

UNA MIRADA ALS ASTRES DEL CEL



GLORIA

Global Robotic Telescope Intelligent Array

Photos A. Gómez - E. González

Edited J.C. Casado

LEONARDO CASADO

«L'home és un pedaç de l'Univers fet vida.»

Ralph W. Emerson, filòsof i escriptor nord-americà.

ÍNDIX

1. INTRODUCCIÓ	1
2. L'ASTRONOMIA	3
3. HISTÒRIA DE L'ASTRONOMIA	4
4. EL NOSTRE SISTEMA SOLAR	9
4.1. La nostra estrella	9
4.2. Planetes del Sistema Solar	9
5. ELS MOVIMENTS ORBITALS DELS ASTRES	11
5.1. Principis matemàtics previs.....	11
5.1.1. Excentricitat	11
5.1.2. Seccions còniques (l'el·lipse).....	12
5.2. Principis físics previs.....	14
5.2.1. Lleis de Kepler	14
5.2.2. Llei de la Gravitació Universal de Newton	17
5.2.3. El moviment angular	21
• Circumferències	21
• El·lipses	23
5.3. Inclinació orbital	24
5.3.1. Importància de la inclinació orbital.....	24
5.4. Dades orbitals dels astres del Sistema Solar	25
6. PRÀCTICA: OBSERVACIÓ DEL MOVIMENT DELS PLANETES DES DE LA TERRA	26
6.1. El Geogebra	26
6.2. Representacions amb el Geogebra	26
6.3. El moviment retrògrad dels planetes	28
6.4. Simulació del Sistema Solar.....	30
7. ASTRONOMIA DE POSICIÓ	33
7.1. Principis bàsics.....	33
7.2. Coordenades esfèriques.....	33
7.2.1. Projectió d'un punt	34
7.2.2. Línies imaginàries	35
8. LA VOLTA CELESTE	37
8.1. Vista de les estrelles segons la posició terrestre.....	38
8.1.1. Des dels pols de la Terra	38

8.1.2. Des de l'equador	39
8.1.3. Des dels tròpics del nostre planeta.....	39
8.2. La declinació d'una estrella	40
8.2. Relació entre la latitud i la declinació d'una estrella.....	41
9. PRÀCTICA: BUSQUEM UNA ESTRELLA QUE ES VEGI EN TOTA LA SEVA TRAJECTÒRIA A FIGUERES, PERÒ QUE NO SIGUI TOTALMENT VISIBLE A LA CATALUNYA DEL SUD	44
9.1. Procediments	45
9.1.1. Busquem una estrella amb el <i>Cartes du Ciel</i>	45
10. CONCLUSIÓ	48

1. INTRODUCCIÓ

Sempre m'ha agradat l'astronomia. Des del primer cop que vaig estudiar-la a l'escola, m'ha fascinat l'Univers que ens envolta i trobo que és increïble l'harmonia amb què es mouen tots els cossos celestes. Per això, quan em va tocar elegir el tema del treball de recerca, després de pensar-m'ho molt vaig decidir triar una matèria relacionada amb l'estudi del cosmos. Tot i que no vull encaminar la meva carrera futura cap a aquest àmbit, tenia ganes d'ampliar els meus coneixements astronòmics, entendre els conceptes i posar-los en pràctica.

Els meus objectius en aquest treball són tres:

El primer, entendre com es veuen els cossos celestes des de la Terra. Dins dels astres de l'Univers, m'he centrat en estudiar dos tipus en concret: d'una banda, m'he interessat pels planetes, que es troben relativament a prop nostre. En aquests càlculs, entendre el moviment de translació de la Terra i el dels altres planetes, ha estat vital per poder analitzar com es veuen aquests respecte a la vista terrestre. D'altra banda, he investigat el recorregut aparent que realitzen les estrelles al nostre cel. Com que les distàncies que separen els estels i el nostre planeta són descomunals, aquests astres estan fixos quant a la nostre visió i la importància del seu moviment aparent recau en el moviment de rotació de la Terra.

El meu segon propòsit consisteix a posar en pràctica tots els coneixements apresos i observar com es veuen els astres des del nostre planeta. El meu treball de camp comprèn l'elaboració d'unes simulacions del nostre sistema planetari i problemes resolts matemàticament per aplicar els conceptes teòrics.

Finalment, la meva última finalitat és la comprensió general del treball per part dels lectors, de manera que una persona que no estigui familiaritzada amb els coneixements físics i matemàtics pugui entendre el que estic explicant.

Per conduir aquest projecte em baso majoritàriament en la via matemàtica i el càlcul. Utilitzo, sobretot, moltes equacions numèriques i una gran quantitat de gràfics. També considero important fer recerca sobre una part més teòrica i general de l'astronomia, així com una explicació raonada dels principis més bàsics. Disposo de nombroses fonts d'informació a les quals recórrer, com ara l'Internet, llibres sobre la temàtica, matèria apresada a l'institut i, fins i tot, dues tutores matemàtiques que em poden proporcionar una gran ajuda.

2. L'ASTRONOMIA

L'astronomia és la ciència que estudia els cossos celestes i objectes astronòmics que existeixen i formen el nostre Univers: els descriu, analitza la seva composició, investiga la relació entre ells, en determina l'evolució al llarg del temps, defineix el seu moviment i els fenòmens lligats a ells.

Branques de l'astronomia

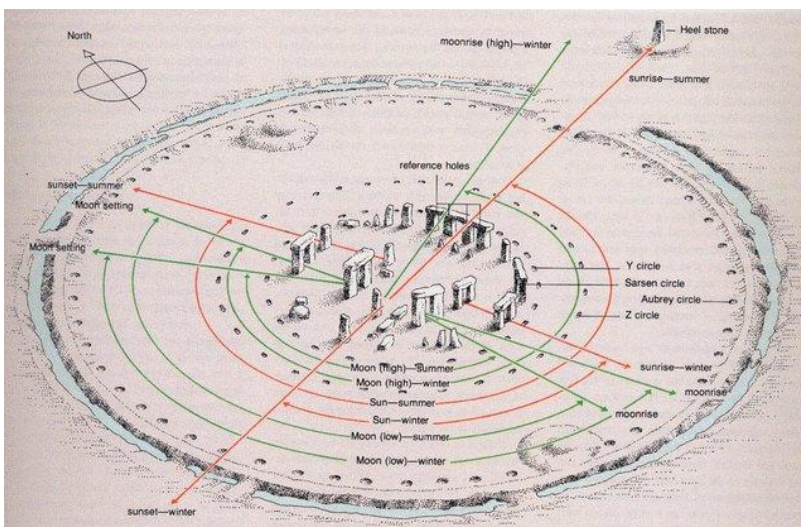
L'astronomia es divideix en diferents branques, segons l'objecte d'estudi, la tècnica utilitzada i l'aspecte que es vulgui estudiar. Les especialitats astronòmiques en què em centro en el meu treball són dues:

- **Mecànica celeste:** Estudia el moviment de tots els cossos celestes que formen l'Univers i les relacions entre ells.
- **Astrometria o astronomia de posició:** Defineix la posició i el moviment dels cossos celestes respecte a la posició i moviment aparent que tenen vistos des del nostre planeta.

3. HISTÒRIA DE L'ASTRONOMIA

En la prehistòria, l'ésser humà es fixava en el Sol, la Lluna i les estrelles i era conscient de fenòmens astronòmics com els equinoccis, els solsticis i els eclipsis. Algunes pintures rupestres trobades de l'època han demostrat que ja aleshores l'home havia començat a veure figures al cel, ja que pintava constel·lacions com l'Óssa Major i l'Óssa Menor. Altres troballes, com ara gravats fets a la roca, demostren que es fixaven en les estrelles i l'evolució dels astres al cel.

El monument més famós de tota la Prehistòria -i que encara és un misteri- són els antics megàlits de Stonehenge. Aquestes roques, disposades d'una manera especial, permeten apuntar la direcció en què surt el Sol durant els solsticis o equinoccis. Fins i tot, establir el recorregut que realitza la Lluna en determinats moments de l'any. Els càlculs que van efectuar els nostres avantpassats per construir els megàlits, indiquen que en l'època prehistòrica, l'astronomia ja existia com a ciència.



[3.2] Els megàlits de Stonehenge.

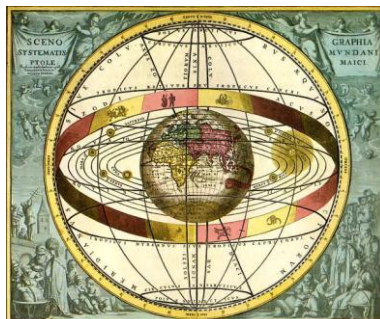
[3.1] Des del centre de la circumferència, es pot veure el Sol sortir en la direcció de la roca allunyada (Heel Stone) el dia del solstici d'hivern.

L'astronomia es va cultivar molt en l'Edat Antiga. Mil·lennis abans de Crist, els egipcis van elaborar un calendari molt precís basat en el moviment del Sol, la Lluna i l'estrella Sothis. En l'antiga Mesopotàmia, també es va crear un calendari bastant exacte, determinat pels cicles lunars, que, fins i tot, podia predir els eclipsis amb bastant precisió. A més a més, els

mesopotàmics van deixar a les futures generacions uns instruments molt útils i elaborats, dedicats a l'astronomia de posició. L'Orient xinès també va ser un dels llocs més avançats en l'astronomia. D'aquella edat daten catàlegs d'estrelles i constel·lacions, juntament amb instruments semblants als dels mesopotàmics. Per part de l'Índia, també van crear un calendari indi molt precís i van avançar en l'astronomia de posició.

