

## TEMA 2

### 2. LA REVOLUCIÓ COPERNICANA

#### 2.1 Biografia de Nicolau Copèrnic

#### 2.2 L'astronomia de Copèrnic: La revolució científica del segle XVI

##### 2.2. a) El commenatariolus

##### 2.2. b) De revolutionibus orbium coelestium

#### 2.3 Impacte de l'astronomia de Copèrnic

---

## 2) LA REVOLUCIÓ COPERNICANA

### 2.1) Biografia de Nicolau Copèrnic

Nicolau Copèrnic, va néixer el 19 de febrer de 1473 a la ciutat polaca de Thorn (Toru en l'actualitat). Podem situar a Copèrnic en plena època de transició entre l'Edat Mitjana i el Renaixement. Als 10 anys d'edat va quedar orfe de pare i va ser acollit per la seva mare i un germà d'aquesta: Lucas Watzelrode. La idea del seu oncle era que Nicolau, seguís les seves passes i fos canonge; el seu oncle era conscient que si seguia la carrera eclesiàstica tindria el recolzament de l'església de Roma i tindria ingressos suficients assegurats al llarg de la seva vida.



Retrat de Copèrnic

L'any 1491, quan Copèrnic acabava de complir 18 anys, el seu oncle el va inscriure en la Universitat de Cracòvia. Aquesta facultat tenia un prestigi reconegut per tota Europa i era la millor de Polònia. Allà va estudiar "Arts Liberals"; un programa de formació bàsica universitària que contenia, entre altres coses, una bona formació de matemàtiques, trigonometria, astronomia i l'estudi especial de les obres de Brudzewski, Peurbach i Regiomontano, el qual sembla que va ser el seu primer contacte amb l'astronomia i les ciències del cel.

Però poc més tard, el 1495, la seva vida va donar un volt; el seu oncle, va ser nomenat bisbe de la regió de Warmia, i va trucar a Copèrnic de manera immediata perquè ocupés un lloc com a canonge (la diòcesi constava de 16 canonges, el què vol dir que entrar a formar part no era gens fàcil). La seva primera candidatura va ser rebutjada però, finalment dos anys després va obtenir-la en el segon intent (1501).

Durant aquest temps d'espera, concretament el 1496, Nicolau va viatjar a Itàlia. Si li haguessin acceptat la seva primera candidatura com a canonge, les seves propostes astronòmiques no s'haurien formulat mai, ja que molts dels coneixements els va adquirir a Itàlia i la vida com a canonge era molt tancada.

Copèrnic va estudiar dret a la Universitat de Bolonya (universitat en la que va estudiar el seu oncle). Al mateix temps, va començar a fer observacions astronòmiques com a ajudant de Domènec Maria de Novara, professor d'astronomia de la Universitat de Bolonya. Va conviure un temps amb Domènec com a deixeble seu i testimoni de les observacions. A més va rebre les primeres influències d'una astronomia vista des d'un punt de vista físic, en oposició a la física ptolemàica que va estudiar a Cracòvia.

L'any 1501, és reclamat a Polònia per prendre possessió com a canonge. Però mesos més tard va tornar a Itàlia; alguna cosa tenia aquest país, bressol del renaixement i d'un canvi cultural, que li atreïa. Concretament, se'n va anar a Padua, en teoria, per estudiar medicina. La canonja va justificar aquest viatge especulant que mai els aniria malament tenir un metge al plantell, però només va actuar com a tal esporàdicament... Finalment l'any 1503 es doctorà en dret canonge a la Universitat de Padua. Ara es disposava a tornar al seu país natal, del qual mai més sortiria. Copèrnic s'emportà sota la butxaca un ampli ventall de coneixements, la influència del moviment cultural renaixentista que es dona a Itàlia i, el que és el més important, una llibreta plena d'anotacions astronòmiques que no sabem perquè motiu, les guardà fins la publicació del "Commenariolus".

Ara la seva vida, a Warmia, va donar un gir enfront a la que vivia a Itàlia. No va abandonar l'astronomia durant els següents anys, però si va haver d'ocupar-se de feines que feia junt amb el seu oncle i fins i tot amb el bisbe que li ocupaven molt de temps, com a feines administratives, polítiques i mèdiques. El bisbe volia, sens dubte, nomenar Copèrnic successor seu. Però va declinar la proposta per deixar a un costat la carrera eclesiàstica i poder dedicar el temps als seus propis interessos.

En aquesta època, Copèrnic va escriure un text d'uns quants fulls, el "Commenariolus", que seria el seu primer llibre. No sabem ben bé quan va escriure Copèrnic aquest llibre, però probablement fos abans de 1514. Aquest llibre no és cap avanç del "De revolutionibus", i en ell formula 7 postulats de la teoria heliocèntrica (s'exposen en l'apartat 2.2 a).

El 1512 va mudar-se a la catedral de Frombork, de la qual n'era canonge. Allà va ser nomenat canceller i administrador de béns. En aquesta època, va haver de posar en pràctica tot el que havia après al costat del seu oncle al palau i amb el bisbe; ara n'estava tot sol, i havia de fer front a la situació. Durant la Guerra contra l'Ordre Teutònic, que va patir Warmia, Copèrnic va fugir a Olsztyn i preparar la seva defensa. En signar-se l'armistici, va ésser nomenat comissari de Warmia.

Aquest és el període en el que Copèrnic va fer la majoria d'observacions; concretament entre 1512 i 1529, que va plasmar al llibre "De revolutionibus", llevat de dues que va fer a Itàlia. Cal recordar, que aquestes són una selecció de les importants, el què vol dir que en va fer una gran quantitat.

A partir de 1530, les obligacions institucionals que anava ocupant es van reduir considerablement. Tot i això, va tenir temps per redactar una obra sobre els problemes que patia la moneda i la seva encunyació, el "*Monete cudende ratio*" (mètode d'encunyació de la moneda).

