

F. GRAELL I DENIEL

**OBSERVANT EL CEL
AMB L'ESFERA ARMIL·LAR**

APUNTS PER A UNA FILOSOFIA DE LA CIÈNCIA

QUADERNS DE FILOSOFIA

43

F. GRAELL I DENIEL

**OBSERVANT EL CEL
AMB L'ESFERA ARMIL·LAR**

APUNTS PER A UNA FILOSOFIA DE LA CIÈNCIA

43

QUADERNS DE FILOSOFIA

Barcelona 2016

1ª edició: gener de 2016
© F.Graell i Deniel
ISBN: 978-84-943607-2-5

www.xtec.cat/~fgraell
E-mail : fgraell@xtec.cat

La web permet de baixar la còpia d'un qualsevol quadern editat.
Podeu fer ús de l'adreça per a qualsevol correspondència amb *Quaderns de Filosofia*.

CONTINGUT

Introducció, 7.

I. MIRANT EL CEL UNA VEGADA MÉS, 9.

1. ¿Es percep el moviment de l'astre?, 9.
2. La volta del cel, 10.
3. L'esfera celeste i la Terra, 11.
4. El sistema de coordenades horitzontals, 13.
5. La imbricació en el coneixement astronòmic, 14.
6. El vessant qualitatiu del coneixement, 16.
7. El vessant quantitatiu del coneixement, 17.
8. Una heurística de la ciència, 18.

II. ELS ANELLS DE L'ESFERA ARMIL·LAR, 20.

III. LA CERCA DEL MERIDIÀ LOCAL, 23.

1. El plantejament del problema, 23.
2. El planteig de la solució, 26.
3. La construcció analemma, 27.

IV. LA TROBALLA DE LA LATITUD GEOGRÀFICA DEL LLOC, 29.

V. LA COL·LOCACIÓ CORRECTA DE L'ECLÍPTICA INSTRUMENTAL, 33.

1. L'anell del colur solsticial, 33.
2. El moviment del Sol per l'eclíptica, 34.
3. L'anell de l'eclíptica instrumental, 35.
4. Com es troba la posició correcta de l'anell de l'eclíptica, 36.

VI. UN MODEL QUE INCLOU QUANTIFICACIÓ, 38.

1. La determinació de la llargada de l'any per un càlcul entre equinoccis (o solsticis) i amb quin instrument fixar-los, 39.
2. De les coordenades eclíptiques a les equatorials, 41.
3. De les coordenades horitzontals a les equatorials, 43.

INTRODUCCIÓ

*Ja s'aixeca el Sol, jaquint l'estany delectable,
cap a la volta d'aram, per il·luminar els qui no moren
i els humans moridors damunt la gleva espeltera
(Od. 2,435-437).*

El cel, una volta d'aram (cf. també *Il.5,504; 17,425; Od.3,2; 15,329*), rep aquí sempre adjectius metàl·lics. Ni Homer ni Hesíode no diuen res sobre què passa amb els cossos celestes per la nit; tots apareixen per l'est sobre Oceà, i es ponen per l'oest: no volten per sota la Terra (el Tàrtar no és mai il·luminat pel Sol); tenen algun coneixement sobre les estrelles (surten les Plèiades, les Híades, Orió, Arcturus, i les seves funcions en navegació i agricultura); no diuen explícitament que la Terra sigui plana, però sembla que es pressuposa quan Posidó veu Ulisses a Esquèria, la terra dels Feacis, des de les muntanyes de Sòlim a Pisídia (*Od. 5,284-287*), o Hèlios albira el seu bestiar a l'illa de Tinàcria quan ix o es pon, etc.

L'espectacle admirable del cel d'una nit clara s'ha acompanyat sovint de l'esforç de dir-ne alguna cosa que situï els estels. Més enllà d'aquells genis, l'afany antic d'organitzar-ne algunes constel·lacions deu mostrar si més no una manera de tenir present en les nits escaients aquells estels que semblen característics, més brillants o col·locats d'una manera específica, independentment ara de fer-ho amb una intenció determinada (agrícola, marinera, etc.).

En efecte no costaria de portar a col·lació moltes meravelles de l'antigor babilònica i egípcia, entre d'altres civilitzacions, per a constatar una vegada més la rellevància dels astres i dels cels per a aquells homes, i per a trobar-hi força mesuraments per mitjà d'un escorcoll nit rere nit de la volta del cel encaçant la celstia. L'admiració de l'estudiós és potser comparable a la impressió colpidora de l'univers d'estels que rep l'adolescent distret pel tràfec diari en ciutats i vivint d'esquena a un tal espectacle, quan per atzar s'adona d'una tal magnificència.

Sens dubte ha passat molt des de temps des que un hom observava el cel a simple vista; o des d'aquells en què hi havia un munt de tradicions diverses que feien gaudir d'una manera d'entendre el que es veia dalt. En efecte, ¿pot l'individu d'avui, amarat d'una informació extraordinària, trobar-se capaç d'una certa inhibició que permeti de retrobar el que hi pensa, en l'observació del cel? Car assumint que hi ha

prou coherència en tot el que se'n sap ara, de l'univers, que no cal sempre discernir més en allò que s'estima ser-ne el seu estil de coneixement, i mentre un hom lluita dia a dia per a engrossir-ne les característiques i estendre'n l'abast, sembla que de vegades un mateix vol saber com s'hi ha arribat i com ha estat possible, més enllà d'afirmacions amb necessitat de nous esclariments i noves preguntes.

Al cap i a la fi la impossibilitat de recular en el temps no comporta certament cap proclama a no treballar en els repàs del que ja s'ha aconseguit, ni suggereix que calgui rebre amb mandra la dèria de deixar de banda moltes dades rebudes, de prou esquemes repetits, de força problemes resolts com calia, de la presentació dels nous reptes, i de la recopilació en escrits de tota mena de l'estat de la qüestió i del seu progrés. No es pot tornar al passat i es repensant el present que un hom s'equipa millor per a fer-se càrrec del que s'estudia avui – i sembla una manera escaient per a fer-se'n també càrrec, de les aportacions d'antany.

El present quadern és una aportació a la filosofia de la ciència. D'una banda exposa de la manera més senzilla possible aspectes d'astronomia bàsica amb la pretensió de fer-los comprensibles i – el més important – suggeridors, amb el convenciment que no n'hi ha avaluació sense haver-se deixat captivar per la seva excel·lència.

D'altra banda l'esbalaïment que desvetlla és ja un començament de quelcom. Les poques notes de filosofia que s'hi incorpora pretenen d'apuntar que hi ha una tasca ingent davant, que tot s'hi troba per a ser contemplat altrament, que cal retornar a una certa mirada que no hi és present tal qual en tot allò que ja és un adquirit.

I

MIRANT EL CEL UNA VEGADA MÉS

Sempre es deu estar disposat a recomençar des d'allò que sembla més fàcil d'admetre, i alhora una tafaneria bàsica cerca d'entreveure què es podria admetre en d'altres concepcions del cel i de la Terra, mentre tot això permetria d'apuntar alguna cosa a propòsit del mateix coneixement astronòmic.

1. ¿Es percep el moviment de l'astre?

Pel cap baix no sembla que calgui cap concepció esfèrica dels cels per a adonar-se que hi ha un canvi de la posició dels astres de nit talment com si gressin per un eix imaginari que passa prop de l'estrella Polar, o per a admetre el moviment diari del Sol i de la Lluna. Si els grecs foren els primers a pensar-hi en termes no mítics, i els babilonis i els egipcis ja gaudien de les dades de nombroses observacions, es fa palès que, a més de disposar d'alguna explicació d'això (el déu Ra recurrent amb la barca l'horitzó, etc.), el coneixement dels canvis en els astres no implicava una manera específica d'explicar els esdeveniments.

Sigui com sigui se suposa que, àdhuc admetent-ho, no hi ha aquí simplement fets en l'accepció que és un fet el color de la paret que hi ha davant, o el dolor que es pateix, la presència d'algú, etc., és a dir, allò que hi ha de presència efectiva, per més elaborada que ja sigui en un adult, de quelcom. Car quotidianament no es veu així la totalitat del moviment dels astres sense que això sigui un obstacle a l'hora d'admetre que el Sol corre pel cel, que hi hagi aurora, alba, matí, migdia, etc.

Certament l'alba, la posta, i sempre que es fixa una pauta rígida, semblen esdeveniments escaients per a percebre el moviment d'un qualsevol astre; tanmateix, àdhuc així, no deu ser possible d'admetre un moviment constant al llarg del dia o de la nit sense pensar-ho. L'únic que hi ha és que s'hi troben motius, en un tal pensament. I fóra per allò que hi ha de consciència a través d'una pauta que s'admetria que són fets, la qual cosa comporta que s'avaluïn com a fets carregats de pensament.

La circumstància que en una qualsevol part de trajecte d'un astre podria fer-se'n una prova *ad hoc* (deixant ara si es percep veritablement que es mou, o sols s'ha de suposar) no invalidaria la necessitat d'implicar el pensament en l'observació, i en conjunt que hi ha un tot intencional en l'observació perceptiva. Un hom percep el moviment del Sol en l'alba, sap que camina per damunt al llarg de la jornada.

Ocorre que sempre deu ser així en tot – i que deu haver estat així en el passat. Es tracta que l'home percep intencionalment; si el pensament suposa una ocupació específica que nodreix la intenció amb la qual es mira, s'escolta, es toca, etc., la percepció intencional motiva i provoca pensaments de tot tipus, i arreu hi ha tasca d'una ocupació.

2. La volta del cel.

L'home no sembla ocupar-se de quelcom sense ser-hi en tots sentits, és a dir, sense l'esforç de comprendre el que percep, i no sembla abandonar les coses i els esdeveniments quan pensa, l'una i l'altra cosa podent aplicar-se a les múltiples maneres de copsar els afers de les moltes cultures humanes del passat fins arribar a les d'avui dia.

Admeti's que un mateix es qüestioni ara i aquí què necessita per a assumir alguns assumptes i per a comprendre'ls. Percep el cel de dia i de nit, per exemple, i sembla que no li fa res d'assumir que hi hagi alguna mena de volta, que al cap i a la fi ja suposa que hi ha ocupació carregada intencionalment, i d'acord amb un tal tarannà conductual arriba a defensar que el casquet celeste gira al voltant d'un punt prop de l'estel Polar. És clar que tot això demana molta paciència i llargues observacions, i de cap de les maneres no és quelcom que no comprometi el cos propi: s'alça el cap, es fixa la mirada, es procura de trobar indrets del paisatge que ajudin a situar això o allò, es repassa l'ordre dels estels, etc. Hi ha una tasca teoricopràctica, que és de tot l'home.

Amb una comprensió del cel d'aquest caire, déu ni do la quantitat d'observacions que es podria anar anotant: el pas del Sol pel zodíac amb la durada major i menor del dia, la seva altura màxima en el solstici d'estiu i mínima en el d'hivern; les dades relacionades amb els rellotges de Sol, l'admissió que els estels circumpolars treballen com un rellotge de nit, la situació dels estels en les diferents estacions, les fases de la Lluna, quelcom dels eclipsis de Lluna i de Sol, les posicions cícliques dels planetes, d'algun fenomen singular, etc. La presumpció d'una volta celeste comportaria certament un gran nombre de possibilitats mentre un hom s'hi ocuparia intencionalment i pensant-hi.

Fóra possible també a partir d'això la confecció d'algun calendari i la troballa d'alguna mesura del temps diari per més aproximada que fos. Un hom ordenaria observacions de tot tipus, etc.

Caldria percebre el cel com una volta, i n'hi hauria prou, amb això. Àdhuc s'admet que es completi amb la circumstància de traçar imaginàriament cercles màxims que passessin per la vertical. Tot gaudint de la constitució de sempre (percepció intencional i pensament), un

quadrant (o un aparell que en fes les funcions) bastaria per a establir l'altura, amb les consegüents digressions a propòsit de la divisió del quadrant de la circumferència per a fins mètrics, de la igualtat de l'angle que mira l'astre i el de la plomada, de tota la intenció que suposa la construcció, etc. La resultant serviria a una qualsevol de les observacions a propòsit de la situació d'un astre en un temps més o menys circumscrit en l'any (anys).

Hi hauria alguna dificultat a l'hora de fixar els punts cardinals, més enllà del fet obvi de dirimir-ne els costats, quan es volgués una certa precisió local: una percepció de la Terra com un pla cobert amb un casquet no ho posaria pas fàcil. Es podria aventurar que el nord i el sud es trobarien en cantons oposats del semicercle màxim que passés pel centre del casquet circumpolar (el pol nord celeste en les latituds boreals) i pel zenit, fent que una línia perpendicular a una del nord-sud orientés en l'est-oest – en el cas que tot això fos possible de dur-ho a terme.

