

L'ASTRARI DE GIOVANNI DI DONDI (1380)

XAVIER JUFRE GARCIA
AGRUPACIÓ ASTRONÒMICA D'OSONA.

Paraules clau: *astrari, Ptolemeu, rellotge astronòmic, Giovanni di Dondi*

The Astrarium of Giovanni di Dondi

Summary: *The Astrarium built by Giovanni Di Dondi gives some information on the position in the sky in a Ptolemaic solar system of all planets known at his time (Venus, Mars, Saturn, Mercury, Jupiter, the moon and the sun). The Astrarium clock was completed in 1380. In this work there, appears a computer reproduction in 3D that reproduces its functioning.*

Key words: *astrarium, Ptolemeus, astronomical clock, Giovanni di Dondi*

1. L'univers ptolemaic

Ptolemeu descriu el seu model d'Univers al tractat d'astronomia *Almagest* i a les *Taules manuals*.

Les principals característiques d'aquest model són:

- L'Univers és esfèric i es mou com una esfera, girant al voltant d'un eix que passa pels seus pols.
- La Terra és esfèrica i situada al centre de l'Univers.
- La Terra no gira, es manté aturada, en cas contrari considera que es generarien greus fenòmens atmosfèrics.
- La Terra és tan petita enfront la immensitat de l'Univers, que la considera un punt.

- Els planetes coneguts són set i estan ordenats d'aquesta manera: Lluna, Mercuri, Venus, Sol, Mart, Júpiter i Saturn.
- El Sol, la Lluna i les estrelles es mouen d'est a oest seguint cercles paral·lels entre ells.
- Les estrelles i els planetes ni s'acosten ni s'allunyen de la Terra. L'increment de mida aparent que experimenten per a un observador, es deu a la humitat que desprèn la Terra, i que en deteriora la visibilitat.
- Les estrelles del firmament es mantenen fixes i equidistants entre elles.
- A l'Univers existeixen dos moviments que poden seguir els astres i els planetes:
 - a) Moviment d'est a oest de l'esfera última de les estrelles fixes, que és circular i uniforme, i les arrossega a totes descrivint cercles paral·lels entre elles.
 - b) Moviment propi de cada un dels planetes (inclosos el Sol i la Lluna), també circular i uniforme, o composició d'ambdós.

Ptolemeu aconsegueix crear uns models del moviment dels planetes coneguts i d'unes 1.028 estrelles, on en funció de la data i l'hora s'obté la longitud i la latitud referenciades a l'eclíptica.

Longitud eclíptica: Angle horitzontal per referenciar una posició, sobre el pla de l'eclíptica.

Latitud eclíptica: Angle vertical per referenciar l'altura d'una posició, situant els 0° en el pla de l'eclíptica.

El càlcul realment complex és el de la longitud, la latitud s'obté en funció d'aquest valor.

Ptolemeu concep un model de moviments celestes de manera que pugui ser reproduït mecànicament i no sigui tan sols una idea o teoria.

Influenciat per Aristòtil, Ptolemeu creu que les trajectòries dels cossos celestes han de poder descriure's amb moviments circulars uniformes, però un observador situat a la Terra veu que els planetes tenen moviments retrògrads, és a dir, canvien el sentit del seu moviment quan es desplacen pel firmament; a més a més, les seves velocitats tampoc no es mantenen constants.

Per poder modelar els moviments dels planetes utilitzant cercles amb velocitat constant, Ptolemeu utilitza una construcció geomètrica composta d'epicicles, deferents i equants (composició de moviments circulars, vegeu figura 8).

2. Epicicles, deferents i equants

Cada planeta es mou recorrent a velocitat constant un epicicle, que és un cercle de petites dimensions.

El centre d'aquest epicicle es mou recorrent el perímetre d'un altre cercle anomenat deferent.

El centre d'aquest deferent està desplaçat longitudinalment respecte de l'autèntic centre de la construcció que equival al centre de l'Univers, és a dir, la Terra. Aquest desplaçament és el que s'anomena primera excentricitat.

La velocitat angular del centre de l'epicicle recorrent el perímetre del deferent no és constant respecte del centre del deferent, però sí que ho és respecte d'un altre punt anomenat equant.

