

## TEMA 3

### **3. TYCHO BRAHE: EL FÈNIX DE L'OBSERVACIÓ**

#### **3.1 Biografia de Tycho Brahe**

#### **3.2 Aportacions astronòmiques de Tycho Brahe**

##### **3.2 a) L'astronomia de l'observació**

##### **3.2 b) El catàleg estel·lar**

##### **3.2 c) Estrelles i cometes**

##### **3.2 d) El model Thycònic**

---

### **3) THYCO BRAHE: EL FÈNIX DE L'OBSERVACIÓ**

#### **3.1) Biografia de Tycho Brahe**



Quadre de Tycho Brahe

Va néixer el 14 de desembre del 1546, a la ciutat danesa de Skane (en l'actualitat pertany a Suïssa). Per conveni del seu pare, va ser criat per el seu oncle, Jorhen Brahe, tots pertanyents a l'alta noblesa danesa. Als tretze anys va ingressar a la Universitat de Copenhagen on va estudiar Dret i Filosofia, i posteriorment s'orienta a les Matemàtiques i l'Astronomia. Però als disset anys, va observar una conjunció<sup>1</sup> entre Júpiter i Saturn, on va trobar errors de posició a les taules. Per aquest motiu es va plantejar realitzar mesures més precises.

A Dinamarca va passar tres anys, però es va traslladar a Alemanya per continuar els seus estudis. En aquesta última, d'orientació luterana, va entrar en contacte amb astrònoms del cercle de Melanchton, com Reinhold o Peucer, que tenien una actitud respecte el model de Copèrnic obertament instrumentista<sup>2</sup>.

L'any 1571, va tornar a Dinamarca, realitzant importants treballs en astronomia observacional. El fet es que només cinc anys més tard, Tycho Brahe va rebre un oferiment per part del rei danès Frederic II (que el seu oncle havia salvat de morir ofegat), consistent en construir un observatori astronòmic la illa de Hveen (situada entre Dinamarca i Suècia) i donar-li el que necessités per el desenvolupament del seu treball (rendes, terres...).

La tentadora proposta va ser acceptada de forma imminent, i a Hveen, es va aixecar un castell-observatori, denominat Castell del Cel, i més tard en van fer un

---

<sup>10</sup> La conjunció és la situació relativa de dos astres quan tenen la mateixa longitud.

<sup>11</sup> L'instrumentalisme és un corrent filosòfic que considera el seu pensament com un mètode per enfrontar-se a les dificultats, concretament aquelles que apareixen quan l'experiència immediata és interrompuda per el fracàs de les reaccions enfront a una nova situació.

altre més petit denominat Castell de les Estrelles. En aquestes edificacions, Brahe va disposar dels millors i majors instruments d'observació mai posseïts per un astrònom amb anterioritat de la invenció del telescopi com sextants, quadrants i rellotges molt precisos. A més, comptava amb una plantilla superior als 40 astrònoms que disposava al seu servei. Normalment, freqüentava molta gent i visitants de renom (fins i tot reis) i s'organitzaven grans festes on els licors abundaven.

Al castell tenia tots els serveis, com per exemple, una impremta per a la publicació dels seus escrits. Aquesta condició de magnífic privilegi, de la que amb tota seguretat va usar que fins i tot hi va abusar, es va prolongar al llarg de vint anys.

El seu protector, Frederic II, va morir l'any 1588 i el successor d'aquest, Cristian IV, va decidir posar fi nou anys més tard a una situació de malversació de fons, a la que el caràcter de Brahe era molt propici. Va abandonar l'illa de Hveen, l'any 1597 amb una enorme cort de familiars, ajudants, criats... a més dels instruments que es va poder emportar.

Poc més tard, un altre emperador, Rodolf II de Bohèmia, li va concedir el seu recolzament, i l'any 1599, ja el trobem instal·lat en un altre castell, aquest cop al de Benatek, a les afores de Praga. En aquest últim destí va acceptar com a ajudant a Johanes Kepler. Brahe va tenir una influència decisiva en la biografia intel·lectual de Kepler. Aquest va poder aconseguir, després de molta insistència, les taules d'observació de Brahe, i aprofitant la seva precisió va calcular les òrbites planetàries.