Al segle VI abans de Crist, en la Grècia antiga va sorgir la "Ciència hel·lènica", aquella en la qual els investigadors s'esforçaven per trobar la veritat a través de la raó. En aquell temps es va atribuir a la Terra una forma plana i horitzontal, coberta per la cúpula del cel i els altres astres. Aquest model va ser proposat per Anaximandre, un savi de Milet molt conegut. Més tard el famós Pitàgores va crear una escola de filosofia, on també es tractava l'astronomia. Aquest gran filòsof va ser el primer de suggerir que el nostre planeta es tractava d'una esfera, igual que tots els altres astres. Tanmateix, la teoria geocèntrica no va ser proposada fins que Èudox de Cnidos, matemàtic i deixeble de Plató, la va formular amb càlculs matemàtics força verídics. Tots aquests fets van succeir entre els segles VII i el IV abans de Crist. A partir de llavors, es va creure que la Terra era el centre de l'Univers, i que tots els astres giraven al seu voltant.

Poc després que la ciutat d'Alexandria fos fundada l'any 332 abans de Crist, es va crear la famosa Escola d'Alexandria, el primer centre d'aprenentatge que va formar veritables astrònoms. El matemàtic Aristarc, un pitagòric, va ser el primer de proposar la teoria heliocèntrica, segons la qual tots els astres giraven al voltant del Sol, si bé en aquella època tothom la va rebutjar. Destaca també Erastòtenes de Cirene, que va esbrinar amb molta precisió les dimensions de la Terra, tot basant-se en la inclinació dels raigs del Sol i els meridians.



[3.3] Teoria geocèntrica, on la Terra és el centre de l'Univers.

Al segle III abans de Crist, es van fer nous descobriments. Apol·loni de Perga, gran matemàtic de l'època, va descriure la paràbola, l'hipèrbola i l'el·lipse, figures geomètriques que, segons ell, eren les que descrivien els moviments dels astres. Dècades més tard, l'astrònom Hiparc de Nicea va aportar grans avenços al temari: va inventar instruments astronòmics (inspirats en els mesopotàmics), va fer càlculs molt precisos del trànsit dels planetes i va deduir que les teories d'Apol·loni en relació a les òrbites dels planetes podien ser certes. Cent anys més tard, un dels grans astrònoms de l'Edat Antiga, Claudi Ptolomeu, va recollir tots els coneixements astronòmics de la història d'aquell moment en una obra anomenada "Composició Matemàtica". Tot i que rebutjava la teoria heliocèntrica i creia que les òrbites eren circulars, aquest filòsof defensava que el centre de masses de les circumferències no es trobava al centre, sinó desplaçat a un costat, fet que només succeeix en les el·lipses.

A principis de l'Edat Mitjana, l'astronomia no va efectuar cap pas important. Durant els primers set-cents anys, pocs van ser els astrònoms que s'hi van dedicar. Al segle IX els àrabs, mestres de la matemàtica i l'aritmètica, van començar a fer-la avançar. Van continuar l'obra de Ptolomeu i la van corregir. El matemàtic Azarquiel va idear nous instruments astronòmics i el famós astrònom Al-Battani va elaborar un catàleg d'estrelles, va realitzar càlculs sobre les inclinacions terrestres i va estudiar els equinoccis. Mentrestant, alguns cristians europeus van crear centres astronòmics i poca cosa més.

Al segle XV, a principis de l'Edat Moderna, l'astrònom Nicolau de Cusa va tornar a reformular la teoria heliocèntrica, però els seus raonaments no es van considerar vàlids. Al mateix temps, els jueus escampats per Europa van fer avançar l'astronomia. Destaca Almanach Perpetum, que va establir unes noves taules astronòmiques millorades de les anteriors i va seguir les investigacions de l'astrònom àrab Azarquiel.

A partir del segle XVI l'astronomia va realitzar passos importants. Va aparèixer Nicolau Copèrnic, un astrònom que, tot i no ser el primer en proposar la teoria heliocèntrica, va ser el pioner en defensar-la amb càlculs matemàtics precisos, els quals determinaven que el Sol era el centre planetari del nostre sistema. Va determinar l'ordre dels planetes coneguts en aquella època (fins a Júpiter) i va definir els moviments que realitzava la Terra. Malauradament, els seus descobriments no van adquirir importància fins un segle més tard.

En aquella època, el danès Tycho Brahe va descobrir la naturalesa dels cometes, va esbrinar que venien de més enllà de la Lluna i va elaborar unes taules astronòmiques. L'any 1571 va

néixer Johannes Kepler. Aquest matemàtic i físic, amic de Brahe, es va interessar per la teoria heliocèntrica de Copèrnic i va realitzar nombrosos càlculs per esbrinar la distància dels astres. Va ser un dels astrònoms més importants de la història de l'astronomia. A ell li devem tres grans lleis que resumeixen els actuals principis físics per formular el moviment dels astres. Kepler va determinar que la teoria heliocèntrica era certa i que els astres giraven al voltant del Sol formant el·lipses i no circumferències. Però moltes de les seves teories van ser ignorades en el seu moment.

Galileu Galilei, nascut el 1562, va ser el primer d'inventar el telescopi i d'observar el cel a través d'ell. Va descobrir que la Lluna no era completament rodona i tenia relleu, que Júpiter comptava amb quatre satèl·lits, que el Sol presentava taques i que posseïa un moviment de rotació, que els planetes no disposen de llum pròpia i que Júpiter era un planeta triple (va interpretar erròniament els anells). Aquest astrònom va guanyar una gran popularitat però les seves teories heliocèntriques van ser rebutjades i va acabar empresonat. Cap al final de la vida de Galilei, l'heliocentrisme va començar a esdevenir popular entre els científics.

El mateix any que va morir Galilei va néixer Isaac Newton, considerat un dels científics més importants de tots els temps. Aquest científic va formular les famoses lleis físiques i la Llei de la Gravitació Universal, que explica el moviment dels astres. Gràcies a l'ajuda d'Edmund Halley, Newton va escriure nombroses obres astronòmiques, on explicava les òrbites el·líptiques dels planetes i el sistema heliocèntric. Va corregir les teories heliocèntriques antigues. També va millorar el telescopi. Els seus descobriments van ser acceptats per la societat astronòmica. Això va succeir al 1687.

A partir d'aleshores, es va iniciar una revolució de l'astronomia cap a l'astronomia contemporània. A l'Edat Contemporània els instruments astronòmics i marítims van ser millorats. L'astrònom Jérôme Lalande va ser el primer de calcular el diàmetre de la Terra amb bastant precisió. A finals del segle XVIII, el músic Whilem Herschel, a qui apassionava l'astronomia, va ser el primer descobridor del planeta Urà. Tot i que al principi ell creia que era una estrella o un cometa, els astrònoms aviat es van adonar que es tractava d'un altre planeta del Sistema Solar. La seva germana Caroline va ser la primera dona astrònoma en descobrir 8 cometes per si sola. A principis del segle XIX, Guiseppe Piazzi va descobrir Ceres, entre Mart i Júpiter. Tot i que ell el va catalogar com a planeta, la comunitat astronòmica va crear la categoria "asteroide" per definir els cossos de dimensions tan petites com la de Ceres (actualment, és un planeta nan).

L'astronomia va seguir avançant contínuament. Es van descobrir molt més asteroides, i cap al final de la dècada es va proposar l'existència d'un cinturó d'asteroides entre Mart i Júpiter. El matemàtic John Couch i l'astrònom francès Urbain Leverrier van fer uns càlculs molt similars en que predeien que hi havia un planeta més enllà d'Urà, ja que aquest presentava irregularitats a la seva òrbita. L'any 1846 Neptú va ser descobert per un alemany a l'Observatori de Berlín.

Al 1915 el famós físic Albert Einstein va publicar la Teoria General de la Relativitat. Amb ella, desbancant totes les teories sobre la gravetat de Newton, es van poder explicar fets que s'escapaven a la Teoria de la Gravitació Universal quan s'aplicaven a masses molt grans. Dècades més tard, l'astrònom Clyde Tombaugh va descobrir Plutó. A partir del 1946 la tecnologia va començar a crear satèl·lits artificials per estudiar els astres del Sistema Solar.

El 1969 va ser l'any en què la NASA va enviar el coet *Saturn V* a la Lluna i els astronautes americans Neil Amstrong i Edwin Aldrin van trepitjar la seva superfície per primer cop. Des de llavors, no s'ha produït cap més viatge a la Lluna, tot i que l'astronomia ha avançat considerablement en les últimes dècades.

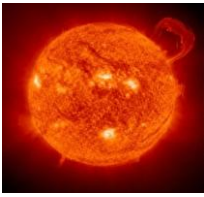
Recentment s'han descobert altres asteroides, cinturons, regions del Sistema Solar, etc. S'han millorat molt els instruments astronòmics i la informació que tenim sobre els astres. L'any 2006 es va formar la categoria de planeta nan, gràcies al descobriment d'Eris. Tot i que en l'actualitat l'astronomia està molt avançada, encara ens queda una gran quantitat de coses per descobrir sobre l'Univers que ens envolta i del que formem part.



[3.4] *“És un petit pas per a l’home, però un gran pas per la humanitat”, frase cèlebre que Neil Amstrong va dir quan va trepitjar la Lluna.*

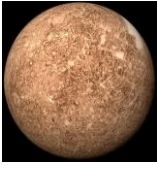


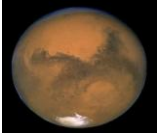
4. EL NOSTRE SISTEMA SOLAR

4.1. La nostra estrella



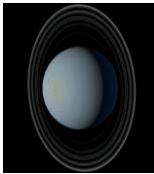
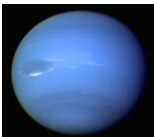
Nom	Massa (t)	Període de rotació (dies)	Període orbital ¹ (milions d'anys)	Etimologia	Imatge
Sol	$1'99 \cdot 10^{27}$	25-36	225-250	Déu romà Sol, divinitat del sol	

1. El Sol també realitza un moviment de translació al voltant del centre galàctic de la Via Làctia.


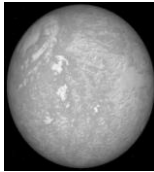
4.2. Planetes del Sistema Solar

Nom	Massa (t)	Període de rotació (dies)	Període orbital (anys)	Distància mitjana ² al Sol (UA ³)	Nombre de satèl·lits	Etimologia	Imatge
Mercuri	$3'3 \cdot 10^{20}$	58'6	0'24	0'39	0	Déu romà, missatger i déu del comerç i l'astúcia.	
Venus	$3'87 \cdot 10^{21}$	243	0'62	0'72	0	Divinitat romana de l'amor, la bellesa i la fecunditat.	
Terra	$5'97 \cdot 10^{21}$	1	1	1	1	Deessa romana de la natura i la maternitat.	
Mart	$6'42 \cdot 10^{20}$	1'03	1'88	1'53	2	Déu romà de la guerra, la violència i el terror.	