3. L'esfera celeste i la Terra.

La interacció entre una percepció que s'ocupa intencionalment del que veu, i el pensament com a ocupació que no està orientada al percebut, fa que la volta del cel pugui ser percebuda així i pensada.

I allò que és pensat permet que un hom imagini també o no. És a dir, que hi hagi representació. La reelaboració geomètrica no en seria sinó una presentació simplificada.

És important de repetir que una qualsevol manera d'entendre això o allò es constitueix pel vessant perceptiu i intencional i pel del pensament (sempre intencional, hi hagi representació o no). Es tracta de la manera de ser-hi l'home.

Es treballa així a l'hora de defensar una esfera celeste i una Terra esfèrica, se sigui geocentrista o heliocentrista.

Es pensa l'eix celeste com a perllongament de l'eix terrestre: al voltant del primer gira el moviment diari (geocentrisme), al voltant del segon gira la Terra (si més no en l'heliocentrisme); i els pols celestes seran les interseccions de l'eix celeste amb l'esfera celeste. Llavors la intersecció del pla de l'equador terrestre amb l'esfera celeste circumscriu l'*equador celeste*, perpendicular a l'eix celeste, i els dos *hemisferis* (el nord o boreal i el sud o austral).

Ocorre que l'admissió d'aquests exemples, i de tot plegat, deu representar més congruència (hi ha motius per a assumir l'esfèricitat de

la Terra perquè s'acorden precisament amb aquest supòsit, etc.), es mou en els mateixos paràmetres de dalt.

En conjunt es percep (intencionalment) segons els pensaments, *cosa que s'esdevé en una qualsevol manera de pensar i de comprendre* (relats mítics, animistes, etc.).

Es parla de meridians, de paral·lels, es defineix els *meridians celestes* com els cercles màxims que tenen l'eix celeste com a diàmetre, s'és capaç d'esbrinar el meridià local (cercle màxim que passa pel pol i el zenit), es fixa la latitud d'on es viu, etc. I s'estableix el *cercle horari* d'un astre com el meridià celeste que passa per aquest astre, per a la qual cosa no deu caler la concepció esfèrica del cel (es podria pressuposar el domini de la posició dels astres del cel en el meridià local i llur seguiment en el temps), però on sens dubte s'hi mou molt millor.

Per contrast amb un altre model cultural es pot parlar d'una manera diferent de copsar els esdeveniments. Tanmateix implica que es percep diferent i es pensa diferent. El model no és pas aquí quelcom que no estigui implicat en la percepció del que ocorre.

L'escurçament del dia i l'allargament de la nit (i a l'inrevés), l'altura màxima variable del Sol, amb el fet que el Sol surt amb una constel·lació del zodíac fins a completar-les totes cada any, i el fet obvi que va havent-hi dia i nit, etc., tot això es percep i es pensa des d'una concepció esfèrica a través dels punts equinoccials i solsticials de l'eclíptica. Aquesta perimetria de comprendre que hi hagi una altura màxima i mínima del Sol (de fet se la pot mesurar), i que sigui possible posar-ho d'acord, des del pensament, amb una eclíptica esbiaixada respecte del pla de l'equador, etc.¹

Hi ha una tensió entre el que es percep (intencionalment) i el que es pensa. Si no es percep al marge del que es pensa, no hi ha tampoc una mera ideació immotivada. El que es pugui dir a propòsit del pensament d'una manera més immediata, o molt mediatament, es troba compromès amb el que es percep.

¹ Eclíptica representa la trajectòria anual aparent del Sol, la Terra estàtica, que es troba en un pla inclinat respecte de l'equador celeste en un angle de 23°27'. I la intersecció dels dos cercles màxims celestes assenyalen els punts equinoccials, el punt Àries o Vernal (Υ) i el punt Balança (Ω).

4. El sistema de coordenades horitzontals.

Les coordenades horitzontals astronòmiques són l'altura (h)² i l'azimut (a)³. Els mesuraments de la primera necessitaven si més no una concepció semiesfèrica del cel, els de la segona semblen no pressuposar tampoc la comprensió esfèrica del cel mentre es pogués situar el nord i que, amb l'ajut del zenit, es pogués resoldre el mesurament. Tot plegat un exercici que interpreta afers que s'esdevenen, per tant arreu hi ha una successió d'observacions ja intencionals, i una reelaboració (s'hi pensa) de tot això. En les coordenades horitzontals l'estudiós *in situ* no perd l'espectacle perceptiu, per més elaboració que suposi.

Precisament cal insistir que aquestes coordenades, que no pressuposen una concepció esfèrica del cel, s'obtenen a través de la manipulació d'aparells. És a dir, hi ha una interpretació dels angles i dels nombres associats a les divisions corresponents d'acord amb el propòsit segons els quals els instruments es van construir. Des d'antic, i àdhuc dins del geocentrisme, se'n troben de diferents (deixant l'astrolabi, pensi's en la dioptra, en el quadrant, etc.), com els posteriors (sextants, etc.) ja contemporanis dels primers telescopis. Tanmateix tant l'altura com l'azimut lliuren amb precisió quelcom que ocorre dins de la panoràmica de l'observador. Les altres coordenades demanaran una concepció esfèrica del cel i més elaboració intel·lectual.

Car el lector de l'*Almagest*, per exemple, (i possiblement això fóra vàlid per a obres anteriors) s'adona que un hom no se circumscriu a una presentació astronòmica local, sinó que s'hi pressuposa una comprensió

² L'altura és l'angle entre l'horitzó i la posició de l'astre mesurat sobre el cercle vertical que passa per l'astre, és a dir, sobre el pla que passa pel zenit, pel nadir i per l'astre.

³ L'azimut astronòmic d'un astre és l'arc d'horitzó comprès entre el punt cardinal del mateix nom que el pol elevat i el punt on l'horitzó creua el cercle vertical de l'astre. En efecte l'exemple ofert més avall es considera aquest punt en direcció a l'est (per tant de nord cap a l'est, en l'hemisferi nord).

D'altres autors fan que oscil·li de 0° a 180° cap a l'est o cap a l'oest (azimut oriental o occidental).

D'altres el mesuren des del sud cap a l'oest fins al punt més pròxim a l'astre, i el fan variar de 0° a 360°. Etc.

Tanmateix no hi ha aquí cap embolic perquè basta de saber què es fa (o què han fet els altres).

A més a més l'azimut no té pràcticament rellevància en l'astronomia antiga o medieval. Tant l'azimut com l'altura de l'astre, especialment la del Sol, s'obtenien directament per observació.

deslocalitzada, de manera que les observacions (interpretades) s'assumeixin des de la concepció esfèrica del cel (i de la Terra), per tant des de quelcom que sols pot ser pensat i representat, que es troba motivat per una escorcolladora observació perceptiva (elaborada), però que no pot perceptivar-se així. És un cert triomf intel·lectual: els astres es col·loquen ara segons el conjunt modèlic que s'ha elaborat. No hi ha només un referent perceptiu immediat: es representa allò que es vulgui però ara cal un esforç al marge de l'observació. Ha calgut geometria i càlcul, construcció d'aparells d'acord amb el model, observacions d'acord amb tot això.

No deu fer-se estrany que l'amant de l'astronomia recapituli en algun moment el que ha après, i que tensi la mirada cap al cel de dia i de nit en l'afany d'escorcollar allò que el mou a la resta.

5. La imbricació en el coneixement astronòmic.

Les altres coordenades astronòmiques són coordenades que es pensen com si l'esfera celeste, una hipòtesi grega o un mitjà heurístic, perdés gairebé la seva problemàtica. En efecte la seva assumpció amb motius esdevé amb el temps una manera habitual de pensament.

Tanmateix, quin és el significat de pensar els moviments dels astres d'acord amb quelcom – d'índole geomètrica – que no es lliura immediatament? Què s'hi descobreix a banda de la certesa pragmàtica de ser útil per a preveure d'altres observacions, àdhuc per a classificar-les? ¿S'assumeix això o hi ha alguna cosa que se sobreentén?

Prengui's un exemple simple: la circumstància del gir diari del Sol en el geocentrisme, o de la rotació diària de la Terra en l'heliocentrisme. Certament fixa les posicions del Sol i les preveu; gaudeix d'una significació: es coneix què fa el Sol o la Terra⁴. Sí, sembla ridícul que el

⁴ 'Conèixer' pot usar-se de moltes maneres, i aquí se circumscriu al seu ús en un context com el present, astronòmic. També es coneix un lloc (per haver-lo visitat), algú (per haver-s'hi fet), una música (per haver-la escoltat), etc., i de fet l'ús del mot en afers astronòmics (i d'altres) més aviat deu derivar de l'ús comú: el coneixement de la ciència «està versat en allò que s'hi tracta».

¿Es pot usar en aquest context el mot «comprendre»? La comprensió es troba més aviat en un procés que va des d'allò que ofereix una dificultat, un interrogant, una ignorància, a vencèr-ho d'una manera o d'una altra, i també doncs en la resultant. Un hom comprèn un problema, una explicació, l'estat d'un fòssil, una reacció atòmica, etc. Certament sense comprensió no hi ha coneixement científic.

pensament d'un gir ho faci fer, o que la imaginació més esplèndida ho permeti millor. Què és coneix doncs quan es coneix el moviment diari?

En una accepció *simplement el que es percep, que ara és prenys intencionalment*⁵; el coneixement astronòmic es basa en la percepció, un hom comprèn el que s'hi lliura: són els colors dels astres i del cel, tot allò gaudit en l'observació perceptiva de l'univers, allò que es comprèn i que permet afirmar que hi ha un nou coneixement.

En una altra accepció el coneixement astronòmic abraça la seqüència no sols de percepció compresa, sinó també del que s'explicita en les imatges i les representacions (incloses les geomètriques) que la fan comprendre.

Car un hom no s'extravia quan fa de la figura geomètrica una part rellevant perquè és un auxiliar indispensable en el coneixement d'aquesta disciplina. L'amor per la geometria prové del que es desplega pels astres, fan una sola cosa. Es tracta de no fer-ne cap menyspreu, quan fet i fet les dades preses no es deuen poder ordenar directament (no ho permetrien ni les més simples sense el suport de quelcom geomètric), sinó de no confondre's i de no canviar la captinença de les parts en el tot. El fet que el pensat manté un origen en el perceptiu i en forneix la comprensió.

Els continguts perceptius poden ser motiu de moltes qüestions (com és possible això?, com m'ho he de representar?, etc.). Tota resposta imaginària, tot pensament resolutiu, perllonga ocupacionalment l'experiència de tal manera que es porta a col·lació, per exemple, la volta del cel, la part de l'esfera celeste, etc.

En qualsevol cas es parla de coneixement i es remet a tot allò que hi intervé: a l'experiència perceptiva, a l'imaginat, si és el cas, i a tot el que es pensa, sense que això suposi que els primers tinguin lloc al marge dels continguts intencionalment.

Hi ha doncs coneixement d'aquesta disciplina per la realitat perceptiva, i n'hi ha per tot el que motiva (representació i pensament). La resposta a la pregunta què es coneix no pot ser única i depèn del descabdellament que facilita que hi hagi coneixement, on l'element quantitatiu esdevé sovint molt important mereixent un part rellevant de les tasques de l'ocupació.

⁵ «Es coneix el que es percep» atén, a nivell de pensament, què és conèixer astronòmicament, i no equival sense més a «el que es percep és coneixement», que atén, també a nivell de pensament, el que es percep. Si tota percepció permet que hi hagi coneixement perceptiu (per haver-ho vist, tocat, etc.), una qualsevol percepció no és tal qual coneixement astronòmic.

Llavors es recau en un fet rellevant i que es pot anar resseguint de diverses maneres: que el comportament d'un astre (El Sol o la Terra) és un. Es revela la unicitat – aquesta unicitat – del capteniment, i és això precisament el que és coneix, i que es percep (intencionalment) en el cel i en la Terra.

Així com una proporció numèrica cerca de descobrir el tarannà únic d'un procés a través d'una repetició a diferent escala i en diferents magnituds, el coneixement astronòmic, alhora que en fa una aproximació numèrica, cerca la caracterització única d'un complex de fenomen perceptiu i de pensament.

6. El vessant qualitatiu d'aquest coneixement.

Cal endinsar-se una mica més en aquest tot únic que va essent el coneixement astronòmic a fi de discernir en la mesura del possible entre allò que es fa i allò que no es fa, i en especial de rebutjar malcomprensions de la mateixa tasca del coneixement.

Noti's que la simple esfera celeste (o qualsevol altre element astronòmic) omple un paper representatiu. És a dir, fa la funció de l'experiència perceptiva, és un complement representatiu, que vol ser tan congruent amb el que es percep com sigui possible, tot seguint les congruències espacials que un hom va aprenent des de petit. Si més no s'imagina allò que el satisfà.