Brahe, va rebre el títol de matemàtic Imperial, i va romandre en aquest observatori fins la seva mort.

Va publicar algun llibre, més aviat curts manuscrits perquè es considerava astrònom i no escriptor, però mai es van arribar a publicar cap de les seves observacions durant la seva vida. Les últimes paraules que va dir (com va escriure Kepler) van ser: *"espero no haver viscut en va."* Brahe va fer prometre a Kepler (com a condició per a què Kepler heretés les observacions de Brahe), que el model astronòmic que creés no fos ni copernicà ni ptolemaic, sinó basat en el que va crear el mateix Tycho. Kepler no va respectar el desig del seu mestre, però gràcies a ell, va poder fer que el nom de Brahe quedés immortalitzat com un dels millors observadors pretelescòpics de la història.

Kepler va escriure els últims moments de la vida de Tycho Brahe:

*"El 13 d'Octubre, Tycho Brahe, acompanyat del mestre Minkowitz, va anar a sopar a casa de l'il·lustre Rosenberg i va retenir les seves aigües més allà del que exigeix la cortesia. Al beure més, va sentir que la tensió de la seva veixiga augmentava, però va posar l'educació per sobre de la salut. Quan va arribar a casa, no va ser capaç d'orinar.*

*Després de cinc nits sense dormir, seguia traient el seu aigua experimentant grans dolors. L'insomni va prosseguir, amb febre interna que desembocà en deliri i el menjar que menjava no el podia retenir. El 24 d'Octubre, va expirar pacíficament entre els consols, pregàries i llàgrimes de la seva gent."*

Va morir el 24 d'Octubre de 1601. Al ser un noble va ser enterrat a Praga en una cerimònia multitudinària. Cal dir, que tot el material astronòmic amb el qual havia realitzat les seves observacions va ser cremat en considerar-se obsolet.

### **3.2) Aportacions astronòmiques de Tycho Brahe**

Considerant la seva obra, Brahe va fer tres tipus d'aportacions diferents a l'estudi del cel:

- En primer lloc, cal destacar la contribució a l'astronomia de l'observació, fet que implica un augment de la precisió de les observacions a cop d'ull, i la modificació dels mètodes d'observació i dels propis instruments.
- En segon lloc, trobem una interpretació pròpia de Brahe sobre les seves observacions, culminades amb un sistema planetari propi; no té res a veure amb el de Ptolomeu ni amb de Copèrnic.
- Finalment, l'astrònom danès escriu uns arguments de caràcter físic que Brahe postula enfront el moviment de la Terra.

#### ***a) L'astronomia de l'observació***

L'objectiu de l'observació a l'antiga astronomia era conèixer la posició dels astres i la variació d'aquesta posició en un temps passat. El repte era preveure la futura posició dels planetes. Aquesta era l'única manera d'aconseguir un calendari que pogués permetre la divisió del temps de la manera més exacta possible.

Copèrnic, amb els seus instruments, tot i que no va fer moltes observacions, admetia un marge d'error de 10 minuts d'arc (si la circumferència té 360° i cada grau es pot dividir en 60 parts iguals a la que se'n denominen minuts). Cal tenir en compte que reduir aquest marge amb observacions a cop d'ull era complicat. Però quan Tycho Brahe va entrar en escena va reduir el marge d'error fins a un minut d'arc en el cas d'una estrella i d'entre un i dos minuts d'arc si ens referim als planetes.

Els aparells que va utilitzar Brahe no eren diferents als que va utilitzar astrònoms anteriors, tot i que va introduir alguna modificació. Les causes per les quals va aconseguir unes mesures tan precises són les següents:

- Va utilitzar uns instruments de grans dimensions. Les observacions pretelescòpiques, depenien estretament de les mesures de l'aparell; un error de mil·límetres en la posició de l'ull al tirar de la visual es traduïa en una desviació de diversos minuts d'arc en la posició de l'objecte observat.

