

LES LLEIS DE KEPLER EN UN TRACTAT ASTRONÒMIC ESPANYOL DEL SEGLE XVIII: EL *COMPENDIO MATHEMATICO* DE TOMÀS VICENÇ TOSCA (1715)

CARLOS DORCE

DEPARTAMENT DE PROBABILITAT, LÒGICA I ESTADÍSTICA, UNIVERSITAT
DE BARCELONA.

Paraules clau: *Tomàs Vicenç Tosca, Compendio Mathematico, Johannes Kepler, Lleis de Kepler, astronomia espanyola, història de l'astronomia*

Kepler's Laws in a XVIIIth Century Spanish Astronomical Treatise: Tomàs V. Tosca's *Compendio Mathematico* (1715)

Summary: *This is an analysis of how Kepler's first and second laws is explained in one of the most important Spanish astronomical treatises in the XVIIIth century.*

Key words: *Tomàs Vicenç Tosca, Compendio Mathematico, Johannes Kepler, Kepler's Laws, Spanish Astronomy, History of Astronomy*

Tomàs Vicenç Tosca i el seu *Compendio Mathematico*

La figura de Tomàs Vicenç Tosca (València, 1651-1723) és una de les més importants dins de la història de la ciència de l'Espanya del segle XVIII. La seva formació acadèmica va combinar els seus estudis a la Universitat de València, on el seu pare era doctor en medicina i catedràtic, amb els llibres i instruments científics que li va proporcionar

el músic i matemàtic Fèlix Falcó de Belaochaga. Va ser consagrat sacerdot el 1678, i ingressà a la congregació de Sant Felip Neri on a poc a poc va anar ocupant càrrecs cada cop de més responsabilitat i on en el període 1697-1705 (o 1707), va instituir una escola de matemàtiques. La seva afició per l'ensenyament d'aquesta disciplina va néixer a partir de la seva assistència a les tertúlies científiques que tenien lloc a València, i ja el 1693 ell mateix tenia deixebles als quals els n'ensenyava. El País Valencià va ser el marc ideal per a una persona que, com Tosca, estava ple d'inquietuds i ganes de canviar el rumb de la ciència espanyola. A finals del segle XVII van començar a aparèixer personatges, com el comte d'Alcúdia, que van patrocinar trobades culturals on es parlava de temes tan diversos que anaven des de les humanitats fins a l'arquitectura, la perspectiva o la filosofia natural. En aquestes tertúlies hi van participar personatges de la importància de Josep Vicent del Olmo, Josep Ortí Moles i Falcó de Belaochaga. Tomàs Tosca, juntament amb Joan Baptista Corachan (1661-1741) i Baltasar d'Iñigo (1656-1746), va participar activament en la tertúlia que es duia a terme a la gran biblioteca de la casa de Joan Basili Castellví, comte de Cervelló i marquès de Torques (1699). Els tres personatges estaven en el rovell de l'ou de la ciència espanyola i el mateix D'Iñigo va començar una tertúlia a casa seva (1687) amb la ferma intenció d'afermar les bases d'una futura Societat Científica Valenciana. Sota els pseudònims de *Philomusus* (Tosca), *Euphyander* (D'Iñigo) i *Didascalus* (Corachan), l'«Acadèmia» d'aquests *novators* discutia i tractava temes com la geometria, l'àlgebra, la mecànica, l'arquitectura i la hidràulica i aixecaven actes de tots els seus congressos.

Paral·lelament a la carrera del Tosca científic cal considerar la seva no menys important carrera civil. En el període 1717-1720 va ocupar el càrrec de vicerector de la Universitat de València que, en aquell moment, era el càrrec més important d'una institució que havia perdut el patronat i no podia nomenar rector. El seu nom era força important a la ciutat i va participar en diversos projectes d'enginyeria i arquitectura, com el plànol de la ciutat (1704).

Les dues obres protagonistes del gran renom de Tosca dins la ciència són el *Compendio mathematico* (1707-1715) i el *Compendium philosophicum* (1721). Aquestes dues obres signifiquen la culminació de la contribució científica dels *novators* valencians (Navarro, 2007). El *Compendio mathematico* pertany a la moda europea del moment consistent en la publicació de grans enciclopèdiques de caràcter didàctic i la seva repercussió a l'Espanya del segle XVIII va ser notable ja que, després de la seva primera edició, es va reeditar completament tres cops més, a Madrid (1717) i a València (1757 i 1760), a banda d'edicions parcials d'alguns dels seus tractats. L'obra consta de nou volums:

- Volum I: Geometria elemental i pràctica i aritmètica.
- Volum II: Aritmètica, àlgebra i música.
- Volum III: Trigonometria, còniques i maquinària.
- Volum IV: Estàtica, hidrostàtica, hidrotècnia i hidrometria.
- Volum V: Arquitectura civil i militar i artilleria.