Una mirada als astres del cel

Júpiter	1'910 ²⁴	9'84	11'86	5'208	63	Déu romà, rei de tots els déus i del llamp.	
Saturn	5'69·10 ²³	10'23	29'5	9'54	61	Divinitat romana de l'agricultura, la collita i el temps.	
Urà	8'69·10 ²²	17'9	84'01	18'19	27	Déu romà del cel abans de Júpiter i pare de totes les divinitats.	
Neptú	1'02·10 ²³	16'11	164'8	30'1	14	Déu romà dels rius, mars i oceans.	

Planetes nan més importants del Sistema Solar

	Massa (t)	Període de rotació (hores)	Període orbital (anys)	Distància mitjana² al Sol (UA³)	Nombre de satèl·lits	Etimologia	Imatge
Plutó	1'25·10 ¹⁹	153'6	248'54	39'53	5	Déu romà de la mort, les tenebres i el més enllà	
Eris	1'6710 ¹⁹ (aprox.)	8 (aprox.)	557	67'67	1	Deessa grega de la discòrdia, la destrucció i els problemes	

- **NOTA:** Existeixen més planetes nans dins del Sistema Solar, però aquests dos són els més importants. Per a més informació sobre la Via Làctia i el Sistema Solar, vegeu Annex I. Les imatges anteriors es corresponen amb les de l'annex. Per saber la seva font, consulteu el número indicat allà.

2. Tenint en compte que les òrbites dels planetes són el·lipses i, per tant, hi ha una distància màxima i una mínima entre aquests i el Sol, la que consta a les dades és la mitjana de les dues.

3. Una Unitat Astronòmica (UA) equival a la distància entre el Sol i la Terra, que correspon 149.597.871 km.

5. EL MOVIMENT ORBITAL DELS ASTRES

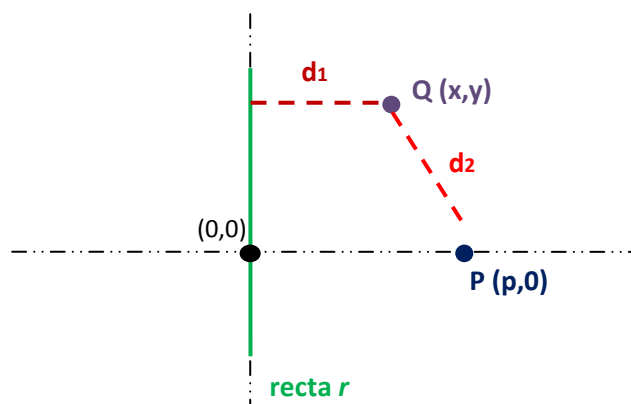
Moviment orbital: canvi de posició a través del temps d'un cos, generat per la força d'atracció d'un altre. El cos en moviment realitzarà una trajectòria anomenada **òrbita** al voltant de l'objecte pel qual ha estat atret. En els cossos celestes, aquesta atracció és produïda per la gravetat.

5.1. PRINCIPIS MATEMÀTICS PREVIS

5.1.1 Excentricitat

Per tal de determinar les figures còniques (paràbola, hipèrbola i el·lipse), que són les que ens interessen, hem de definir-les primer segons aquest mètode:

Col·loquem una recta r en un dels dos eixos de coordenades i un punt P a l'altre eix, col·locat a una posició $(p,0)$. Seguidament, col·loquem un punt Q qualsevol, que tingui una posició (x,y) .



La distància d_1 entre el punt Q i la recta r és igual al nombre x . Per calcular la distància d_2 entre Q i P , hem de fer el mòdul del vector \vec{PQ} .

- $d_1 = x$
- $d_2 = \sqrt{(x-p)^2 + (y-0)^2}$

L'equació que determinarà la cònica és la següent:

$$d_2 = e \cdot d_1 \quad \sqrt{(x-p)^2 + y^2} = e \cdot x$$

1. Per a més informació sobre els càlculs amb vectors, vegeu Annex II.

Treballant una mica la fórmula obtinguda, obtenim aquesta:

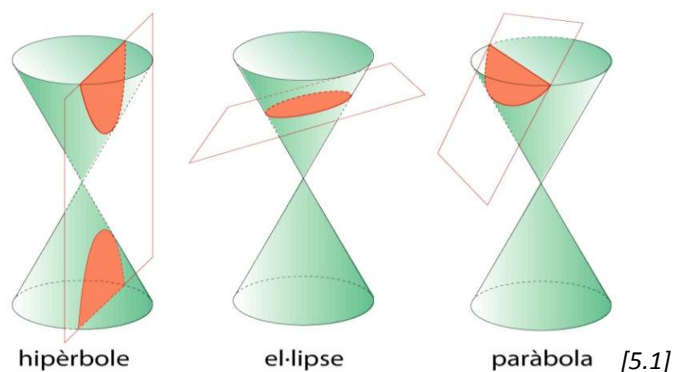
$$(1 - e^2) \cdot x^2 - 2px + p^2 + y^2 = 0$$

L'**excentricitat** és la constant e que, si li donem diferents valors i treballem l'equació, aconseguirem les fórmules que defineixen les seccions còniques².

A partir d'aquí, també podem afirmar que l'excentricitat determina el grau de desviació que té una secció cònica respecte d'una circumferència.

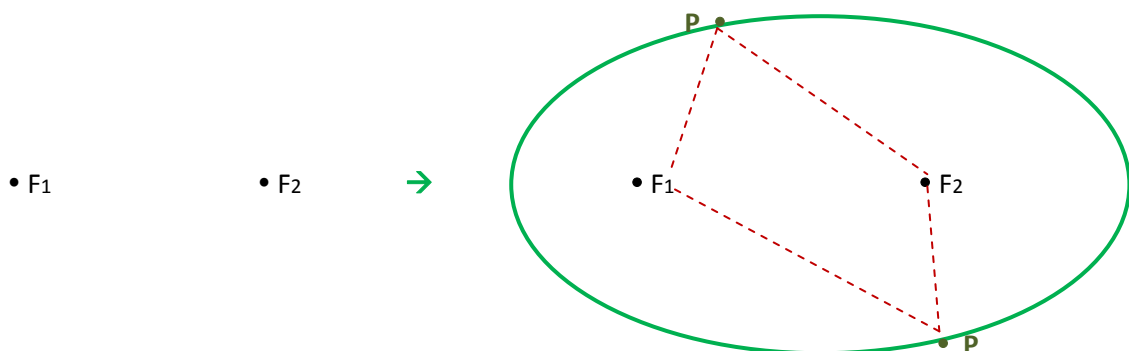
5.1.2. Seccions còniques

Secció cònica: Intersecció resultant obtinguda a partir de tallar un pla d'un prisma determinat, definit com un doble cos recte com indica la figura que es veu a continuació. Les tres figures resultants més importants són la paràbola, l'el·lipse i la hipèrbole.



En aquest treball ens centrarem en l'el·lipse, que és la trajectòria que descriuen els planetes del sistema solar.

L'el·lipse



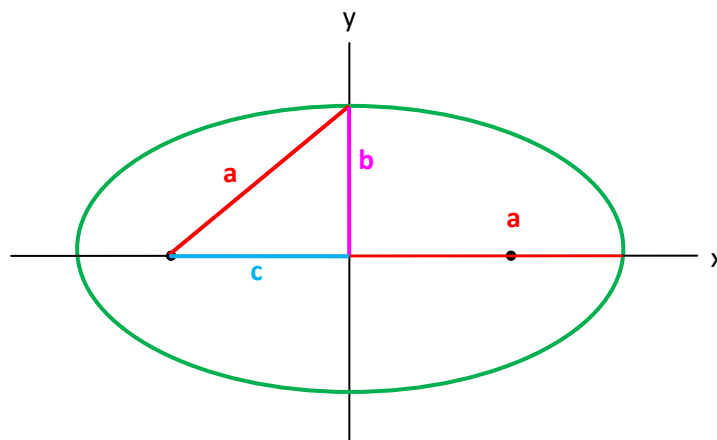
2. Per a la demostració de com s'obtenen les seccions còniques a partir de l'equació amb l'excentricitat, vegeu Annex III.

El·lipse: lloc geomètric format pels punts P per als quals la distància entre els punts P i el punt F_1 , sumada a la distància entre els punts P i el punt F_2 , dóna com a resultat un número constant k .

$$d(P,F_1) + d(P,F_2) = k, \text{ on } k \text{ és un nombre qualsevol}$$

Els punts F_1 i F_2 són els focus de l'el·lipse.