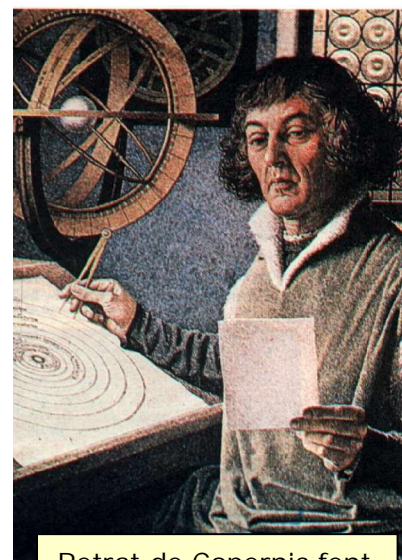
Finalment, i com a obra magna, podem nombrar *De revolutionibus Orbium coelestium* (Sobre les revolucions dels orbes celestes). Va ser escrita en llatí i publicada l'any de la seva mort. A causa de què Copèrnic no hagi deixat cap rastre sobre la seva informació biogràfica, resulta difícil establir quin any va acabar la seva obra original. El més probable és que fos de 1530, any en què va realitzar l'última observació astronòmica que surt al llibre. Durant aquests tretze anys, l'únic que es va poder llegir sobre la nova astronomia heliocèntrica proposta per Copèrnic, va ser el seu manuscrit de *Commenatoriolus*, que només va circular per amics i coneguts molt propers. L'única obra astronòmica que va publicar va ser *Narratio prima de libris revolutionibus*, una obra que era una exposició introductòria a la nova astronomia. Es va publicar amb el consentiment de Copèrnic però sense mencionar l'autor, és a dir, en principi era una obra anònima. Cal dir que aquesta obra va tenir una enorme difusió.

Evidentment, el què Copèrnic volia era evitar polèmiques. No va publicar la seva obra, *de revolutionibus*, pel consell d'un amic seu. Hem de tenir en compte que Copèrnic parteix amb avantatge enfront altres astrònoms com Galileu, entre altres coses, per la seva privilegiada posició en la societat i el pes que tenia a Polònia.

## 2.2 L'astronomia de Copèrnic: La revolució científica del segle XVI

L'aportació de Copèrnic a la l'astronomia va ser molt extensa. Però el què va fer aquest canonge de Polònia no va ser ampliar i investigar sobre un terreny que ja coneixia, sinó fer una autèntica revolució en el món de l'astronomia.

Copèrnic, com ja hem comentat anteriorment, va estudiar arts liberals. Aquests estudis li van permetre estudiar el complex sistema Ptolemaic, del qual dubtava la veracitat (cal remarcar, que el sistema de Ptolomeu era vàlid en la majoria de casos per calcular òrbites i futurs esdeveniments). També, un factor a afegir que li va fer pensar sobre un sistema heliocèntric i amb una Terra en moviment, era



Retrat de Copèrnic fent càlculs astronòmics.

que el seu primer "mestre" d'astronomia, Domènec Maria de Novara, va criticar durament l'Univers creat per Ptolomeu. Evidentment, Nicolau ni es va parar a considerar el rudimentari i prehistòric sistema geocèntric i geoestàtic amb una Terra plana que plantejava l'església.

A l'hora d'escriure les seves deduccions científiques, Copèrnic va ser prudent i primer va fer una infinitat d'observacions astronòmiques que va plasmar, principalment, en dos llibres. Però no va ser el primer en proposar un sistema governat pel sol, sinó Aristarc de Samos, deixeble de l'escola pitagòrica, va ser el primer de l'Imperi Hel·lènic en proposar una teoria com aquesta.

Òbviament, aquestes idees no van fructificar perquè era un filòsof amb poca influència. Per altre banda, hem de comprendre la idea de què la Terra roman al centre de l'Univers, ja què aparentment, sembla que tot gira al voltant nostre.

Fins i tot, a l'obra magna original de Copèrnic de Copèrnic, *de revolutionibus*, apareix el nom d'Aristarc de Samos tatxat i esborrat. Podem deduir que Copèrnic coneixia bé els estudis d'aquest filòsof grec, però no cal restar mèrits a l'obra perquè no es va limitar a copiar una obra, sinó a fer les seves pròpies observacions i plasmar-les en un llibre. A més, Nicolau va fer avanços incomparables enfront les hipòtesis de Aristarc de Samos.

Per analitzar l'astronomia i la concepció que proposa, analitzarem amb detall les seves obres principals: *el Commenatoriolus* i *de revolutionibus*.

## 2.2. a) *El Commenatoriolus*

Podem datar *el Commenatoriolus* com una obra escrita al voltant de 1514. En un principi es creia que era un esbós previ a l'obra gran, *de revolutionibus*, però aviat van començar a arribar evidències: entre aquestes dues obres, la concepció de l'Univers és ben diferent. A més, poc abans de morir l'any 1543, diu que "aturada per

### DOCUMENT 2: EL COMMENTARIOLUS

#### COMMENTARIOLUS

"Observo que els nostres predecessors van recórrer a un elevat nombre d'esferes celestes, per poder explicar el moviment dels planetes seguint el principi d'uniformitat. En realitat sembla absurd que un cos celeste no es mogués de manera uniforme al voltant d'un cercle perfecte. Però no es van adonar que mitjançant diferents composicions i combinacions de moviments uniformes es pot aconseguir que un cos semblaria moure's cap a qualsevol lloc de l'espai. [...]

*Les teories planetàries de Ptolomeu i quasi tots els demés astrònoms, tot i que desaven un perfecte acord amb les dades numèriques semblen tenir una dificultat no menor. Aquestes teories només resultaven satisfactòries al preu d'haver de tenir que imaginar al mateix temps certs equants, a raó dels quals el planeta sembla moure's amb una velocitat sempre uniforme, però no amb respecte al seu deferent ni tampoc amb el propi centre. Per aquest motiu, una teoria amb aquestes característiques no és d'acord amb la raó."*

Primeres línies,  
Commentariolus

mi ha estat en silenci, no només nou anys, sinó ja quatre vegades nou.”