- Volum VI: Òptica, diòptrica i perspectiva.
Volum VII: Astronomia.
Volum VIII: Astronomia pràctica, geografia i nàutica.
Volum IX: Gnomònica i astrologia.

En la part estrictament matemàtica, Tosca dóna una introducció didàctica dels llibres I, II, III, IV, XI i XII dels *Elements* d'Euclides seguint versions «modernes» com eren les del belga Andreas Tacquet (1612-1660) i el francès Claude François Miliet Dechales (1621-1678). El *Cursus seu mundus mathematicus* de Miliet Dechales és una de les seves obres de referència juntament amb el *Traité d'algebre* de Michel Rolle (1652-1719) i els *Éléments des mathématiques* de Jean Prestet (1648-1690). A més, el *Compendio* inclou innovacions de matemàtics espanyols com són Josep Saragossà (1627-1679), Sebastián Izquierdo (1601-1681), Juan Caramuel (1606-1682) i Antonio Hugo de Omerique (n. 1634). El però de l'obra és que mostra una carència absoluta pel que fa a la geometria analítica de René Descartes (1596-1650) i als treballs de càlcul infinitesimal newtonians. Pel que fa a la part física, Tosca analitza els experiments d'Evangelista Torricelli (1608-1647) i de Blaise Pascal (1623-1662) sobre la gravetat i l'obra de Galileu Galilei (1564-1642) hi és present en diverses ocasions. D'altra banda, les obres de Descartes i les dels italians Bonaventura Cavalieri (1598-1647), Eustachio Divini (1610-1685) i Domenico Guglielmini (1655-1710) també hi són referenciades.

Pel que fa al *Compendium philosophicum*, Tosca el va escriure en llatí per intentar donar-li un prestigi dins de la comunitat universitària que el castellà no li oferia. Dels onze tractats dels quals consta, dedica els dos primers a la lògica i la metafísica general i l'últim, a la metafísica especial, mentre que en la resta del tractat ens presenta la filosofia natural. Tosca aborda temes com l'existència del buit, els conceptes de lloc i de temps i la naturalesa de la llum, tots ells des d'un punt de vista renovador.

El copernicanisme i les lleis de Kepler a l'Espanya del segle xvii

Espanya té l'honor de ser, juntament amb Anglaterra, un dels únics països a Europa on les teories copernicanes no van trobar el rebuig frontal de la comunitat científica tradicional, si més no de manera teòrica (López, 1979). De fet, i malgrat que no va arribar a portar-se a la pràctica, els estatuts de la Universitat de Salamanca assignaven al segon any de la Càtedra d'Astrologia l'estudi de Copèrnic en cas que els estudiants ho votessin (1561), convertint-se així en l'única universitat europea del segle xvi que va dictar una cosa similar. Malgrat la condemna de 1616, un nou intent teòric i que tampoc no va ser portat a les aules van ser les constitucions de la mateixa universitat que obligaven a llegir a Copèrnic (1625).

Durant el segle xvii, tant des de la Casa de Contractació de Sevilla com des dels cercles de la cort reial, els astrònoms espanyols van deixar de banda el tradicionalisme i van utilitzar les teories heliocèntriques com una eina pràctica força superior al geocentrisme ptolemaic.

A Sevilla, els noms de Rodrigo Zamorano (1542-1623), Vasco de Piña i Andrés García Céspedes (m. 1611) són exemples d'aquest ús i tots tres van usar els models copernicans per calcular taules astronòmiques. D'altra banda, des de l'Acadèmia Matemàtica de Madrid, l'il·lustre Juan de Herrera (1530?-1597) frisava per aconseguir el *De Revolutionibus* en llengua «vulgar» en el moment que es publicués, i això que ja era posseïdor de dos exemplars en llatí a la seva biblioteca. Un exemple a part és el de Diego de Zúñiga (c. 1536 - c. 1600) qui el 1584 va escriure *In Job Commentaria*, on defensa que la teoria copernicana, davant de les teories anteriors, explica millor els moviments planetaris, fet que provocaria que la seva obra fos prohibida per la Inquisició el 1616.

Un dels personatges més importants de l'astronomia espanyola de mitjan segle XVII va ser el mallorquí Vicent Mut (1614-1687). Mut mantenia correspondència amb astrònoms europeus de la importància de l'italià Giovanni Battista Riccioli (1598-1671) i de l'alemany Athanasius Kircher (1602-1680). La relació amb Riccioli va ser força destacada fins al punt que al final de la seva primera obra astronòmica, el *De Sole Alfonsino restituto* (1649), avança la molt propera publicació de la gran obra *Almagestum Novum* (1651) de l'italià. En contrapartida, Riccioli va incloure moltes observacions realitzades per Mut. Tot i així, el que aquí centra el nostre interès és l'aparició de la primera i segona llei de Kepler (1609) en el seu segon tractat: el *De Observationes motuum caelestium* (1666). La trajectòria del planeta Mart porta Mut a reconèixer que les taules astronòmiques de Kepler (fonamentades en el moviment el·líptic dels planetes) són les més adequades per al càlcul de les seves efemèrides. Admet l'el·lipse per la facilitat que ofereix en els càlculs malgrat el seu propi convenciment que els planetes es mouen girant en moviment circular uniforme.