Característiques de l'el·lipse



Tal com es veu en el dibuix anterior, l'el·lipse queda determinada pels valors de a , b i c . Aquests, són nombres reals tals que $2a$ és l'amplitud màxima, $2b$ l'amplitud mínima i c és la distància del centre de l'el·lipse a cada un dels seus focus. Aquests tres números estan relacionats en l'equació següent:

$$c^2 = a^2 + b^2$$

Considerant els valors de a , b i c , l'excentricitat que hem descrit anteriorment també es pot definir amb aquesta fórmula:

$$e = \frac{c}{a}$$

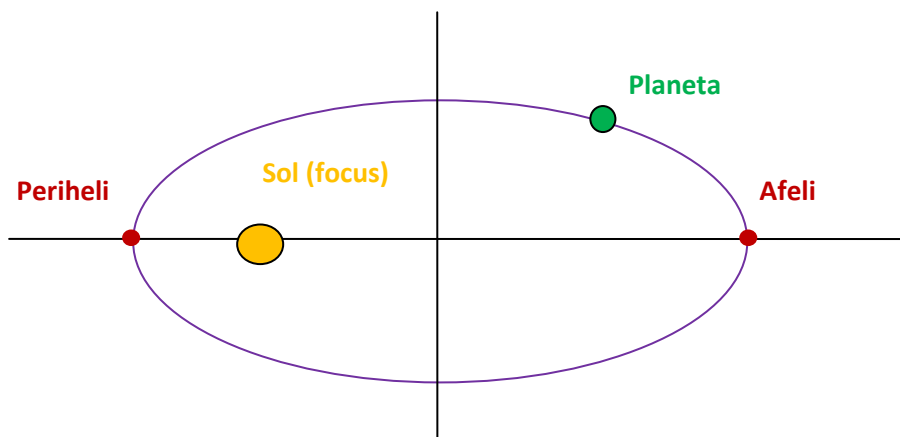
→ En el·lipses: $0 < e < 1$

És una equació més senzilla i més fàcil d'utilitzar. En el cas de l'el·lipse, l'excentricitat sempre serà un nombre comprès entre el 0 i l'1. Si una el·lipse té una excentricitat propera a 0, serà més arrodonida. En canvi, si té una excentricitat al voltant de l'1, serà molt allargada.

5.2 PRINCIPIS FÍSICS PREVIS

5.2.1. LLEIS DE KEPLER

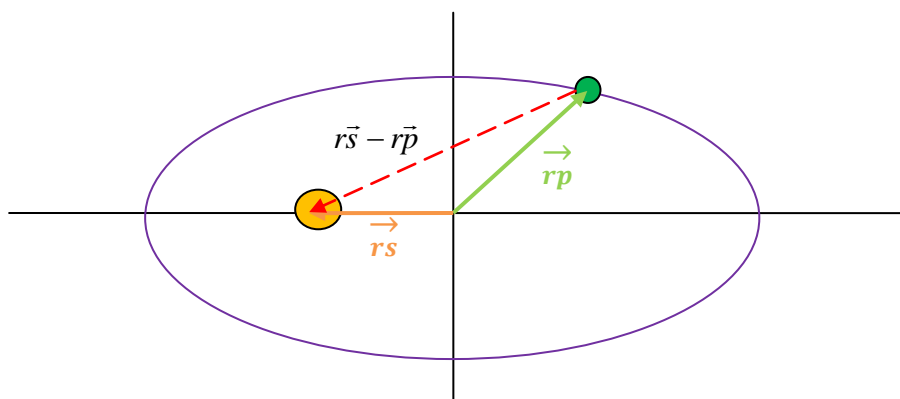
- **Primera llei:** Tots els planetes es desplacen al voltant del Sol descrivint òrbites de trajectòria el·líptica. El Sol se situa en un dels focus de l'el·lipse i no al centre.



El periheli és el punt de l'òrbita del planeta en què està més a prop del Sol i l'afeli és el que n'està més allunyat. El Sol tindrà una massa M , molt més gran que la massa m del planeta.

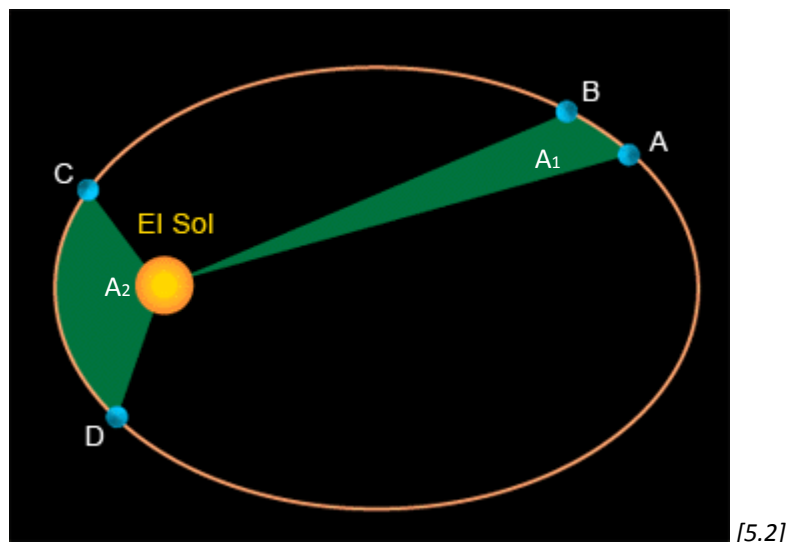
- **Segona llei:** El radi vector que uneix un planeta i el Sol escombra àrees iguals en temps iguals.

Per explicar aquesta llei, hem d'entendre la posició del planeta i la del Sol com un vector. Hem de col·locar un sistema de coordenades, on el centre és el centre de l'òrbita i el Sol se situa al focus de l'el·lipse, de la manera següent:



El vector $r_{\vec{p}}$ ens mostra la posició del planeta respecte el sistema de coordenades i el vector $r_{\vec{s}}$, la posició del Sol. Per saber la distància que hi ha entre el Sol i el planeta, hem de restar $r_{\vec{s}} - r_{\vec{p}}$, ja que el mòdul d'aquest vector és la distància entre els dos cossos. El **radi vector** és aquesta distància entre el Sol i el planeta, determinada per la resta $|r_{\vec{s}} - r_{\vec{p}}|$.

La segona llei de Kepler es refereix a la distància (radi vector) que recorre un planeta al voltant del Sol en un temps determinat. En aquest dibuix podem veure quin desplaçament fa quan el planeta es troba a la part de l'òrbita més allunyada de l'estrella (afeli) i quan es troba a la més propera (periheli).



Com podem veure, la distància que recorre el planeta entre A i B és menor que la que hi ha entre C i D. Tanmateix, si calculéssim les àrees A1 i A2 veuríem que les dues són iguals. Aquest fet explica que el planeta recorre A i B en el mateix període de temps amb què circula de C a D.

¿Com pot ser que l'astre tardi el mateix en recórrer una distància curta quan es troba lluny del Sol, que en efectuar-ne una de més llarga quan es troba a prop de la seva estrella? Aquest fenomen prova que la velocitat amb què un planeta es desplaça al voltant del Sol no és constant: quan transita a prop de l'afeli, el planeta és més lent que quan s'acosta al focus i al periheli. La segona llei de Kepler explica aquest fet.

1. Per a més informació sobre els càlculs amb vectors, vegeu Annex II.

- **Tercera llei:** Per a qualsevol planeta, el quadrat del seu període orbital és directament proporcional a la longitud del semieix horitzontal de la seva òrbita al cub.

Matemàticament parlant, la tercera llei de Kepler es resumeix amb aquesta equació, aplicable a tots els planetes:

$$T^2 = k \cdot a^3$$

T és el període orbital, que es defineix com el temps que tarda un planeta en realitzar una volta a l'entorn de la seva estrella. El nombre a és el semieix horitzontal de l'el·lipse. Això significa que, com més allargada és l'òrbita d'un planeta (per tant, més allunyat del Sol), més temps tarda en efectuar una volta la seva estrella.

El número k representa una constant determinada que té com a unitats segons²/metres³. El nombre de la constant s'obté de la fórmula següent:

$$k = \frac{4 \cdot \pi^2}{G \cdot M}$$

π = nombre pi = 3'1416...

G = constant de la Gravitació Universal = $6'67 \cdot 10^{-11}$ (unitats: N·m²/kg²)

M = massa del Sol = $1'99 \cdot 10^{30}$ (unitats: kg)

En el cas de la Terra, el resultat de l'equació de Kepler dóna com a resultat 365'6 dies.

5.2.2. LLEI DE LA GRAVITACIÓ UNIVERSAL DE NEWTON

La llei de la Gravitació Universal consisteix en una equació que, resolta, et permet saber la intensitat de la força gravitatòria que hi ha entre dos cossos que s'atrauen i estan separats per una distància determinada. Per realitzar aquests càlculs es treballa amb vectors.

Aquesta fórmula es basa en el principi físic de la gravetat. A partir de la segona llei de Newton¹, obtenim la fórmula $\vec{F}_G = m \cdot \vec{g}$, que pot provar que la força gravitatòria dels cossos és directament proporcional a la seva massa. Això significa que com més massa té un determinat objecte, amb més força serà capaç d'atraure altres elements. La intensitat d'aquesta força també és inversament proporcional al quadrat de la distància que els separa.

Es podria dir que les forces gravitatòries dels astres són forces recíproques. Un cos de massa m_1 exerceix una força atractora cap un cos de massa m_2 , però, a la vegada, aquest també en genera una cap al primer. Si els dos cossos tenen masses igual estaran en equilibri; però si m_1 és una massa relativament molt més gran que m_2 , la força gravitatòria del cos 2 serà gairebé nul·la en comparació amb el cos 1. La força gravitatòria també es veu influïda per la distància entre els cossos.