Des d'aquest punt de mira l'esfera celeste fa un tot amb el cel de nit i de dia, s'hi troba aquesta representació.

Hi ha així coneixement. Un conèixer que en principi no pot ser quantificat: el gir de l'esfera (o de la Terra) no és quantificable perquè no ho és cap moviment. Tot això podrà anomenar-se ben bé un model: però allò cabdal rau en el fet que un hom imagina (i pensa) quelcom capaç de subsumir-se en l'espectacle perceptiu a fi de conèixer-lo millor (abans el coneixia a nivell perceptiu o amb l'afegit que fos del cas).

Tots els moviments del cel i de la Terra no són en principi quantificables, com no ho és el temps: no ho és el de rotació de la Terra sobre el seu eix, el de translació al voltant del Sol, el de precessió, el de nutació, etc.

I totes les línies, els plans i les superfícies d'una qualsevol mena que un hom inclou s'integren en principi a tall de representació, per tant col·lateralment al perceptiu formant part necessària del coneixement astronòmic.

Car la modelització esdevé la manera de pensar qualitativament (si es pot parlar així)⁶ i de conèixer l'esdeveniment del cel i de la Terra. Estrictament fa la tasca que omple en d'altres parts del saber natural els aspectes no quantitativs que precisament ensenyen quin és el tema, què s'estudia, què té un hom entre mans. Sense el model no se sabia ben bé de què s'estaria parlant, què és allò que ben bé s'estima percebre.

Noti's que el model no és tan geomètric com representatiu: un hom ha de poder representar-se o pensar el que un hom percep, independentment d'una qualsevol idealització o exigència.

D'altra banda no deixa de ser interessant que la geometria simplifiqui bastant la tasca que hi ha en una reproducció (dibuix o maqueta), que es pensa idealitzant. Deixant els motius que dugueren a unes definicions elementals literalment impensables, tot això conté un fort caràcter instrumental. I la preferència de considerar els afers des dels punts i línies, després des de superfícies, i finalment arribant als sòlids, revela la cerca d'eficàcia sobretot en vistes a servir perquè l'aspecte quantitativ implícit que conté s'explíciti en raons i proporcions, en expressions algebriques i analítiques.

7. El vessant quantitativ d'aquest coneixement.

El coneixement astronòmic no vol ser una aproximació comprensiva que faci versemblant un discurs. La noció que els afers són gairebé com es coneixen orientaria les activitats de l'estudiós i l'animaria a ajustar-se més i més a allò que fóra una manera escaient d'acabar-los.

És a dir, es tracta que les representacions permeten que un hom compti les parts dels seus elements, amb el domini numèric corresponent fins a arribar a les expressions més generals possibles.

Hi ha raons, proporcions, relacions algebriques i analítiques: un univers quantitativ que necessàriament abandona qualsevol origen seu representatiu, però que no per això renuncia a allò que n'ha après i a totes les seves complicacions. En efecte la comprensió d'una activitat matemàtica és immediata en l'accepció que el domini de les fórmules la pressuposa, i alhora se l'assumeix pel fet de ser una resultant, circumstància que valdria per a un qualsevol nivell matemàtic i que

⁶ Sigui com sigui la qualitat no s'oposa a la quantitat: aquesta no pot néixer més que d'una operació del que és qualitativ estàtic. En parlar del qualitativ es fa referència a allò que encara no ha rebut una explícita quantificació (per exemple, una línia) o no en pot rebre (qualsevol moviment).

acaba amb el més bàsic, el de l'experiència perceptiva pensada en la seva quantitat.

Noti's que la quantitat s'entoma com un aspecte dels afers materials a no abstrure de les resta dels seus aspectes. Que una cosa representada sigui més o menys llarga (hi ha magnitud) no sembla implicar que no formi part del tot d'una manera indestriable, i que sols la facilitat de comparar-la amb una unitat arbitrària de magnitud hi estableix un nombre. Tot plegat exigeix la presència d'una ocupació que compara i que recull, certament: tanmateix això no lleva que la possibilitat es troba en la cosa mateixa mentre que l'estratagema lliura la capacitat d'ajustar una magnitud donada d'acord amb una unitat (sigui seva o d'una altra cosa). Un hom agafa la cosa per la seva magnitud, on compta o hi pensa sense més una qualsevol quantitat.

Els elements que es representen no són tal qual quantitats, sinó que ho són implícitament. Les relacions representades permeten de ser també relacions quantitatives gràcies a l'explicitació de quelcom que els era implícit o si més no propi de les coses en persona. Hi ha doncs una aproximació a l'exactitud a partir d'unes tals quantificacions.

Precisament el coneixement astronòmic és la resultant d'un tal lliurament representatiu seguit pel seus implícits propis quantitativus; de manera que un hom pensa en astres i moviments, se'ls representa o els observa, mentre ajusta el seu coneixement a través de la quantitat. L'encert de l'un aspecte no pot – no hauria de – no reblar l'altre: al cap i a la fi són de la mateixa cosa o coses⁷.

8. Una heurística de la ciència.

En aquest tipus de coneixement hi ha una novetat, una reelaboració, una completesa, en l'ocupació, que compromet afers naturals o materials. Hi ha una realitat perceptiva, o afigurada, o pensada (un model astronòmic, un gir, una translació, el temps, etc.), i tot plegat rep un ajustament a partir dels aspectes quantitativus que possibilita. Sense l'existència de quelcom no se sabria de què es parla – sense la quantificació no es reblaria que un hom pensa relacions escaients entre

⁷ Tingui's present que no hi ha quantificació del moviment sinó dels afers estàtics per on n'hi ha. ¿És vàlid per a l'admissió d'un o més dies, per exemple? ¿Es compta moviments? Versemblantment ocorre com en les pautes d'un qualsevol rellotge: el moviment fóra sempre inquantificable independentment que es lliurés com un tot acabat o no, allò que es comptaria foren pautes per on n'hi ha o per on se'l representa (o simplement se'l pensa).

coses, o no es precisaria la manera més aproximada de mantenir les relacions entre les parts d'un tot, o entre dos elements qualssevol característics.

Per això és el model i, en conjunt, la concepció dels afers el que permet una aproximació quantitativa pel fet que s'ofereix per a explicitar-la (per exemple, el punt Vernal es troba en l'encreuament de l'equador celeste i l'eclíptica, i a partir seu un hom compta l'arc, etc.); alhora és l'aproximació quantitativa la que permet millorar (o canviar) el model i les concepcions establertes (el recompte dels dies i les hores permet de concloure que no hi ha una distribució per quarts dels dies de l'any en les quatre estacions, etc.); i és així mateix la quantitat la que permet fer aflorar una coherència entre fenòmens rebplant el supòsit que tinguin el mateix capteniment (la força – i acceleració – per a la translació de la Terra, la força – i acceleració – per a la precessió, etc.).

En tots els casos es tracta que es persegueix conèixer, i es fa per la representació (i el pensament) i la seva quantitat respectiva. Un hom apunta l'una o l'altra, o les dues, segons la conveniència de la recerca.

Al cap i a la fi els treballs de la física des de Galileu semblen que es mantenen en conjunt d'acord amb uns tals trets. Les possibilitats de començar una investigació són en efecte plurals, i tot depèn d'allò que se sàpiga (o no) prèviament. D'aquí que es pugi pensar que hi ha alguna caracterització excoent de la ciència quan s'insisteix unilateralment en algun aspecte seu.

II ELS ANELLS DE L'ESFERA ARMIL·LAR

L'exercici d'allò que permet palesar les consideracions al voltant del coneixement complau especialment al filòsof de la ciència. Entre les nombroses pàgines de l'*Almagest* que ho podrien il·lustrar sembla particularment rellevant de fixar-se una mica en els supòsits que hi ha en l'ús dels instruments astronòmics que esmenta, especialment en aquell que avui s'anomena esfera armil·lar (zodiacal), i que no pressuposen necessàriament un concepció geocèntrica o heliocèntrica. En l'*Almagest* se l'anomena instrument 'astrolabi', adjectiu que aquí significa sols «per a abastar [la posició de] les estrelles», i no té res a veure amb l'instrument anomenat avui així.

En el treball de Ptolemeu la descripció de l'armil·lar es troba al començament del llibre V, que estudia els estels, descripció que l'estudiós d'avui completa amb els comentaris de Papos, de Teó i de Procle. A.Rome ho recollí tot en un article que ha esdevingut el referent per a saber la construcció i l'ús de l'instrument⁸. Fet i fet prou treballs posteriors basen la figura que representa els anells de l'aparell en el dibuix inclòs en aquell treball.

L'esfera armil·lar s'usà des del segle III aC (Hiparc diu que el seu inventor és Eratòstenes) fins al segle XVII, amb l'adveniment del telescopi, i fou l'instrument bàsic de tots els astrònoms en la determinació de les posicions celestials.

D'altra banda ha suscitat des de sempre força interès, i se n'ha construït modernament a fi d'emular les observacions d'antics, medievals i moderns⁹. Si més no la mera destresa a usar-lo permet de

⁸ A.Rome, «*L'Astrolabe et le Météoroscope* d'après le commentaire de Pappus sur le 5e livre de l'Almageste», *Annales de la Société scientifique de Bruxelles*, sér.A, *Sci.math.Mémoires*, xlvii (1927), 77–102, 129–140.

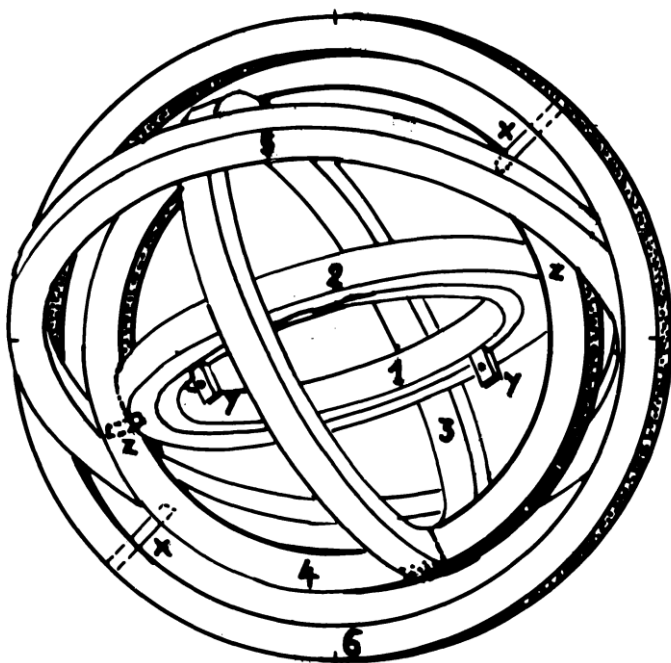
⁹ S'esmenta en especial el treball de Jarosław Włodarczyk, «Observing with the Armillary Astrolabe», *Journal for the History of Astronomy* August vol.18, no. 3/agost 1987, 173-195, que facilita força la comprensió de l'ús de l'aparell i se'l tindrà aquí en compte. L'autor usà una esfera armil·lar construïda el 1950, per l'Institut d'Astronomia Geodèsica de la Universitat Tècnica de Varsòvia, hi féu nombroses observacions per tal de comprovar les resultants antigues amb les seves, i de discutir-hi el paper de la refracció en la determinació de les longituds

tocar afers rellevants perquè es pot entreveure que el domini de l'esfera armil·lar, àdhuc quan un hom s'hi apropa sense discussió dels detalls, palesa un reguitzell de problemes que il·lustren què és coneixement.

L'instrument astrolabi de Ptolemeu consisteix en sis anells concèntrics sobre algun suport estable (*cf. la figura adjunta*).

Quatre d'aquests (1, 2, 3 i 5) formen el sistema eclíptic¹⁰.

L'anell 1 és el més intern de l'aparell i llisca per la part de dins de l'anell 2. A més a més té dues pínules yy, per on es dirigeix la mirada cap a l'astre una vegada s'ha emplaçat correctament l'esfera armil·lar, i per tal de mesurar bé els arcs compromesos.



(del treball de Jarosław Włodarczyk)

L'anell 2, l'anell interior de latitud, es manté gràcies als pius zz, roda com una baldufa sobre l'eix zz, línia que fa també d'eix de l'eclíptica.

dels estels referents (és a dir, que serveixen per a saber la longitud d'altres estels).

¹⁰ Recordi's que el terme grec d'on prové el mot «eclíptica» significa literalment «que té a veure amb els eclipses». Ptolemeu no l'usa mai, i prefereix d'altres girs: per exemple, «el cercle pel mig dels signes».