Mut va ser contemporani de Josep Saragossà, al qual va conèixer en un viatge d'aquest a Palma de Mallorca. Saragossà va publicar l'*Esphera en común celeste y terráquea* (1675) i en ella es va dedicar a anar recollint els corrents astronòmics que circulaven per Europa durant el segle XVII posant especial èmfasi a l'*Almagestum Novum* de Riccioli. En el llibre II de l'*Esphera*, Saragossà exposa els diferents sistemes astronòmics anteriors a ell: el de Pitàgores i Ptolemeu amb l'addició de la desena esfera del rei Savi; el de Plató i Porfiri; el dels egipcis, acceptat per Vitruubi, Capella, Macrobius, Beda, Argoliu i altres astrònoms; el de Tycho Brahe i Longomontanus; el de Riccioli, i el de Copèrnic (Cotarelo, 1935). Les òrbites el·líptiques de Kepler també són analitzades a l'*Esphera* i reconeix que aquesta teoria «no produeix mals efectes en el càlcul dels planetes».

Malgrat que l'el·lipse queda recollida en aquests dos exemples molt destacats dins de l'astronomia espanyola del segle XVII, el tractament d'aquesta primera llei no és l'actual. Des de la seva publicació el 1609 fins a l'aparició de l'anglès Jeremiah Horrox (1619-1641), que va defensar irrevocablement les teories de Kepler, l'acceptació de les lleis entre els seguidors de Copèrnic no va ser immediata. L'el·lipse donava uns bons resultats en els càlculs d'efemèrides però oferia molts dubtes físics i filosòfics. Una de les variants més populars que hi va haver la va proposar Ismael Boulliaud (1605-1694). Boulliaud no estava d'acord

amb la segona llei i en la seva *Astronomia Philolaica* (1645) va suposar que l'el·lipse era una secció d'un con oblic amb un dels seus focus situat sobre el seu eix. Posteriorment, el professor de la Universitat d'Oxford Seth Ward (1617-1689) va rebutjar els cons de Boulliaud i va suposar que el moviment dels planetes per l'el·lipse es produïa amb velocitat angular constant al voltant del segon focus de l'el·lipse. Per tant, si bé la primera llei quedava d'alguna manera acceptada, la segona passava d'explicar la velocitat del planeta a partir de l'àrea recorreguda a ser explicada a partir d'un moviment circular uniforme. Aquesta variant Boulliaud-Ward és precisament la que va adoptar Mut en la seva obra i la que marcaria les posteriors obres astronòmiques espanyoles.

El volum VII del *Compendio*: l'astronomia

El setè volum del *Compendio* és molt superior a totes les altres obres editades anteriorment a Espanya i constitueix una bona guia de tot el saber astronòmic newtonià (Navarro, 2007). Les fonts que va usar Tosca per desenvolupar tota la teoria del volum astronòmic van ser fonamentalment tres: l'*Almagestum Novum* de Riccioli, l'obra de Miliet Dechales i les taules astronòmiques de Philippe de la Hire (1640-1719).

Està dividit en set llibres:

Llibre I	<i>Sobre l'esfera del món en comú o dels principis generals de l'Astronomia i la Cosmografia</i> ¹
Llibre II	<i>Sobre el Sol</i>
Llibre III	<i>Sobre la Lluna</i>
Llibre IV	<i>Sobre els eclipsis del Sol i de la Lluna</i>
Llibre V	<i>Sobre les estrelles fixes</i>
Llibre VI	<i>Sobre els tres planetes superiors: Saturn, Júpiter i Mart</i>
Llibre VII	<i>Sobre els dos planetes inferiors: Venus i Mercuri</i>

El llibre I es dedica a analitzar la naturalesa i els moviments dels cels i dels astres. El capítol I *sobre la regió etèria* comença explicant l'ordre de la creació del món seguint el llibre I del *Gènesi* i, tot seguit, assigna als astres i als cels una matèria i una forma i analitza la naturalesa d'aquesta matèria. Tosca és de l'opinió que tant els cossos celestes com l'èter que omple el cel són incorruptibles, malgrat que algunes de les parts que componen els astres poden ser corruptibles. Les teories filosòfiques continuen a la següent proposició i aquí trobem per primera vegada el nom de Kepler associat a les seves idees: els cels són fluids i es mouen, a l'igual que els astres, d'acord amb el primer impuls rebut de Déu en la seva creació. D'aquesta mateixa opinió és Tosca ja que aquesta opció és la «més probable» i la que s'adapta millor a les Sagrades Escripures.