Per aquest fet va construir, entre altres aparells, un quadrant<sup>3</sup> amb un radi de sis metres, un astrolabi esfèric<sup>4</sup> de cinc metres i mig de diàmetre i un

---

<sup>12</sup> El quadrant és un aparell de mesura d'angles, compost d'un quart de cercle graduat (90°), i dotat d'una obertura per poder dirigir visuals, que s'eleva verticalment sobre el pla horitzontal. Servia per calcular les altures sobre l'horitzó i l'angle comprès entre el meridià del lloc i el pla vertical on està la visual de l'objecte.

sextant<sup>5</sup> de quasi dos metres de radi. A causa de les grans dimensions dels aparells de mesura va haver de construir un segon observatori.

- En segon lloc, Brahe va concedir molta importància a la estabilitat dels objectes d'observació, mirant de protegir-los de qualsevol moviment vibratori procedent del medi on eren instal·lats. Alguns eren mòbils, però n'hi havia d'altres que eren fixos, de tal manera que era molt important la seva ubicació i no alterar les condicions de cadascun d'ells. Aquest aspecte el va portar fins i tot, a situar alguns dels seus instruments en llocs subterranis.
- A més, Tycho Brahe va inaugurar un mètode d'observació astronòmic: el continu. Fins aleshores la obtenció de dades s'havia efectuat de manera intermitent, és a dir, sense seguir el rastre d'un cos celeste en tot el temps i només en dies rellevats com una oposició, conjunció...

Com podem veure, la contribució de Brahe referent a la astronomia de l'observació va ser molt important. Anys més tard, la utilització d'un telescopi de molt escassa potència va permetre a Galileu descobrir cossos no visibles a simple vista. Però, respecte a tot el que va observar Brahe, aquest instrument no va introduir modificacions rellevants fins un segle més tard de la invenció del telescopi. Podem afirmar, que les observacions de Tycho Brahe representen la culminació de l'astronomia de l'observació anterior al telescopi.

A través de les observacions, Tycho Brahe es va adonar que les òrbites circulars, difícilment podien explicar el moviment real dels planetes. Tal com deia, creia que la Terra es trobava en repòs. A diferència de la resta d'autors realistes com Gilbert, Digges i Giordano Bruno, estava oposat al model cosmològic copernicà. Prova d'això, va crear el seu propi model cosmològic.

## ***b) El catàleg estel·lar***

Un dels treballs que va realitzar Tycho Brahe a Uraniborg va ser la construcció d'un catàleg estel·lar, de l'estil al que va realitzar Hiparc de Nicea utilitzat per Ptolomeu a *l'Almagesto*. Va adoptar l'equador com a cercle màxim de referència en l'esfera celeste, en lloc de l'eclíptica utilitzada fins a l'època. D'aquesta manera va introduir les coordenades celestes modernes, utilitzant l'ascensió recta i la declinació:

- L'ascensió recta la determina comparant les posicions de les estrelles i el Sol, utilitzant a Venus en lloc de la Lluna com a enllaç. La simplicitat del moviment de Venus li va permetre millorar els errors en ascensions de rectes estel·lars.
- Amb la declinació mesura la distància angular a l'equador celeste per la seva altura meridiana.

---

<sup>13</sup> L'astrolabi esfèric o armilar, simbolitzava a sí mateix l'esfera dels estels fixos, en la que figuren els grans cercles que serveixen com a referència per situar-les. Aquests cercles són l'horitzó, el meridià, l'equador celest, l'eclíptica, i els pols celests. Es caracteritza per tenir graduats els cercles de referència i per tenir un sistema per llençar visuals.

<sup>14</sup> El sextant és similar al quadrant (nota al peu de pàgina 1), però constava d'un sector de cercle graduat en 60°. Tant el quadrant com el sextant permetien establir mesures angulars.

En mesurar la latitud del seu observatori a Uraniborg va notar una diferència sistemàtica entre dos mètodes diferents: l'altura de l'estrella polar i l'altura màxima del Sol en els solsticis. La diferència era de 4' per la latitud. Tycho va interpretar correctament el fenomen com degut a la refracció atmosfèrica que fa que l'altura aparent d'un astre sigui major que l'altura real sobre l'horitzó. Tot i els seus errors (per exemple el fet de suposar que la refracció és nul·la per a altures majors de 45°) va ser el primer cop en abordar aquest problema en astronomia.