L'equant es troba en posició simètrica (oposada) del centre del deferent respecte de la Terra (centre de l'Univers). Aquesta distància entre la Terra i l'equant és el que s'anomena segona excentricitat.

Així doncs, Ptolemeu calcula per a cada planeta:

- El radi i la velocitat angular del moviment epicíclic.
- El radi del deferent.
- La primera excentricitat per situar el centre del deferent.
- La segona excentricitat per situar el centre de l'equant.
- La velocitat angular del centre de l'epicicle recorrent el perímetre del deferent.
- La disposició dels centres seguint l'ordre «Terra-deferent-equant».

Existeixen les següents particularitats contemplades en el model de Ptolemeu:

- La Lluna té una elongació respecte de l'eclíptica del Sol.
- El Sol no té epicicle ni deferent.
- Mercuri necessita que el centre real del deferent sigui un punt que gira al voltant d'un cercle, amb centre al deferent convencional. A més a més, la disposició de centres segueix l'ordre «Terra-equant-deferent» (vegeu la figura 8, epicicles, equants i deferents; en vermell es mostra la trajectòria d'un planeta (cercle groc), com una combinació del moviment epicíclic, afectat de la rotació al voltant del perímetre del deferent, i amb velocitat angular referida a l'equant. Un observador situat a la Terra, observarà canvis de velocitat i retrogradacions del planeta).

3. L'Astrari de Giovanni di Dondi

La primera evidència de l'existència d'un rellotge mecànic data de l'any 1335, referida al rellotge construït per Guglielmo Zelandino, instal·lat en una torre de l'església de Sant Gottardo a Milà. Passat poc temps, es construeixen aparells similars a Mòdena (1343), Pàdua (1344) i Monza (1347).

El rellotge de Pàdua va ser construït per Jacobbo di Dondi. El seu fill Giovanni va dissenyar l'Astrari, considerat la joia de la mecànica medieval d'Occident.

L'Astrari era un rellotge astronòmic, mostrava l'hora en una esfera de 24 particions, i els moviments celestes dels set astres coneguts segons el model ptolemaic (Sol, Lluna, Mercu-

ri, Venus, Mart, Júpiter i Saturn). Curiosament, i fet gens habitual, Giovanni va deixar un manuscrit, anomenat *Planetarium*, on descriu el procés constructiu de l'Astrari, i que ha permès els complicats processos d'interpretació i de reconstrucció d'algunes rèpliques actuals de l'Astrari. Aquest manuscrit també s'acompanya d'un lligall amb instruccions per realitzar nombrosos ajustaments per aconseguir un millor funcionament del rellotge.

4. Història de l'Astrari

Giovanni di Dondi va començar a dissenyar l'Astrari cap al 1365 a Pàdua, i el va acabar el 1380. A causa dels conflictes polítics es desplaça a Pàvia, emportant-se l'Astrari. És en aquesta ciutat on el dona a conèixer generant l'admiració de la gent. Sembla que l'Astrari necessitava tot sovint de reparacions i ajustaments, i no anava mai gaire bé, i es va mantenir així fins que se'n perd la pista.

El 1530, Carles V fou coronat a Bolònia. El governador de Milà, coneixedor de la gran afició que tenia l'emperador pel que fa a tota classe de ginys mecànics, i molt especialment pels rellotges, decideix regalar-li l'Astrari, tot i que aquest feia temps que estava avariats. A partir d'aquest moment se li perd definitivament la pista.

5. Descripció de l'Astrari

L'Astrari era una torre poligonal d'un metre d'alçada aproximadament, on s'hi diferenciaven dos cossos. El cos inferior que ocupava 2/3 parts de l'alçada de l'Astrari, contenia el mecanisme general de rellotgeria i una esfera de rellotge de 24 hores. El cos superior era un prisma de set cares, i cada una d'elles contenia la representació mecànica, amb engranatges independents, del moviment celeste (longitud sobre l'eclíptica) d'un dels astres coneguts.

6. Manera com Giovanni di Dondi reproduïx mecànicament els moviments dels astres, i que es reproduïx a l'animació informàtica tridimensional

Ptolemeu defineix per a cada astre:

- Radis dels epicicles i deferents.
- Excentricitats dels deferents i equants.
- Velocitats angulars dels moviments de rotació de l'astre seguint el perímetre de l'epicicle, i del centre de l'epicicle respecte del punt equant.
- Particularitats de la Lluna i Mercuri, excentricitats dels centres dels seus deferents amb moviment giratori.