L'anell 3 és l'anell eclíptic, i està soldat amb l'anell 4 pels punts solsticials; els esmentats pivots *zz* passen pel seu eix (i representen els seus pols), que és l'eix del pla de l'eclíptica. Entre els pivots *zz* i els que representen els pols equatorials, *xx*, hi ha l'arc que correspon al de l'obliquïtat de l'eclíptica.

Aquell anell, el 4, d'una mesura de radi igual al de l'anell 3, és l'anell color solsticial; passa pels pols de l'eclíptica i de l'equador: de fet pot voltar com una baldufa gràcies als pivots *xx*, que representen els pols de l'equador.

L'anell 5, com l'anell 2, roda tenint com a eix *zz*, que és el de l'eclíptica, i representa l'anell exterior de la latitud.

Finalment l'anell 6, que és el del meridià del lloc, es troba fixat pels pivots *xx*, que representen els pols de l'equador celeste i pels quals passa l'eix corresponent.

Les cares laterals de l'anell eclíptic (el 3) i de l'anell intern de latitud (el 2) estan graduades en 360°. L'escala de la latitud geogràfica (en l'anell meridià) també comprèn una divisió per graus.

Noti's que Ptolemeu pressuposa l'esfereïtat de la Terra i l'esfera celeste, per a les quals coses ha calgut tot un reguitzell d'observacions i d'assumpcions en un model, és a dir, en un ventall d'afers (cf. *Almagest* I,3-4), segons el qual s'anoten les coordenades dels astres; i tot això es perllonga, es rectifica o es completa amb d'altres supòsits d'ordre no quantitatiu que serveixen, des de les quantitats del cas, per anar lliurant exactitud al conjunt, ajustar-lo segons les quantitats explicitades en el conjunt modelitzat.

Que es col·loqui la Terra o el Sol enmig de l'armil·lar no gaudiria de més significació com sigui que l'aparell serveix igualment en l'heliocentrisme, i allò cabdal fóra l'ús dels anells. Els motius copernicans per a fer rodar la Terra sobre el seu eix en el *De revolutionibus orbium coelestium* palesen una vegada més la capacitat per a pensar i per a gosar capgirar l'establert a través de la permuta del moviment de l'esfera dels estels fixos per la quietud de la Terra, i a l'inrevés. Es tracta d'afers tal qual no quantitatius que fan copsar diferentment el cosmos, i que reben el seu ajustament quantitatiu.

III LA CERCA DEL MERIDIÀ LOCAL

Una vegada feta la introducció dels anells el pas següent consisteix a dreçar l'esfera armil·lar en un pla horitzontal i a anar girant l'anell 6 de manera que s'orienti en el pla del meridià del lloc, i el representi instrumentalment en l'aparell. Hi ha, però, el problema de saber per on passa el meridià esmenat. ¿Es troba fàcilment, això?

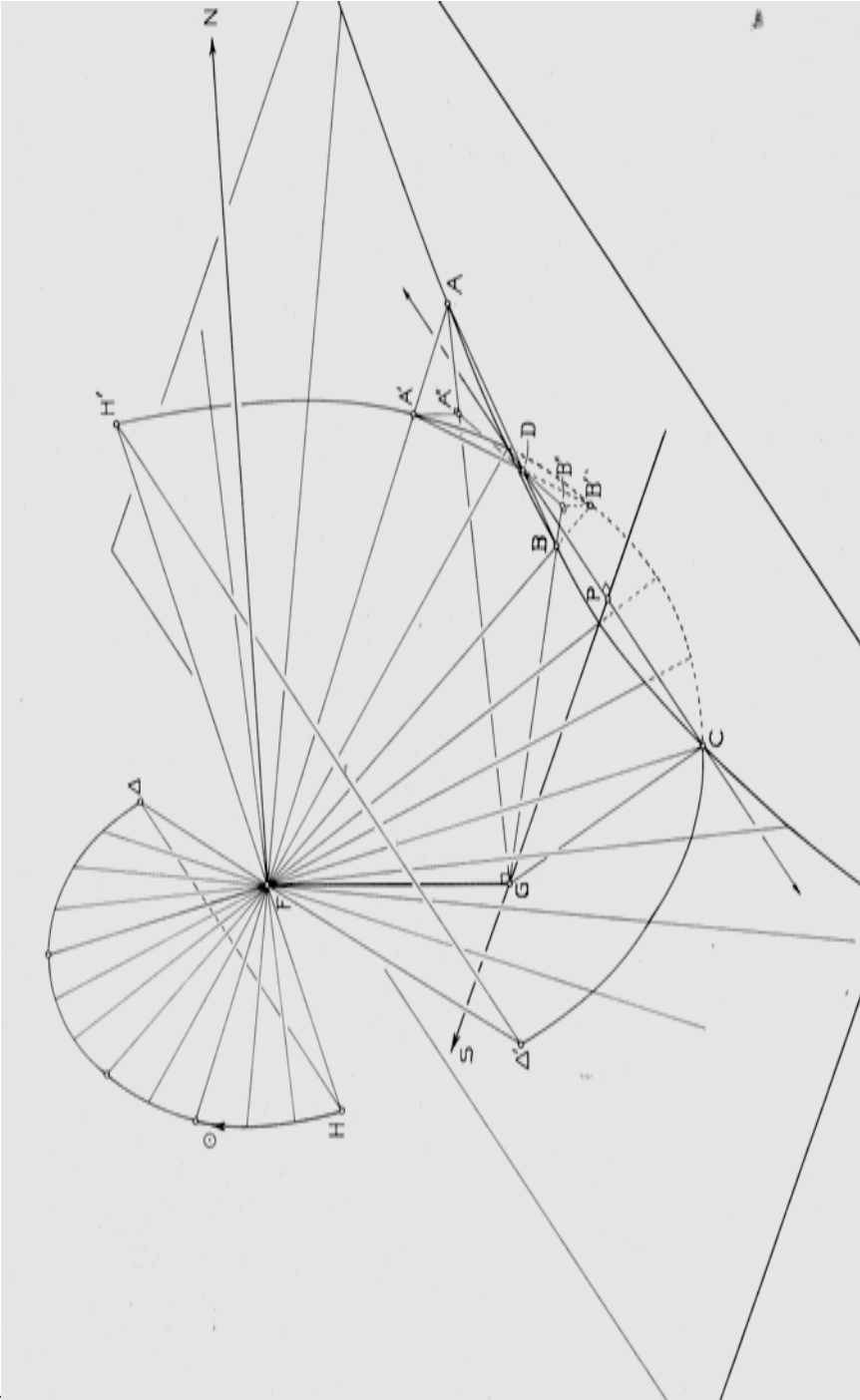
1. El plantejament del problema.

L'anell més extern, el 6, s'ha de situar doncs segons l'orientació de meridià. Ptolemeu afegeix que es fa a semblança del descrit quan parlava de fer observacions de l'arc del meridià entre les punts solsticials (cf. *Almagest* I,12), però aquí no diu pas com determinar el meridià del lloc. Val la pena de provar de fer-ho seguint algun dels mètodes antics. S'hi palesa l'habilitat grega per a fer-se càrrec dels problemes i alhora permet el lector d'avui d'exercitar el pensament espacial mentre s'adona que el *sine qua non* d'un seguiment quantitatiu de les relacions rau en el fet que hi hagi aquestes relacions entre afers naturals assumits en els pensaments de com són aquests assumptes (el model).

Estudiï's la determinació de la línia meridiana de Diodor d'Alexandria (s.I aC) recollida en el seu llibre *Analemma*¹¹, del qual hi ha referències en autors posteriors.

Agafi's un gnòmon vertical GF de llargada g (se suposa en l'hemisferi nord i el Sol amb una inclinació meridional). En el gràfic el Sol surt per H i es pon per Δ (el raig solar arriba a F , el punt més alt del gnom, per H , etc.), i els seus raigs es perllonguen més enllà de F , de manera que, de l'eixida a la posta, hi va havent un ombrejat sobre el pla

¹¹ En el seu context astronòmic *analemma* (en grec antic «pedestal d'un rellotge de sol») significa un mètode per a trobar, a través de construccions geomètriques en un pla, certs arcs i angles que determinen un punt de l'esfera celestial. En terminologia d'ara es podria parlar d'una «geometria descriptiva». Cf. Otto Neugebauer, *A History of ancient mathematical astronomy*, 3 vol. (1. *The Almagest and its direct predecessors. Babylonian astronomy*; 2. *Egypt. Early Greek astronomy. Astronomy during the Roman Imperial period and late antiquity*; 3. *Appendices and indices*), Berlin [etc.], Springer, 1975 [*Studies in the history of mathematics and physical sciences* 1], II, 839. L'estudi de Diodor es troba a II, pàgs.840-842, els gràfics es manlleven de III, pàgs.1376-77.



horitzontal on es troba G que segueix, per exemple, la línia ABC . Agafi's la llargada de tres ombres diferents, GA , GB , GC .

Llavors, si FN representa la direcció del nord celeste (exactament sols se sap després de situar el meridià, però s'ha convingut que el Sol s'inclina meridionalment), un hom es pot imaginar que FN és l'eix d'un con circular recte fet pels raigs solars des de F (que seria el vèrtex). És a dir, els raigs solars lliurarien mitja superfície lateral d'un con – els punts A , B , C formarien part d'aquesta superfície lateral del con, i cadascun s'integraria en una generatriu –, específicament la part formada pels raigs diürns, deixant la resta de la superfície lateral del con per al circuit solar fet durant la altres hores (les de la nit). La base, se la pot imaginar un hom a tall d'un cercle tan allunyat com es vulgui.

Es pot suposar que aquesta mitja superfície lateral del con, de les dimensions que es vulgui, creua el pla horitzontal que passa per G , base del gnòmon, per tant que se la pensi amb unes determinades dimensions, per exemple, com a superfície lateral d'un con amb semi base $H'CA'$, de manera que una part de la base es trobi per sota del pla horitzontal, una altra part per damunt seu, de manera que el segment comú (encreuament de la base i del pla horitzontal) tingui per extrems precisament el punt C , alhora del pla i de la base, i un segon punt comú entre B (punt del pla per damunt de la base del con) i A (punt del pla per sota de la base del con). Tot plegat és imaginable perquè el con dels raigs solars pot ser de tanta altura com es vulgui.

Continuï's: FN és l'eix del con, i és paral·lel al pla horitzontal (la línia que uneix HA i la FN defineixen un pla paral·lel a l'horitzontal per G). La secció que fa un pla paral·lel a l'eix del con i que el talla és una hipèrbola. Per això la línia que uniria A , B i C ho seria.

Hi ha la base del con $H'CA'$. Aquesta base és paral·lela al semicercle engendrat pel trajecte solar $H\Theta A$, que seria la base d'un altre con amb vèrtex a F , invers a l'anterior. El recorregut $H\Theta A$ representa el del Sol: ha de ser paral·lel al pla equatorial perquè en el geocentrisme el Sol gira diàriament mogut pel primer moviment, en l'heliocentrisme la Terra gira diàriament al voltant del seu eix, i en els dos casos, el circuit solar és el patró de tots els cercles paral·lels a l'equador (que és sols el cercle més gran)¹².

¹² El Sol fa (o aparenta) un gir semicircular diari. Des de la llunyania es pot pensar que es troba recorrent una circumferència que fa de base d'un con enorme que té com a vèrtex un punt fix, l'extrem superior de gnòmon. D'aquí la

Per tant la base $H'CA'$ és paral·lela al pla de l'equador, i passa pel punt C .

El pla horitzontal del lloc, i que passa per G , és tangent a un cercle màxim de la Terra que passa pels pols (és tangent al meridià del lloc): la intersecció entre aquell pla horitzontal i un pla paral·lel a l'equatorial serà una línia paral·lela a la que uniria l'eixida i la posta del Sol (perpendicular a la que seguiria una dirigida cap als pols). En d'altres paraules la intersecció lliura una línia paral·lela a la direcció est-oest.

Si un hom troba aquesta línia, la perpendicular seguirà la direcció nord-sud i serà el meridià del lloc.

2. El planteig de la solució.

Si més no ja es coneix un punt d'aquesta línia: el C , que pertany al pla horitzontal i – pel fet d'haver escollit la base més profitosa del con dels raigs solars – al pla que fa de base del con. Ni B , que està per damunt de la base del con escollida, ni A , que està per sota d'aquesta base, es troben en la base. Com abastar-hi un segon punt per tal de determinar-hi la línia d'intersecció entre el pla horitzontal i el pla paral·lel a l'equatorial?

Pensi's en el raig solar FA : aquest raig passa pel pla $H'CA'$ que fa de base del con dels raigs solars, és clar (n'és una generatriu), i sigui A' el punt on troba aquest pla.

Faci's el mateix amb el raig FB , la prolongació del qual troba la base del con de raigs solars en el punt B' .