Copèrnic intenta introduir una astronomia heliocèntrica, tal i com va proposar en *el Commentariolus*, tot i que no resolía de cap manera els problemes de les teories de Ptolomeu. El seu intent per eliminar l'equant<sup>1</sup> mantenint òrbites circulars, li va obligar a utilitzar l'epicicle. En aquest llibre encara visualitza un Univers mitjançant esferes concèntriques.

Copèrnic va fer una petita introducció, en la qual, narra com des de fa molt de temps, s'ha utilitzat un mon d'esferes celestes per definir els moviments planetaris (tenint en compte que amb el temps es va afegir els cercles excèntrics i els epicicles). Aquestes prediccions eren correctes numèricament, però el preu que s'havia de pagar era dur per a Copèrnic: l'equant. Aquest recurs no era vàlid per a Copèrnic perquè trencava amb el principi acceptat del moviment circular uniforme, que fins i tot va considerar que “no era suficientment d'acord amb la raó”.

Però aquest no és l'únic problema que es planteja Copèrnic: tot i que no els va comentar al llibre, sabem que va tenir coneixement de la imprecisió de posicions i ordres planetaris.

Copèrnic va pensar en un sistema planetari basat en la simplicitat i la senzillesa, un model que podia ser sotmès a les regles de la filosofia. Aquesta sensibilitat la va adquirir als seus anys a Itàlia, on va conèixer els clàssics que va llegir en llengua original (lliure d'imprecisions, comentaris i/o actualitzacions). Podem resumir, que era un neoplatònic.

El llibre comença amb una sèrie d'axiomes o postulats i a continuació uns epígrafs on parla de l'ordre de les estrelles, els moviments aparents de Sol... És a dir, una exposició de motius. Les hipòtesis de treball en la que es basa el llibre són les següents:

1. No existeix un centre comú en totes les esferes celestes.
2. El centre de la Terra és el centre de gravetat i de l'esfera de la lluna, i no de tots els cossos celestes.
3. Totes les esferes giren al voltant del Sol com si aquest fos el centre, per tant, el centre de l'Univers es troba a prop del Sol.
4. La distància entre la Terra i el Sol és incomparable amb la que distància la Terra del firmament.
5. Allò que percebem com a moviment del firmament d'estrelles no són els seus moviments, sinó el moviment de la Terra. La Terra gira diàriament al voltant dels seus pols fixes.

---

<sup>4</sup> L'Equant o *punctum equans*, va ser introduït per Ptolomeu com un recurs per salvar el principi del moviment uniforme. La idea de l'equant és la següent: diu que existeix un punt en el espai des de el que un observador té la il·lusió de que el moviment del planeta era constant.

6. Allò que observem com a moviment del Sol no són els moviments d'aquest sinó els de la Terra i els de l'esfera amb la que girem al voltant del Sol.
7. El que veiem i interpretem com a moviment d'avançament i retrocés d'un planeta, no prové del seu moviment, sinó del de la Terra i aquest és suficient per explicar molts dels afers que succeeixen en el cel.

Quan planteja aquests enunciats, comenta que amb aquesta obra tractarà d'explicar la uniformitat dels moviments "sense demostracions matemàtiques, que reservo per a una obra més àmplia". Evidentment, Copèrnic ens dona un avançament de la seva propera obra: *de revolutionibus*.

A més, Copèrnic va culminar aquests set enunciats amb l'ordre dels planetes: Va establir que el més llunyà eren les estrelles fixes, seguides de Saturn, Júpiter i Mart. Tot seguit trobem l'esfera on ens movem nosaltres, Venus i finalment Mercuri.

Molt poca gent és va avenir de l'existència d'aquest llibre, exceptuant les fronteres de Polònia. Les seves idees sobre l'astronomia moderna no van ser debatudes ni criticades. Òbviament, l'església catòlica es va assabentar ràpidament de l'existència d'aquest llibre, però no es va sentir amenaçada; de fet, l'església havia mantingut una actitud tolerant i no tenia per costum ficar-se en temes d'astronomia. Finalment l'església de Roma va reaccionar i el 1616 van condemnar l'obra, però va succeir 70 anys després de la seva mort, quan l'obra ja era coneguda per tothom. Però tal i com escriu a la seva carta al Papa Pau III en el llibre *de revolutionibus*, del què realment té por és de la burla dels seus contemporanis i no de les repercussions que podia causar-li l'església.

Per tal de poder explicar el moviment aparent del Sol, la solució que troba és descriure i explicar els moviments reals de la Terra, que ens fa observar l'aparença dels moviments solars. Així que va dotar la Terra de tres moviments:

1. El primer és un moviment circular al voltant del Sol, amb una velocitat angular constant.
2. El segon és el moviment de rotació diari que fa el nostre planeta.

Aquests moviments ja havien estat objecte de debat per diferents astrònoms. Però el tercer moviment és obra original de Copèrnic:

3. L'últim moviment que va descriure sobre el nostre planeta, el va denominar, moviment de declinació i és necessari per a què l'eix de la Terra es mantingui paral·lel al llarg de la translació anual. Probablement, es creu que Copèrnic el va introduir perquè en aquest moment té en ment un sistema basat en esferes celestes, cristal·lines i invisibles que arrossegueu els planetes. Però també va poder treure una altra conclusió amb aquest moviment; si el període en fer un moviment de declinació complet, és igual al temps que triga la Terra en donar la volta al Sol, apunta al mateix lloc de les estrelles fixes, i ja tenim l'explicació dels equinoccis.

