaragoza proyectaba redactar un compendio de matemáticas que no sabemos si llegó a escribir⁵¹. Constaría de ocho volúmenes dedicados a geometría, aritmética, álgebra, armonía, astronomía, geografía, náutica, trigonometría, óptica, estática, arquitectura, pirotecnia, instrumentos matemáticos y cuestiones físico-matemáticas. Es una buena muestra de la amplitud de sus intereses científicos. Aunque no podemos valorar con precisión los conocimientos de física que poseía, el título del tomo octavo: «En este tomo han de discutirse todas las cuestiones mixtas, que guardan relación tanto con la

⁴⁶ ZARAGOZA, *Esphera...*, p. 151. RICCIOLI, *Almagestum Novum*, parte 1.^a, lib. IV, cap. II, p. 187.

⁴⁷ Un estudio de esta parte de la obra, en H. CAPEL, 1976a.

⁴⁸ ZARAGOZA, *Esphera...*, p. 254.

⁴⁹ *Ibid.*, p. 256. Acerca de la influencia de las ideas de Kircher sobre el “mundo subterráneo” en España, véase H. CAPEL, 1976b.

⁵⁰ Véase V. NAVARRO, 1978, 1985. Sobre estos instrumentos, especialmente los relacionados con la música, véase el magnífico trabajo de C. BORDA y L. ROBLEDO, 1998.

⁵¹ Un índice del compendio se conserva en el volumen manuscrito de la Academia de la Historia, Col. Cortes, 9/2782.

física como con las matemáticas, las cuales son muchas y curiosísimas, así como muy difíciles», sugiere que seguía con atención los debates y progresos en estas materias, muy probablemente a través de textos de los científicos jesuitas del resto de Europa.

Las obras de Zaragoza, sumadas a las de otros autores de origen español, como Caramuel, y a los diversos cursos y compendios de matemáticas “puras” y “mixtas” o físico-matemáticas preparados por los jesuitas extranjeros, constituyeron el vehículo adecuado para dar a conocer en España muchos de los progresos en el ámbito de estas disciplinas; al propio tiempo, se evitaba la confrontación con la filosofía aristotélico-escolástica, que seguía dominando en universidades y colegios. En este sentido, el “curso” de matemáticas que tuvo mayor difusión e influencia en España, más amplia aún que la *Mathesis* de Caramuel, fue el de Claude François Milliet Dechaies, titulado *Cursus seu mundus mathematicus*, publicado en 1674 en tres volúmenes y reeditado en 1690, muerto ya su autor, con adiciones para actualizar los contenidos. En la edición de 1674 los tratados de «mechanice», «statica», «hydrostatica», «de fontibus, e fluviis» y «de machinis hydraulicis» incluían muchos de los resultados de Galileo, Torricelli, Castelli y otros discípulos y seguidores de Galileo, junto a las contribuciones de otros autores europeos, como Mersenne, Boyle o Huygens. En la óptica, Milliet Dechaies incorporó gran parte de la dióptrica cartesiana, además del análisis cartesiano del arco iris en los meteoros.

V

LOS CIENTÍFICOS JESUITAS DE LAS ÚLTIMAS DÉCADAS DEL SIGLO XVII Y LA RENOVACIÓN CIENTÍFICA

Tras la muerte de Zaragoza, la cátedra de matemáticas de los Reales Estudios del Colegio Imperial fue ocupada de nuevo por un extranjero: el austriaco Jacobo Kresa (1645-1715)⁵², quien la desempeñó por espacio de quince años. Kresa ejerció también el cargo de cosmógrafo mayor y durante algún tiempo residió en Cádiz, al parecer destinado en la Armada Real⁵³. En Cádiz dirigió varias tesis o certámenes matemáticos celebrados en el Colegio de la Compañía, donde se había creado una cátedra de esta materia⁵⁴. La presencia de Kresa debió de influir en el desarrollo de la actividad

⁵² Véase C. SOMMERVOGEL, 1890-1900, vol. IV, cols. 1236-1237 y la entrada «Kresa, Jacobo», en J. M. LÓPEZ PIÑERO *et alii*, 1983, vol. I, p. 493.

⁵³ Como se afirma en la portada de su edición, en castellano, de los *Elementos* de Euclides (Bruselas, 1689).

⁵⁴ Al parecer, la cátedra se creó en 1689 bajo el mecenazgo del conde de Aguilar, Rodrigo Manuel Manrique de Lara, capitán general de la Armada del Mar Océano, que había creado también una escuela para la Armada. El primer profesor fue probablemente Kresa. Véase M. RAVINA MARTÍN, 1988, y también A. DOU, 1977.

matemática de los jesuitas de la ciudad. De este ambiente surgió precisamente la obra más destacada en la materia, junto a la *Geometria magna in minimis* de Zaragoza, de las publicadas en la España de la segunda mitad del siglo. Nos referimos al *Analysis geometrica* (Cádiz, 1698), de Hugo de Omerique, que mereció el elogio de Newton por su contribución a restaurar «el análisis de los antiguos»⁵⁵ y de la que sólo ha llegado hasta nosotros la primera parte. Trata de la resolución de problemas geométricos mediante el método analítico: se establecen las relaciones entre los datos y las incógnitas y, a partir de ellas, se deduce el valor de las cantidades buscadas. La obra lleva una “censura” de Kresa y dos “juicios” de José de Cañas y Carlos Powell, profesores del colegio jesuítico de Cádiz. Incluye, además, un pequeño tratado intitulado *Algorithmus rationum* de Carlos Powell, en el que las citas a Clavius, Commandino, Tartaglia, Campano, Kircher, Ozanam, Gregorius de Saint-Vincent, Tacquet y Wallis, entre otros autores, muestran la amplia erudición matemática de los profesores gaditanos. El libro I del *Análisis* de Omerique trata de la resolución de problemas geométricos mediante las relaciones de proporcionalidad entre las rectas. El libro II persigue el mismo objetivo y hace uso de la razón compuesta y de la semejanza entre las figuras. En el libro III se resuelven los problemas mediante la comparación de «números planos». El libro IV se ocupa de los casos de compatibilidad de los problemas (problemas indeterminados).

Los manuscritos conservados de Jean François Petrey (o Petrei), profesor de erudición, retórica y matemáticas en los Reales Estudios del Colegio Imperial en las últimas décadas del siglo, son de gran utilidad para valorar la recepción en España de las nuevas corrientes filosóficas y científicas⁵⁶. Parte de estos manuscritos son notas de lecturas, extractos y comentarios de obras de Descartes, Frans van Schooten, Pierre-Sylvain Regis, Thomas Willis, Christoph Glaser, Raymond Vieussens, Antoine Arnauld, Hobbes, Huygens, Michel Rolle y otros destacados autores, además de los científicos jesuitas como Christoph Scheiner, Riccioli, Honoré Fabri, Kaspar Schott, Claude François Milliet Dechales, Ignace Gaston Pardies, etc. Otro grupo de manus-

⁵⁵ «I have lookt into De Omerique's Analysis Geometrica and find it a judicious and valuable piece answering to ye Title. ffor therin is laid a foundation for restoring the Analysis of the Ancients w^{ch} is more ingenious and more fit for a Geometer than the Algebre of the Moderns, ffor it leads him more easily and readily to the composition of Problems and the Composition w^{ch} it leads him to is usually more simple and elegant than that w^{ch} is forct from Algebra». Se trata de una carta de destinatario desconocido. La publicó J. PELSENEER (1930), quien en este trabajo menciona asimismo una reseña anónima de la obra de Omerique aparecida en las *Philosophical Transactions*, 21, n.º 257 (1699), 351-362. Véase también D. T. WHITESIDE, ed., 1976, vol. VII, pp. 198-199. Sobre Omerique, véase P. BERENGUER Y BALLESTER, 1985, y la entrada correspondiente por V. NAVARRO en J. M. LÓPEZ PIÑERO *et alii*, 1983, vol. II, pp. 128-130.