Posant d'exemple que tenim un cos A amb una massa m_1 i un cos B de massa m_2 , la llei de la Gravitació Universal és la següent:

$$\vec{F}_b = -G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{d^3} \cdot (\vec{r}_b - \vec{r}_a)$$

\vec{F}_b = força gravitatòria que exerceix A sobre B (unitats: newtons)

G = constant de la Gravitació Universal = $6'67 \cdot 10^{-11}$ (unitats: $N \cdot m^2/kg^2$)

m_1 i m_2 = masses de A i B (unitats: kg)

d = distància entre el centre del cos A i el del cos B (unitats: m)

1. Per a més informació sobre la segona llei de Newton, vegeu Annex II.

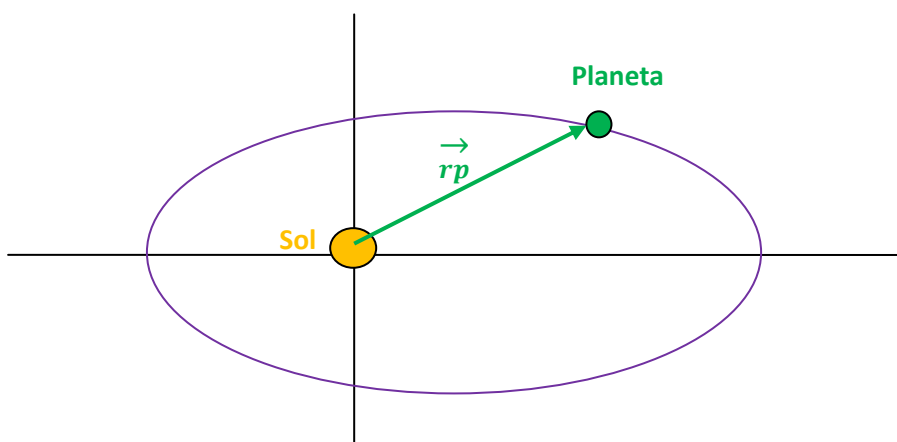
$\vec{r}_b - \vec{r}_a$ = resta al vector posició de A el vector posició de B en la seva forma vectorial
(unitats: m)

Els vectors \vec{r}_a i \vec{r}_b es troben en la seva forma vectorial i no en el seu mòdul². Tot i que sembli que $\vec{r}_b - \vec{r}_a$ és el mateix que la distància entre el cos A i el cos B, no sempre tindrà el mateix signe. Si volguéssim saber la força que genera el cos B al cos A, la distància entre A i B seria la mateixa, però a l'hora de fer la resta dels vectors hauríem d'efectuar $\vec{r}_a - \vec{r}_b$. Malgrat que $\vec{r}_a - \vec{r}_b$ i $\vec{r}_b - \vec{r}_a$ ens donaria com a resultat el mateix nombre que la distància entre A i B, en una de les restes ens sortiria el nombre en positiu i l'altre en negatiu. Aquest fet és perquè el + o el - indica la direcció del vector. Com que estem treballant amb vectors, ens interessa saber el seu sentit.

Llei de la Gravitació Universal aplicada als astres

La llei de la Gravitació Universal és aplicable a tots els astres que es troben a l'Univers. Quan es vol calcular la força que exerceixen els planetes sobre el Sol, s'obté com a resultat una xifra extremament petita en comparació amb la força que exerceix la nostra estrella sobre els planetes. Com que aquesta atracció és gairebé nul·la, el Sol gairebé no s'altera per la força dels altres planetes.

En canvi, si es vol investigar la força gravitatòria que exerceix el Sol sobre els astres, hi ha un sistema per tal que l'equació se simplifiqui:



2. Per a més informació sobre els càlculs amb vectors, vegeu Annex II.

Una mirada als astres del cel

Si col·loquem el Sol, un dels focus de l'el·lipse com el centre de l'eix de coordenades, l'estrella tindrà posició (0,0). Això significa que el seu vector, \vec{r}_s , serà 0. Amb aquest sistema, l'equació quedarà així:

$$\vec{F}_p = -G \cdot \frac{m_p \cdot M_s}{d^3} \cdot (\vec{r}_p - 0)$$

(La massa del Sol l'escrivim amb majúscula ja que és una xifra molt gran)

Aquesta equació es pot simplificar més. Tenint en compte la segona llei de Newton³, on la força és igual al producte entre l'acceleració i la massa del cos, l'equació queda de la manera següent:

$$\cancel{m_p} \cdot \vec{a}_p = -G \cdot \frac{M_s \cdot \cancel{m_p}}{(d)^3} \cdot \vec{r}_p$$

La força que produeix el Sol sobre el planeta serà igual a la massa d'aquest planeta multiplicada per l'acceleració d'aquesta força. Si se substitueix així l'equació, podem eliminar les masses del planeta a banda i banda de la igualtat, de manera que ens queda una fórmula més senzilla que resulta ser l'expressió del camp gravitatori.

A part, s'hi pot aplicar un altre canvi per esquematitzar encara més aquesta equació. La distància entre el Sol i el planeta és la mateixa que el mòdul del vector \vec{r}_p , o sigui, el valor absolut del seu número sense tenir en compte el seu sentit³. Sabent això i recordant que el vector unitari d'un vector es calculava dividint el vector pel seu mòdul², obtenim la igualtat següent:

$$\bullet \quad d = |\vec{r}_p| \quad \vec{e} = \frac{\vec{r}_p}{|\vec{r}_p|} \quad \rightarrow \quad \vec{e} = \frac{\vec{r}_p}{d} \quad \rightarrow \quad \boxed{\vec{r}_p = d \cdot \vec{e}}$$

($|\vec{r}_p|$ és el mòdul del vector \vec{r}_p , \vec{e} el seu vector unitari i d la distància entre el planeta i el Sol)

3. Per a més informació sobre els càlculs amb vector i les lleis de Newton, vegeu Annex II.

Substituint el vector \vec{r}_p a l'equació de la Gravitació Universal, obtenim el resultat següent:

$$\vec{a}_p = -G \cdot \frac{M_S \cdot \cancel{d} \cdot \vec{e}}{d^{3/2}}$$

Podem simplificar la d de l'equació i ens en quedarà una de molt més senzilla. El vector unitari és un vector de mòdul 1; per tant \vec{e} serà igual a 1.

$$\vec{a}_p = -G \cdot \frac{M_S \cdot \vec{e}}{d^2}$$

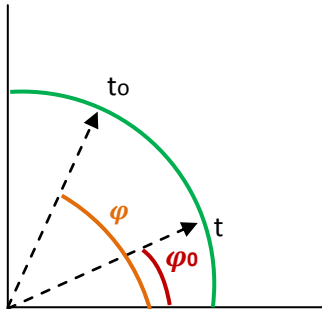
El que ens interessa per calcular el moviment dels astres és \vec{r}_p , que és la posició del planeta respecte el Sol. Aquesta posició anirà variant en funció del temps t , per tant, serà una funció.

En l'equació podem comprovar que el mòdul de l'acceleració és inversament proporcional al quadrat del mòdul vector posició del planeta (és a dir, la distància entre el planeta i el Sol), de manera que, quan l'acceleració augmenti, el valor del mòdul vector disminuirà (la distància entre el Sol i el planeta serà més petita), i quan el mòdul sigui més gran, l'acceleració anirà disminuint. Per tant, podem afirmar que quan el planeta es trobi a prop del Sol, l'acceleració serà alta i el planeta es mourà ràpidament. Per contra, quan aquest es col·loqui més allunyat del Sol, l'acceleració serà més petita i anirà més a poc a poc.

En el Sistema Solar els cossos celestes no es veuen atrets només pel Sol, sinó pels astres que tenen al voltant. Tot i així, en aquest treball simplifiquem els càlculs i només tindrem en compte la força atractora del Sol.

5.2.3. EL MOVIMENT ANGULAR

- **Velocitat angular (w):** És la relació entre el desplaçament angular (increment de l'angle) d'un cos en funció d'un interval de temps determinat.



$$w = \frac{\varphi - \varphi_0}{t - t_0} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$$

w = velocitat angular (unitats: rad/s)

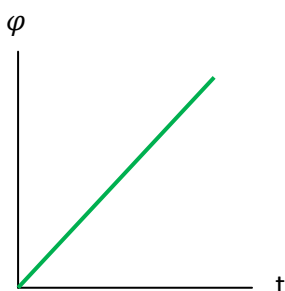
φ = angle (unitats: rad)

t = temps (unitats: s)

L'angle φ és igual al producte de la velocitat i el temps, concepte que ja es pot deduir simplement aïllant a l'equació anterior. Quan la velocitat angular és constant, significa que l'angle va augmentant els mateixos radians cada segon que passa de temps.

Circumferències

Quan s'aplica el moviment angular a circumferències que tenen una velocitat angular constant, es pot extreure una fórmula fent el gràfic angle-temps:



→ El pendent del gràfic és la velocitat angular.

$$\varphi = w \cdot t$$

Aplicació als planetes

Imaginem un cas hipotètic en què el moviment angular s'apliqui a un planeta que té una òrbita circular. La seva velocitat angular sempre serà constant i invariable, de manera que sempre anirà a la mateixa velocitat.

Una mirada als astres del cel

Per utilitzar les equacions del moviment en l'òrbita del planeta, utilitzarem la funció que indica la variació de l'angle φ en funció del temps i tindrem en compte sempre que la seva òrbita és circular. Si volem calcular el període (T), és a dir, el temps que tardarà un cos a realitzar una volta completa, hem de recordar que una volta sencera equival a 2π radians.

$$\varphi = 2\pi \text{ (una volta)} \rightarrow \omega \cdot T = 2\pi \rightarrow \boxed{T = \frac{2\pi}{\omega}}$$

ω = velocitat angular (unitats: rad/s)

φ = angle (unitats: rad)

T = període (unitats: s)

T serà el temps que tardarà el cos a donar una volta. Aquesta equació del període es pot simplificar amb l'equació del període de la tercera llei de Kepler (pàg. 16). Si s'ajunten les dues equacions en un sistema, obtenim el següent resultat:

$$\left. \begin{array}{l} (T^2 = k \cdot a^3) \rightarrow T = \sqrt{k \cdot a^3} \\ T = \frac{2\pi}{\omega} \end{array} \right\} \frac{2\pi}{\omega} = \sqrt{k \cdot a^3} \rightarrow \boxed{\omega = \frac{2\pi}{\sqrt{k a^3}}}$$

Recordant l'equació de Kepler que definia k (pàg. 16), es pot substituir k a l'equació:

$$k = \frac{4 \cdot \pi^2}{G \cdot M} \rightarrow \omega = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 a^3}{G \cdot M}}} \rightarrow \omega = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{2^2 \cdot \pi^2 a^3}{G \cdot M}}} \rightarrow \omega = \frac{\cancel{2\pi}}{\cancel{2\pi} \sqrt{\frac{a^3}{G \cdot M}}} \rightarrow \boxed{\omega = \frac{1}{\sqrt{\frac{a^3}{G \cdot M}}}}$$

Si substituïm la k , podem fer un seguit d'operacions a l'equació, traient $4\pi^2$ fora de l'arrel i simplificant després els 2π . La fórmula final obtinguda és la de la velocitat angular relacionada amb el semieix horitzontal(a) de l'òrbita d'un astre. Aquest semieix horitzontal serà igual al radi de l'òrbita (recordem que estem parlant d'una circumferència).