En aquest mateix llibre, Nicolau dedicà una epígraf a debatre sobre les estrelles fixes. Reafirma la idea que aquestes esfera és totalment immòbil, i proposa que siguin les estrelles fixes les referències absolutes dels moviments dels cossos celestes. Aquest punt de vista té l'explicació, que Copèrnic pensava en un calendari Sideral.<sup>2</sup>

Com ja s'ha comentat anteriorment, Copèrnic recupera la idea d'Aristarc de Samos (tot i que la principal semblança és l'aspecte formal d'un món hel·liocèntric), però ell no va caure en el què va destruir a Aristarc: no podia entendre l'absència de paral·laxi estel·lar<sup>3</sup>. Aquest problema el va resoldre augmentant les dimensions del nostre Univers (concretament en el quart postulat del *comenatariolus*).

---

<sup>5</sup> En el s. XVI, una de les finalitats de l'astronomia era construir un calendari que permetés calcular el temps amb exactitud. Copèrnic proposa el model del Calendari Sideral, basat en el temps que triga el Sol en passar dues vegades consecutives per la mateixa posició respecte les estrelles fixes.

<sup>6</sup> El paral·laxi estel·lar era un efecte visual, que els nostres antics no entenien: per què a la capa d'estrelles fixes, en llocs molt distants un de l'altre de la Terra, la estrella es trobava en la mateixa posició i no variava. La resposta està, en què les estrelles fixes no estan igual de lluny què el Sol, sinó infinitament lluny, i per tant, el concepte de paral·laxi estel·lar no és vàlid perquè la diferència de posició és enormement petita, tant que és inapreciable per el nostre ull i pels aparells més precisos.

### DOCUMENT 3: LA REFORMA DEL CALENDARI

L'any 1513 es va requerir a Copèrnic la seva opinió sobre la possible modificació del calendari.

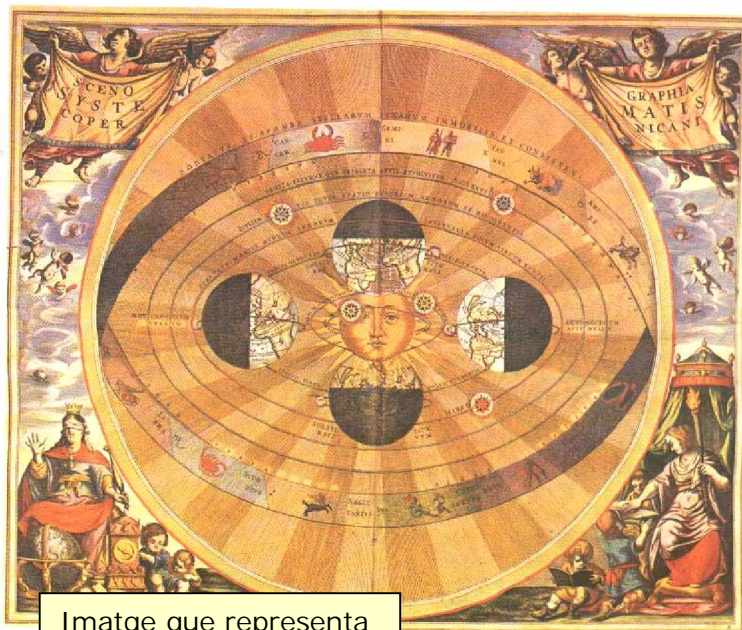
En aquella època, les inexactituds del calendari julià (creat el 43 aC per Júlio Cèsar) van requerir una modificació. Aquest calendari consistia, en establir un any bixest (amb duració de 366 dies), i després 3 anys comuns. Així que la duració d'un any seria de 365,25 dies. Però el fet que hi hagi una diferència entre l'any tròpic i l'any julià de 0,0078 dies, fa que cada 128,2051 anys hagi un endarreriment de 1 dia. Així, a l'època de Copèrnic l'endarreriment ja era de 12 dies.

Copèrnic ja havia tingut el problema de la duració de l'any que ell atribuïa a la diferència entre l'any sideral i l'any tròpic (que no és així degut a la precisió dels equinoccis).

Tot i que Copèrnic va realitzar entre 60 i 70 observacions, no li van semblar suficients per proposar la reforma del calendari però si per utilitzar-les al seu treball definitiu: al *de revolutionibus*, quan tracta dels equinoccis i del moviment aparent del Sol.

En els apartats que fa referència a la lluna i a la resta de planetes, Copèrnic duu a terme una reforma geocèntrica del moviment planetari: descriu el moviment sense utilitzar l'equant (el considerava ofensiu per a les ciències del cel), utilitzant un sistema biepíclíclic. És a dir, la lluna tindria quatre moviments: un moviment que fa solidàriament amb la Terra, dos moviments d'epíclicle i un deferent.

El tractat finalitza amb un recompte dels cercles que necessita per explicar tots els moviments planetaris: en total 34 (alguns astrònoms, sostenen que emprava 38). Això suposava un gran avançament tenint en compte que la complexa astronomia Ptolemàica en necessitava, al menys, 80 cercles.



Imatge que representa l'Univers Copernicà

Sembla una mica sorprenent que volgués fer una reforma total de l'astronomia amb el fi de poder destruir l'equant i poder garantir el respecte a Plató. Des d'un punt de vista filosòfic, podem observar l'abundant presència d'elements platònics en aquest astrònom polonès; tot i que en l'Edat Mitjana només es disposava d'una

traducció parcial de l'obra del Timeo de Plató, aquest corrent de pensament mai va desaparèixer al llarg d'aquest període. Així, Copèrnic va rebre la influència d'aquest pensament per la mediació de Domènec Maria de Novara i va entrar en cercles de platònics de l'Acadèmia creada en Florència.

Els trets més importants segons aquesta combinació de neoplatonisme i pitagorisme, que van tenir influència sobre Copèrnic, són els següents:

- L'estructura de l'ànima del món (segons la terminologia del Timeo), és de caràcter matemàtic.
- Les coses sensibles es mouen, canvien, i es modifiquen. Però aquests canvis no succeeixen de manera aleatòria ni sense cap motiu, sinó segons les propietats de l'ordre, la simetria, l'harmonia i la simplicitat.

Com a conclusió combinant aquests dos pensaments, ens queda que:

- Si l'ànima del món és de natura matemàtica i els moviments resultants són ordenats, són racionals.