Observatori a Uraniborg, on va fer gran part de les

Les observacions de Brahe es troben agrupades en un catàleg de 777 estrelles i es troba incorporat al seu llibre *Astronomiae Instauratae Progymnasmata*. Comparant les seves observacions amb les realitzades per James Bradley a Greenwich, els errors de Tycho són 36'' inferiors en ascensió de recta i 39'' inferiors en declinació.

### c) Estrelles i cometes

Quan Brahe no havia complert encara el quinze anys, va quedar sorprès per un eclipsi solar. No només per la impressió que li va causar el fenomen, sinó per la capacitat dels astrònoms de l'època de poder predir-lo. Sembla que a partir d'aquest moment, el jove danès, es va començar a preocupar per l'astronomia llegint llibres i investigant per el seu compte.

Tres anys més tard va realitzar la seva primera aportació, al descobrir que la conjunció entre Saturn i Júpiter té lloc amb una diferència d'uns dies a diferència de les prediccions fetes a les taules astronòmiques (concretament les taules Prusianes), error que s'ampliava a un mes en el cas de les Taules Alfonsines. Aquest fet significava que les dades de les quals disposaven no eren suficientment precises i havien de ser millorades. En total va elaborar un catàleg d'unes vuit-centes estrelles que seria incorporat per Kepler a les noves taules Rodolfines l'any 1627.

L'onze novembre de l'any 1572, de cop i volta, va poder observar una estrella molt brillant que no s'havia vist fins aleshores, a la constel·lació de Casiopea. La brillantor d'aquesta nova estrella, superava fins i tot la del planeta Venus (s'havia arribat a veure al migdia). L'estrella va anar perdent lluminositat a principis de l'any 1573, desapareixent, finalment l'any 1574.

Aquest fet trencava amb la immutabilitat del món supral·lunar, pertanyent a la física Aristotèlica. Això volia dir que la regió compresa entre la Lluna i els planetes, no estava sotmesa a cap tipus de variació; els cossos celestes no sofrien cap tipus de variacions amb el transcurs del temps, ni començaven a ser, ni deixaven de ser ni alteraven les seves característiques pròpies. Un fenomen de l'estil, no s'havia vist a Europa des de l'any 125 a. C., observat per Hiparc de Nicea, però no se li va donar molta importància, al considerar-se com un succés atmosfèric.

Ara Brahe havia d'observar si el nou cos observat era un planeta, un cometa, una estrella... i per això va utilitzar un precís sextant amb un radi de 164 cm. Utilitzant com a distància relativa la distància de la nova a les estrelles de la constel·lació de Casiopea, va poder determinar que l'estrella no es movia respecte les demés, i que no existia cap tipus de paral·laxi estel·lar. En conclusió, va adonar-se que es trobava davant una nova estrella a la vuitena esfera, pertanyent a la capa d'estrelles fixes. Així, aquest nou fenomen va rebre el nom de *nova*.

Les noves són estrelles que ja existien anteriorment, les quals augmenten el seu lluentor a causa de la acumulació de heli en les capes externes i s'expandeix a major velocitat de poder ser continguda. L'estrella deixa anar una fracció de massa com a forma de gas, i és la causa principal per la qual augmenta la seva lluminositat.

Tot i que la nova estrella descoberta va rebre el nom de *nova*, realment, el que Tycho Brahe va observar era una supernova, amb unes característiques diferent a la nova. A la supernova es produeix una violenta i espectacular explosió. Aquest és un fenomen poc freqüent a la nostra galàxia i poc visible, però produeixen un augment de la lluminositat en factor de milers de milions. Els mecanismes que produeixen les supernoves es coneixen menys que el de les noves, sobre tot en el cas de les estrelles que tenen més o menys la mateixa massa que el Sol. Les estrelles que tenen molta més massa que el Sol, exploten en les últimes etapes de la seva ràpida evolució com a resultat d'un colapso gravitatori, quan la pressió creada per els processos nuclears dintre de l'estrella ja no pot suporta el pes de les capes exteriors.