⁵⁶ Información sobre Petrey, en J. SIMÓN DÍAZ, 1952-59, p. 567; C. SOMMERVOGEL, vol. VI, cols. 630-631. Los manuscritos que hemos examinado se conservan en la Academia de la Historia, Ms. Col. Cortes, volúmenes 9/2709, 9/2710, 9/2728, 9/2729, 9/2733 a 9/2739 y 9/2781.

critos lo constituyen fragmentos y tratados de varios temas: fortificación, geometría, álgebra, óptica, astronomía, geodesia, así como observaciones astronómicas de eclipses, cometas y planetas. Petrey se mantenía bien informado de las actividades de la Academia de Ciencias de París, y entre sus manuscritos figuran numerosas notas procedentes del *Journal des Savants* y otras publicaciones de los miembros de la Academia, así como correspondencia con La Hire⁵⁷. Los intereses de Petrey se orientaban tanto a las disciplinas físico-matemáticas como a las biomédicas y a la química. Hay numerosos extractos de textos de anatomía, fisiología y química, con referencias a la fisiología cartesiana. Así, en una nota discute la tesis de Descartes de que la sede del alma es la glándula pineal, para lo que se apoya en investigaciones anatomopatológicas de Daniel D. Duncan, un médico de Montpellier. También comenta, en otras notas, las pruebas de Descartes de la inmortalidad del alma⁵⁸. En una nota sobre la descomposición de la luz blanca y el arco iris menciona, junto a Descartes, Marco Antonio de Dominis y Edme Mariotte, la teoría de Newton sobre la composición de la luz blanca. En otro lugar, a propósito de los instrumentos ópticos, cita a Newton y se refiere a la aberración cromática⁵⁹. Asimismo se conserva correspondencia de Petrey con José Pérez, profesor de matemáticas de Salamanca desde 1673 y corresponsal de Zaragoza, sobre diversas cuestiones de astronomía, matemáticas y filosofía, lo que indica que la renovación científica se había iniciado también en aquella Universidad. En una carta fechada en 1683, Pérez comenta a Petrey cuestiones de geometría tratadas por Hobbes y le dice que ha obtenido licencia del inquisidor general para leer las obras de este autor. El año siguiente, le comunica que le envía el tratado *De corpore* de Hobbes⁶⁰. Petrey leyó con atención esta obra, como lo prueban los extractos y comentarios que figuran en los volúmenes manuscritos citados. Además de Hobbes, aparecen mencionados en las cartas Milliet Dechaes, Descartes, Kaspar Schott y Riccioli, entre otros autores⁶¹.

⁵⁷ Ms. 9/2781.

⁵⁸ Ms. 9/2738.

⁵⁹ En los vols. 9/2736 y 2738.

⁶⁰ Ms. 9/2709 y 9/2727. Fragmentos de esta correspondencia, en R. CENAL, 1945, quien en la p. 54 reproduce también la carta de Corachán a Petrey que se conserva en el volumen 9/2781 de la Col. Cortes y lleva fecha 5 de agosto de 1687. Véase también V. NAVARRO: *Tradición...* (cit. nota 6). Entre los manuscritos de Petrey, en el vol. 9/2727 se conserva uno de Corachán titulado «Exercitationes Geométricas» y resultado de sus enseñanzas en el ambiente valenciano, con notas al margen de Petrey.

⁶¹ En la Biblioteca del Monasterio de El Escorial, L-III-30, se conserva un manuscrito titulado *Tractatus de Theoricis Planetarum. Auctore Josepho Pérez Cathedrae Astronomiae in Salmantino Lyceo meritissimo Moderatore. Per Bach. Michaelem Gonzáles Escorialensen, die 22 Oct. An. 1674*. Contiene diez capítulos dedicados al Sol, la Luna, los eclipses, las mareas, las teorías del Sol, Júpiter, Marte, Venus y Mercurio. Básicamente son rudimentos de las doctrinas ptolemaicas, pero hay referencias a los descubrimientos telescópicos de Galileo y a otros astrónomos de los siglos XVI y XVII, incluido Copérnico. En un próximo trabajo ofreceremos un análisis de este manuscrito.

Petrey mantenía correspondencia con Juan Bautista Corachán, uno de los protagonistas del movimiento “novator” valenciano. En una carta de este último, fechada en 1687, agradece a Petrey su recomendación al marqués de Villena. Además, discute cuestiones astronómicas y le informa de las actividades del grupo valenciano en la Academia de Matemáticas que celebraban en casa de Baltasar de Íñigo. Corachán se reconoce discípulo de Petrey, y entre los manuscritos de éste figura un trabajo de matemáticas de Corachán. Todo ello muestra una comunidad de intereses y una colaboración entre los matemáticos del Colegio Imperial y los novatores valencianos.

Uno de los textos científicos de algún relieve publicado a finales de siglo, que informa de la actividad y magisterio de los jesuitas de Madrid, es el *Espejo geográfico* (2 vols.; Madrid, 1690-1691) de Pedro Hurtado de Mendoza, quien se presenta en la obra como secretario de cartas de Gregorio de Silva y Mendoza, duque del Infantado, de Pastrana y de Lerma, personaje de gran relieve político en la corte de Carlos II y protector de eruditos e historiadores. El duque había sido además discípulo de José de Zaragoza en el Colegio Imperial, y a él dedicó el jesuita su *Euclides nuevo antiguo* (1678), lo mismo que hizo con su obra Hurtado de Mendoza. Además, este último informa de que estudió con los jesuitas y se confiesa discípulo de uno de ellos, a quien no nombra, dando a entender que el libro que escribe es el fruto de esas enseñanzas. Por todo ello se ha especulado acerca de la posibilidad de que el nombre que figura en la obra fuera un pseudónimo de Petrey. Sea como fuera, resulta indudable la vinculación jesuítica del *Espejo geográfico*⁶².

Hurtado de Mendoza, en la introducción a su obra, se preocupa por delimitar de forma precisa el ámbito de la geografía respecto de las otras ciencias. Dice que la geografía puede dividirse de tres formas: artificiosamente, respecto de los círculos celestes, en zonas, climas, longitud y latitud; naturalmente, en tierras, istmos, islas y otras particiones semejantes; y civil y políticamente, en imperios, reinos, repúblicas y otros estados. El texto está organizado de acuerdo con esta división. En relación con la magnitud de la Tierra, muestra estar al corriente de los trabajos que se estaban efectuando por los científicos de la Academia de Ciencias de París. La discusión sobre este asunto le lleva a plantear el tema de la unidad métrica. Aquí recoge la idea de Huygens, cuyo *Horologium oscillatorium* cita, de utilizar la longitud de un péndulo simple con período de un segundo para definir una medida universal de longitud⁶³. Habla también del centro de oscilación y de la isocronía del péndulo cicloidal.

En cosmografía, la postura de Pedro Hurtado de Mendoza frente a la teoría de Copérnico es análoga a la de Zaragoza y otros autores españoles abiertos a las nuevas ideas, a saber, aceptar la teoría de Copérnico como hipótesis, válida para «salvar las

⁶² Véase H. CAPEL, 1976a. Este trabajo incluye un estudio de la obra de Hurtado de Mendoza. Véase también la entrada a cargo de V. NAVARRO y T. F. GLICK: «Hurtado de Mendoza, Pedro», en J. M. LÓPEZ PIÑERO *et alii.*, dirs., 1983, vol. I, pp. 465-466.

⁶³ *Espejo geográfico*, I, p. 39 y ss.

apariencias»; reconocer que «por mucho que el P. Riccioli, y otros, así Mathemáticos como Philósofos, se ayan procurado oponer con razones, y experiencias, a esta hypothesi, no ay alguna bastante para obligarnos a negar su posibilidad»; y finalmente someterse, en lo que atañe a la verdad física del copernicanismo, al dictamen de la Inquisición romana⁶⁴.

En la segunda parte, Hurtado revela un buen conocimiento de la geografía del Nuevo Mundo. Menciona a Bernhard Varenius a propósito de los límites septentrionales de América del Norte y muestra una información razonablemente buena sobre Groenlandia y las islas del Ártico. Creía que California era una isla. Muestra tener acceso a informaciones de primera mano sobre China, aún inéditas, procedentes de los misioneros jesuitas. Así, a propósito del carácter peninsular o insular de Corea escribe: «Esperaba yo que se enriquecería este lugar con las noticias de el nuevo y exacto Mapa de el Reyno de la Corea que el ya citado P. Antonio Thomás escribe ha enviado para esta Corte», lamentando a continuación: «Pero hasta aora no ha llegado ni aquí ni a otra de las partes de Europa con que aquel insigne Missionero se suele corresponder»⁶⁵. También se hace eco de la obra de Kircher, cuyas teorías organicistas defiende, comparando la red hidrográfica con el sistema humano de circulación de la sangre a través de venas y arterias, mostrando de paso un buen conocimiento de los descubrimientos de Harvey y Malpighi⁶⁶.

Con sus tres partes perfectamente equilibradas, el *Espejo geográfico* es un buen exponente de las obras de geografía de la Europa finisecular, como lo es de la ciencia geográfica de los jesuitas, cuyos autores son los más citados y utilizados: Clavius, Riccioli, Milliet Dechales, Fabri, Ciermans, Grimaldi, Tacquet, Acuña, Rodríguez, etc. Junto a éstos, y a otros ya mencionados, hay también referencias a otros muchos autores: Mersenne (a propósito del sonido), Henry Oldenburg (informe de la Royal Society sobre la expedición a Guinea), Vicente Mut e Ismael Boulliau (a propósito de la corrección de determinados puntos geográficos, como la longitud del Mediterráneo).