La concreció astronòmica d'aquesta tesis general és "el principi d'uniformitat i cercleçitat dels moviments". Per això, posar en qüestió aquest principi d'uniformitat és atemptar contra la racionalitat dels cossos celestes i contra la viabilitat de l'astronomia com a ciència. Per aquest motiu es pot comprendre que a la introducció *del commentariolus* (DOCUMENT 2), rebutgi l'astronomia Ptolemàica en nom de la raó, i no de l'experiència.

Copèrnic ja va anunciar que la seva primera obra era bàsicament formal i tots els seus postulats serien demostrats matemàticament en una obra més àmplia: *de revolutionibus*.

## 2.2. b) *De revolutionibus orbium coelestium*

El primer exemplar de la major obra de Copèrnic va aparèixer a la primavera de 1543. L'edició incloïa l'advertència al lector redactada per Osiander, la carta que el cardenal Schönberg havia escrit a Copèrnic i una dedicatòria d'ell mateix al Papa Pau III. El llibre comença amb:

*"No dubto pas que alguns estudiosos, un cop ja ha estat divulgada la fama de la novetat de les hipòtesis que aquesta obra conté, com són que la Terra es mou i que el Sol, per la seva banda, es manté immòbil al mig de l'Univers, se sentiran enormement ofesos i pensaran que no cal, de cap manera, pertorbar les arts liberals que ja des de fa temps es troben perfectament establertes."*

A cop d'ull, podem observar que intenta posar-se en la pell dels demés que intenten llegir la obra. Cal recordar que Copèrnic era estudiant d'Arts liberals i amb les bases Ptolemàiques acceptades es podien predir una gran quantitat de càlculs. A més, la principal raó per la qual es va endinsar a fer una reforma astronòmica va ser l'equant.

Els sis llibres dels que constava l'obra es poden dividir en dues parts perfectament diferenciades. El llibre I, és fonamentalment, l'exposició cosmològica del sistema copernicà, i sense cap tipus d'operació matemàtica es justifiquen les proposicions fonamentals. Només els últims capítols del primer llibre estan dedicats a presentar les matemàtiques que usarà per les proves científiques que en la resta del llibre apareixen.

Dels llibres II al VI, constitueixen la part tècnica de l'obra, en ells repassa, seguint l'esquema clàssic de l'*Almagesto*, les qüestions de què s'ocupava l'astronomia: moviments del Sol i de la Lluna, la precessió dels equinoccis, el moviment dels planetes... donant solucions als mateixos des de la perspectiva anunciada al primer llibre.

Per tal de resoldre alguna irregularitat, usa observacions i dades heretades i conegudes de *l'Almagesto*, del Epítome de Regiomontano i d'altres obres clàssiques, a les que n'afegeix 27 observacions pròpies.

El contingut d'aquest cinc llibres és de lectura pràcticament impossible per als que no són especialistes en astronomia de posició i geometria esfèrica, i, com ell mateix reclama, la seva obra hauria de quedar reservada a l'estudi dels astrònoms i als matemàtics professionals.

Però el primer llibre no era matemàtic. Era transparent en els seus enunciats i raonaments. Inicia el llibre amb una introducció en la que alaba l'astronomia i la matemàtica, i reclama (seguint a Platò) el coneixement del Sol i la Lluna dels demés astres com necessari. Termina la introducció comentant que exposarà les coses de manera diferent als seus predecessors, tot i que "és recolzarà en ells". Els capítols del seu primer llibre són els següents:

#### CAPÍTOL I: "El món és esfèric"

- El motiu que ens mostra Copèrnic té un punt de vista platònic: és la forma més perfecta de totes.
- L'esfera és la figura de major capacitat per una superfície donada; la forma a la qual adquireixen els cossos que tendeixen a autolimitar-se (com l'aigua).
- És la forma de les estrelles, el Sol i la Lluna.

#### CAPÍTOL II: "La Terra també és esfèrica"

- La Terra és esfèrica i en conseqüència infinita. Però el sentit d'infinitat, es refereix a que no hi ha un lloc on s'acabi la Terra, però donem voltes si passarem dues vegades pel mateix lloc.
- No podem veure la forma esfèrica de la Terra, per l'altitud de les muntanyes i la fondària de les valls, que no modifiquen la rodonesa del conjunt de la Terra.
- Les inclinacions dels pols guarden sempre la mateixa proporció, cosa que només succeeix en la figura esfèrica.



#### CAPÍTOL III: "Com la Terra, juntament amb l'aigua, formen un sol globus"

- Primer de tot, Copèrnic discuteix les idees aristotèliques sobre la proporció de l'aigua i Terra existent en el nostre planeta i la coincidència sobre els centres de gravetat i magnitud. (va defensar la igualtat dels dos punts).

Copèrnic va donar un argument sobre les proporcions: Segons Aristòtil, el volum d'aigua és set vegades més gran que el de Terra. Aleshores el volum seria el següent:

Volum total ( $V_g$ ) = Volum d'aigua + Volum de la Terra

Volum total ( $V_g$ )  $7 + 1 = 8$

$V_g$ : volum del globus  
 $V_t$ : volum de la terra  
 $D_g$ : diàmetre del globus  
 $D_t$ : diàmetre de la terra

Tenint en compte que: 
$$\frac{V_g}{V_t} = \frac{d_g^3}{d_t^3} \longrightarrow \frac{8}{1} = \frac{d_g^3}{d_t^3}$$

Un cop aïllem el diàmetre de la Terra ens dona: 
$$d_t = \frac{1}{2} d_g$$

El que volia dir Copèrnic amb aquest resultat, és que el diàmetre de la Terra és igual a la meitat del radi del globus en conjunt (El planeta en conjunt). Com que la Terra ha d'ocupar el centre (és més pesant), la Terra no podria sobreixir per sobre la superfície de l'aigua.

- Acaba negant les formes que van donar a la Terra a la Grècia antiga alguns autors clàssics, desde Empèdocles i Anaxímedes fins a, Jenòfans i Anasimandre.