L'altre fenomen observat va ser l'aparició d'un cometa el 1577. Evidentment, va comparar el paral·laxi del cometa quan aquest es trobava a prop de l'estrella Epsilon Pegasi. Això li va portar a establir el cometa en la cinquena esfera, i a rebutjar la teoria de que els cometes eren fenòmens atmosfèrics que succeeixen en el món subllunar (entre la Terra i la Lluna), ja que es trencava la teoria Aristotèlica de la immutabilitat del món supral·lunar. També va deduir que la trajectòria del cometa era secant a les òrbites celestes (creia que les òrbites dels planetes eren esfèriques) i la seva òrbita era ovalada.

Brahe no va reformar la física de l'època però va plantejar diversos interrogants. Per exemple, el problema dels motors planetaris; si els planetes no són arrossegats per orbites materials en rotació, perquè es mouen al voltant al centre del món?

També va deixar la porta oberta a reflexionar sobre la immutabilitat de la matèria dels cossos celestes.

Brahe facilita el camí a un Univers homogeni, en el qual no té sentit la divisió del món en dues regions distintes, el món suprallunar i el sublunar. Les noves afirmacions del fènix de l'observació (així és com l'anomena el seu deixeble Kepler), fetes a propòsit sobre estrelles i cometes necessiten un marc teòric diferent que començarà a construir-se en el segle XVII, amb Kepler, Galileu i Descartes.

#### *d) El model Thycònic amb un sistema geoestàtic i geocèntric*

Tycho Brahe va elaborar un sistema planetari, deixant la Terra immòbil perquè segons ell, els moviments que observem sobre aquesta, succeeixen de manera diferent a com ho farien en l'hipotètic cas de què aquesta rodés a gran velocitat en direcció a l'est, i a més es traslladés al voltant del Sol.

Tot i que sembla que Tycho Brahe fos un pas enrere en l'astronomia de l'època, cal dir que al segle XVI, encara es trobaven amb arguments suficients per oposar-se al moviment de la Terra. Per exemple, ens trobem amb l'absència del paral·laxi estel·lar (que havia observat molt Brahe) o motius religiosos.

L'argument físic era que l'única manera d'explicar el ràpid moviment de la Terra sense deixar enrere pedres, bales, ocells, núvols es postulava que tot es mou amb ella. Això vol dir, que a més del moviment que l'és propi, s'ha d'afegir el de la Terra. Uns dels principals problemes amb que es trobaven, era el següent: Si un cos perd el contacte amb la superfície terrestre, mentre aquest viatge per l'aire, res feia pensar que el cos podia conservar el moviment de la Terra.

Brahe considerava que Copèrnic havia augmentat les dimensions del cosmos de manera desmesurada i injustificada, únicament per poder defensar el moviment de la Terra i que hagués un paral·laxi estel·lar. A més, resultava impensable per l'època que el diàmetre de l'Univers fos dos mil vegades més gran que l'estimat per Ptolomeu.

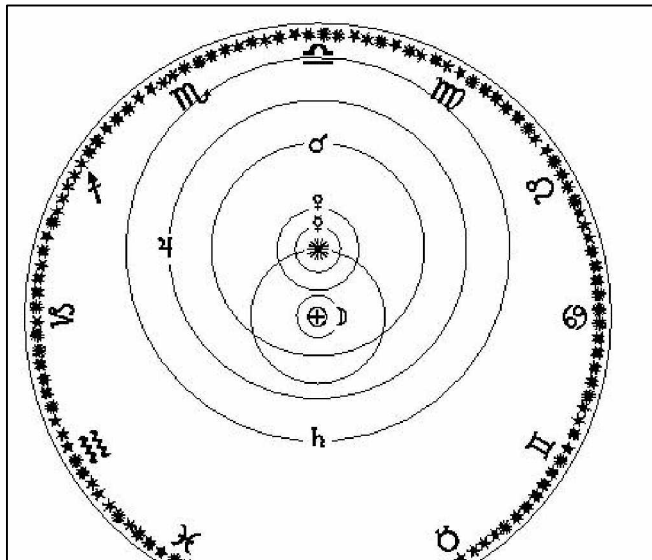
Va tenir una concepció geoestàtica del món (la Terra era el centre de l'Univers), però això no li va impedir que continués pensant que en la descripció del moviment planetari, agafa el Sol com a centre de les revolucions de les òrbites planetàries (menys de la Terra), perquè considerava que feien una millor descripció dels moviments.