El·lipses

En el cas de les el·lipses, el moviment angular no és constant. En conseqüència, la velocitat angular variarà en funció del temps. El moviment del cos assolirà certa acceleració angular (α).

$$\alpha = \frac{w-w_0}{t-t_0} = \frac{\Delta w}{\Delta t}$$

α = acceleració angular (unitats: rad/s²)

w = velocitat angular (unitats: rad/s)

t = temps (unitats: s)

Aplicació als planetes

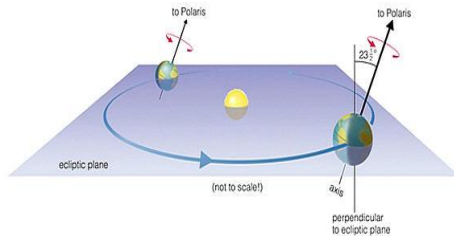
El moviment angular de les òrbites el·líptiques dels cossos celestes no varia en funció del temps, sinó en funció de la proximitat de l'astre al focus de l'el·lipse, on se situa el Sol. Com recordem de la segona llei de Kepler, el cos anirà més ràpid en passar pel periheli i més lent en passar per l'afeli.

Aquest fet complica molt les equacions el·líptiques sobre el moviment angular. En les meves pràctiques he simplificat les òrbites dels planetes a circulars a causa d'aquesta complexitat que tenen les equacions aplicades en el·lipses, que ha fet impossible realitzar les simulacions amb òrbites el·líptiques.

5.3 INCLINACIÓ ORBITAL

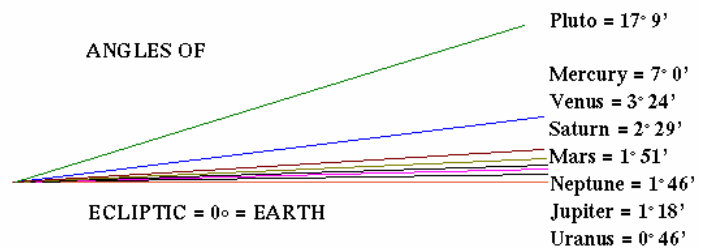
- **Inclinació orbital:** angle que forma el pla de l'òrbita d'un astre amb un pla de referència considerat com a horitzontal. En el Sistema Solar, les òrbites dels cossos celestes no es troben al mateix pla, sinó que estan totes inclinades respecte un pla horitzontal, l'eclíptica.

El pla de l'eclíptica es pren com a referència des de la Terra, ja que és el pla en què el nostre planeta realitza el seu moviment de translació al voltant del Sol. Tot i que l'eix terrestre està lleugerament inclinat, l'eclíptica consisteix en la línia imaginària horitzontal que divideix el nostre planeta en dues parts iguals. El seu pla horitzontal és la referència que s'utilitza per determinar la inclinació dels altres planetes.



[5.4] La imatge situada a la dreta mostra el grau d'inclinació dels planetes (Plutó inclòs) respecte de l'eclíptica.

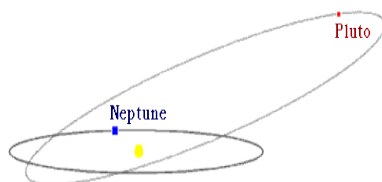
[5.3] En la fotografia de l'esquerra s'observa el pla de l'eclíptica, horitzontal respecte de la Terra.



5.3.1. Importància de la inclinació orbital

Si no hi hagués aquesta inclinació orbital en els astres que circulen l'Univers, molts cossos celestes podrien arribar a col·lisionar entre ells i destruir-se.

Al Sistema Solar, les òrbites de Plutó i Neptú en són la prova. Durant el seu recorregut, l'òrbita de Plutó passa per dins de la de Neptú, de manera que es creuen. Si no existís aquesta inclinació que té un pla orbital respecte de l'altre, les dues òrbites estarien al mateix pla i els dos planetes podrien xocar. Gràcies a aquests graus, les seves òrbites no col·lisionen i els dos astres no estaran mai més a prop que uns quants milers de quilòmetres.



[5.5] Gràcies a la inclinació orbital, l'òrbita de Plutó passa per dins de la de Neptú.

5.4. DADES ORBITALS DELS ASTRES DEL SISTEMA SOLAR

NOTA: Les dades trobades respecte a les característiques físiques dels astres són confuses, ja que són lleugerament diferents a cada lloc on s'ha buscat. He seleccionat la informació següent:

	Període orbital (anys)	Periheli o distància mínima del Sol (UA ¹)	Afeli o distància màxima del Sol (UA ¹)	Semieix horitzontal o a (UA ¹)	Velocitat orbital mitjana (km/s)	Excentricitat orbital	Inclinació orbital (graus)
Mercuri	0'241	0'31	0'47	0'39	47'872	0'206	7
Venus	0'616	0'72	0'73	0'73	35'021	0'007	3'39
Terra	1'000	0'98	1'02	1'00	29'78	0'017	0
Mart	1'882	1'38	1'67	1'53	24'077	0'093	1'85
Júpiter	11'873	4'95	5'45	5'20	13'07	0'048	1'31
Saturn	29'458	9'01	10'07	9,54	9'673	0'056	2'49
Urà	84'010	18'28	20'09	19'19	6'81	0'046	0'77
Neptú	164'789	29'8	30'32	30'06	5'478	0'010	1'77
Plutó*	248'540	29'6	49'3	39'45	4'7	0'248	17'15

Plutó està inclòs a la taula ja que, per ser un planeta nan, té molta importància encara dintre dels planetes del Sistema Solar. També l'inclouré per realitzar les meves pràctiques.

1. Una Unitat Astronòmica (UA) equival a 149.597.870'7 kilòmetres.

6. PRÀCTICA: OBSERVACIÓ DEL MOVIMENT DELS PLANETES DES DE LA TERRA

6.1. EL GEOGEBRA

El Geogebra és un programa informàtic que consisteix en un software matemàtic amb el qual l'usuari pot interaccionar. És un processador aplicable a la geometria, l'àlgebra, el càlcul i també pot ser utilitzat en la física. Permet l'ús de nombrosos serveis i és d'una gran utilitat científica.

En el meu treball he decidit aplicar tots els coneixements físics i matemàtics apresos anteriorment en aquest programa per crear simulacions i veure'n gràficament els resultats.

6.2. REPRESENTACIONS AMB ELS GEOGEBRA

Per realitzar les pràctiques, utilitzarem uns càlculs anàlegs a les òrbites planetàries. Com que les equacions el·lipsoïdals i de l'acceleració angular són molt complexes, simplifiquem els nostres procediments.

En aquesta activitat suposarem que les òrbites dels astres són circulars (no el·líptiques), que es troben totes en un mateix pla, i no inclinades les unes respecte de les altres. També considerarem que l'única força d'atracció que reben els planetes és la del Sol, i no de cap altre que tinguin al voltant. El seu semieix horitzontal a serà la longitud del seu radi. Com a conseqüència, segons les lleis de Kepler:

- Segons la primera llei, el Sol estarà situat al centre de la circumferència.
- Respecta la segona, la velocitat serà constant, de manera que el moviment dels planetes serà moviment circular uniforme.

Per representar el moviment d'un cos, necessitem una funció que indiqui la posició d'aquest mòbil respecte del temps. En el cas dels astres, també serà el mateix. La seva posició serà un punt (x,y) . Ja que les òrbites són circulars, necessitarem coordenades polars¹ per definir la

1. Per a més informació sobre les coordenades polars, vegeu Annex II.

posició del planeta. Però per introduir l'equació al programa, hem d'utilitzar coordenades cartesianes. Les coordenades polars passen a ser cartesianes mitjançant la fórmula següent, de manera que la posició de l'astre serà aquesta:

$$(x,y) = (r \cdot \cos \varphi, r \cdot \sin \varphi)$$

r = radi de l'òrbita (unitats: UA²)

φ = angle (unitats: rad)

Recordant la relació que hi ha entre l'angle recorregut, el temps, i el moviment angular, sabem que $\varphi = w \cdot t$ i que $w = \frac{1}{\sqrt{\frac{a^3}{G \cdot M}}}$ (pàg.22). Podem substituir els dos elements a l'expressió:

$$(x,y) = \left(r \cdot \cos \frac{t}{\sqrt{\frac{a^3}{G \cdot M}}}, r \cdot \sin \frac{t}{\sqrt{\frac{a^3}{G \cdot M}}} \right)$$

Per facilitar els càlculs i simplificar l'equació, suposarem que $G \cdot M$ és igual a 1. Realment, aquest producte dona com a resultat $1'327 \cdot 10^{20}$, però farem més fàcil la fórmula i ens imaginarem que el seu valor és 1. Per tant, l'equació quedarà així:

$$(x,y) = \left(r \cdot \cos \frac{t}{\sqrt{a^3}}, r \cdot \sin \frac{t}{\sqrt{a^3}} \right)$$

El nombre r equival al radi de la circumferència de l'òrbita. El valor de a correspon amb el del semieix horitzontal de l'el·lipse, però com que estem realitzant aquesta pràctica suposant que les òrbites són el·lipses, el semieix horitzontal serà el mateix que el radi. La fórmula final per introduir l'òrbita dels planetes al Geogebra és aquesta:

$$(x,y) = \left(a \cdot \cos \frac{t}{\sqrt{a^3}}, a \cdot \sin \frac{t}{\sqrt{a^3}} \right)$$

2. Una Unitat Astronòmica (UA) equival a 149.597.870'7 kilòmetres.

La unitat del temps serà l'any, i la de a serà la unitat astronòmica (149.597.871 km). Finalment, per introduir aquesta equació al Geogebra, haurem de definir quant de temps voldrem que duri el moviment, és a dir, el temps inicial i el final.