1. Malgrat que el llibre està escrit en castellà, traduiré al català totes les cites que utilitzi.

El següent punt on apareix el nom de Kepler és a la proposició V: «els Cels i els Estels es mouen per l'impuls rebut del Creador en la seva creació». Tosca cita diverses opinions anteriors com les d'Al-Bitrûjî (m. 1204) i Albert Magne (1206-1280), que van defensar que és Déu qui mou els cels i els astres, o Tomàs d'Aquino (1225-1274), que assignava el moviment a l'acció dels àngels. Tanmateix, l'opinió que més s'adapta un altre cop a les Sagrades Escripures és la defensada «comunament pels Filòsofs i Matemàtics moderns» entre els quals hi ha Kepler. Tosca envia el lector a l'obra de Dechaes per a més detalls.

El capítol II parla *del sistema del món* i en ell explica els sistemes astronòmics ptolemaic, platònic, egipci, copernicà i de Thyco. Com que hi ha diverses opinions respecte el nombre, ordre i moviment dels cels, també hi ha d'haver diferents teories respecte dels sistemes que defineixen el món. Tosca considera que en té prou explicant aquest cinc als quals anomena «principals» i perquè «entenent aquests es té notícia cabal de la resta». Bàsicament, descriu l'ordre en el qual estan disposats els astres. Posteriorment, en el capítol V es dedica a explicar com es produeixen els moviments dels astres segons aquests sistemes. En el cas del sistema copernicà, explica que «aquest sistema explica enginyosament tot el que s'observa en el Cel [...], amb el qual havent-se condemnat aquest sentir [...] per la Sacra Congregació dels Cardenals, es permet expressament com a hipòtesi i suposició: s'ha de tenir per fals [...]». El capítol acaba amb un escoli on diu que hi ha més sistemes i que es pot suposar que qualsevol dels astres és el que està immòbil «malgrat no haver-se d'admetre com a tesi o conclusió assertiva». De fet, «malgrat que amb el moviment de la Terra i l'estabilitat del Sol el sistema copernicà expliqui bé totes les aparences celestes, no s'ha de tenir per vertader».

El nom de Kepler no torna a aparèixer fins al capítol VI: *De la distància i magnitud dels Cels i dels Estels*. Als capítols III i IV, Tosca defineix els elements elementals de la mecànica celeste geocèntrica: cercle de l'equador, eclíptica, horitzons, pols, cercle meridià..., ascensions recta i obliqua... i considera una obliquïtat de l'eclíptica de 23°30'. El capítol V tracta sobre *el moviment dels astres* i explica el moviment de les esferes segons la hipòtesi d'uns cels sòlids i la d'uns cels fluids: en aquest últim cas detalla els moviments segons el sistema copernicà. Considera un any de 365 dies 5 hores i 49 minuts, una precessió dels equinoccis de 50" per any (1° cada 72 anys). L'aparició de Kepler en aquest sisè capítol va unida a les dimensions del sistema solar. Tosca especifica les distàncies menor i major segons Ptolemeu, al-Fargânî, Longomontanus i Riccioli. Ara bé, «els que admeten el moviment de la Terra donen major distància als [estels] fixos: [Philip von] Lansberg [(1561-1632)] 10 milions, Galileu [(1564-1642)] 13 i Kepler 60. Copèrnic indefinida».

El llibre continua analitzant diversos aspectes astronòmics tals com la refracció dels astres o la resolució de diferents problemes de trigonometria esfèrica. En el capítol VII *de les diferents comparacions dels astres* s'expliquen la longitud i la latitud d'un astre, la seva ascensió, declinació, l'arc semidiürn... El capítol VIII analitza la paral·laxi i la refracció de la llum, és a dir, aquells aspectes que tenen un component important en les observacions astronòmiques. La sortida i la posta dels astres és analitzada al capítol IX mentre que en el capítol X,

sota el títol *De la resolució dels problemes del primer mòbil*, s'amaga una sèrie de resolucions de problemes tals com trobar la línia meridiana, l'alçada del pol, l'obliquïtat de l'eclíptica, etcètera. Finalment, en el capítol XI sobre *les dotze cases celestes*, Tosca explica cinc mètodes diferents per trobar les cases astrològiques.

El llibre II porta el títol *Del Sol*. Com passa en les grans obres astronòmiques, com poden ser l'*Almagest* de Ptolemeu o el *De Revolutionibus* de Copèrnic, un cop l'autor ha deixat clar el marc filosòfic en el qual es mou i les relacions trigonomètriques necessàries per calcular qualsevol arc de la volta celeste, els successius llibres comencen a explicar els sistemes geomètrics dels diferents astres. I «havent de tractar sobre els moviments, propietats i aparences dels set planetes, ens és necessari parlar en primer lloc del Sol, no només per ser el Rei dels Astres i la torxa més brillant del Cel [...] sinó perquè els seus moviments compten amb menys irregularitats [...] i s'expliquen amb hipòtesis més fàcils i serveixen, així mateix, de llum per a descobrir els camins [...] per on caminen la resta de planetes i penetrar en els seus complicats laberints». El llibre està dividit en dues parts: una primera sobre *la naturalesa i propietats del Sol i de la manera d'observar i determinar els seus moviments i aparences* i la segona sobre *la desigualtat del moviment anual del Sol i de diverses hipòtesis amb les quals s'explica*.