En el sistema thycònic, els planetes segueixen tenint relació amb el Sol. A l'antiga Grècia ja es va formular aquesta hipòtesi. Els dos planetes inferiors, Mercuri i Venus, es mouren en un epicicle, en el qual el seu centre està el Sol. Alhora, el centre es movia fent un cercle deferent al voltant de la Terra. La resta de planetes exteriors, Mart, Júpiter i Saturn, giren al voltant del Sol.

Aquest model geocèntric està, probablement, en els orígens de l'astronomia Ptolemàica. Cal recordar que en el model de Copèrnic, cap planeta refereix el seu moviment a la Terra. D'aquesta manera perd la posició central i l'estat

d'immobilitat. La idea de Tycho Brahe era combinar un geocentrisme amb els moviments planetaris depenents del Sol.

La idea de posar la Terra immòbil en el centre de l'Univers ve donada a que Brahe té en ment la descripció d'un cosmos finit, esfèric i tancat. Com la Terra no fa el moviment de rotació descrit anteriorment per Copèrnic, és l'esfera de les estrelles la qual es desplaça diàriament cap a l'oest. El Sol i la Lluna fan un moviment anual i mensual al voltant de la Terra; en canvi els planetes ho fan al voltant del Sol.



Esquema on Thyco mostra el resultat del seu model de l'Univers amb el Sol girant al voltant de la Terra

Els moviments explicats anteriorment, permeten contrastar de manera satisfactòria les aparences celestes, postulant un número menor d'epicicles que el sistema de Ptolomeu. Però Brahe assegura un fet que també és important per a Copèrnic: la eliminació de l'equant. Des de Platò s'ha mantingut la uniformitat i circularitat dels moviments planetaris com a expressió de la seva estructura ordenada i racional. Els astrònoms no podien permetre's

cap tipus de llicència en aquest àmbit, sobretot en l'època renaixentista on els clàssics tenien molta importància. Aquest fet aproxima les posicions de Brahe cap a Copèrnic en detriment del pensament Ptolemaic, tal com explica Brahe en el següent text el seu pensament:

*"Considero que l'antic ordenament ptolemaic de les orbes celestes no era suficientment elegant i que resultava confusa la suposició de tants epicicles per explicar les aparences dels planetes respecte el Sol, les seves retrogradacions i estacions, així com part de la desigualtat aparent. Aquestes hipòtesis pequen contra els primers principis de l'art, perquè permeten el moviment circular uniforme no al voltant d'un cercle, sinó al voltant d'un altre punt que resultava ser un centre excèntric anomenat equant.*

*Al mateix cop vaig tomar en consideració la innovació recentment introduïda per Copèrnic, mitjançant idees similars a Aristarc de Samos amb les que evita aquestes coses incongruents del sistema de Ptolomeu i evita transgredir els principis matemàtics."*

Cal dir que aquest model astronòmic, matemàticament és equivalent al de Copèrnic. La determinació de les distàncies planetàries, les anomalies aparents dels planetes inferiors, així com altres noves harmonies que havien convençut a Copèrnic del moviment de la Terra, queden perfectament preservades al sistema de Tycho Brahe.

El sistema mixt proposat per Brahe, va ser concebut l'any 1583 (quaranta anys després de la publicació del *de revolutionibus*), tot i que el va publicar l'any 1588.

Aquest sistema va ser acollit per tots aquells que rebutjaven el moviment de la Terra, que en la majoria de casos, més que per convicció era per precaució. Altres dos autors van crear de forma independent al mateix temps un model molt semblant al de Tycho. Van ser Reymers Bär Ursus, y Helisaeus Roeslin. Brahe sempre va pensar que Ursus li havia robat la idea, però no n'hi ha proves de què això fos cert.

Tot i que l'obra de Tycho Brahe no va passar desapercibuda, no va frenar l'imparable procés de reforma astronòmica que va succeir al segle XVII, on Kepler, Galileu, Descartes i Newton, figuren entre els grans noms propis que van consolidar el copernicanisme, fent oblidar qualsevol altre sistema astronòmic.