Ara hi ha diferents maneres de procedir, i aquí se'n seguirà sols una.

En efecte el punt A' es troba per damunt del pla horitzontal: per tant n'hi ha una projecció perpendicular sobre aquest pla, i sigui llavors A'' aquest punt del pla horitzontal.

Però el punt B' es troba per sota el pla horitzontal: n'hi ha una projecció perpendicular cap a aquest pla, i sigui llavors B'' aquest punt del pla horitzontal.

B' es troba per sota del pla horitzontal, A' per sobre, i els dos són de la base $H'CA'$ del con de raigs solars: per tant els punts que els apropen (que segueixen l'arc de la circumferència) creuen el pla horitzontal. En quin punt? Òbviament en un que pertany al pla horitzontal, que es troba en l'arc $A'B'$ de la base $H'CA'$ del con, arc que segueixen les projeccions

representació d'aquest circuit per $H\Theta A$. L'heliocentrisme afegirà sols que el desplaçament no és degut al moviment del Sol, sinó al de la rotació de la Terra.

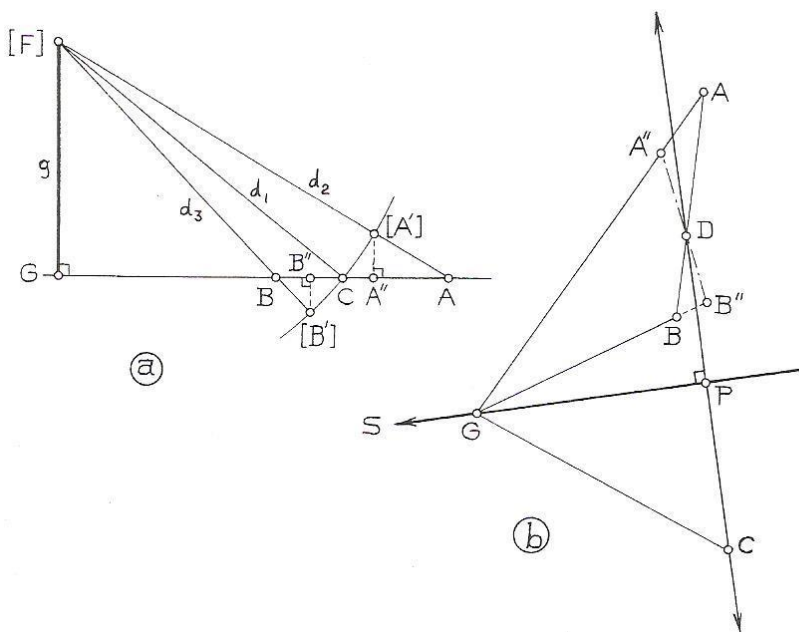
$A''B''$ sobre el pla horitzontal— i el mateix punt també es troba en l'arc de la hipèrbola AB : si A i B s'apropen per l'arc, també ho faran els punts A' i B' que escurcen o perllonguen els raigs solars, i així mateix els punts A'' i B'' que són les seves projeccions al pla horitzontal. Tots es troben en un punt D , que pertany alhora al pla horitzontal i al pla paral·lel al pla equatorial.

La línia CD , intersecció dels dos plans, és en la direcció est-oest. La seva perpendicular per G lliura la línia meridiana.

3. La construcció analemma.

El que s'ha dit als paràgrafs de dalt es mou a un nivell de plantejament del que representa el gnòmon, els raigs incidents del Sol, les seves prolongacions més enllà de gnòmon, i el pla horitzontal. Després s'ha discutit els sis: si s'agafés els raigs que passen per A i B , si els punts A' i B' són del pla de la base del con, si A'' i B'' són les seves projeccions al pla horitzontal, etc.

Tanmateix, com s'ha de portar a la pràctica tot això? De quines mesures es disposa? Com es pot arribar a traçar eficaçment la línia



paral·lela en la direcció est-oest? Aquí és on entra la construcció analemma corresponent.

Perquè, col·locat un hom en el lloc, pot mesurar les distàncies $d_1=FC$, $d_2=FA$, $d_3=FB$. Com? Perquè coneix quant fa $FG=g$, i també GA , GB , GC , que són les llargades de les ombres: per tant extreu les hipotenuses dels triangles.

Coneixent els tres triangles FGA , FGC i FGB , se sap AA' i BB' per dues simples sostraccions (d_2-d_1 i d_1-d_3).

I per la semblança dels triangles es coneix què val BB'' ; i què val AA'' , i així on són els punts A'' i B'' .

Els següents quatre punts es troben en el pla horitzontal: A i B són els extrems de l'ombra, i ara s'ha trobat A'' i B'' . Certament caldria apropar els punts A i B a través de la hipèrbola cosa que faria apropar A' i B' , i també A'' i B'' . Preses les suficients precaucions (per exemple, la relativa proximitat de A i B , i la relativa distància de C), es pot assumir – sembla que és el que féu Diodor – que el punt cercat D és la intersecció de les línies AB i $A''B''$, les dues en el mateix pla, intersecció que es pot dur a la pràctica en el lloc mateix amb els estris del cas.

Llavors es traça efectivament sobre el terra la línia CD en la direcció est-oest. L'assenyalament de la línia meridiana per G , perpendicular a l'anterior, és un exercici pràctic clàssic i fàcil de dur a terme.

S'ha arribat a fixar la línia meridiana del lloc amb bastant exactitud.

Ara cal parar l'armil·lar i situar el pla de l'anell més extern, el 6, seguint la línia meridiana del lloc¹³.

¹³ No cal dir que hi ha d'altres maneres d'apropar-se a la construcció d'una línia est-oest (i nord-sud fent-ne la perpendicular). Una bastant característica és el mètode del cercle indi, la descripció més antiga del qual es troba en un text vèdic del segle IV aC, i que és l'usat – per exemple – per Copèrnic en el *De revolutionibus*. L'afer és prou simple: s'alça un gnòmon en un lloc pla, es dibuixa un cercle al seu voltant de radi l'alçada del gnòmon. Al matí es marca el punt on l'ombra solar que fa el gnòmon creua la línia del cercle i precisament quan la creua. I es fa el mateix a la tarda. Llavors es passa una línia entre els punts, que seguirà aproximadament la direcció est-oest.

Segles més tard provaren de corregir el fet que la declinació del Sol es lleugerament diferent al matí i a la tarda. Tanmateix la declinació és semblant al solstici.

Noti's també que hi podria haver una dificultat a l'hora de precisar en alguns casos el centre de l'ombra de la part alta del gnòmon.

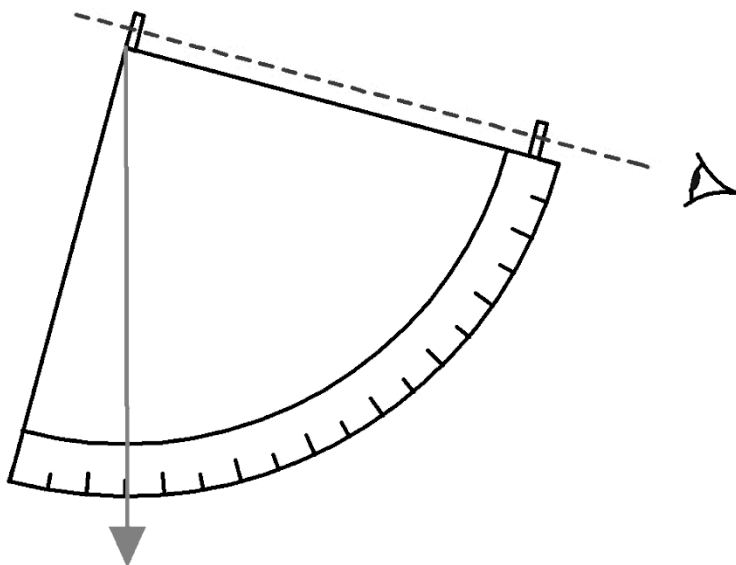
IV

LA TROBALLA DE LA LATITUD GEOGRÀFICA DEL LLOC

1. Establert l'anell més extern (el sisè) en l'orientació del meridià i perpendicular al pla de l'horitzó, llavors cal fer-lo rodar sobre el seu centre de manera que l'eix dels pols de l'equador – representats pels pivots *xx* en la figura de l'armil·lar– marqui una elevació (l'altura) del pol (nord), respecte del pla horitzontal, igual a la latitud del lloc.

Certament hi ha diferents mitjans de determinació de la latitud del lloc (tingui's present que Ptolemeu desconeix l'ús de «latitud» per a la latitud terrestre, i usa sempre «altura del pol»).

Per exemple, es podria provar de mesurar directament l'altura del pol. Amb un aparell elemental (astrolabi, dioptra, quadrant, etc., i a partir dels temps moderns el sextant o l'octant) es coneixeria directament l'altura del pol col·locant l'aparell perpendicular al pla horitzontal i seguint la línia meridiana.



(imatge extreta de la viquipèdia anglesa)

Agafi's un quadrant. Es tracta d'un aparell bastit en forma d'un quart de cercle, amb una escala graduada al llarg de l'arc. Disposa de dues pínules col·locades als extrems d'un dels costats del quadrant, des

de l'una de les qual es mira a través de l'altra. Quan se l'usa cal inclinar el quadrant per tal d'observar l'astre per les dues pínules, i llavors la plomada lligada al que fóra el centre del cercle, i que fa d'extrem del quadrant, assenyala – amb el desplaçament del conjunt de l'aparell – els graus en l'escala de l'arc, que corresponen a l'altura (respecte del pla horitzontal) del cos celeste que s'ha observat.

Val la pena de fer notar que un hom es pot considerar sempre en el centre de l'Univers, és a dir, al centre de la Terra amb la mateixa inclinació del pla horitzontal de què gaudeix en la superfície però a través del centre, i llavors es visualitza una altura del pol del dibuix (*cf. la figura de més avall*) coincident amb la direcció del pol representat. Recordi's que Ptolemeu (i tots els astrònoms posteriors) es fa un tip de repetir que la Terra és un punt al costat dels cels.

Tot i això l'*Almagest* mai no esmenta l'observació directa del pol per a fixar la latitud geogràfica, i de fet més aviat sempre la dedueix, ja des del coneixement de les hores diürnes del dia més llarg (II,3), ja des de l'observació dels solsticis (I,12), tal com ara mateix s'esbossarà.

2. En efecte les puntes dels gnòmons són també el centre de l'Univers, on van a parar els raigs del Sol en el seu gir diari, raigs i ombres que es perllonguen més enllà d'aquest centre.

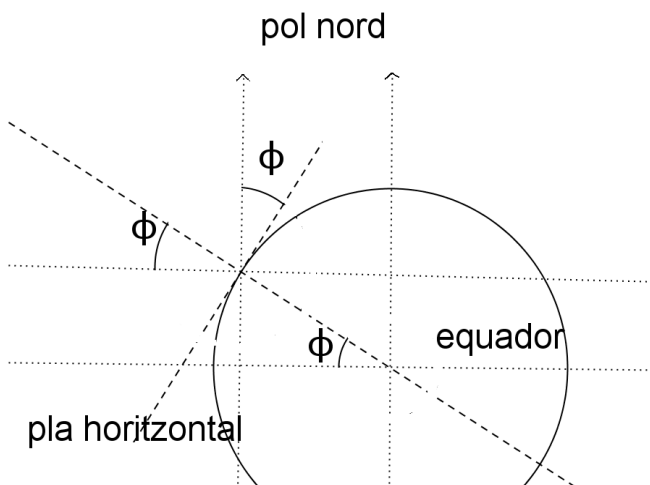
Precisament un dels altres mitjans d'assoliment de la latitud es basa a seguir l'ombra solar. Es tracta d'una de les maneres explicades per Ptolemeu (*Almagest* I,12). S'agafa, per exemple, una peça de fusta o de pedra, ben polida per una cara, tan plana com sigui possible, damunt de la qual s'hi dibuixa un quadrant, amb la corresponent escala en l'arc. S'agafen dues agulles, una col·locada en el centre del cercle del qual el quadrant és un quart, i l'altra en l'extrem del radi (que serà l'inferior una vegada dreçat l'aparell) precisament perquè una plomada que cau des de l'altra agulla permeti de dreçar la placa tan vertical com sigui possible, és a dir, que la plomada i la placa siguin paral·leles a la vertical fins al zenit.

Com sempre cal alinear l'aparell en la direcció nord-sud, amb el radi del quadrant que conté les dues agulles en el cantó meridional (en l'hemisferi nord). Llavors es tracta de resseguir al llarg de l'any l'ombra solar al migdia de l'agulla més alta sobre el pla de l'horitzó, que va fluctuant amb el pas dels dies entre una ombra que marca un arc mínim des de la vertical (solstici d'estiu) fins a una amb un arc màxim des de la vertical (solstici d'hivern), i de repetir-ho en anys diferents. S'observa que la diferència entre els dos solsticis és aproximadament la mateixa (entre 47° i 48°).