El capítol I de la primera part tracta sobre *la substància i accidents del Sol* i ja en la seva primera proposició, Tosca analitza la substància de la qual està format: *el Sol és un foc puríssim*. Tosca comença fent una introducció històrica a aquest tema. Diu que en la seva obra *Periarchon*, Orígenes (c. 185-254) assegura que el Sol i la resta d'astres comptaven amb una «ànima racional» i que, justament per aquest error, el llibre va ser condemnat el segon sínode de Constantinopla (553). Després, els pitagòrics, platònics i estoics li van atribuir una ànima «sensitiva o vegetativa» i van ser seguits per Simplicí de Cilícia (c. 530), Avicena (980-1037), Giovanni Pico della Mirandola (1463-1494), Francesco Silvestro di Ferrara (1574-1526), Lucillo Filalteo (1510-1578) i Kepler. Envia el lector al capítol I del llibre III de l'*Almagestum Novum* de Riccioli si vol saber les referències bibliogràfiques exactes. Com que a aquesta segona opció «també li falta fonament», Tosca conclou que «el Sol no té cap tipus de forma vivent». Per tant: «és un foc puríssim i molt net». Tosca justifica aquesta teoria mitjançant tres proves. La primera es fonamenta a partir de dos textos eclesiàstics. La segona és «l'autoritat de més de 30 Sants Pares», els quals són citats per Christoph Scheiner (1575-1650) en la seva *Rosa Ursina sive Sol* (c. 1626) i per Riccioli i Athanasius Kircher (1602-1680). Tosca especifica que aquesta mateixa teoria va ser defensada per alguns filòsofs antics els quals cita. Finalment, la tercera prova es fonamenta en la «raó fundada en l'experiència», «perquè en el Sol experimentem les propietats del foc com són la llum i la calor en tant grau que els seus raigs units mitjançant un vidre convex encenen foc, com experimentem cada dia». Cita després el llibre I del *Artis magnae lucis et umbrae* de Kircher el qual assegura que si es mira el Sol amb «lents grans i perfectes» es veu «com un oceà de foc semblant al metall fos i ardent, amb terribles onades de flames». La conclusió és que el Sol és foc veritable «però més pur que el terrestre» atesa la seva resplendor.

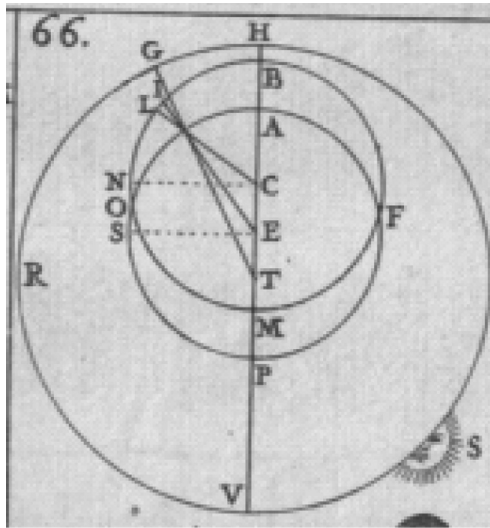
El llibre segueix demostrant que el Sol és una esfera, la causa i lloc on es formen les taques solars i es dedica a determinar la distància entre el Sol i la Terra: entre 7.074 i 7.580 radis terrestres ja obtinguts per Riccioli (amb la corresponent excentricitat solar corresponent a 253 radis). El capítol III tracta sobre la paral·laxi solar i aquí ens torna a aparèixer el nom de Kepler. A la proposició XIII, explica de quina manera s'han de calcular les taules de la paral·laxi solar segons la forma de les taules calculades per Boulliaud i Kepler. Amb aquestes taules, es converteix l'altura aparent del Sol en l'altura veritable. Tosca continua el capítol amb el càlcul invers i dedica el capítol IV a la refracció solar. El capítol V sobre *la magnitud del Sol* comença explicant les tres maneres diferents que existeixen per observar el diàmetre aparent del Sol. La tercera d'aquestes formes és la utilitzada per Johann Baptist Cysat (1587-1657), Tycho Brahe, Scheiner, Riccioli i Kepler. Després de tot un seguit de teoremes, Tosca acaba determinant que les distàncies màxima, mitjana i mínima entre la Terra i el Sol són, respectivament, 7.427, 7.300 i 7.173 radis terrestres i les seves respectives paral·laxis: 27, 28 i 29 segons. També determina que el diàmetre del Sol és de 37 radis terrestres. Aquesta primera part acaba amb un capítol dedicat als *moviments del Sol, la durada de l'any i la formació de taules de moviments mitjans*.