D'aquesta forma exposa les dades necessàries per definir, i poder reproduir mecànicament, el model d'univers que proposa.

Giovanni di Dondi respecta les indicacions de Ptolemeu, i reproduïx mecànicament tan bé com sap els moviments que defineix. Per veure amb detall com Giovanni di Dondi im-

plementa les indicacions de Ptolemeu, al pla mecànic, en el seu Astrari, prenem com a exemple el cas de Mercuri.

1. *Situació de la Terra*: En una de les set cares de l'Astrari, ubica un punt fix «T», que simbolitza la Terra.

2. *Situació de l'equant*: Col·loca un disc, excèntric respecte del punt fix «T», obligant-lo a girar respecte del seu centre amb l'ajuda d'un engranatge que l'impulsa per la corona. L'engranatge i el disc equant tenen els diàmetres precisos per aconseguir la velocitat angular de gir de l'equant que Ptolemeu indica. El centre de l'equant és el punt fix «E».

3. *Situació del deferent*: S'ubica un punt fix «D», que serà el centre del deferent, excèntric respecte de «T» i «E».

4. *Barra deferent-epicicle*: Mercuri disposa d'un centre real del deferent «DR», que gira al voltant de «D», així doncs, es col·loca un disc a «D», de radi l'excentricitat d'aquest moviment (disc DR). El «disc DR» engrana amb el moviment de l'equant, de manera que, jugant amb els diàmetres dels engranatges, s'aconsegueix que el «disc DR» reproduïxi el gir de «DR» respecte de «D».

El centre de l'epicicle «C» s'ha de mantenir a longitud constant del centre «DR», es col·loca la «barra deferent epicicle», que en un extrem té fixat el centre de l'epicicle «C», i en l'altre hi ha una corona que s'abraça al «disc DR».

L'epicicle es construirà amb una corona dentada.

5. *Barra equant*: Solidàriament fixa a l'equant, se situa la «barra equant», que actua com un radi de l'equant, però aquesta barra porta trepat un solc, on s'ubicarà la unió entre el centre de l'epicicle «C» i la «barra deferent epicicle».

El centre de l'epicicle «C» serà arrossegat per la «barra equant», lliscant el centre de l'epicicle dins el solc de la «barra equant», ja que els centres de gir de la «barra equant» i de la «barra deferent-epicicle» són diferents. Apareix un moviment relatiu entre peces.

6. *Tren d'engranatges*: Per aconseguir fer rotar l'epicicle, se situa un tren d'engranatges a sobre de la «barra deferent-epicicle», i un engranatge fix «EF» a sobre del «disc DR».

El tren d'engranatges engrana amb l'engranatge fix «EF», d'aquesta manera, en desplaçar-se la «barra deferent-epicicle» arrossegada per la «barra equant», tot el tren d'engranatges pren moviment. Finalment s'engrana el tren d'engranatges amb l'epicicle (que disposa d'una corona dentada), prenent l'epicicle moviment rotatori respecte del seu centre «C».

El tren d'engranatges serà tal que transmeti a l'epicicle la velocitat angular que defineix Ptolemeu. Alguns d'aquests engranatges van necessitar ser lleugerament ovalats, segurament amb aquest perfil Giovanni també compensava la dificultat que suposava l'existència d'un centre de deferent excèntric «DR», que provoca que la distància «C»-«DR» no sigui constant.

7. *Planeta i indicació de la longitud de l'eclíptica*: Se situa un punt en el perímetre de l'epicicle «P», que simbolitza la posició, en aquest cas, de Mercuri.

Finalment s'instal·la l'«agulla de planeta», peça que consisteix en una barra amb un cap centrat en «T» (no és una unió fixa, permet la rotació com la d'una busca de rellotge), i un solc en el qual s'ubicarà el punt «P», pel qual es podrà desplaçar. El punt «P» arrossegarà tot fent el seu moviment l'«agulla de planeta», que indicarà sobre una corona exterior la longitud del planeta sobre de l'eclíptica.