Més avall es dirà alguna cosa a propòsit del cercle del zodíac i el pla de l'eclíptica; en qualsevol cas aquest últim es troba esbiaixat respecte de l'equador terrestre i celeste, i el traspassa en els equinoccis. D'aquí que Ptolemeu pugui dir: «des d'aquesta mena d'observacions és fàcil de derivar immediatament la latitud de la regió on és feta l'observació, sigui on sigui: s'agafa el punt mitjà entre els dos extrems que corresponen [*als solsticis*]; aquest punt està en l'equador; després es pren la distància entre aquest punt i el zenit, que és el mateix, òbviament, que la distància del pol des de l'horitzó».

El punt mitjà assenyalat on es troba l'equador, i la meitat és l'angle entre aquest i el pla de l'eclíptica ($\epsilon = 23^{\circ}26'29''$, l'obliqüitat de l'eclíptica). Per tant la línia (per dir-ho així: el raig solar) que passa pel centre del quadrant i pel punt mitjà entre els dos solsticis és una línia que pertany a un pla paral·lel al de l'equador; i tenint la línia meridiana es gaudeix de la direcció oest-est, que li és perpendicular, llavors es disposa també del pla paral·lel al de l'equador. Un hom ha d'imaginar-se sempre l'afer com si ell es trobés al centre de l'Univers. Es fa obvi que l'angle entre la vertical (cap al zenit o cap al nadir) i aquesta línia del pla paral·lel al de l'equador és la desviació respecte del pla equatorial del lloc on es fa l'observació, és a dir, la latitud, que també és l'altura del pol.

(visió des de l'est i suposa saber la latitud del lloc)



Ja es pot doncs arranjar el sisè anell de l'armil·lar en l'orientació del meridià i rodar-lo de manera que l'eix que passa pels pivots xx , que representen els pols de l'equador, assenyali una altura del pol (nord) igual a la latitud el lloc (cosa que es pot fer amb comoditat si s'hi ha marcat una escala graduada, sobre l'anell, i s'hi ha fixat el zenit amb l'ajut d'una plomada: l'angle entre el pol nord i el zenit és el complementari de la latitud – la colatitud).

V
LA COL·LOCACIÓ CORRECTA
DE L'ECLÍPTICA INSTRUMENTAL

L'anell 5 de la figura de l'armil·lar (un anell auxiliar) gira al voltant de l'eix zz , el dels pols de l'eclíptica, i serveix com a anell exterior de latitud una vegada s'ha trobat el lloc de l'anell eclíptic (més o menys fa el mateix que l'anell 2, que és l'anell interior de latitud).

Passi's ara als anells 4 i 3.

1. L'anell del color solsticial.

Se sap que els pivots (xx) de l'anell 6 representen els pols nord i sud i gràcies als quals és possible de fer girar també l'anell 4, anell que passa pels pols de l'eclíptica i de l'equador, i que pot voltar de cairrell gràcies als pivots xx , fixats en els seus laterals.

Sabent que el centre de l'armil·lar fa de centre del món, havent col·locat al seu lloc l'anell meridià i fent-lo girar ben orientat en la direcció nord-sud, no hi ha dubte que el gir de l'anell 4 és el d'un moviment giratori d'un cercle màxim a través dels pols equatorials.

L'anell del color, es diu, passa pels pols de l'eclíptica i de l'equador: gira sobre els d'aquest darrer, i té fixat l'anell de l'eclíptica instrumental, que manté soldat pels punts d'aquesta eclíptica que han de representar els solsticis. Per consegüent cal bastir l'aparell de manera que l'arc entre el pol equatorial i el corresponent solstici (pol nord/solstici d'estiu, pol sud/solstici d'hivern, en l'hemisferi boreal) sigui el complementari de l'obliquïtat de l'eclíptica, que és l'arc entre el pla d'aquesta última i el pla de l'equador. O també: l'arc de l'anell del color entre l'eix zz de l'eclíptica i l'eix xx de l'equador és igual al de l'obliquïtat.

Fet i fet el paper de l'anell del color, i de la fixació de l'eix de l'equador pels pols, rau a permetre de col·locar correctament el pla de l'eclíptica instrumental, quan l'aparell ja es troba en l'orientació del meridià amb la inclinació escaient dels pols. Car la lectura tradicional es fa per coordenades eclíptiques i no equatorials.

La circumstància que l'anell del color conté els pols de l'eclíptica i de l'equador permet que, si l'anell 6 ja s'ha disposat oportunament (és a dir, verticalment i girat d'acord amb la latitud geogràfica), el fet de dur els pols de l'anell 3 (els de l'eclíptica instrumental) en la línia zenit-

nadir, i fer que l'anell 4 (el del colur) coincideixi amb el pla de l'anell 6 (el del meridià local) permet d'establir així el meridià del lloc, per tant esdevé una manera de determinar-lo quan prèviament es coneix la latitud geogràfica del lloc d'observació (els dos pols fixats tenint en compte una latitud, i el zenit, determinen un pla). A més a més l'anell 2 pot usar-se en unes tals circumstàncies com a cercle d'altitud i llegir directament l'azimut del Sol en el cercle eclíptic.

2. El moviment del Sol per l'eclíptica.

La manera més senzilla d'entendre què representa l'eclíptica rau en el següent¹⁴: hi ha un moviment del Sol (a més a més del diari) respecte dels estels que no pot ser observat directament (la seva llum amaga les estrelles). Quin és aquest moviment? Si s'apunta les constel·lacions que surten immediatament abans del Sol cada matí es veurà que varien d'acord amb l'època de l'any. Suposi's que un matí el Sol sembla que surti en el cel després de la constel·lació de Taure: abans de l'alba surt Taure i després, en el mateix lloc, el Sol. Quan el Sol surt no es pot veure Taure (la llum del Sol ho impedeix), però hom suposa que Taure segueix en la direcció on era tot guiant el Sol durant el dia. Un mes més tard s'observa que no és Taure que surt immediatament abans del Sol, sinó Bessons, que surt, i després de Bessons surt el Sol seguint-los. Al mes següent Taure guia Bessons, Bessons a Cranc, i Cranc al Sol. Passats sis mesos Taure s'ha avançat tant, que es pon quan surt el Sol. Després d'un any Taure torna a ser en la seva posició inicial, immediatament abans del Sol.

Per tant el Sol s'endarrereix – es mou aparentment en sentit antihorari (cap a l'est) – cada dia uns seixanta minuts respecte d'aquestes constel·lacions tot fent – se suposa – un gir de 360° en un any: la seva ruta pels estels fixa l'eclíptica [recordi's que el pla que conté l'òrbita de la Terra al voltant del Sol s'anomena pla de l'eclíptica]; i el zodíac és una zona de l'esfera celeste, centrada en l'eclíptica, amb una amplària de 17°, 8°30' al nord i 8°30' al sud d'aquesta, i es compon principalment de les constel·lacions que successivament precedeixen al Sol en el cel de la matinada, que són les parts per les quals el Sol sembla que passi (les dotze constel·lacions del zodíac)¹⁵.

¹⁴ Cf. per exemple, el capítol primer de L.W.Hull, *History and philosophy of science*, London, Longmans Green and Co, 1959.

¹⁵ El moviment aparent del Sol per l'eclíptica (aproximadament un grau cada dia) comporta l'endarreriment diari del Sol respecte del conjunt dels estels en 34

Aquest cercle imaginat de l'eclíptica conté, és clar, els llocs solars en els quals els solsticis i els equinoccis ocorren (en l'armil·lar l'anell 3 està soldat pels punts solsticials amb l'anell 4). Perquè aquestes parts es troben com a extrems de dues diagonals perpendiculars: independentment dels dies de l'any que cadascun dels quadrants suposa (quantitats que no són iguals), es garanteix una simetria per tractar-se en els solsticis del dia més llarg i del més curt, en els equinoccis dels dos dies amb un nombre igual d'hores diürnes i nocturnes.

Aquest cercle creua el pla de l'equador respecte del qual s'estableix l'obliquïtat (l'arc que pertany al colur solsticial més proper entre els dos).

3. L'anell de l'eclíptica instrumental.

Uns pivots zz s'encasten, ja s'ha dit, en l'anell 4, col·locats respecte dels pivots anteriors (xx) a la distància que assenyala l'obliquïtat de l'eclíptica.

En efecte l'anell 3 no es troba en el pla perpendicular a l'eix equatorial, i s'ha soldat a l'anell 4 de manera que, en l'hemisferi boreal, el solstici d'estiu es trobi més a prop del pol nord que el d'hivern.

Amb això es persegueix que l'eix que passa pels pivots zz , també s'ha dit, representi en els seus extrems, els pivots, els pols de l'eclíptica, és a dir, de l'anell 3.

Llavors l'anell 2 pot fer voltes sobre aquests pols (zz) com una moneda feta rodar de cantell.

Potser ja s'entreveu el funcionament de l'armil·lar. Hi ha una escala graduada per la part lateral de l'anell 3, en l'eix perpendicular del qual s'hi troba encastat l'anell 2, mòbil, que gira al voltant d'aquest eix, anell sempre perpendicular a l'anell 3. I amb un anell encastat 1, que llisca dins de 2, amb pínules i també amb una escala graduada en la part interna. En la mesura que un hom hagi col·locat bé l'anell 3 podrà llegir gràcies a l'anell 1, corregut oportunament l'anell 2, la latitud eclíptica¹⁶ (β) en l'anell 1, i la longitud eclíptica¹⁷ (λ) en l'anell 3.

Per tant cal situar correctament l'anell de l'eclíptica.

allò que sembla llur gir al voltant de la Terra d'est a oest (dia solar i dia sideri), en temps uns quatre minuts.

¹⁶ La distància angular des de l'eclíptica sobre el cercle màxim que passa pel pol de l'eclíptica i l'astre.

¹⁷ Avui dia és l'angle mesurat de l'eclíptica cap a l'est dels del punt Àries fins al cercle màxim que passa pel pol de l'eclíptica i l'astre. Tanmateix hom pot prendre d'altres punts de referència sobre l'eclíptica.

4. Com es troba la posició correcta de l'anell de l'eclíptica.

No es pot alinear l'anell de l'eclíptica instrumental amb la posició autèntica de l'eclíptica sense un objecte (el Sol, la Lluna, una estrella) que faci de referència.

Prengui's el Sol com l'objecte de referència. Llavors es pot seguir dos mètodes, que en el fons deuen ser el mateix.

Perquè – una vegada alineat l'anell 6 segons el meridià, girat d'acord amb la direcció del nord-sud dels pols equatorials, i mantingut sempre l'armil·lar així mentre es manipula els anells (solidaris) 3 i 4 – per a una posició del Sol hi ha sols una posició de l'anell que representa l'eclíptica on la superfície interior de l'anell es trobi completament en ombra, i on l'eclíptica instrumental coincideixi amb el pla de l'eclíptica. Llavors es pot dur l'anell 5 en una situació que es faci ombra sobre si mateix: la longitud del Sol es llegeix directament en l'anell de l'eclíptica. Car això és una conseqüència del fet que l'eclíptica és el cercle que recull totes les posicions del Sol al llarg de l'any deixant de banda el moviment diari. Per dir-ho així: en un dia el Sol sols pot modificar en un grau l'arc eclíptic recorregut.

En el cas que un hom ja sàpiga – abans de començar – la posició del Sol en un dia determinat pot fer girar l'anell 5 per l'escala graduada de l'anell 3 fins a la quantitat (traduïda en graus) del cas, i buscar llavors el Sol de manera que els dos anells ombregin respectivament les seves parts interiors (cf. *Almagest* V.1).

Fent això, i mantenint tal qual els anells 5 i 3, l'anell 2 pot girar-se longitudinalment anant a cercar un qualsevol astre – se sap doncs la longitud eclíptica –, i pot fer lliscar l'anell 1 tot mirant a través de les dues pínules, fins a trobar-hi la bona latitud.

Quan hi ha Sol no hi ha estrelles. I quan hi són, aquestes, no hi ha Sol. Per això convé de vegades disposar de les coordenades eclíptiques d'alguns estels (els anomenats estels de referència) per tal de fer amb aquestes el que dalt es digué del Sol: la fixació de l'autèntica eclíptica fent ús dels anells 5 i 3, i l'ús dels anells 2 i 1 per a les noves coordenades d'un altres astre (cf. *Almagest* V.1). Aquest fou el mètode amb què es compilà el catàleg d'estels en l'*Almagest* (cf. VII.4).