La segona part d'aquest llibre és una guia didàctica sobre els diferents models geomètrics que expliquen el moviment del Sol. El primer capítol explica *les hipòtesis amb les quals s'explica la desigualtat del moviment del Sol* i, tal i com diu Tosca, «hipòtesi [...] no és una altra cosa que una disposició geomètrica la qual, posada o suposada en el Cel, explica bé els fenòmens d'un Astre». Tosca explica les hipòtesis de l'epicicle-deferent i del cercle equant i els raonaments per trobar l'excentricitat i l'apogeu solar segons Ptolemeu, Dechales i Riccioli. També explica el procediment per calcular la màxima equació solar i la manera per calcular l'equació de qualsevol longitud.

En la proposició LVI, Tosca analitza el que diu que és *un defecte notable en la Hipòtesi Solar de Ptolemeu*. Aquest defecte consisteix en el fet que si bé els models ptolemaics expliquen força bé les discrepàncies entre les longituds mitjanes i veritables del Sol, els seus resultats en el moment de calcular els diàmetres solars quan el Sol està a l'apogeu i al perigeu no són gens bones. De fet, «segons les millors observacions», l'excentricitat solar és de 3.480 unitats de les quals la distància mitjana entre el Sol i la Terra són 100.000, és a dir, el model té una excentricitat de 0,0348. Tot i així, el model calcularia correctament els diàmetres si aquesta excentricitat fos tan sols de 0,0174, la seva meitat. Tosca conclou que «el centre dels moviments mitjans ha de distar del centre de la Terra o del centre dels moviments veritables, el doble del que dista d'aquest centre el del deferent del Sol».

A la proposició LVII, la qual porta el títol *L'excentricitat del Sol necessàriament s'ha d'admetre bisecada, o partida per la meitat*, Tosca atribueix aquest canvi en el valor de l'excentricitat a Kepler, al qual van seguir Giovanni Antonio Magini (1555-1617), Govaert Wendelen (1580-1667), Boulliaud i Riccioli. Per tal d'adaptar aquesta nova excentricitat al model, Tosca dedica les següents proposicions a parlar de Kepler, el seu model i la seva primera llei.

A la proposició LVIII s'explica la hipòtesi del cercle equant, la qual va ser ideada per Kepler. Tosca comença dient que «Kepler, per compondre la dificultat citada, va introduir un cercle equant en la hipòtesi del Sol, la disposició de la qual és com segueix».

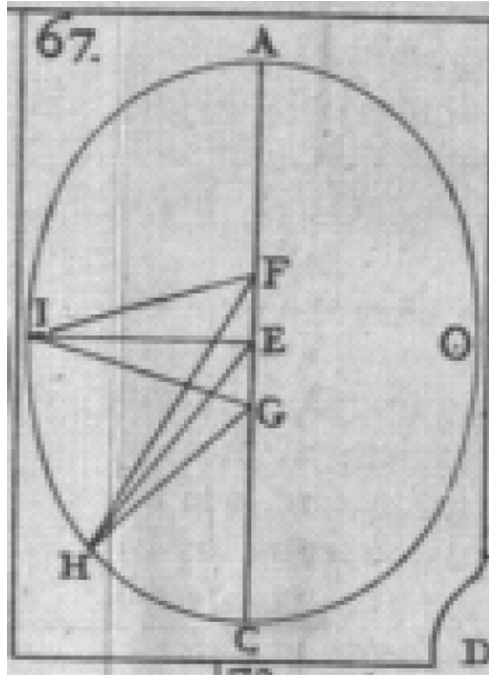


Sigui T el centre de la Terra i el món, centre de l'eclíptica HRV , amb H l'apogeu i V el perigeu. Sigui C tal que CT sigui l'excentricitat del model i E el seu punt mig. Amb aquest punt E com a centre, es descriu el cercle excèntric $AOPF$ amb l'apogeu a A i el perigeu a P . Amb el mateix radi però ara prenent C com a centre, es descriu el cercle excèntric $BOMF$ «el qual serà l'equant», amb l'apogeu a B i el perigeu a M . Es dibuixen les línies NC i SE perpendiculars a HV . Si el Sol està a D , es tracen les línies EDI , CDL (I i L situats sobre l'equant) i TDG (G situat sobre l'eclíptica). A partir d'aquí, Tosca puntualitza que el moviment mitjà del Sol es produeix sobre l'excèntrica $BOMF$ i no sobre $AOPE$. En aquest cas, mentre el Sol recorre l'arc BL en moviment mitjà, haurà recorregut l'arc $AD < BL$ en moviment real. Tosca demostra la desigualtat $AD < BL$ seguint el següent raonament: siguin arc $DA = \angle DEA$ i arc $BL = \angle BCL$. Com que $\angle BCL$ és extern al triangle $\angle ADC$, ha de ser $\angle BCL > \angle DEA$, intern i oposat (Euclides 32.1).