**CAPÍTOL IV:** *"El moviment dels cossos celestes és uniforme, perpetu, o compost de moviments circulars"*

Molts crítics de l'obra, troben aquest capítol caòtic i obscur, però en detriment d'aquesta opinió, una lectura atenta i profunda demostra que Copèrnic presenta una argumentació força coherent:

- El moviment dels cossos celestes és circular, perquè la mobilitat pròpia d'una esfera és girar en cercle.
- Es poden reconèixer irregularitats en el moviment dels astres però veiem també que les mateixes es produeixen periòdicament, és a dir, estan condicionades per algun fenomen.
- Al final afegeix que no troba una causa clara de les aparents irregularitats dels moviments planetaris, però cal assegurar aquest fet amb precisió.

**CAPÍTOL V:** *"¿Té la Terra un moviment circular? ¿Quin és el lloc de la Terra?"*

- Primer de tot argumenta que, vista la Terra com esfèrica i que el moviment circular és el més convenient a tal forma i va donar una frase: "Tot canvi de posició prové de: moviment de la cosa vista, moviment de l'espectador o moviment desigual de tots dos." Per a Copèrnic sembla més adient atribuir el moviment al contingut que al continent.
- La Terra no és el centre de les òrbites dels planetes. Prova d'això és que podem observar que els planetes varien la seva lluminositat.<sup>4</sup> Per aquest fet opta per desplaçar la Terra del centre de l'Univers.
- El que li falta per poder resoldre, és un problema que ve des de l'època d'Aristarc de Samos, el paral·laxi estel·lar (que va destrossar la seva teoria heliocèntrica).<sup>5</sup>

**CAPÍTOL VI:** *"De la immensitat del cel en comparació amb la magnitud de la Terra"*

- Diu que les seves investigacions l'han portat a afirmar que: "la Terra és amb

<sup>7</sup> Copèrnic creu que l'òrbita dels planetes és circular i si la Terra fos en el centre, veuríem tots els planetes amb la mateixa lluminositat. Però com sabem que l'òrbita realment és el·líptica, no és un argument vàlid, ja que en el centre seguiríem veient variacions de llum emesa pels planetes.

<sup>8</sup> Referència d'Aristarc de Samos a la pàgina 9.

respecte el cel, com un punt respecte a un cos, i com a allò finit respecte l'infinit". Amb aquestes paraules demostra com no pot expressar la grandària de l'Univers.

- Copèrnic, tot i que no ho va calcular, va deixar entreveure que es podia calcular (sabent la distància a la que es troba la Terra i el Sol) la distància mínima entre la Terra i les estrelles fixes.

**CAPÍTOL VII:** "*Per què els antics pensaren que la Terra s'estava quieta al mig del món com el seu centre*"

Copèrnic descriu les principals raons per les quals s'ha sostingut, al llarg del temps, que la Terra es troba en repòs immòbil en el centre de l'Univers; alguns dels arguments Aristotèlics i el Ptolemàics:

- Aristòtil, al *de caelo*, diu que totes les coses pesades van al centre de l'Univers, i les lleugeres i el foc es desplacen en sentit contrari. El centre de l'Univers coincideix amb la Terra.
- Aristòtil també es va basar en el moviment natural: Terra i aigua són rectilinis cap al centre; foc, rectilini des del centre i els cossos celestes circular al voltant d'un centre.
- Altre argument exposat, és un utilitzat al *Al-magesto* de Ptolomeu. Aquest parla de la desintegració de la Terra si aquesta rebés els efectes d'una força centrífuga deguda a la velocitat de rotació de la Terra.

Copèrnic creu que per poder admetre la seva proposta, primer s'han de revisar els arguments que s'han acceptat des de l'antiguitat. L'exemple que exposa és l'absència de paral·laxi estel·lar.

**CAPÍTOL VIII:** "*Anàlisi de les raons esmentades i llur insuficiència*"

En aquest capítol, Copèrnic analitza detingudament els arguments que ha exposat en el capítol VII.

- Accepta la distinció aristotèlica entre moviments naturals i forçats, però l'aplica de manera diferent. Comença dient que si la Terra es mou, aquest moviment serà natural per a ella i no podrà ser causa de cap violència. Identifica el moviment natural com un moviment simple, per tant el moviment natural l'atribueix als cossos simples. Defineix aquest tipus de cossos per la seva figura geomètrica, dient que només hi ha una classe de cos simple: l'esfera.
- També parla de l'argument pseudoptolemàic que diu que "la velocitat farà créixer la grandesa i la grandesa la velocitat fins a l'infinit". Copèrnic afegeix que com l'infinit no es pot travessar, el cel està immòbil. A més, diu que com que fora del cel no hi ha cap cosa, no existeix cap lloc on pugui expandir-se el cel.
- La revisió que va fer Copèrnic sobre la física i cosmologia aristotèlica exigia una concepció diferent de la gravetat, que per a Aristòtil era la inclinació natural dels cossos greus d'anar cap el centre de l'Univers (coincidia amb la Terra). Per a Copèrnic la gravetat és "inclinació natural que la divina providència va donar a totes les parts, perquè

aconseguissin la seva unitat i integritat reunint-se en la forma d'un glovus".

#### CAPÍTOL IX: "Si es poden atribuir molts moviments a la Terra i al centre del món"

- Aquest és un curt capítol, en el qual Copèrnic raona que el moviment irregular dels planetes (que provoca les retrogradacions) evidencia que no totes les revolucions tenen per centre la Terra.
- Fa una digressió sobre què és la gravetat, qualificant-la com una certa apetència natural, assignada pel creador, per a què les parts del món s'agrupin. No podem considerar Copèrnic va començar a entreveure la noció newtoniana de gravitació<sup>6</sup>, però va haver un gran avenç entre Aristòtil i Copèrnic (considerant la gravetat com a qualitat d'anar al centre).
- Finalment, sosté que podem admetre que el mateix succeeixi amb el Sol, la Lluna i els demés astres.