Tanmateix, com es determina les coordenades dels estels referents? Perquè la longitud d'un estel respecte del punt Àries s'obté per referència al Sol. Una solució rau a fer ús de la Lluna, simultània d'una

banda amb el Sol, d'una altra amb els estels. El procediment deu ser tan antic com el mateix armil·lar (¿potser d'Hiparc? Cf. *Almagest* V.5).

El mètode doncs per a trobar les coordenades dels estels de referència (els quals es troben prop del pla de l'eclíptica) – i que està exemplificat en l'observació de Regulus [α Leo] de 25 de febrer de 139 dC en l'*Almagest* – pot ser descrit així: abans de la posta del Sol l'alineja l'anell de l'eclíptica de l'aparell amb el Sol i es mesura (anell 2) la longitud eclíptica de la Lluna. Una vegada el Sol s'ha post s'alineja l'anell eclíptic amb la longitud trobada de la Lluna, corregida pel moviment de l'astre des de pas anterior i per la paral·laxi, i després (anell 2) es mesura les coordenades de l'estel. Després es troba la longitud eclíptica de l'estel referent per la suma de resultants, estel que pot servir per a catalogar d'altres estels usant-lo per a alinear l'anell eclíptic de l'aparell.

VI UN MODEL QUE INCLOU QUANTIFICACIÓ

Es pensa el que s'observa en l'accepció que el pensament pressuposa allò perceptiu que es pensa, i l'esforç de mirar no és aliè a un rerefons intencional (es mira també perquè s'ha pensat).

La geometrització comporta una simplificació dels elements perceptius i del pensament en profit de la claredat i de la preparació d'una circumscripció més cenyida dels afers, que es fa amb la quantitat.

Fet i fet cap dels aspectes heurístics introduïts no hauria estat eficaç per si sol sense els altres. Encara avui la millor filosofia de la ciència es troba en les paraules de Ptolemeu després de repassar els motius que portaren els antics a creure que els cels es mouen com una esfera (*Almagest* I.3): «el resultat fou que al començament abastaren la concepció abans esmentada sols des d'aquestes consideracions [el Sol, la Lluna, els estels]; però des d'aquestes, en llur investigació subsegüent, trobaren que qualsevol altra cosa s'hi trobava d'acord...». L'astronomia avança com un tot on se supleix i es completa la manera de dar-se quelcom i on els elements quantitativs ceneixen les relacions, permeten una rectificació del que no s'ajusta a la quantificació que s'hi espera; hi ha un estira-i-arronsa entre la globalitat del model, que inclou allò que també es quantifica, i una expressa quantificació.

Sense sortir dels paràmetres elementals en què aquests apunts es mouen: la cerca del meridià del lloc s'ha fet amb la convicció de la validesa del model, seguint patrons geomètrics i fent ús de quantificacions numèriques. La troballa de la latitud geogràfica demanava noves operacions amb instruments, i un tractament geomètric i numèric. La maqueta armil·lar permetria, a través d'un colur solsticial, el joc de l'anell eclíptic que, amb tots els errors de construcció i d'observació, lliurava l'arc entre el Sol i el punt Àries, és a dir, el punt mitjà de l'anell entre els dos solsticis. Tanmateix aquest punt astronòmic, que es determina solarment, es desplaça cada anys una mica seguint el pla eclíptic: el punt Àries i tots els signes del zodíac retrograden sobre l'eclíptica amb una velocitat de poc menys d'un minut l'any, es a dir, s'endarrereixen. En d'altres paraules: aquest cas ben conegut si més no des d'Hiparc il·lustra que el model permet correccions modèliques a través de l'observació que el pressuposa, correccions que tenen en la quantitat una expressió cenyida d'allò que es modifica, etc.

1. La determinació de la llargada de l'any per un càlcul entre equinoccis (o solsticis) i amb quin instrument fixar-los.

Una de les seccions apassionants de llegir de l'*Almagest* és la discussió de la llargada de l'any solar (*Almagest* III.1). Perquè s'esmenta que hi havia qui volia fixar l'any d'acord amb el retorn del Sol en el zodíac segons els estels fixos, o el seu retorn respecte del mateix equinocci o solstici. Hiparc en efecte ja havia descobert l'existència d'un moviment enrere molt lent dels estels fixos respecte de la revolució diària del primer moviment, cosa que ajudaria a entendre el desfasament del còmput de la durada de l'any (afectaria unes hores corresponents als diversos anys).

S'ha d'escollir el cercle – amb equinoccis i solsticis – de l'eclíptica (en la terminologia de Ptolemeu: «el cercle pel mig dels signes del zodíac» i d'altres expressions). Havent-hi dubtes sobre la llargada de l'any i de l'interval entre solsticis i equinoccis, que Ptolemeu està convençut que es poden vèncer malgrat els dubtes d'alguns, àdhuc del mateix Hiparc, repassa els temps observats per aquest d'alguns equinoccis de tardor i de primavera.

La ponderació de tot plegat esdevé molt interessant perquè el lector entreveu que Ptolemeu ja coneix per càlcul el temps d'algun equinocci (per exemple, ho podria fer comptant cap enrere l'hora de l'equinocci des d'algun equinocci més segur a partir de la llargada mitjana de l'any). Fet i fet els avalua tenint en compte l'acord entre si mateixos.

¿Amb quin instrument fixà Hiparc alguns d'aquests equinoccis? Se serví de l'anell de bronze situat el Pòrtic Quadrat d'Alexandria, on estava fixat permanentment en el pla de l'equador. «Se suposa que indica el dia de l'equinocci quan la direcció des de la qual s'il·lumina la seva superfície còncava canvia d'un costat a l'altre».

En efecte l'equinocci es troba en l'encreuament del cercle de l'equador i de l'eclíptica. Per tant ja sigui a través de l'esfera armil·lar o d'un anell equatorial l'ombreig total de l'interior d'aquest anell suposa que el Sol es troba justament en el punt Àries (o en el punt Balança).

Es fa aquí digne d'esment la insistència de Ptolemeu en la possibilitat d'error degut al fet d'estar l'anell mal col·locat o mal graduat, àdhuc fa un càlcul d'exemple: un error de 1/3600 part en el cercle màxim a través del pols de l'equador pot suposar una variació d'un quart de grau en longitud en l'eclíptica (que suposa una discrepància del voltant d'un quart de dia), etc.

La possibilitat d'error es troba arreu. Hiparc va voler calcular també la llargada de l'any a través dels eclipsis lunars: però les desavinences en els càlculs poden ser deguts al fet que es fixa l'eclipsi per la determinació d'algun estel, i aquest per la de la Lluna, i aquesta per la del Sol, que es fa des de l'equinocci. És a dir, ja suposa allò que sembla ser el més convenient de tenir en compte per a obtenir la llargada de l'any. «En general considerem un bon principi l'explicació dels fenòmens per les hipòtesis més simples en la mesura que no hi ha res en les observacions que lliuri un objecció significativa a un tal procediment».

Com cal trobar aquesta llargada, que es mou per damunt de 365 dies amb un excedent una mica menys d'un quart de dia? Agafant un interval suficientment separat en anys entre equinoccis iguals (o solsticis iguals), observats amb cura (n'agafa d'Hiparc, d'alguna escola més antiga i d'ell mateix), i dividint-ho pel nombre d'anys: així l'error es distribueix millor entre els anys, etc. Ptolemeu afegeix que els trobà amb un dels instruments que serviren per al càlcul de l'obliquïtat de l'eclíptica (cf. dalt): se sap directament els arcs que fan les ombres del Sol en els solsticis respecte de la vertical que passa pel zenit, per tant es pot saber quan el Sol es troba en un punt solsticial; d'altra banda llur semisuma lliura l'arc que fa el pla de l'equador respecte d'aquella vertical; cal sols marcar el lloc i esperar que l'ombra del Sol es trobi al migdia (pas pel meridià del lloc) en aquest punt: el Sol passa per l'equador, es troba en un punt equinoccial.

Amb les observacions d'altres i les pròpies estableix la llargada de l'any en 365;14,48 dies i fraccions sexagesimals del dia, i fa comanda que les aparents anomalies al llarg del moviment solar mitjà anual s'expliquin sense abandonar l'ús del moviment uniforme circular. Després calcula el moviment orbital mitjà del Sol en una hora, el diari, el mensual, el de l'any egipci, etc., i lliura unes taules d'aquell moviment per a més d'una hora, dia, mes o any.

Remarqui's la importància de pensar i de representar-se un model amb allò que s'observa, l'esfera celeste a partir del moviment diari dels astres, el pas del Sol pel zodíac a partir de moltes observacions, etc., amb l'afegit que se'l simplifica, se'l geometritza, se l'afigura a través de gràfics i de maquetes. I és des d'aquí que s'entén el sentit de l'ombrejat d'anells i del recorregut de les ombres solars.

Llavors cal comptar els moviments diaris i les hores com si fossin rellotges per a lliurar una quantificació que s'avingui al que significa com a any. Si el dia i l'any són tal qual esdeveniments no quantificables,

se n'hi compromet a través d'un qualsevol afer estàtic, com qualsevol altre rellotge, etc.

Al cap i a la fi un hom disposa de la possibilitat de repetir l'observació d'un equinocci o d'un solstici, de comptar de bell nou les quantitats de l'escala dels arcs, de refer els dies i les hores en l'any, ho pot contrastar, pot ajustar relacions, etc.

Arreu s'acompleix que l'aspecte quantitatiu no s'ofereix estrany als altres aspectes, sinó que es palesa com la manera d'ajustar les relacions dels afers astronòmics (observació i model van a l'una) a través del que ofereixen d'estàtic.

2. De les coordenades eclíptiques a les equatorials.

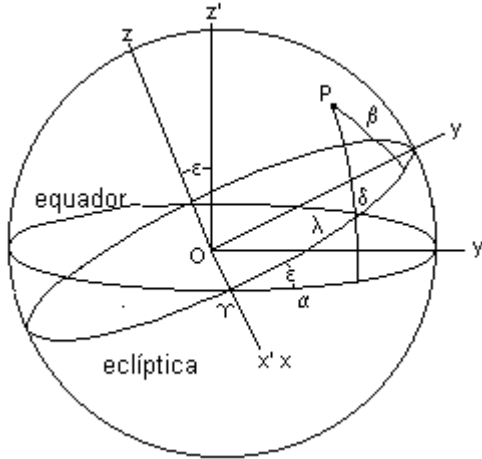
1. L'escala graduada de l'anell eclíptic, fixat pels solsticis a l'anell del color, permet de llegir-hi, amb l'ajuda dels altres anells quan calgui, la posició de l'astre respecte de l'arc que va des del punt on el cercle màxim que passa per l'astre i el pol de l'eclíptica instrumental troba l'anell eclíptic, fins a un punt fixat com a origen, el punt de l'encreuament de l'eclíptica amb l'equador celeste, en concret el de l'equinocci de primavera (punt Vernal o punt Àries). Es tracta, com ja s'ha dit, de la *longitud eclíptica* (λ).

En el cas de no trobar-se l'astre en el pla de l'eclíptica, llavors els anells 2 i 1 que li són perpendiculars en el punt que correspon a una longitud λ permeten de llegir-hi, gràcies a una nova escala graduada, la part de l'arc, més enllà de l'anell eclíptic, que cal girar l'anell lliscant 1 per a veure-hi bé l'astre a través de les pínules. Es tracta, també s'ha dit, de la *latitud eclíptica* (β).

Les coordenades eclíptiques permeten situar els astre, són les més presents en obres com l'*Almagest*, i a més a més són les més adequades per a estudiar els moviments relatius dels cossos del sistema solar.

Certament els antics també sabien calcular les coordenades equatorials.

2. Recordi's de primer què és la *declinació solar* i l'*ascensió recta solar*. La primera és simplement la distància angular, sobre el cercle màxim que passa pels pols equatorials, entre el Sol i l'equador, que agafa els valors de ε fins a $-\varepsilon$ creuant els punts equinoccials, on val zero (punt Àries i punt Balança). La segona mesura l'arc de l'equador des del punt Àries fins al punt que fa de peu del meridià que conté l'arc de la declinació del cas.



(imatge de *Celestial Mechanics* [mysite.du.edu/~jcalvert/phys/orbits.htm])

Assumit que el Sol es troba en el pla eclíptic es pot saber la seva longitud eclíptica λ (per observació, per una aproximació dels graus pels dies transcorreguts des de l'equinocci, d'una manera acurada atenent la comprensió del moviment solar); s'ha estudiat també l'obliquïtat de l'eclíptica (ε): per tant es pot extreure la declinació solar per triangles esfèrics ($\sin\delta = \sin\varepsilon \sin\lambda$). I des d'antic se n'ha fet taules (cf. *Almagest* I.15, que les calcula a través dels teoremes de Menelau).