VI

EL MOVIMIENTO “NOVATOR”

En las últimas décadas del siglo XVII, el proceso de ruptura con el saber tradicional y sus supuestos aparece delineado con unos perfiles más claros, entre sus protagonistas, como un programa de asimilación sistemática de la ciencia moderna. En la base de este programa se advierte una conciencia, que los llamados “novatores” españoles harán explícita, del atraso del país y de que España había permanecido prácti-

⁶⁴ *Ibid.*, I, pp. 67-69.

⁶⁵ *Ibid.*, II, p. 162.

⁶⁶ *Ibid.*, II, pp. 178-180. Véase H. CAPEL, 1976b, pp. 19-20.

camente al margen del nacimiento de la ciencia moderna. Valencia, Zaragoza, Madrid, Barcelona y algunas otras ciudades fueron escenarios de la actuación de los llamados “novatores” de finales de la centuria y primeros años del siglo XVIII. En Madrid, como informa uno de los protagonistas de la renovación en medicina, Diego Mateo Zapata, desde 1687, cuando éste llegó a la Corte, «había en ella las públicas y célebres tertulias que ilustraban y adornaban los hombres de más dignidad, representación y letras que se conocían, como era el excelentísimo Marqués de Mondéjar, el señor don Juan Lucas Cortés, del Consejo Real de Castilla, el señor don Nicolás Antonio [...]; los cuales, como de todas las ciencias, trataban de la filosofía moderna»⁶⁷. Ese año publicó en Madrid el valenciano Juan de Cabriada su *Carta filosófica, médico-chymica*, considerada por López Piñero auténtico manifiesto de la renovación en el ámbito de la medicina y de los saberes biológicos y químicos con ella relacionados⁶⁸. Cabriada denunciaba en la *Carta*, con valentía, la situación de atraso que vivía el país en el ámbito de la medicina y la ciencia y proponía, entre otros remedios, la creación de una Academia de Ciencias análoga a la de París.

En Sevilla, el movimiento renovador culminó con la creación, en 1700, de la Regia Sociedad de Medicina y Otras Ciencias, primera de las instituciones españolas consagradas al cultivo de los nuevos conocimientos médicos y científicos. Entre los socios fundadores figuraban Zapata y Cabriada. También en Sevilla funcionaba desde 1681 el Colegio de San Telmo, que tuvo una cierta importancia en la renovación de los estudios de náutica. En Zaragoza, el médico italiano Juan Bautista Juanini, afincado en España desde 1667 al entrar al servicio de Juan de Austria, contribuyó decisivamente a la difusión de las ideas modernas entre algunos médicos de esta ciudad. Naturalmente, en general, se trataba de grupos minoritarios que se enfrentaron con la oposición de los conservadores, que seguían siendo mayoría. Así, por ejemplo, los fundadores de la Regia Sociedad de Sevilla tuvieron que librar diversas polémicas y vencer la oposición de los tradicionalistas de la Universidad de Sevilla; y en Zaragoza, José Lucas Casalete, uno de los principales “novatores” de la Universidad de esta ciudad, recibió la condena, por sus enseñanzas, de sus colegas de Salamanca, Alcalá, Valladolid, Barcelona, Lérida y Huesca. A pesar de todo, el llamado movimiento “novator” –calificado así por sus detractores– fue consolidándose y ampliando su área de influencia, sentando las bases del importante desarrollo científico de la España ilustrada⁶⁹.

⁶⁷ Diego Mateo Zapata, *Censura...*, p. 18, en, Alexandro DE AVENDAÑO: *Dialogos philosophicos en defensa del atomismo*, Madrid, 1716.

⁶⁸ J. M. LÓPEZ PIÑERO, 1979. Véase también la reciente revisión del tema por este autor: J. M. LÓPEZ PIÑERO, 1993.

⁶⁹ Sobre el movimiento “novator”, en general, véanse los trabajos de V. PESET LLORCA, 1960, y J. M. LÓPEZ PIÑERO, 1965, 1969, 1979 y 1983. En el trabajo de 1979 puede encontrarse una abundante bibliografía sobre el tema. Recientemente, J. PARDO ha completado una importante biografía de Diego Mateo Zapata, publicada por la Junta de Castilla y León, que aún no he podido consultar.

Como señala López Piñero, este movimiento renovador alcanzó su máxima claridad y energía en el campo de la medicina y en los saberes químicos y biológicos relacionados con ella. En el ámbito de las disciplinas físico-matemáticas y sus aplicaciones, careció de la unidad histórica que tuvo en las mencionadas materias. Ello fue debido al diferente tipo de resistencia que la sociedad española opuso a la renovación en cada uno de los campos citados. Sobre uno de los elementos fundamentales de la nueva astronomía pesaba una prohibición expresa sostenida por todas las fuerzas coactivas oficiales. Por otra parte, la nueva física tenía que enfrentarse con la aristotélico-escolástica, componente central de la visión tradicional del mundo, que permanecía íntimamente ligada a la metafísica y, a través de ella, a las doctrinas teológicas. En último extremo, siguiendo a López Piñero, la diversidad que nos ocupa puede referirse al grado de autonomía que habían alcanzado las diferentes disciplinas científicas respecto de la filosofía. El que poseía la medicina desde hacía tiempo permitió que el choque entre “antiguos” y “modernos”, en los saberes con ella relacionados, se desarrollase al margen de la cuestión de heterodoxia. Por el contrario, la astronomía y la física permanecían más subordinadas, al menos en su aspecto teórico, a las doctrinas filosóficas, debido a lo cual su renovación tuvo que enfrentarse con vidriosas cuestiones de cosmología y filosofía natural. No es necesario insistir, además, en que fueron precisamente estos saberes, la astronomía y la física, los que experimentaron cambios más dramáticos con el desarrollo de la Revolución científica, dando lugar a una concepción del mundo físico radicalmente distinta a la aristotélica.

Por todo ello, al no ser posibles las críticas radicales y sistemáticas, el eclecticismo adquirió en la renovación de las materias físico-matemáticas una importancia mucho mayor que en los saberes médicos, biológicos y químicos. Eclecticismo que era precisamente la nota dominante en la apropiación y asimilación progresiva por los científicos jesuitas de la ciencia moderna; de ahí la particular importancia de éstos en el proceso de su recepción en España. En este sentido, y aunque en algunos grupos de renovadores en el campo de las materias físico-matemáticas también es evidente la conciencia del atraso español y de la necesidad de superarlo, la labor de estos autores puede considerarse continuación de la llevada a cabo a lo largo de la centuria por los matemáticos que hemos estudiado: los jesuitas del Colegio Imperial de Madrid en la primera mitad del siglo, Vicente Mut, José de Zaragoza, etc., junto a la de otros como Caramuel, que aunque realizó su labor fuera de su patria mantuvo contactos con los españoles y ejerció una gran influencia en ellos. También cabe incluir en este movimiento las obras y personajes estudiados en el apartado anterior: Kresa, Omerique, Petrey, Hurtado de Mendoza, etc.

Los “novatores” de finales del siglo y primeros años del siguiente en las materias que nos ocupan, y muy especialmente el grupo valenciano, estudiaron con atención las obras de los científicos jesuitas extranjeros y españoles: Kircher, Schott, Riccioli, Fabri, Milliet Dechales, Pardies, Kresa, Izquierdo, Zaragoza, etc., y las tomaron como modelos a seguir. Asimismo, pusieron particular cuidado en asumir en sus propias

obras la labor de sus predecesores, a los que frecuentemente consideraron sus maestros, directos o indirectos, sintiéndose así integrados en una tradición y protegidos por ella⁷⁰. Eso contribuye a explicar sus limitaciones, tales como su escasa atención a la geometría analítica y al cálculo infinitesimal, o su ignorancia de la nueva mecánica celeste y la física newtoniana, cuya asimilación no tendría lugar en España hasta el segundo tercio del siglo XVIII. No obstante, la labor modesta y poco original de estos “novatores” contribuyó a hacer posible el apreciable resurgimiento de la ciencia en la España ilustrada, con figuras tan destacadas como Jorge Juan, Ulloa, Císcar, Mazarredo, Mendoza y Ríos, Bauzá, etc., por citar tan sólo algunas figuras relevantes en el campo de las matemáticas, la física y sus aplicaciones.

VII

EL NÚCLEO RENOVADOR VALENCIANO

Uno de los principales escenarios de este movimiento preilustrado de renovación científica y filosófica fue la ciudad de Valencia, tanto en el campo de la medicina y saberes biológicos relacionados con ella, como en el de la filosofía natural y las disciplinas físico-matemáticas⁷¹. Sin poder detenerme aquí en los antecedentes de este movimiento, recordaré que en la década de 1680-90 había en Valencia una serie de tertulias o academias, inicialmente de carácter literario, pero que progresivamente fueron incorporando en sus discusiones y estudios temas filosóficos y científicos. Una de estas tertulias funcionaba en 1687 con el carácter de academia de matemáticas y con la intención explícita de sentar las bases de una sociedad científica a imagen de las europeas. En ella se celebraban “congresos” donde se discutían cuestiones de aritmética, geometría, álgebra, indivisibles, las leyes del movimiento de Galileo y Descartes, estática, hidrostática e hidráulica; se impartían cursos de estas materias y se realizaban experiencias de física y observaciones con microscopios y telescopios. Sus principales protagonistas eran tres clérigos valencianos: Baltasar de Íñigo, Juan Bautista Corachán y Tomás Vicente Tosca⁷².