Tosca explica que la prostafèresi del Sol (angle $\angle TDC$) és en realitat la suma d'una prostafèresi «física» i d'una altra d'«òptica». La física és «la diferència entre el moviment desigual del Sol en la seva pròpia excèntrica» i l'òptica «la que s'observa respecte de l'eclíptica» ($\angle TDE$).

Tosca acaba el capítol dient que «aquí es veu clarament que aquesta hipòtesi és cabal i explica bé la desigualtat del moviment anual del Sol; perquè la prostafèresi total ve a ser la mateixa que la de l'excèntrica simple de Ptolemeu i explica la poca diferència entre els diàmetres aparents del Sol a l'apogeu i al perigeu i això és perquè el Sol en el seu apogeu no està a

B sinó en A, més a prop de la Terra; i el Sol en el perigeu no està a M sinó a P, més lluny i, per tant, el diàmetre del Sol no sembla tan petit a l'apogeu ni tan gran al perigeu».



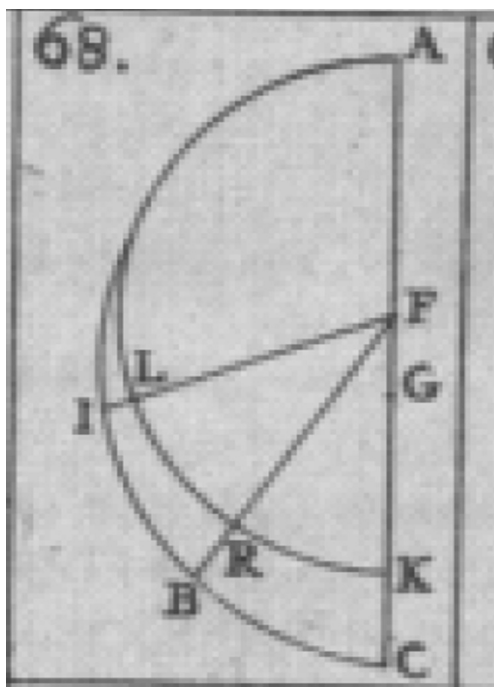
Finalment, és a la següent proposició quan Tosca tracta directament sobre la primera llei de Kepler: *s'explica la hipòtesi el·líptica del Sol*. Tosca comença explicant que considerar que el Sol es mou sota la hipòtesi excèntrica anterior no és gaire diferent de considerar que es mou per damunt d'una el·lipse on un dels focus és el centre dels moviments mitjans i l'altre, el dels moviments aparents. Explica que Kepler va tenir molts problemes per computar les equacions planetàries segons aquesta hipòtesi però que els astrònoms que el van seguir van «tenir la fortuna de trobar el camí». En aquesta línia, cita a Boulliaud, el comte Blaise François de Pagan (1604-1665) i Giovanni Cassini (1625-1712). Malgrat tot, recalca que les equacions segons aquesta hipòtesi són «amb diferència insensible les mateixes que les de l'excèntrica simple ptolemaica», com que l'el·lipse està introduïda en els altres planetes, Tosca explicarà la hipòtesi: «aquesta hipòtesi el·líptica del Sol consisteix en el fet que aquest planeta es mou per la perifèria d'una el·lipse de manera que el seu moviment és igual respecte d'un dels seus focus, centre del moviment mitjà, i és desigual respecte de l'altre focus on, segons aquesta hipòtesi està la Terra, la qual és centre del moviment desigual, aparent i vertader».

Sigui AICO una el·lipse de centre a E i focus F i G de manera que FG sigui tota l'excentricitat del Sol bisecada en E. Siguin IF i IG els radis que descriuen l'el·lipse «segons

la pràctica del cordill, la qual tinc explicada en diferents Tractats», els quals sumen el mateix que el diàmetre major AC . Els punts I i O són aquells en els quals es formen els angles més grans amb els radis IF i IG i la resta d'angles són menors en el moment en què ens acostem a A : tots aquests angles són les prostafèresis. Així, el Sol es mou per l'el·lipse des de l'apogeu A al perigeu C amb F centre del moviment mitjà i G el lloc de la Terra.

Tosca reconeix que amb aquesta hipòtesi s'expliquen molt bé els fenòmens del Sol:

1. El Sol vist des de la Terra semblarà major a C i menor a A .
2. Des de l'apogeu fins a la seva arribada al perigeu, el Sol cada cop estarà més a prop de la Terra G i al seu pas pel punt I estarà en la seva distància mitjana.



Finalment, Tosca recalca que aquesta hipòtesi és equivalent a la de la proposició anterior. El següent teorema «explica de quina manera pot succeir el moviment del Sol per la perifèria de l'el·lipse». El moviment mitjà es produeix al voltant del focus F . Amb F com a centre, Tosca dibuixa una circumferència ALK i descompon el moviment del Sol per l'el·lipse en un de curvilini definit per la circumferència i un de rectilini mitjançant el qual el Sol s'allunya del centre F a mesura que s'allunya de l'apogeu A .