L'ascensió recta solar (el temps de sortida de λ a *sphaera recta*¹⁸) esdevé fàcil d'assolir quan se sap la longitud solar (λ) i l'obliquïtat de l'eclíptica (ε): $\tan\alpha = \cos\varepsilon \tan\lambda$, segons els triangles esfèrics, etc.

3. La declinació (δ) i l'ascensió recta (α) són, en general, les coordenades equatorials d'un qualsevol astre enteses com la seva distància respecte de l'equador (sobre el meridià que passa per l'astre) i l'arc de l'equador des del punt Vernal a l'encreuament d'aquell meridià amb l'equador, respectivament.

¹⁸ És a dir, col·locat un hom en un pla perpendicular a l'equador celeste, l'arc de l'equador que creua l'horitzó amb un arc donat de l'eclíptica. Serà l'arc de l'equador necessari, resultant del gir de la Terra sobre el seu eix (o gir del cel), per tal que comenci a aparèixer l'arc considerat de l'eclíptica, i vagi fent fins que es mostra la seva darrera secció. D'aquí que es parli també de *sphaera obliqua* i d'ascensió obliqua en l'*Almagest* quan el pla horitzontal no és perpendicular a l'equador.

En l'*Almagest* el problema de trobar aquestes coordenades, aplicades a d'altres astres que el Sol, apareix (*Almagest* VIII.5) en connexió al problema de trobar la data de la culminació simultània del Sol i d'un estel donat, cosa que duu a la transformació de les coordenades eclíptiques a les equatorials (la culminació simultània suposa que es troben en el mateix meridià, per tant amb la mateixa ascensió recta: es domina ja la declinació solar, la longitud eclíptica solar, l'ascensió recta solar i l'obliquïtat de l'eclíptica, i les dades són les coordenades eclíptiques de l'astre que no és el Sol). L'*Almagest* ho resol com sempre a través dels teoremes de Menelau, i avui a través de les transformacions amb l'ús de triangles esfèrics (una aportació del període islàmic) o amb mètodes basats en la rotació dels eixos coordinats.

3. De les coordenades horitzontals a les equatorials.

La transformació de coordenades permet el pas de les unes a les altres, ja sigui – deixant Menelau – mitjançant l'ús de la trigonometria esfèrica o amb mètodes basats en la rotació dels eixos coordinats. Per tant un hom pot canviar les coordenades eclíptiques per les equatorials (o per les horàries), i aquestes per aquelles, igual que pot reeixir en la transformació de les horitzontals a les equatorials i a l'inrevés. De fet hi ha una certa fascinació en tot això, d'aquí que valgui la pena d'exemplificar-ho amb el canvi de les horitzontals a les equatorials per a gaudi del lector.

Una vegada més la manera eficaç d'establir les coordenades equatorials des del domini general dels triangles esfèrics palesa l'acreixement del paper que es lliura al pensament i, en conjunt, a la modelització al conjunt del saber.

Sigui com sigui és fàcil d'assumir, col·locat un hom en plena representació geomètrica, les següent transformacions de les coordenades horitzontals a les equatorials (dues lletres majúscules representen sempre arcs). Un hom observa l'astre a *A* des del pla horitzontal *DEWBF*, i llavors:

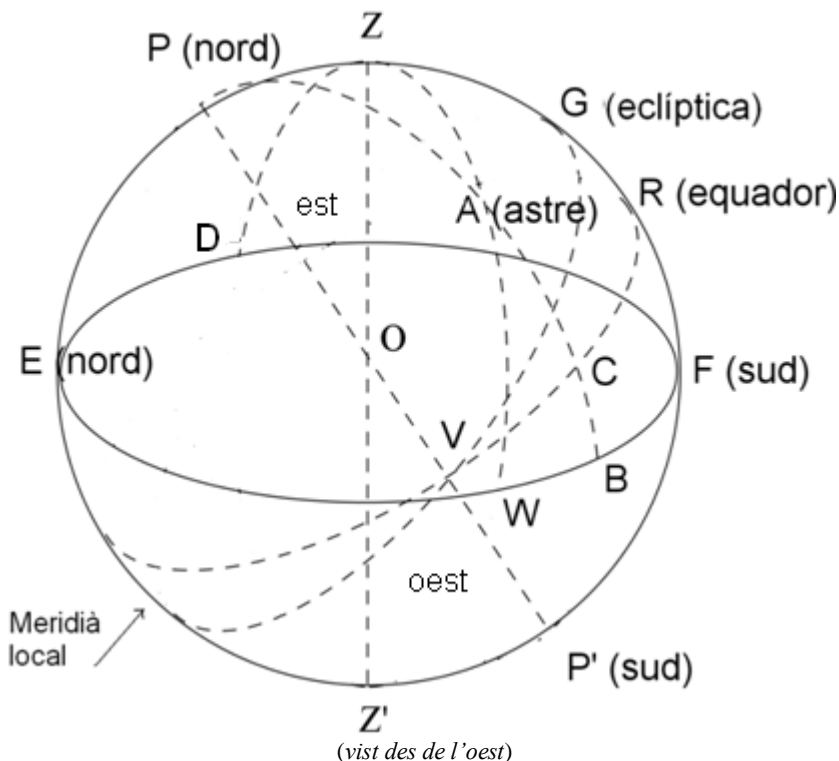
En el gràfic:

$$\begin{array}{ll} \overline{AW} = \text{altura} & \overline{AZ} = \text{distància zenital (complement altura)} \\ \overline{AC} = \text{declinació} & \overline{AP} = \text{distància polar (complement declinació)} \\ \overline{ZR} = \text{latitud del lloc} & \overline{PZ} = \text{colatitud (complement latitud)} \end{array}$$

\overline{RC} = horari de l'astre¹⁹ = angle \widehat{ZPA}

\overline{EW} = azimut = angle \widehat{PZA}

i angle \widehat{PAZ} (és l'angle de posició o paral·làctic)



¹⁹ L'angle horari H és l'angle mesurat sobre l'equador celeste cap a l'oest des del meridià local fins al meridià celeste que passa per l'astre: per tant angle (i hores) que varien amb el moviment diari.

Aquest angle sembla fàcil d'observar amb algun instrument una vegada s'ha fixat l'equador, el meridià local i un hom disposa d'algun cercle perpendicular al pla de l'equador que pugui girar sobre els pols d'aquest últim.

El seu avantatge rau que no cal perseguir el punt Vernal, mòbil en el cel, i per tant possibilita el fet de ser una coordenada més a mà.

D'altra banda l'angle horari del punt Vernal s'anomena temps sideri o hora sidèria.

Laavors des de la definició de l'ascensió recta d'un astre es dedueix que el temps sideri serà sempre la suma de l'angle horari de l'astre i de l'ascensió recta d'aquest mateix astre (l'ascensió recta del punt Vernal és zero).

A δ i H , se'ls considera el sistema de coordenades horàries.

Llavors la coneixença de l'azimut $[\overline{EW} = \widehat{PZA}]$, l'altura $[\overline{AW}]$, per tant de la distància zenital $[\overline{AZ}]$, i de la colatitud $[\overline{PZ}]$ – complement de la latitud ZR –, fa que es conegui dos costats i un angle del triangle esfèric PZA , i llavors es poden trobar els altres dos angles i l'altre costat pel teorema del cosinus. En efecte:

$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A$$

(A angle del triedre oposat al costat a).

En el present cas:

$$\cos \overline{PA} = \cos \overline{PZ} \cos \overline{AZ} + \sin \overline{PZ} \sin \overline{AZ} \cos \widehat{PZA},$$

Que lliura $\cos \overline{PA}$. Permutant angles i costats es troba l'altre costat i l'altre angle \widehat{ZPA} .

Es troba doncs \overline{PA} , complement de la declinació, i l'angle horari \widehat{ZPA} , que permet de calcular l'ascensió recta si es coneix el punt Vernal, se'n sap la seva hora, és a dir, el temps sideri.

Si es coneix la declinació, l'horari de l'astre i la latitud, se sap \overline{PA} , \widehat{ZPA} i \overline{PZ} , i aleshores es poden cercar els altres angles i costats, i es troba les coordenades horitzontals com s'acaba de fer.

En general el domini dels triangles esfèrics permeten moltes altres possibilitats coneguts alguns elements.

QUADERNS DE FILOSOFIA

1. *Sobre l'ús del mot 'bo'*, desembre 1997 [2^a edició juliol 2013].
2. *Què vol dir responsabilitat? Amb un annex sobre la llibertat*, abril 1998 [2^a edició març 2010, 3^a edició octubre 2012].
3. *Sobre les concepcions aritmetitzants dels nombres irracionals*, desembre 1998 [2^a edició març 2015).
4. *En quina accepció els grecs demostraren la incommensurabilitat?*, febrer 1999.
5. *Del discurs teòric*, juny 1999 [2^a edició març 2012].
6. *Dels temps i dels moviments elementals*, octubre 1999.
7. *Consideracions sobre el llenguatge del llibre X dels Elements*, febrer 2000.
8. *Sobre la subjectivitat*, maig 2000 [2^a edició novembre 2013].
9. *Sobre el principi de la moralitat*, desembre 2000 [2^a edició setembre 2008, 3^a edició juliol 2010, 4^a edició octubre 2012].
10. *Dotze notes a propòsit de la causa i de l'efecte*, març 2001.
11. *La proporció d'Eudox i la generalització de la proporció*, juny 2001 [2^a edició: maig 2007].
12. *Sobre la meditació fenomenològica fonamental de Husserl. Part primera: La tesi de l'actitud natural i la seva desconexió*, desembre 2001.
13. *Propostes en ocasió del cos i de les passions*, novembre 2002 [2^a edició: desembre de 2011].
14. *Anotacions marginals als Principia Mathematica newtonians*, maig 2003.
15. *L'originalitat del sagrat i la seva crítica (I)*, maig 2004 [2^a edició gener 2010, 3^a edició octubre 2014].
16. *L'originalitat del sagrat i la seva crítica (II)*, octubre 2004 [2^a edició gener 2010, 3^a edició gener 2015].
17. *L'originalitat del sagrat i la seva crítica (III)*, març 2005 [2^a edició gener 2010, 3^a edició març 2015].
18. *Sobre l'ús lingüístic en els límits d'acord amb l'obra de Cauchy*, desembre 2005.
19. *Sobre la meditació fenomenològica fonamental de Husserl. Part segona: Consciència i realitat natural*, abril 2006.
20. *Sobre la meditació fenomenològica fonamental de Husserl. Part tercera: La regió de la consciència pura i les reduccions transcendents*, setembre 2006.
21. *La qüestió nacional. Nous esborranys per a avui*, gener 2007 [2^a edició maig 2010].
22. *La llum i els colors. Unes aproximacions elementals*, maig 2007.
23. *Introducció a l'estètica. Esbossos d'una teoria de l'art i de la bellesa*, octubre 2007.
24. *Apunts de l'ús lingüístic per a la definició dels diferencials i de les derivades en Cauchy i Weierstrass*, febrer 2008.
25. *La saviesa, la fe i l'infinit*, juny 2008.
26. *A propòsit de la política, la democràcia i la justícia*, febrer 2009 [2^a edició: abril 2010].
27. *Resums de lògica i llenguatge*, maig 2009.
28. *El lògos de la ciència. Indicacions preliminars des de l'Almagest*, octubre 2009 [2^a edició: juliol 2015].
29. *El llibre El Callat de Joan Vinyoli i el referent ontològic*, abril 2010.
30. *Un exercici crític a propòsit de l'inconscient freudià*, setembre 2010.
31. *La unitat i el nombre. Una introducció a l'aritmètica*, abril 2011.
32. *La història, la bona nova i la conversió. Una recerca de filosofia*, juny 2011.
33. *Una realitat anticipada, la festa, la promoció d'un sí. Una recerca de filosofia*, agost 2011.
34. *Notes de lectura de filosofia de la ciència (Popper, Lakatos, Feyerabend)*, febrer 2012.
35. *Estudis sobre la comunicació. Llenguatge, acció comunicativa i nous mitjans*, agost 2012.
36. *Introducció a la geometria euclidiana. Apunts per a una filosofia de l'espai*, gener 2013.
37. *L'estudi de l'hermenèutica. La possibilitat d'experiència des dels escrits de filosofia*, setembre 2013.
38. *Temps i moviment. Una introducció a la cinemàtica*, gener 2014.
39. *La qüestió nacional. Annexos*, maig 2014.
40. *Tres exemples d'estètica. Aproximacions de filosofia de la ciència*, gener 2015.
41. *Una aproximació a la força. Estudis de filosofia de la ciència*, maig 2015.
42. *Comentaris de l'experiència sagrada en el Bagavad-Gītā*, octubre 2015.