El programa Geogebra també permet col·locar punts en les coordenades desitjades i introduir objectes que es moguin en funció de les equacions de les òrbites, de manera que funcionin com planetes: a mida que passi el temps, s'aniran movent per sobre de l'òrbita segons els paràmetres i la velocitat ajustats prèviament a l'equació orbital.

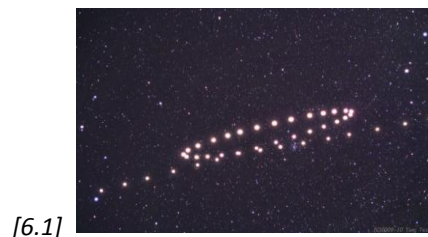
A més a més, també haurem de determinar l'expressió temps. Inclourem un cursor mitjançant el qual, fent-lo lliscar, podrem fer passar el temps. A mida que el valor del temps canviï, els objectes de les òrbites s'aniran movent en funció d'aquest. També haurem de definir un valor de temps inicial i un final, concordant amb el de les òrbites.

NOTA: Per a més informació sobre els passos seguits per realitzar les simulacions planetàries amb el Geogebra, vegeu Annex VI.

6.3 MOVIMENT RETRÒGRAD DELS PLANETES

En la meua pràctica he volgut comprovar com es veu el moviment dels planetes des de la Terra. Per fer-ho, he hagut de comprendre què és el moviment retrògrada.

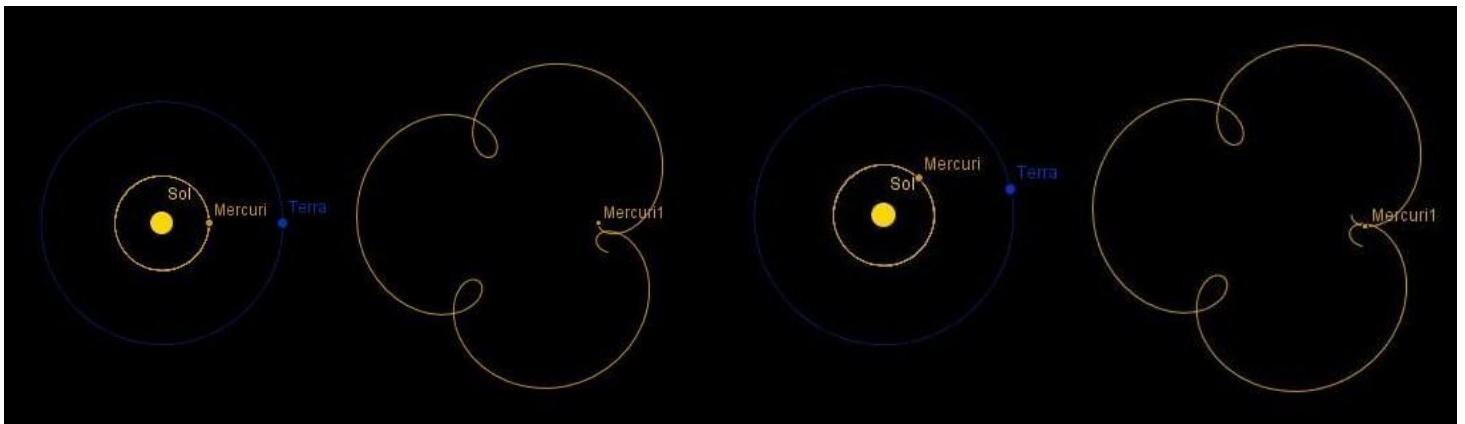
El moviment retrògrad fa referència al moviment aparent que tenen els altres planetes respecte el punt de vista del nostre. Des de la Terra, veiem com aquests astres avancen pel nostre cel d'una punta a l'altra, però, quan es troben a mig camí, el seu moviment canvia. El planeta sembla retrocedir i fer el recorregut contrari, per després tornar a aturar-se. Consecutivament, l'astre torna a reprendre el seu recorregut inicial i continua així fins a tornar a iniciar el cicle. Gràficament, es veuria així:



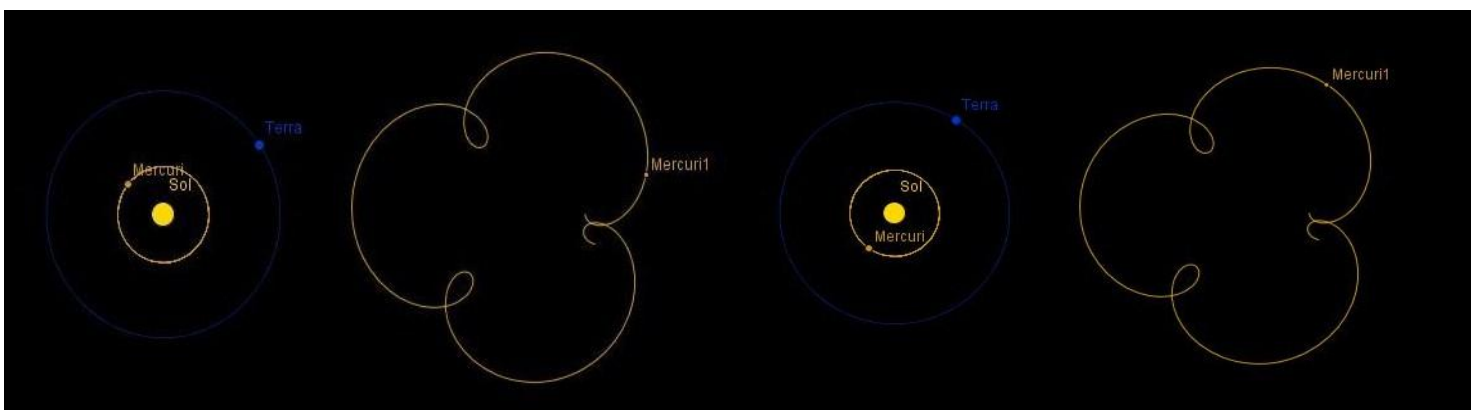
Com és possible que succeeixi aquest fenomen? Això és perquè el moviment orbital de cada planeta és diferent. Com que els astres es mouen a diferent velocitat i han de recórrer

trajectòries més o menys llargues (incloent-nos a nosaltres), ens avancem i ens retrocedim els uns als altres. Aquest fet provoca que, des de la Terra, veiem com tots els planetes presenten irregularitats al nostre cel.

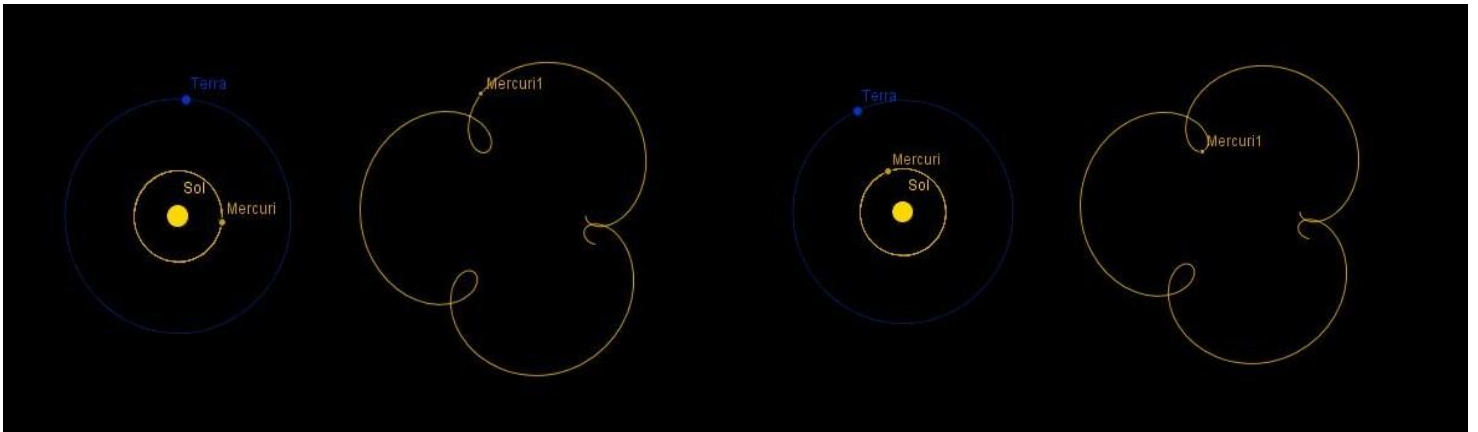
Per entendre millor el moviment retrògrad dels planetes, he creat una simulació al Geogebra amb les òrbites de Mercuri i la Terra. A la seva dreta, he indicat la trajectòria retrògrada que té Mercuri vista des de la Terra.



A la primera fotografia podem veure els astres en la seva posició inicial. A la dreta de la representació, podem observar com es veu Mercuri des del cel terrestre. Ens hem d'imaginar que la Terra està localitzada al centre de la figura, immòbil. A la segona imatge ja ha transcorregut una determinada fracció de temps. S'hi pot observar com Mercuri ha avançat més que la Terra. A la seva dreta, podem veure com es veuria l'astre des del nostre planeta. Com podem comprovar, ja es produeix un petit moviment retrògrad, el qual es veu com mig espiral des del cel terrestre. En el moment que Mercuri comença a moure's i realitza un quart de la seva òrbita, segueix girant i nosaltres, des de la Terra, visualitzem com aquest avança després de retrocedir.