8. *Fixació final de totes les peces*: Totes les peces descrites fins aquest moment s'han de fixar de manera que no es desprenguin de la seva posició. Amb aquesta finalitat es col·loquen les «barres de sustentació» en forma de creu.

7. Representació informàtica tridimensional

Com que no pot reproduir-se l'animació sense l'ajuda de l'ordinador, on s'observa el desplaçament del quadrant de Mercuri i el seu funcionament, es presenten imatges d'aquesta animació.

Bibliografia

DORCE, C. (2006), *Ptolomeo. El astrónomo de los círculos*, Tres Cantos, Nivola libros y ediciones.

GINGERICH, O. (2005), «Astronomía islámica: Investigación y Ciencia», *Temas*, **41**, 40-50.

GIOVANNI DI DONDI (1380?), *Planetarium*, reproduccions de làmines en diversos mitjans d'internet.

KIAULEHN, W. (1959), *Los Ángeles de Hierro*, Barcelona, Editorial Labor.

POULLE, E. (2005), «El Astrario de Giovanni Dondi: Investigación y Ciencia», *Temas*, **41**, 67-71.

STRANDH, S. (1982), *Máquinas, una historia ilustrada*, Madrid, Herman Blume Ediciones.

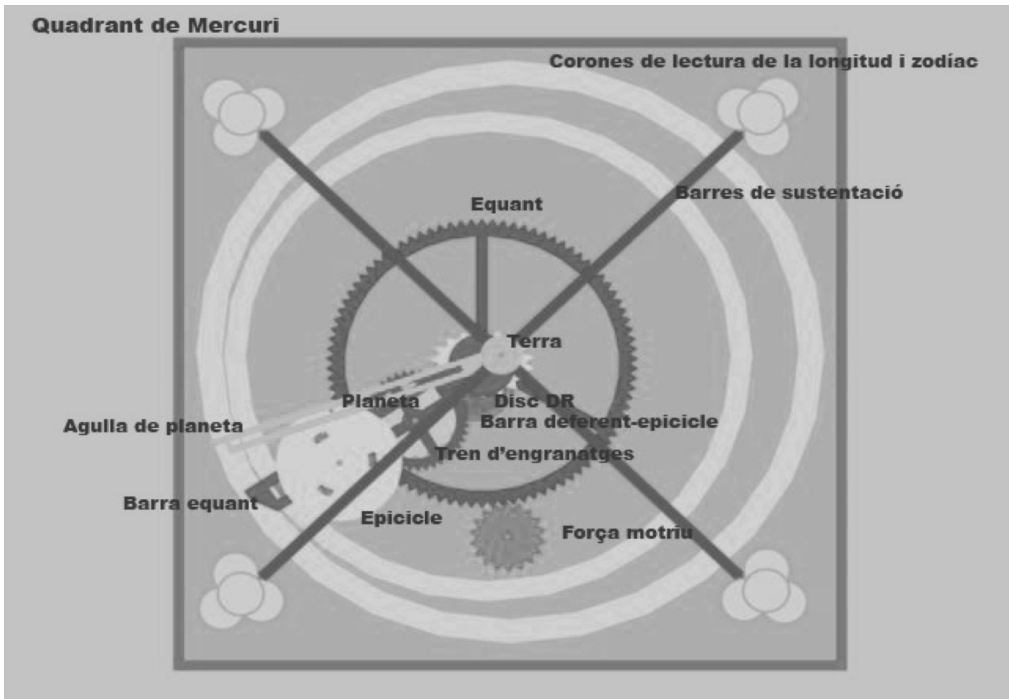
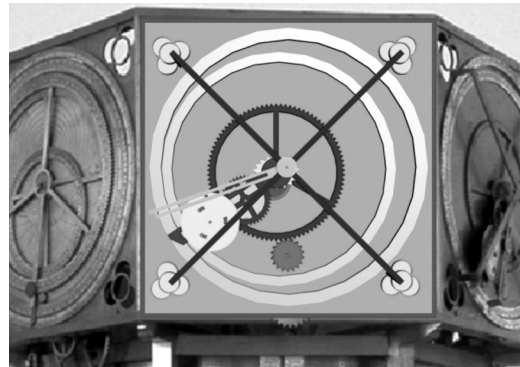
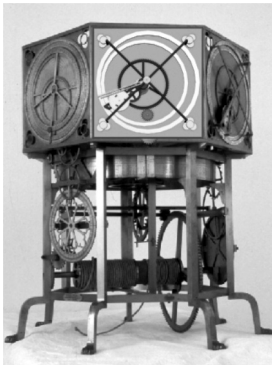
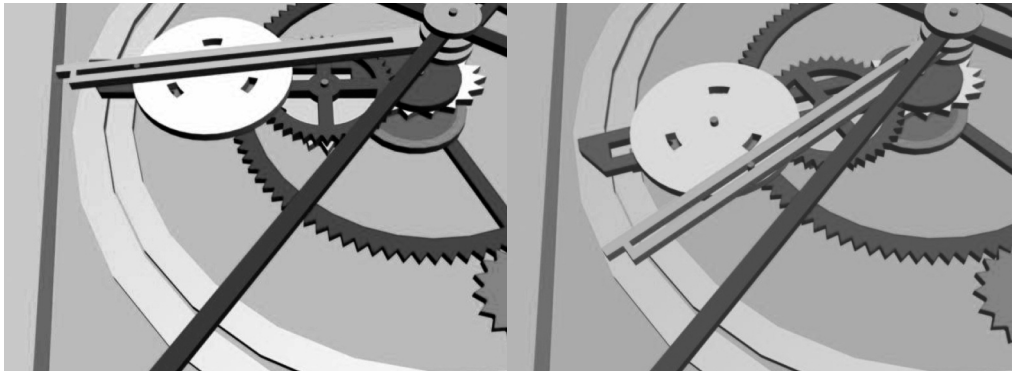