⁷⁰ Compárese esta actitud de los matemáticos hacia la tradición propia con la de los médicos, que, como han puesto de relieve A. MARTÍNEZ y J. PARDO, 1995, ignoraron o rechazaron la tradición para legitimar la nueva ciencia y la nueva medicina.

⁷¹ Sobre el caso valenciano en relación con el movimiento “novator”, véase una síntesis en J. M. LÓPEZ PIÑERO y V. NAVARRO, 1998, y el volumen II de *La ciencia en la història dels Països Catalans* (en prensa). Véanse también los trabajos de V. PESET LLORCA, 1964, y S. GARCÍA MARTÍNEZ, 1968.

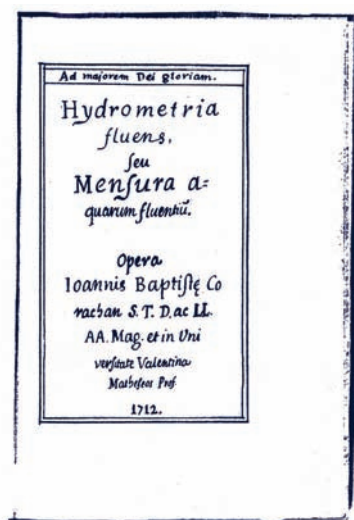
⁷² Sobre estos “congresos”, véase V. NAVARRO, 1978a y 1985. Una biografía de dichos autores, en J. M. LÓPEZ PIÑERO *et alii*, 1983, en las entradas correspondientes, a cargo de V. NAVARRO.

Con una conciencia clara del retraso de su país en el ámbito de la ciencia y de la técnica, estos autores se dedicaron a la tarea de asimilar y difundir los nuevos conocimientos y métodos surgidos de la Revolución científica. Para ello se valieron en gran medida de la literatura jesuítica, cuyos cursos y tratados utilizaron ampliamente y cuyo eclecticismo les sirvió de guía, orientación o modelo para sus propósitos. Así, entre los numerosos volúmenes manuscritos de Corachán se encuentran extractos de las obras de Gaspar Schott, Riccioli, Honoré Fabri, Scheiner, Zaragoza, Milliet Decha-les y otros destacados autores de la Compañía. Asimismo, en una obra titulada *Avisos del Parnaso*, a modo de fábula o utopía de clara intención divulgadora, Corachán hace aparecer como protagonistas principales de este “Parnaso” a Clavius, Grimaldi, Fabri y Kircher, junto a Boyle y su «amada Junta anglicana», y Descartes. La obra incluye, además, un breve fragmento del *Discurso del método* de Descartes en versión castellana: «Propone Renato Descartes un método para usar bien de la razón y buscar la verdad en las Ciencias»⁷³. El “Parnaso” imaginado por Corachán no es sino una recreación literaria de la sociedad científica con la que soñaban aquellos intelectuales, sociedad en la que “antiguos” y “modernos” pudieran encontrarse y discutir todas las cuestiones pertinentes a la ciencia y a la filosofía, siendo la razón y la experiencia (en todo aquello que no contradijera su fe) los últimos árbitros de las discusiones.



1.7. Página de Avisos del Parnaso, obra de Juan Bautista Corachán, redactada hacia 1690 y publicada por Mayans en la Academia Valenciana en 1747. Aquí Corachán rinde homenaje a la Royal Society de Londres y se ocupa de los experimentos de Boyle con la bomba de vacío.

⁷³ Sobre las obras impresas y manuscritas de Corachán, véase V. NAVARRO, 1978a y 1985.

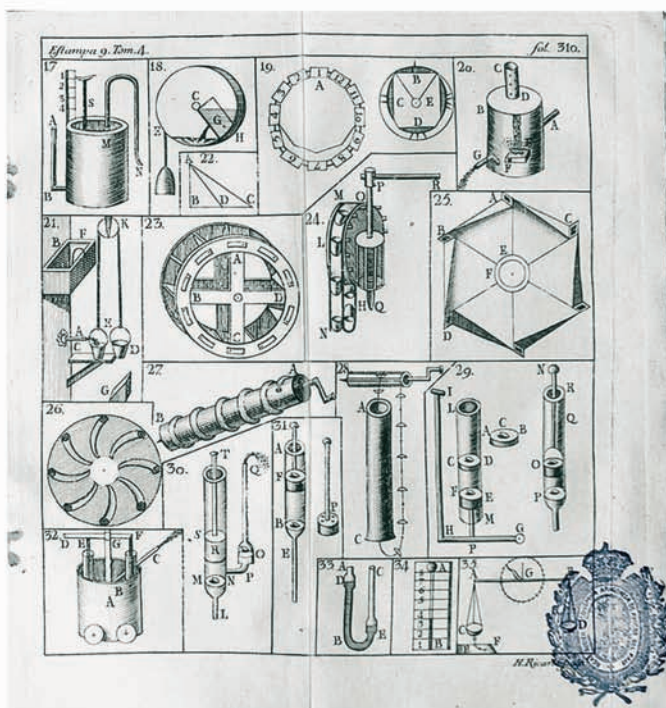
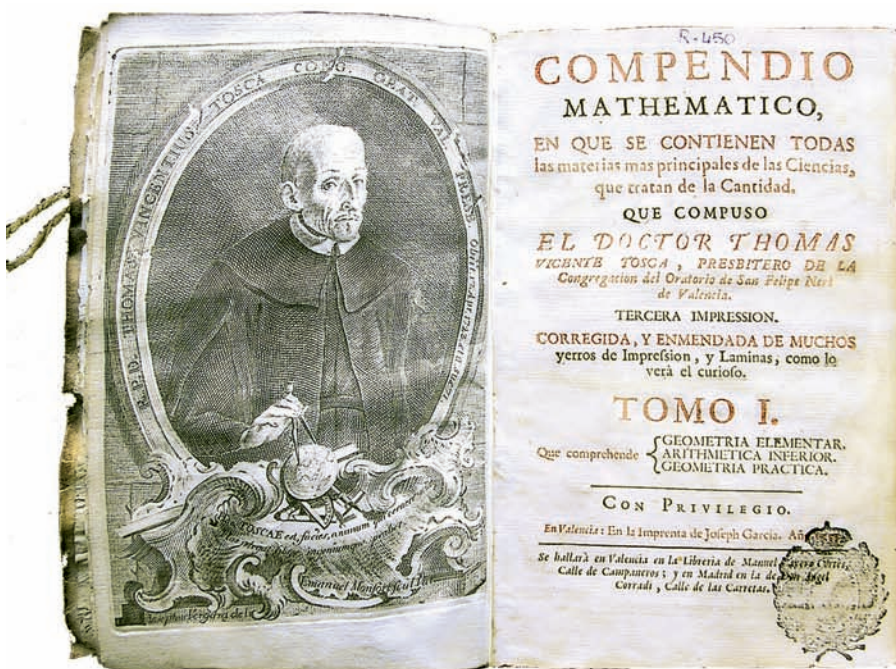


1.8. Los “novatores” valencianos se interesaron mucho por la hidrometría, tema de obvias repercusiones prácticas, muy pertinente en tierras valencianas. Juan Bautista Corachán redactó cuatro manuscritos sobre el tema, basados en diversos autores, pero especialmente en el profesor de la materia en Bolonia Domenico Guglielmini. En la figura, la primera página de uno de los manuscritos conservados en la Biblioteca-Archivo-Hispano-Mayansiana (Colegio del Corpus Christi, Valencia).

La contribución de los “novatores” valencianos a la introducción en España de la ciencia y la filosofía modernas culminó con la publicación por Tomás Vicente Tosca (1651-1723) de su *Compendio Matemático* (9 vols., Valencia, 1707-1715) y su *Compendium Philosophicum* (5 vols., Valencia, 1721)⁷⁴.

En el empobrecido panorama de la literatura española dedicada a cuestiones científicas y técnicas, donde, a lo largo del siglo XVII, la cinemática de Galileo y Torricelli, la óptica de Kepler, Descartes y Grimaldi, el atomismo de Gassendi y la filosofía corpuscular y, en general, el nuevo horizonte metodológico y cognoscitivo abierto por la Revolución científica había merecido escasa o limitada atención en las obras impresas, la publicación del *Compendio* de Tosca fue, sin duda, un acontecimiento importante. En esta obra muchos de los principales capítulos de la nueva ciencia aparecían expuestos con amplitud y claridad, en lengua romance y desde los modernos supuestos metodológicos de Galileo y los seguidores del mecanicismo y la filosofía experimental. Y algo parecido cabe decir del *Compendium Philosophicum*, obra que, con su eclecticismo y con las limitaciones que pueden señalarse, significó un serio

⁷⁴ Un estudio de estas obras, en V. NAVARRO, 1978a, 1985, 1986 y 1997. Véase también J. M. LÓPEZ PIÑERO y V. NAVARRO, 1998; V. NAVARRO: «El moviment novator...» (en prensa).