#### CAPÍTOL X: "De l'ordre dels orbes celestes"

El capítol està dedicat a la discussió sobre l'ordre dels orbes celestes.

- Comença fent un recorregut per les hipòtesis més antigues, detenint-se en Ptolomeu. El criteri d'aquest es basava en que el temps emprat pels orbes a les seves revolucions, a partir de la proposició que a igual velocitat els més distants semblen moure's més lentament. Però aquest criteri va plantejar problemes en el cas de Mercuri i Venus, que com no s'allunyaven del Sol més d'una certa quantitat, la seva posició no es podia basar en el mateix criteri.
- Rebutja la idea de qualificar, Mercuri i Venus (mostraven poc allunyament de Sol) com a planetes interiors, i Saturn, Júpiter i Mart com a exteriors. Cal recordar que aquesta classificació estava feta per Ptolomeu, qui va posar la Terra al centre. A més, Ptolomeu es veu obligat a alinear la Terra i el Sol per poder contrastar els càlculs amb dades observades.
- Aquestes dues argumentacions van portar a Copèrnic a pensar que el centre de les revolucions planetàries depèn molt més del Sol que no pas de la Terra.
- A continuació, Copèrnic enumera la seva ordenació dels orbes celestes: l'esfera d'estrelles fixes, Saturn, Júpiter, Mart, la Terra (amb la Lluna al seu voltant), Venus
- Copèrnic exposa les raons no astronòmiques per avalar la posició central del Sol. Per aquest fet, els historiadors i biògrafs l'han considerat com un neoplatònic i pitagòric d'arrels renaixentistes Italianes, i han immortalitzat aquest text com a prova d'això:

*"Enmig de tots ells, s'hi asseu el Sol. Car qui, dins d'aquest temple formosíssim, posaria una tal lluminària en un lloc diferent o millor, que en aquell des d'on pugui il·luminar-ho tot al mateix temps? Perquè sense raó alguns l'anomenen lluminària, altres la ment del món, altres, en fi, el seu rector (Plini va anomenar el Sol com a ment i rector del món). Trismegist (l'anomena) Déu fet visible i l'Electra de Sòfocles, qui tot ho veu. Així, certament, com assegut en tro reial, el Sol governa tota la família d'astres que gira al seu entorn.*

---

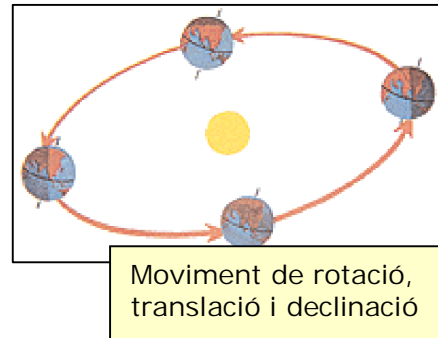
<sup>9</sup> La gravitació newtoniana considera la força de gravetat proporcional a les dues masses i inversament proporcional al quadrat de la distància que les separa.

La Terra tampoc no es veu mai desemparada de la seva serventa, la Lluna, ans, com Aristòtil diu en Sobre els animals, La Terra i la Lluna mantenen entre si la més estreta familiaritat. Al seu temps la Terra concep per obra del Sol i queda en cinta del seu part anyal ”

- Acaba dient que el què ha exposat constitueix una admirable ordenació en la simetria i harmonia entre el període i el radi de les orbes. Com a conclusió, diu que “Tots aquests fenòmens procedeixen de la mateixa causa: el moviment de la Terra.”

#### CAPÍTOL XI : “Demostració del triple moviment de la Terra”

- Tracta el triple moviment de la Terra: el de rotació, al voltant del seu eix, el de translació, al voltant del Sol i el del mateix eix de la Terra. Copèrnic introdueix aquest tercer moviment perquè pensa que la Terra i els planetes són moguts pels seus orbes i no pas que es mouen lliurement.
- L’observació mostra que l’eix es dirigeix sempre cap a la mateixa regió del cel (l’estel polar). Per a salvar aquesta divergència, Copèrnic imagina que l’eix de la Terra descriu un con de revolució en sentit oposat i en el sentit de la revolució anual, de tal manera que quan recorre pel seu orbe anual un cert angle, el seu eix recorre un angle lleugerament més petit.

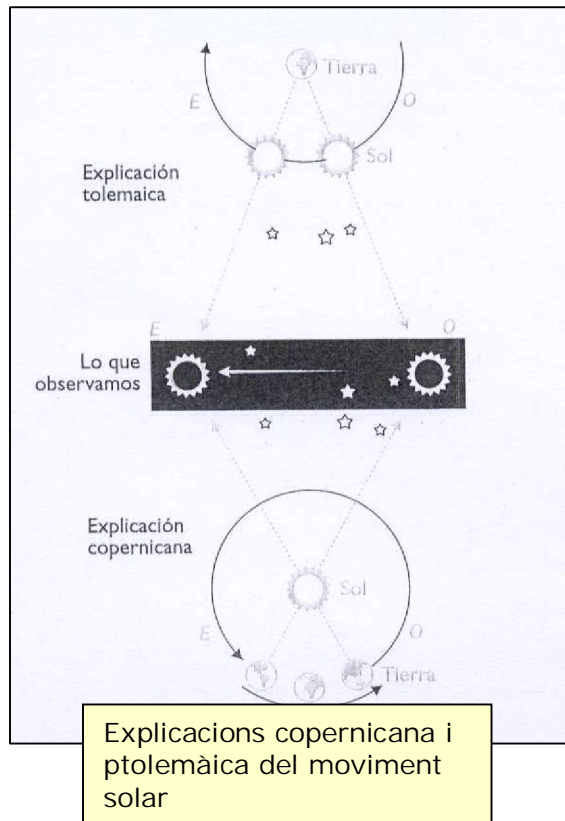


Els capítols XII, XIII i XIV, són estrictament matemàtics i constitueixen la base tècnica de l’obra. Com ja s’ha comentat anteriorment, té una notable dificultat i complexitat, ja que introdueix millores pel càlcul i la elaboració de taules. La major part del tractat està dedicat a l’astronomia matemàtica “dura”. Copèrnic va demostrar com es podien calcular latituds i longituds en la Lluna i els planetes, i va abordar tota una sèrie de fenòmens planetaris i lunars. Va elaborar conjunts de cercles per descriure els moviments dels planetes exteriors (Mart, Júpiter i Saturn), així com un planeta interior requeria uns esquemes especials i propis. La Lluna era un cas a part, amb característiques pròpies.