A les següents proposicions, Tosca analitza diversos aspectes de la hipòtesi el·líptica com són: «donat el diàmetre major de l'el·lipse solar, la distància dels focus o excentricitat i

l'anomalia, trobar el punt de la perifèria el·líptica en la qual es troba el Sol i, per qualssevol punts semblants, descriure l'el·lipse del Sol», «trobar les prostafèresis competents als graus de l'anomalia en aquesta hipòtesi el·líptica» i «en aquesta hipòtesi el·líptica, quan el Sol està en l'extremitat de menor diàmetre, té la distància mitjana de la Terra i allí succeeix la major equació o prostafèresi».

Abans de passar al capítol II, Tosca deixa ben clar en una «advertència» que la hipòtesi el·líptica és vàlida tant si s'agafa a les teories geocèntriques com a les heliocèntriques: «Tot el que hem dit de l'el·lipse solar, segons la hipòtesi comuna, que dóna quietud a la Terra i moviment al Sol, es verifica també en la de Copèrnic, la qual dóna quietud al Sol i moviment a la Terra; ja que només es diferencien en què en la teoria circular se suposa que la Terra es mou per la perifèria de l'excèntrica i el Sol està immòbil en el centre dels moviments aparents on la hipòtesi comuna situa la Terra. A l'el·líptica se suposa, segons els copernicans, que la Terra es mou per la perifèria de l'el·lipse i que el Sol està en el focus centre dels moviments vertaders, on la hipòtesi comuna situa la Terra [...]».

Amb aquest detall, Tosca tanca les lleis de Kepler i no torna a citar-les en la resta del llibre, ni tan sols quan parla de les hipòtesis dels moviments de la Lluna i dels planetes. Tot i així, Tosca analitza cadascuna de les hipòtesis i teories que explica i va citant a Kepler juntament amb les seves idees, sobretot filosòfiques: «la Lluna no té atmosfera» i «la seva superfície és aspra i composta de grans muntanyes, valls i cavernes», «els estels tenen llum pròpia»...

Tosca ha seguit la variant Boulliaud-Ward tal i com va fer Mut i, si tenim en compte el desenvolupament general d'aquest setè volum, és possible afirmar que tot el que coneix de les lleis de Kepler és a través de fonts secundàries. Probablement, Tosca no va llegir mai Kepler. Va aprendre les seves teories via l'*Almagestum Novum* i les va desenvolupar seguint l'estil enciclopèdic que a l'època imperava. Tot i així, no podem en absolut menysprear la seva obra i no col·locar el seu nom en el lloc de privilegi dins de la història de l'astronomia espanyola.

Bibliografia

- COTARELO VALLEDOR, A. (1935), «El P. José Zaragoza y la Astronomía de su tiempo». A: *Estudios sobre la ciencia española del siglo xvii*, Madrid, Asociación Nacional de Historiadores de la Ciencia Española, 65-223.
- DREYER, J. L. (1953), *A History of Astronomy from Thales to Kepler*, New York, Dover Publications, Inc.
- LÓPEZ PIÑERO, J. M. (1979), *Ciencia y técnica en la sociedad española de los siglos xvi y xvii*, Barcelona, Labor universitaria.
- LÓPEZ PIÑERO, J. M.; GLICK, T. F.; NAVARRO BROTONS, V.; PORTELA MARCO, E. (dirs.) (1983), *Diccionario histórico de la ciencia moderna en España*, vol. II, Barcelona, Península.
- NAVARRO BROTONS, V. (1996), «La ciencia en la España del siglo xvii: el cultivo de las disciplinas físico-matemáticas». *Arbor*, **153** (604-605), 197-252.
- NAVARRO BROTONS, V. (2007), «El moviment *novator* en les ciències físicomatemàtiques». A: VERNET, J.; PARÉS, R. (eds.), *La Ciència en la Història dels Països Catalans*, vol. II, València, Institut d'Estudis Catalans i Universitat de València, 381-411.
- NAVARRO BROTONS, V.; RECASENS GALLART, E. (2007), «El cultiu de les disciplines físicomatemàtiques als anys centrals del segle xvii». A: VERNET, J.; PARÉS, R. (eds.), *La Ciència en la Història dels Països Catalans*, vol. II, València, Institut d'Estudis Catalans i Universitat de València, 337-380.
- TOSCA, T. V. (1715), *Compendio mathematico en que se contienen todas las materias de las Ciencias que tratan de la Cantidad*, vol. VII que contiene la Astronomía, València.
- WILSON, C. (1968), «Kepler's Derivation of the Elliptical Path», *Isis*, **59**, núm. 1 (Spring, 1968), 4-25.
- WILSON, C. (1974), «Newton and Some Philosophers on Kepler's "Laws"», *Journal of the History of Ideas*, **35**, núm. 2 (Apr.-Jun., 1974), 231-258.