1.9. Grabado representando a Tosca y portada del volumen I del Compendio Mathemático de Tosca. Lámina del tratado de hidrotecnia. Las figuras 17, 18 y 19 representan relojes hidráulicos, y las figuras 28, 29 y 30 diversas bombas hidráulicas. La figura 33 representa un barómetro, la 34 un termómetro y la 35 un higrómetro (Bibl. RSE Aragonesa, Zaragoza. Fot.: M.S.S.).

ensayo de renovación del discurso filosófico mediante la incorporación de las modernas corrientes científicas y filosóficas.

El *Compendio Mathemático* toma como modelo los cursos de carácter enciclopédico publicados en Europa en la segunda mitad del siglo XVII, principalmente por los científicos jesuitas y con fines didácticos. Tosca recurrió ampliamente a estos cursos y, en especial, al de Milliet Dechales, aunque no es en absoluto cierto que el *Compendio* sea una mera copia o versión castellana del *Cursus* del jesuita francés, como ya puntualizó muy oportunamente Íñigo⁷⁵. El estudio detenido de la obra pone de manifiesto que el matemático valenciano utilizó una abundante literatura copiosamente citada, si bien, desde luego, no se trata de un trabajo original, ni tal era la pretensión de Tosca. Destaca, en particular, el especial cuidado por incorporar las aportaciones y trabajos de los autores españoles: Sebastián Izquierdo, Caramuel y Lobkowitz, Vicente Mut, José de Zaragoza y Hugo de Omerique sobre todo, expresión elocuente del esfuerzo por considerar, en la medida de lo posible, la tradición propia en las materias físico-matemáticas.

El primer volumen del *Compendio Mathemático* se inicia con una breve introducción a las disciplinas matemáticas, donde Tosca explica el objeto, la naturaleza y la división de estos saberes tal como se entendían en esta época. Así, las “puramente” matemáticas son geometría, aritmética, álgebra, trigonometría y logarítmica; y las físico-matemáticas, música, mecánica, estática, hidrostática, arquitectura civil, arquitectura militar, artillería, óptica, geografía, astronomía y cronografía. Entre estas últimas no incluye a la astrología, que Tosca no considera una ciencia, si bien le dedica un tratado en el que expone sus puntos de vista y reservas acerca de las doctrinas astrológicas. Todas las materias mencionadas son objeto de estudio, ocupando uno o varios tratados. Después aborda brevemente el «origen, progreso y utilidad de las matemáticas». Al referirse a la utilidad, señala (y aquí reconocemos ya el espíritu de Galileo y de la nueva ciencia):

«Sin las matemáticas no se puede dar paso en la Filosofía natural con acierto: porque sin la Estática, ¿cómo se han de explicar los movimientos de los cuerpos graves, su aceleración y proporciones? ¿cómo la restitución de los compresos y tensos, en que está sin duda la mayor parte de los efectos de la naturaleza? Sin la Óptica, Dióptrica y Catóptrica, ¿qué se discurrirá en materia de los colores y de la luz sino tinieblas?».

Sin poder realizar aquí un análisis de la obra de Tosca, nos referiremos a algunos aspectos particulares e indicativos de su modernidad.

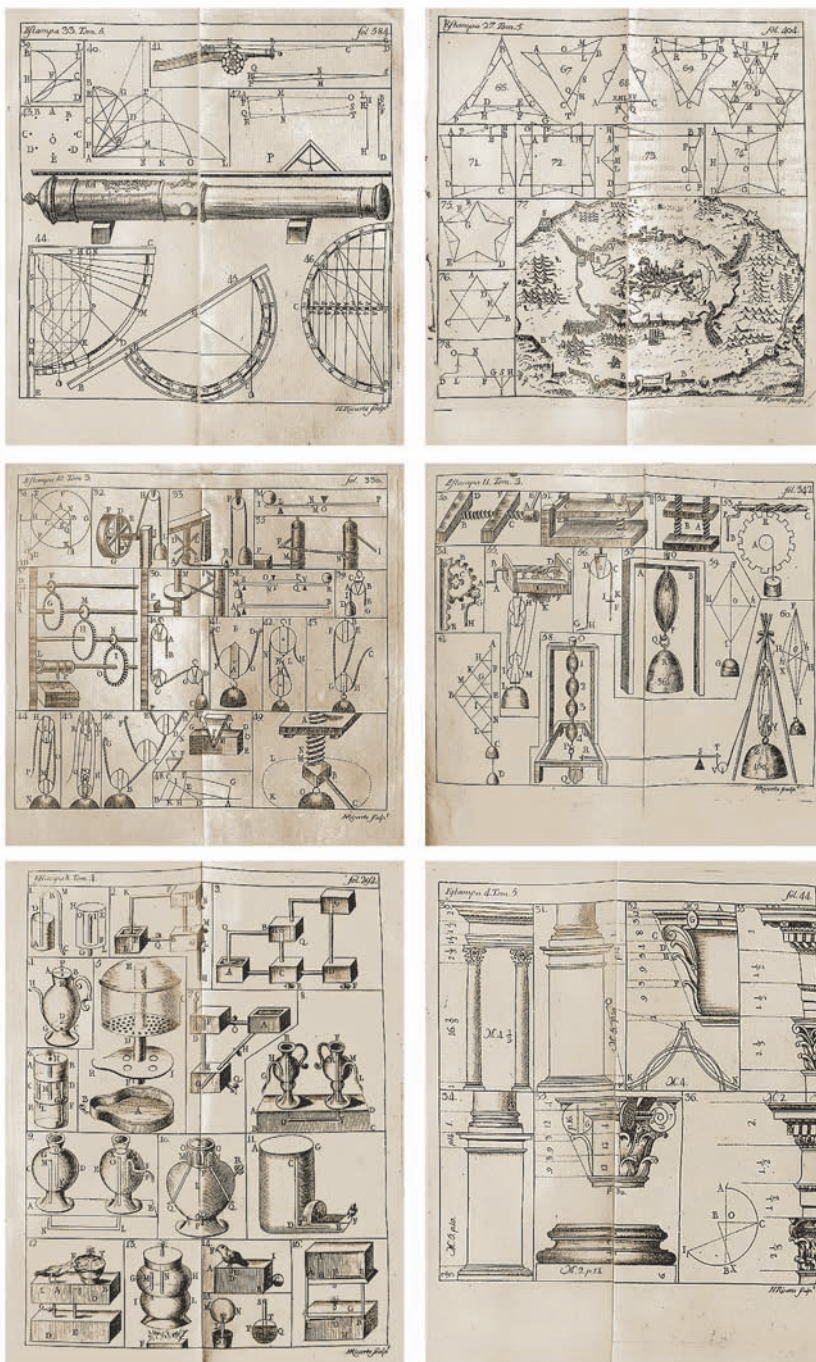
En lo que se refiere a las matemáticas puras, además de la claridad expositiva y del esfuerzo por hacer una presentación más didáctica de lo habitual de las obras de la tradición clásica, como los *Elementos* de Euclides, valiéndose para ello de las versiones aparecidas en el siglo XVII de autores como Milliet Dechales, Andreas Tacquet,

⁷⁵ Sobre el *Cursus* de Milliet Dechales, véase V. NAVARRO, 1978a y 1985, y A. NARDI, 1999.

Jacobo Kresa y “otros modernos”, hay que destacar la inclusión de temas como la combinatoria, que no figura en el *Cursus* de Dechales. También merece señalarse la presencia del estudio geométrico de las cónicas, cuya importancia para la astronomía y la física moderna no necesita ser subrayada. Este estudio sí que lo incluyó Dechales y es la principal fuente de Tosca, si bien el *Compendio mathematico* es la primera obra en lengua castellana que trata este tema. Otros aspectos dignos de mención son la atención concedida al *Analysis geometrica* de Hugo de Omerique, del que Tosca ofrece un extracto, y el carácter moderno de la notación utilizada por Tosca en el álgebra, mucho más moderna que la de Dechales, así como el amplio uso en esta materia de los tratados de Michel Rolle y Jean Prestet, sobre todo en la resolución de ecuaciones y sistemas de ecuaciones. A través de estos autores, Tosca incorpora la teoría algebraica de ecuaciones con una incógnita de Descartes, pero no trata la geometría analítica de Descartes y Fermat. Sobre los trabajos de cálculo infinitesimal anteriores a Newton y Leibniz, Tosca sólo ofrece noticias aisladas.