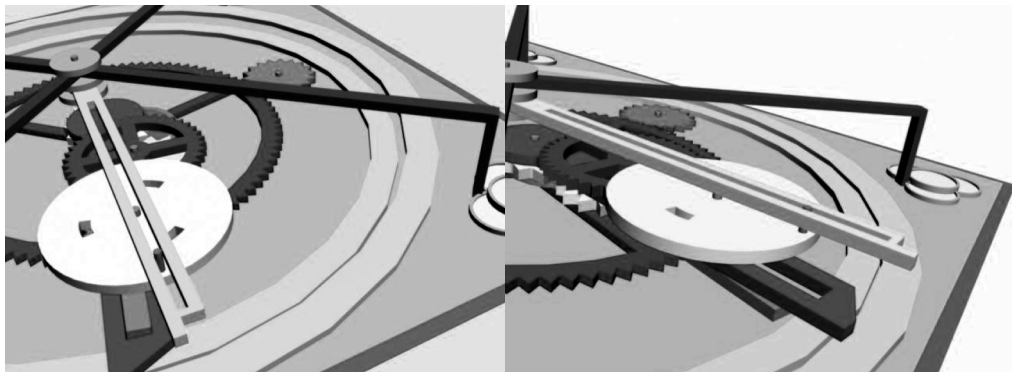
Figura 1. Elements que formen l'esfera de Mercuri.



Figures 2 i 3. Reconstrucció de l'Astrari amb una reproducció informàtica de la cara de Mercuri.



Figures 4 i 5. Diferents instants del funcionament de l'Astrari.



Figures 6 i 7. Diferents instants del funcionament de l'Astrari.

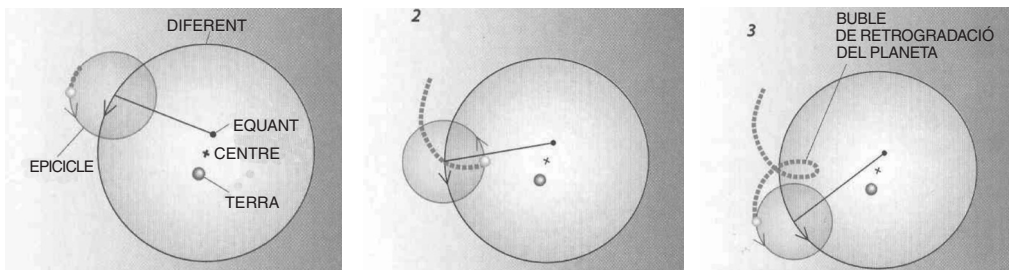


Figura 8. Representació del sistema d'epicles, equants i deferents.