En treure’s de sobre l’equant Ptolemàic, Copèrnic es va veure obligat a introduir un confús sistema de cercles sobre cercles: un epicicle amb centre en un deferent, i un epiciclet amb centre en un epicicle. En adaptar el model de Ptolomeu a una disposició heliocèntrica, va situar el centre de les esferes planetàries en un punt buit de l’espai, en lloc de centrar el nostre planeta, per exemple, en Sol. Per tant, no s’hauria de parlar del model Copernicà com un sistema heliocèntric, sinó més bé helioestàtic.

Finalment, Copèrnic va haver de demostrar que el seu model de sistema heliocèntric era contrastable amb les dades d'observacions que obtenim quan enfilem els ulls cap el cel. Les principals versemblances que va haver de demostrar són les següents:

- El moviment del Sol al llarg de l'eclíptica: Aquest no va ser un problema gens fàcil de resoldre per a Copèrnic. La noció tan senzilla que tenim del moviment solar, no era tan fàcil d'explicar en aquell temps.
- Altre fenomen que va haver de demostrar Copèrnic, són les retrogradacions dels planetes inferiors i superiors, que amb la seva teoria també eren possibles.



La retrogradació és un fenomen pel qual aparentment els planetes retrocedeixen en la seva òrbita.

Podem observar un moviment de la seva òrbita directa cap a l'est i el seu retrocés cada cert temps cap a l'oest acompanyat d'una sensible variació de velocitat.

Abans de Copèrnic, el model dels epicicles de Ptolomeu, permetia observar les retrogradacions dels planetes (a causa de la combinació epicicle-deferent). Però amb Copèrnic desapareix la necessitat d'introduir aquests epicicles. Només fa falta l'esfera de l'òrbita de la Terra, sumada a les altres cinc planetàries, per donar raó al moviment convertit en una "il·lusió òptica" (el fet que veiem una retrogradació i no un camí lineal es deu a que els plans orbitals dels planetes estan lleugerament inclinats de tal manera que no coincideixen entre ells. Les variacions de l'eclíptica poden arribar a ser d'uns  $17^{\circ} 10'$  en el cas de Plutó).

L'explicació de les retrogradacions dels planetes exteriors (Mart, Júpiter...), es que la Terra que té una òrbita de menor radi, avança a Mart (per exemple) en el seu viatge al voltant del Sol. Al produir-se aquest avançament, sembla com si Mart s'aturés, torni cap enrere i posteriorment, recuperi el seu moviment.

### 2.3 Impacte de Copèrnic en l'astronomia

La seva última obra, *De revolutionibus*, es va escriure amb una intenció astronòmica i no filosòfica. Es va proposar elaborar una construcció matemàtica de l'Univers, tal i com havia fet anys enrere Ptolomeu. Com a prova d'això trobem dues frases que apareixen al llibre: "*la matemàtica, pels matemàtics*", i altre que estava escrita en grec sobre la portada del llibre, "*Ningú que no sàpiga geometria no pot entrar aquí*".

Els seus contemporanis no es van preocupar si els arguments a favor d'una Terra mòbil i un Sol estacionari eren més o menys convinents que els de Ptolomeu. Sinó que havien de decidir si la teoria matemàtica dels moviments dels planetes, de la Terra i de la Lluna resultava superior o inferior a l'Almagesto de Ptolomeu. Es van plantejar dos interrogants fonamentals:

1. Si els mètodes de càlcul Copèrnics produïen resultats més precisos amb l'observació que els de Ptolomeu.
2. Si els càlculs de Copèrnic eren més fàcils de realitzar que els de Ptolomeu (no va ser objecte de discussió a finals del s XVI).

Cal assenyalar que a finals del s XVI, quasi ningú calculava les òrbites mitjançant el sistema Copèrnica. Més aviat utilitzaven les taules de *De revolutionibus* o les de *Pruténiques* de Reinhold. Aquestes taules no utilitzaven posicions mitjanes sinó extremes; a fi d'eliminar les ambigüitats respecte de si determinada correcció havia de ser sumada o restada. Aquest havia estat un problema greu en les taules més antigues basades en posicions mitjanes. Per això, les taules del *de revolutionibus*, van exercir una notable influència sobre el càlcul astronòmic.

Tot i que el sistema de Copèrnic no conduïa a resultats més precisos, molts sostenien que era "més senzill i elegant que l'esquema de Ptolomeu" i que l'esquema Copèrnica, "va facilitar els càlculs astronòmics perquè usava un nombre menor de cercles". Al atribuir un triple moviment a la Terra, va necessitar menys de la meitat el número de cercles que va necessitar Ptolomeu; Copèrnic usava 34 cercles, a diferència de Ptolomeu i els seus deixebles que van usar 80 cercles.

L'estreta afinitat entre *De revolutionibus* i el *Almagesto* de Ptolomeu, i la circumstància de que no constitueix un punt de partida radicalment nou revela el fet de que entre les dues obres hi ha un paral·lelisme. Molts historiadors creuen que no hi va haver una real revolució copèrnica, sinó que va ser un preludi d'una possible revolució Kepleriana i Newtoniana. Tot i això, el conjunt de conceptes astronòmics i l'Univers creat per Copèrnic són els elements als qual s'atribueixen la revolució copèrnica, i no només a les taules elaborades per ell.