La nueva ciencia del movimiento inaugurada por Galileo había sido objeto de muy escasa atención en la literatura científica española del siglo XVII. Por ello, una de las principales contribuciones del *Compendio* de Tosca es la presentación amplia y detallada de esta nueva ciencia de acuerdo con los ideales explicativos que la presidían: las matemáticas como lenguaje, y la observación y la experimentación como criterios metodológicos. Así, el tratado X está dedicado a la “estática”, una «ciencia Physico-Matemática que averigua la proporción de los movimientos y el peso de los cuerpos graves». Para Tosca, de acuerdo con Galileo, la gravedad es una fuente de movimiento y es, asimismo, la única propiedad natural de los cuerpos. Por ello, es también la única fuerza natural del movimiento. En consecuencia, critica y rechaza la distinción aristotélica entre graves y leves y explica cómo con la gravedad pueden explicarse todos los movimientos de los cuerpos, con la consideración de la gravedad relativa de unos con respecto a otros. Estudia, además, los experimentos de Torricelli y Pascal, que ponen de manifiesto la gravedad y peso del aire, así como la caída libre de los graves, el movimiento de éstos por planos inclinados y los «funepéndulos o perpendículos». Además, en el tratado de artillería se ocupa del tiro de proyectiles, completando así el estudio del movimiento local de los graves según la línea marcada por Galileo en los *Discursos*. Por otra parte, además de la mecánica galileana, Tosca se ocupa en este mismo volumen de las cuestiones relacionadas con el equilibrio y el movimiento de los fluidos y los ingenios inventados para aprovechar la energía y las propiedades de éstos, así como de la descripción de los instrumentos de medida, como el barómetro y el termómetro. Examina con especial atención la «hidrometría e hidrografía; esto es, el movimiento, conducción y repartición de las aguas», basándose, además de en Castelli, Torricelli, Baliani, Milliet Dechales y otros autores, en la obra usada también por Corachán de Domenico Guglielmini.

La óptica fue otra de las materias que experimentaron importantes progresos en el siglo XVII, tanto teóricos como instrumentales, Tosca se hace eco de ellos, aunque



1.10. Láminas de los tratados de artillería, arquitectura militar, maquinaria, hidrometría y arquitectura civil del Compendio Mathematico de Tosca. Uno de los aspectos más interesantes del tratado de maquinaria de Tosca es la aplicación de las propiedades de las máquinas para el estudio de la contracción muscular, aplicación inspirada en la obra *De motu animalium* de Giovanni Alfonso Borelli, seguidor de Galileo (Bibl. RSE Aragonesa, Zaragoza. Fot.: M.S.S.).

ignora la obra de Newton. Se ocupa de las teorías sobre la naturaleza de la luz, su propagación, las leyes de la óptica geométrica, algunas cuestiones de fotometría y la teoría de los colores. La influencia cartesiana en las ideas sobre la luz expuestas por Tosca es muy notable. Así, para el valenciano, la luz se propaga en línea recta «porque todo ímpetu mueve el cuerpo impelido por línea recta, mientras que otra causa más poderosa no le obligue a moverse por otra línea», lo que ilustra, como Descartes, con el ejemplo de la honda. En la teoría de los colores también sigue a Descartes, cuya explicación de la formación del arco iris incluye. En cambio, en la refracción propone una explicación más próxima a Grimaldi y Ango y afirma que la luz se mueve con mayor velocidad en el medio más raro que en el más denso. También se detiene a estudiar con detalle la gran conquista instrumental en este campo de la revolución científica: el telescopio y el microscopio, siguiendo a diversos autores, como Cavalieri, Zahn, Milliet Dechales o Eustachio Divini, este último uno de los primeros que desarrolló una tecnología para la producción de instrumentos ópticos diseñados científicamente.

En el tratado de astronomía, Tosca explica «el orden de la creación del mundo», siguiendo el Génesis, y expone las ideas atomistas o corpuscularistas que desarrolló más ampliamente en el *Compendium Philosophicum*. Así, nos dice que Dios llenó el cielo de un «quasi infinito número de corpúsculos, o átomos, sobre toda la imaginación humana sutilísimos, los cuales son la materia primera de todas las cosas corpóreas. También que Dios juntó en un lugar gran multitud de los corpúsculos más sutiles para formar un globo luminoso del que surgieron el Sol y las estrellas». Afirma que los cielos por donde se mueven los planetas son fluidos y están formados por materia sutil o éter que impulsa a los astros, aunque reconoce que los ángeles también colaboran de alguna manera, como el *Libro de Job* parece indicar. En el resto del tratado, Tosca ya no se ocupa más de la dinámica celeste, y se dedica a los modelos planetarios y a la astronomía y observación.

En conjunto, la parte del *Compendio* de Tosca dedicada a la astronomía (un tratado de astronomía, otro de astronomía práctica acompañado de tablas, además del estudio de los cometas y otros fenómenos en el tratado de meteoros) supera con mucho a todos los textos anteriores editados en España, incluida la *Esphera* de Zaragoza, constituyendo un buen manual del saber astronómico anterior a Newton. A través de él, los lectores españoles podían enfrentarse con los principales problemas de la astronomía de observación. Tosca, aunque no deja de mostrarse cauteloso ante la cuestión del movimiento de la Tierra, utiliza preferentemente el sistema copernicano para explicar los movimientos de los planetas. En ocasiones sorprendemos curiosos giros expositivos que revelan la difícil posición de aquellos hombres, obligados a someterse a, e incluso a interiorizar, las constricciones que imponían los dogmas eclesiásticos. Así, al hablar de las manchas solares dice Tosca que estos cuerpos se mueven alrededor del Sol llevados del «movimiento circular y vertiginoso del cuerpo solar sobre su centro; como también si la Tierra se moviese con este movimiento y estuviésemos en la Luna veríamos muchas máculas en la tierra, que son las nubes».

En el tratado de geografía, Tosca discute ampliamente la cuestión del movimiento de la Tierra, exponiendo una serie de argumentos a favor y en contra y siguiendo de cerca a Milliet Dechaies. Como éste, refuta los argumentos mecánicos que tradicionalmente se oponían a dicho movimiento recurriendo a la interdependencia y composición de movimientos de la cinemática galileana. Finalmente, concluye que no habiendo ningún argumento decisivo ni a favor ni en contra del movimiento de la tierra, no hay ninguna razón por la que los textos de las Sagradas Escrituras que atribuyen el movimiento al Sol y la estabilidad a la Tierra deban dejar de ser interpretados en sentido literal, lo que no obsta para que pueda utilizarse el sistema de Copérnico en calidad de hipótesis o suposición.

Como hemos señalado, junto a la renovación de las disciplinas físico-matemáticas, Tosca abordó también el problema más arduo y complejo de renovar el discurso filosófico desde la perspectiva de las nuevas corrientes filosófico-científicas, redactando un *Compendium philosophicum*. Tosca era consciente de las dificultades de la empresa y las considerables resistencias que había que vencer. Según Mayans, su idea inicial era redactar la obra en castellano, desistiendo finalmente de ello, sin duda por razones tácticas, es decir, para hacer más respetable la obra entre los profesores universitarios⁷⁶. En este sentido, tanto por el idioma empleado como por su estructura, el *Compendium philosophicum* se ajusta bien a los cursos tradicionales de filosofía, de orientación aristotélico-escolástica. Pero en cuanto a su contenido, el afán renovador de Tosca se hace evidente al lector atento. Consta de once tratados: los dos primeros corresponden a la lógica y a la metafísica general u ontología y el último a la metafísica especial; el resto está íntegramente dedicado a la filosofía natural. Tosca aborda los distintos temas de física y cosmología: la estructura de la materia, el concepto de lugar, posibilidad y existencia del vacío, el tiempo, el movimiento local y la teoría del choque, la caída de los graves, naturaleza y propagación de la luz y leyes de la óptica geométrica, cosmología y teoría de los elementos, fósiles y minerales, vegetales y animales. En cada tema o cuestión, el oratoriano expone las teorías y soluciones dadas por los filósofos y científicos del siglo XVII: Descartes, Galileo, Gassendi, Boyle, Grimaldi, Kircher, etc. En conjunto, esta obra se puede enmarcar en el proceso de renovación de la enseñanza de la filosofía natural que tuvo lugar en muchas universidades de Europa, a partir de la segunda mitad del siglo XVII, bajo la influencia del cartesianismo y la física prenewtoniana.

⁷⁶ Véase la biografía de Tosca por Mayans incluida en la segunda edición del *Compendium*.

BIBLIOGRAFÍA

- APPLEBAUM, W.: «Keplerian Astronomy after Kepler: Researches and Problems», *History of Science*, 34, 1996, pp. 451-504.
- BALDINI, U.: *Legem impone subactis. Studi su filosofia e scienza dei gesuiti in Italia, 1540-1632*, Roma, Bulzoni, 1992.
- BERENGUER Y BALLESTER, P.: «Un geómetra español del siglo XVII», *Revista Contemporánea*, 5, 1895, pp. 449-457.
- BIAGIOLI, M.: «The social status of italian mathematicians, 1450-1600», *History of Science*, 27, 1989, pp. 41-95.
- BORDA, C. y ROBLEDÓ, L.: «José Zaragoza's box: Science and music in Charles II's Spain», *Early Music*, 26, 1998, pp. 391-413.
- BOVER, J. M.: *Memoria Biográfica de los Mallorquines que se han distinguido en la antigua y moderna literatura*, Palma, 1842.
- CAPEL, H.: «La geografía como ciencia matemática mixta. La aportación del círculo jesuítico madrileño en el siglo XVII», *Geo-Crítica*, n.º 30, Barcelona, 1976a.
- «Organicismo, fuego interior y terremotos en la ciencia española del siglo XVIII», *Geo-Crítica*, n.º 27-28, Barcelona, 1976b.
- CENÁL, R.: «El cartesianismo en España», *Revista de la Universidad de Oviedo*, 1945, pp. 3-95.
- «Juan Caramuel. Su epistolario con Atanasio Kircher», *Revista de Filosofía*, 12, 1953, pp. 101-147.
- COTARELO VALLEDOR, A.: «El P. Zaragoza y la astronomía de su tiempo», en *Estudios sobre la ciencia española del siglo XVII*, Madrid, Asociación Nacional de los Historiadores de la Ciencia Española, 1935, pp. 65-223.
- DEAR, P.: «Jesuit mathematical science and the reconstitution of experience in the early 17th century», *Studies in History and Philosophy of Science*, 18, 1987, pp. 133-175.
- Mersenne and the Learning of the Schools*, Ithaca, Cornell University Press, 1968.
- Discipline and Experience. The Mathematical Way in the Scientific Revolution*, Chicago, University of Chicago Press, 1995.
- DOU, A.: «Matemáticos españoles jesuitas de los siglos XVI y XVII», *Archivum Historicum Societatis Iesu*, 66, 1997, pp. 300-321.
- FLETCHER, J.: «Astronomy in the life and works of Athanasius Kircher», *Isis*, 1970, pp. 42-67.
- «Athanasius Kircher and his correspondence», en *Athanasius Kircher und seine Beziehungen zum gelehrten Europa seine Zeit*, Wiesbaden, 1988, pp. 139-195.
- GALLUZZI, P.: «Il Platonismo del tardo Cinquecento e la filosofia di Galileo», en P. ZAMBELLI (ed.): *Ricerche sulla cultura dell'Italia moderna*, Bari, 1973, pp. 37-79.

- GAMBARO, I.: *Astronomia e tecniche di ricerca nelle lettere di G. B. Riccioli ad A. Kircher*, Génova, Quaderni del Centro di studio sulla storia della tecnica del Consiglio Nazionale delle Ricerche, 15, 1989.
- GARCÍA MARTÍNEZ, S.: *Els fonaments del País Valencià modern*, Valencia, Garbí, 1968.
- GARMA PONS, S.: *Las aportaciones de Juan Caramuel al nacimiento de la matemática moderna*, tesis doctoral, Universidad de Valencia, 1978.
- GIACOBBE, G. C.: «Epigono nel Seicento della *Quaestio de certitudine mathematicarum*: Giuseppe Biancani», *Physis*, 18, 1976, pp. 5-40.
- GLICK, T. F.: «On the influence of Kircher in Spain», *Isis*, 62, 1971, pp. 379-381.
- GRANT, E.: *Planets, Stars, and Orbs. The Medieval Cosmos, 1200-1687*. Cambridge, Cambridge University Press, 1994.
- HARRIS, S. J.: *Jesuit Ideology and Jesuit Science: Scientific Activity in the Society of Jesus, 1540-1773*, tesis doctoral, University of Wisconsin-Madison, 1988 (UMI, Ann Arbor, 8901 168).
- LERNER, M. P.: «L'entrée de Tycho Brahe chez les jesuites ou le chant du cygne de Clavius», en L. GIARD (dir.): *Les Jésuites à la Renaissance. Système éducatif et production du savoir*, París, PUF, 1995, pp. 145-187.
- LÓPEZ PIÑERO, J. M.: *La introducción de la ciencia moderna en España*, Barcelona, Ariel, 1969.
- «Los comienzos de la Medicina y la Ciencia modernas en España en el último tercio del siglo XVII», en *Actas del Segundo Congreso Español de Historia de la Medicina*, vol. I, Salamanca, 1965, pp. 403-422.
- Ciencia y técnica en la sociedad española de los siglos XVI y XVII*, Barcelona, Labor, 1979.
- «Juan de Cabriada y el movimiento “novator” de finales del siglo XVII. Reconsideración después de treinta años», *Asclepio*, 45, 1993, pp. 3-53.
- LÓPEZ PIÑERO, J. M. y NAVARRO BROTONS, V.: «Estudio histórico», en J. M. LÓPEZ PIÑERO *et alii*: *La actividad científica valenciana de la ilustración*, 2 vols., Valencia, Diputación de Valencia, 1998, pp. 11-108.
- LÓPEZ PIÑERO, J. M.; NAVARRO BROTONS, V. y PORTELA MARCO, E.: *Materiales para la historia de las ciencias en España, ss. XVI-XVII*, Valencia, Pre-textos, 1976.
- LÓPEZ PIÑERO, J. M.; GLICK, T. F.; NAVARRO BROTONS, V. y PORTELA MARCO, E. (dirs.): *Diccionario Histórico de la Ciencia Moderna en España*, 2 vols., Barcelona, Península, 1983.
- McKEON, R.: «Les débuts de l'astronomie de precision. 1. Histoire de la réalisation du micromètre astronomique», *Physis*, 13, 1971, pp. 225-288.
- MAFFIOLI, C. S.: *Out of Galileo. The Science of Waters, 1628-1718*, Rotterdam, Erasmus, 1994.
- MARTÍNEZ VIDAL, A. y PARDO TOMÁS, J.: «*In tenebris adhuc versantes*. La respuesta de los novatores españoles a la invectiva de Pierre Regis», *Dynamis*, 15, 1995, pp. 301-340.

- NARDI, A.: «Un galileiano excentrico: Il gesuita François Milliet Dechaies tra Galileo e Newton», *Archives Internationales d'Histoire des Sciences*, 49, 1999, pp. 32-74.
- NAVARRO BROTONS, V.: «La renovación de las ciencias físico-matemáticas en la Valencia pre-ilustrada», *Asclepio*, 24, 1972, pp. 367-370.
- La revolución científica en España. Tradición y renovación en las ciencias físico-matemáticas*, tesis doctoral, Universidad de Valencia, 1978.
- «Juan Bautista Corachán y la enseñanza universitaria», *Estudios de Historia de Valencia*, Valencia, Universidad de Valencia, 1978, pp. 279-293.
- «Física y astronomía modernas en la obra de Vicente Mut», *Llull*, 2 (n.º 4), 1979, pp. 23-43.
- Tradició i canvi científic al País Valencià modern (1660-1720): Les ciències Físico-Matemàtiques*, Valencia, Tres i Quatre, 1985.
- «El *Compendium Philosophicum* (1721) de Tosca y la introducción en España de la ciencia y la filosofía modernas», en A. ALBEROLA y E. LA PARRA (eds.): *La Ilustración Española. Actas del Coloquio Internacional celebrado en Alicante, 1-4 de octubre de 1985*, Alicante, Instituto Juan Gil Albert, 1986, pp. 51-71.
- «La ciencia en la España del siglo XVII: el cultivo de las disciplinas físico-matemáticas», *Arbor*, CLIII, n.º 604-605, 1996, pp. 197-252.
- «Descartes y la introducción de la ciencia moderna en España», en *La Filosofía de Descartes y la fundación del pensamiento moderno*, Salamanca, Sociedad Castellano-Leonesa de Filosofía, 1997, pp. 225-253.
- «Riccioli y la renovación científica en la España del siglo XVII», en M. T. BORGATO (ed.): *Giambattista Riccioli e il merito scientifico dei gesuiti nell'età barocca*, Florencia, Olschki, 2001, pp. 219-317.
- «La astronomía (siglos XVI-XVII)», en J. M. LÓPEZ PIÑERO (dir.): *Historia de la ciencia y de la técnica en la Corona de Castilla*, vol. 3, Valladolid, Junta de Castilla y León, 2002, pp. 259-318.
- «De la filosofía natural tradicional a la física moderna (siglos XVI-XVII)», en J. M. LÓPEZ PIÑERO (dir.): *Historia de la ciencia y de la técnica en la Corona de Castilla*, vol. 3, Valladolid, Junta de Castilla y León, 2002, pp. 383-437.
- «Tradition and Scientific Change in Modern Spain: The Role of the Jesuits», en M. FEINGOLD (ed.): *Jesuit Science and the Republic of Letters*, Cambridge, MA/London, The MIT Press, 2002, pp. 331-389.
- «El moviment “novator” de les ciències físico-matemàtiques», en J. VERNET y R. PARÉS (dirs.): *La ciència en la història dels Països Catalans*, vol. 2, Barcelona-Valencia, Institut d'Estudis Catalans-Universitat de València (en prensa).
- NAVARRO BROTONS, V. y RECASENS GALLART, E.: «El cultiu de les disciplines físico-matemàtiques als anys centrals del segle XVII», en J. VERNET y R. PARÉS (dirs.): *La ciència en la història dels Països Catalans*, vol. 2, Barcelona-Valencia, Institut d'Estudis Catalans-Universitat de València (en prensa).

- NAVARRO, V. y ROSSELLÓ, V.: «Antecedents i orígens de la renovació científica valenciana de la darreríria del segle XVII», en G. BLANES, LL. GARRIGÓS, A. ROCA y J. ARRIZABALAGA (coords.): *Actes de les IV Trobades d'Història de la Ciència i de la Tècnica*, Barcelona, Societat Catalana d'Història de la Ciència i de la Tècnica, 1997, pp. 609-619.
- PASTINE, D.: *Juan Caramuel: Probabilismo ed Enciclopedia*, Firenze, La Nuova Italia Editrice, 1975.
- PELSENEER, J.: «Une opinion inédite de Newton sur l'analyse des anciens à propos de l'Analysis geometrica de Hugo de Omerique», *Isis*, 14, 1930, pp. 155-165.
- PESET LLORCA, V.: «El Doctor Zapata (1664-1754) y la renovación de la medicina en España», *Archivo Iberoamericano de Historia de la Medicina*, 11, 1960, pp. 35-93.
- «La Universidad de Valencia y la renovación científica española (1687-1727)», *Asclepio*, 16, 1964, pp. 214-231.
- PINGRÉ, A. G.: *Cometographie*, 2 vols., París, 1783-1784.
- PISSAVINO, P. (ed.): *Le meraviglie del probabile: Juan Caramuel (1606-1682). Atti del Convegno Internazionale di Studi*, Vigevano, Comune di Vigevano, 1990.
- QUIROZ MARTÍNEZ, O. V.: *La introducción de la ciencia moderna en España*, México, Colegio de México, 1949.
- RAVINA MARTÍN, M.: «Notas sobre la enseñanza de las matemáticas en Cádiz a fines del siglo XVII», *Gades*, 18, 1988, pp. 48-65.
- RECASENS GALLART, E.: *La Geometria magna in minimis de J. Zaragoza. El centre mínim i el Lloc 5.º d'Appol·loni*, tesis doctoral, Universidad de Barcelona, 1991.
- «J. Zaragoza's "Centrum Minimum", an Early Version of Barycentric Geometry», *Archive for History of Exact Sciences*, 46, 1994, pp. 285-320.
- «De locis planis: un manuscrit inèdit de J. Zaragoza», en G. BLANES, L. GARRIGÓS, A. ROCA y J. ARRIZABALAGA (coords.): *Actes de les IV Trobades d'Història de la Ciència i de la Tècnica*, Barcelona, Societat Catalana d'Història de la Ciència i de la Tècnica, 1997, pp. 663-671.
- «Àrees i volums mínims a la geometria de J. Zaragoza», en J. BATLLÓ, P. DE LA FUENTE y R. PUIG (coords.): *V Trobades d'Història de la Ciència i de la Tècnica*, Barcelona, Societat Catalana d'Història de la Ciència i de la Tècnica, 2000, pp. 469-473.
- «Càlcul d'arrels d'equacions polinòmiques a l'Arithmetica Universal de Saragossà», J. BATLLÓ, P. BERNAT y R. PUIG (coords.): *Actes de la VII Trobada d'Història de la Ciència i de la Tècnica*, Barcelona, Societat Catalana d'Història de la Ciència i de la Tècnica, 2003, pp. 167-163.
- ROSSELLÓ BOTÉY, V.: *Tradició i canvi científic en l'astronomia espanyola del segle XVII*, Valencia, Universitat de València, 2000.
- «L'astronomia de Juan Caramuel Lobkowitz (1606-1682)», *Cronos*, 5-6, 2002-2003, pp. 93-131.

- RUFFNER, J. A.: «The curved and the straight: cometary theory from Kepler to Hevelius», *Journal for the History of Astronomy*, 2, 1971, pp. 178-194.
- RUSSELL, J. L.: «Kepler's Laws of Planetary Motion, 1609-1666», *The British Journal for the History of Science*, 2, 1964, pp. 1-24.
- SÁNCHEZ CANTÓN, F. J.: *Fuentes literarias para la Historia del arte español*, vol. V, Madrid, CSIC, 1941.
- SARRALLE, J.: «Los matemáticos del Colegio Imperial», *Razón y Fe*, 156, 1957, pp. 421-438.
- SCHÜLING, H.: *Die Geschichte der axiomatischen Methode im 16 und beginnenden 17 Jahrhundert*, Hildesheim, Olms, 1969.
- SIMÓN DÍAZ, J.: *Historia del Colegio Imperial de Madrid*, 2 vols., Madrid, CSIC, 1952-59.
- SOMMERVOGEL, C.: *Bibliothèque de la Compagnie de Jésus*, 11 vols., Bruselas, Oscar Schepens; París, Alphonse Picard, 1890-1900 (reimpresión facsímil, 12 vols., Lovaina, 1960).
- SUMIDA JOY, L.: *Gassendi the atomist. Advocate of history in an age of science*, Cambridge, Cambridge University Press, 1982.
- VAN DER VYVER, O.: «Lettres de J. Ch. della Faille, S. I., Cosmographe du roi à Madrid, à M. F. Van Langren, cosmographe du roi à Bruxelles, 1634-1645», *Archivum Historicum Societatis Iesu*, 46, 1977, pp. 72-183.
- VAN HELDEN, A.: *Measuring the Universe. Cosmic Dimensions from Aristarchus to Halley*, Chicago, The University of Chicago Press, 1986.
- VÁZQUEZ PAREDES, I.: «La geometría en el *Tratado de Arquitectura* de Jean Charles della Faille», *Revista Matemática Hispanoamericana*, 32, 1980, pp. 43-49.
- VELARDE, J.: *Juan Caramuel. Vida y Obra*, Oviedo, Pentalfa, 1989.
- WALLACE, W. A.: *Galileo and his Sources. The Heritage of the Collegio Romano in Galileo's Science*, Princeton, Princeton University Press, 1984.
- WHITESIDE, D. T. (ed.): *The Mathematical Papers of Isaac Newton*, 8 vols., Cambridge, Cambridge University Press, 1967-1981.
- WILSON, C. A.: «From Kepler's Laws, So-called, to Universal Gravitation: Empirical Factors», *Archive for History of Exact Sciences*, 6, 1970, pp. 89-170.
- «Kepler's derivation of the elliptical path», *Isis*, 5, 1968, pp. 5-26.
- Astronomy from Kepler to Newton: Historical Studies*, London, Variorum, 1989.

ÍNDICE ABREVIADO DEL VOLUMEN II

EL SIGLO DE LAS LUCES. DE LA INGENIERÍA A LA NUEVA NAVEGACIÓN

Presentación: Del agotamiento renacentista a una nueva ilusión	9
1. La renovación de la actividad científica en la España del siglo XVII y las disciplinas físico-matemáticas. <i>Víctor Navarro Brotons</i>	33
2. Ciencia, técnica y poder. <i>Siro Villas Tinoco</i>	75
3. Sobre la institución y el desarrollo de la ingeniería: Una perspectiva europea. <i>Irina Gouzevitch y Hélène Vérin</i>	115
4. Institucionalización de la ingeniería y profesiones técnicas conexas: misión y formación corporativa. <i>Manuel Silva Suárez</i>	165
5. Consideraciones sobre el léxico “técnico” en el español del siglo XVIII. <i>Pedro Álvarez de Miranda</i>	263
6. La arquitectura de arquitectos e ingenieros militares: diversidad de lenguajes al servicio del despotismo ilustrado. <i>Arturo Ansón Navarro</i>	291
7. Ciencia, técnica e ingeniería en la actividad del cuerpo de ingenieros militares. Su contribución a la morfología urbana de las ciudades españolas y americanas. <i>Horacio Capel Sáez</i>	333
8. Ingeniería y obra pública civil en el Siglo de las Luces. <i>Juan José Arenas de Pablo</i>	383
9. La política de construcción de canales. Una aproximación. <i>Guillermo Pérez Sarrión</i>	429
10. La fortificación española en los siglos XVII y XVIII: Vauban, sin Vauban y contra Vauban. <i>Fernando Cobos Guerra</i>	469
11. Navegación e hidrografía. <i>Manuel Sellés García</i>	521
12. Construcciones, ingeniería y teóricas en la construcción naval. <i>Julián Simón Calero</i>	555