En aquestes dues fotografies posteriors, podem advertir com Mercuri ha realitzat més de la meitat de la seva òrbita, mentre que la Terra no n'ha fet ni una quarta part de la seva. El nostre planeta, que en un principi estava molt a prop de Mercuri, quasi no s'ha mogut de lloc mentre aquest feia el seu recorregut. El petit planeta s'allunya cada cop més del nostre fins a assolir la distància màxima entre els dos. Nosaltres encara veiem que Mercuri travessa el nostre cel.



Finalment, Mercuri completa una volta al Sol. En realitzar aquest nou gir, des del nostre planeta veiem com aquest astre comença a retrocedir al nostre cel. El moment culminant del moviment retrògrad es dona quan Mercuri i la Terra es posicionen en la seva distància mínima un altre cop. Des del cel terrestre veiem com el petit planeta dibuixa una curiosa espiral, per després més endavant seguir de nou el seu moviment inicial abans de retrocedir.

El moviment retrògrad va tenir una gran importància en la història de l'astronomia. Va resultar ser un dels arguments més sòlids per pensar que el nostre sistema planetari era heliocèntric, perquè només d'aquesta manera se li podia donar una explicació lògica.

6.4 SIMULACIÓ DEL SISTEMA SOLAR

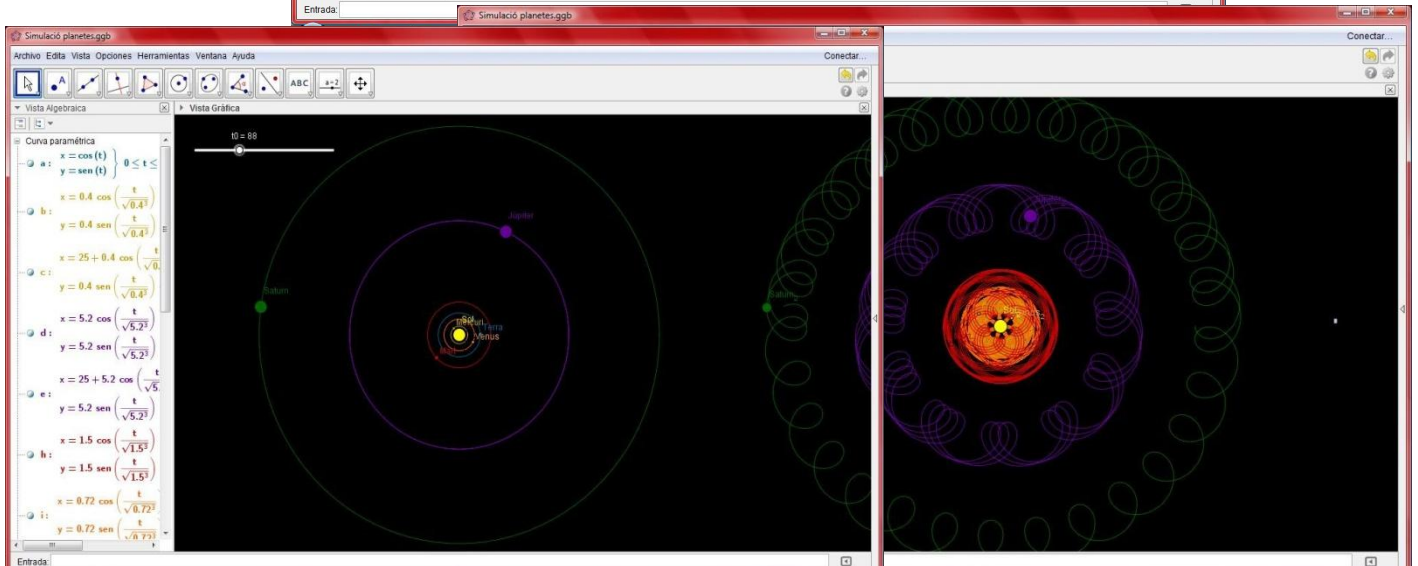
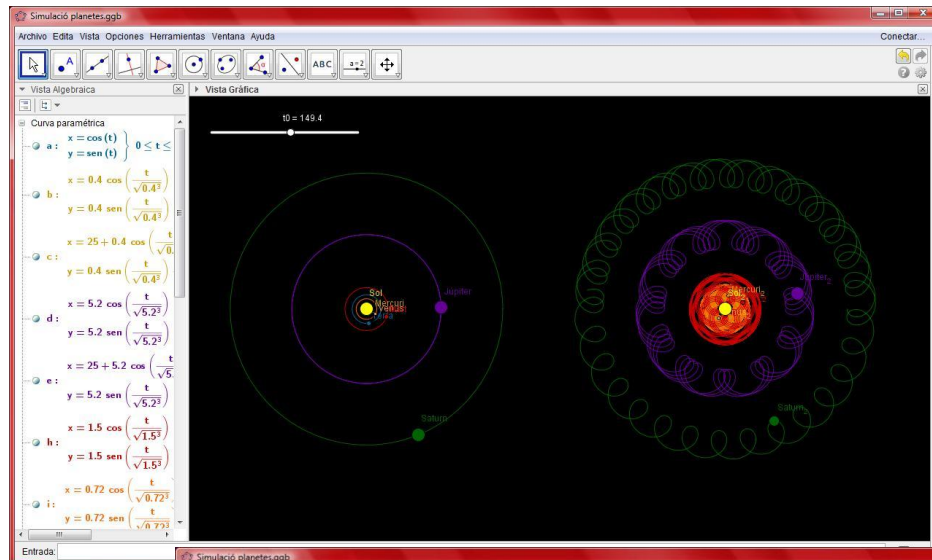
El moviment retrògrad es produeix amb tots els planetes del sistema solar. Com que tots els astres tenen unes característiques orbitals diferents, la seva visió des del cel terrestre serà única per a cada planeta.

En les meves pràctiques del Geogebra, he realitzat una sèrie de simulacions per saber com es veuen cada un dels planetes del sistema solar des de la Terra. He col·locat un segon Sol al

Una mirada als astres del cel

centre de les figures del moviment retrògrad per tal que quedés estèticament millor. Els resultats han estat els següents:

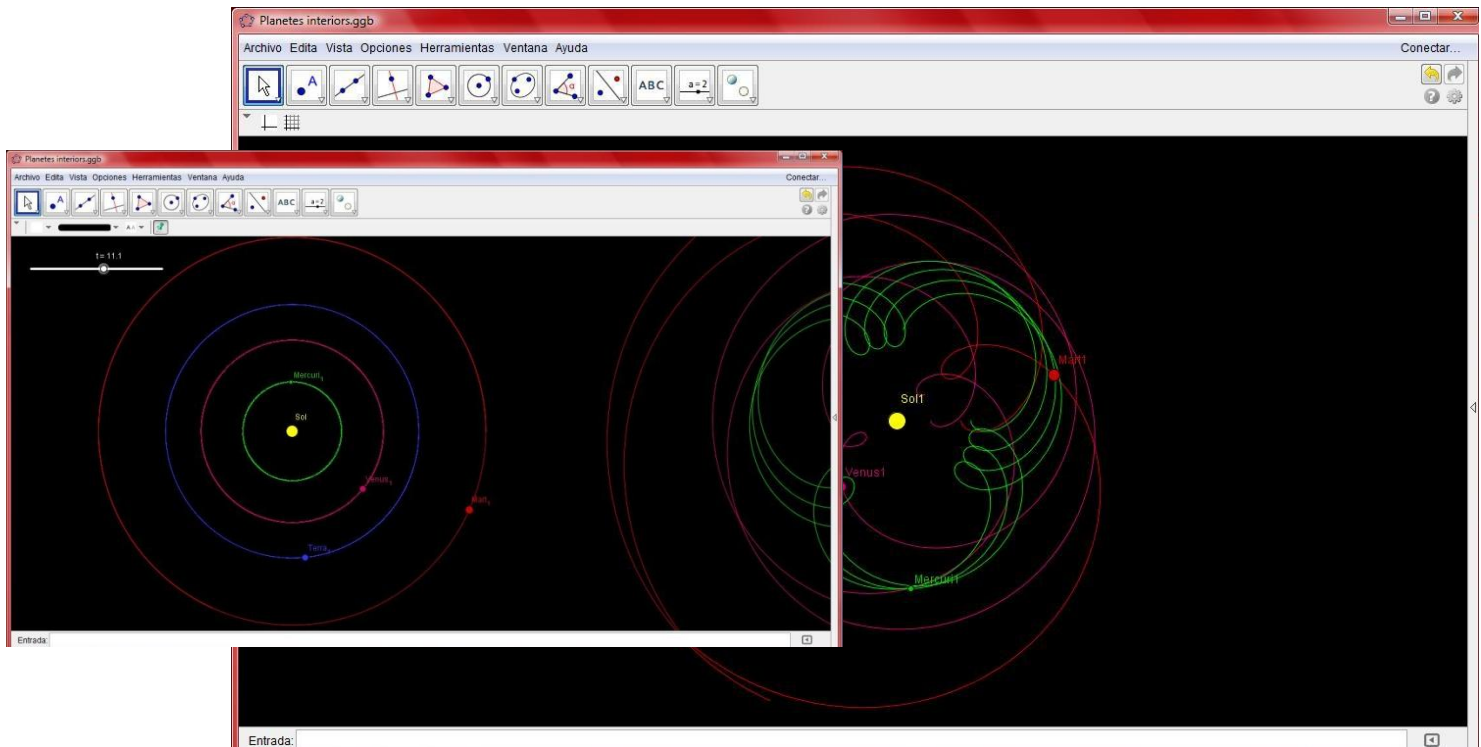
- Aquesta és una representació del sistema solar, des de Mercuri fins a Júpiter. Els altres planetes no han estat inclosos per motius d'espai: la seva òrbita és tan gran que, si els col·locava, no es veien els planetes interiors.



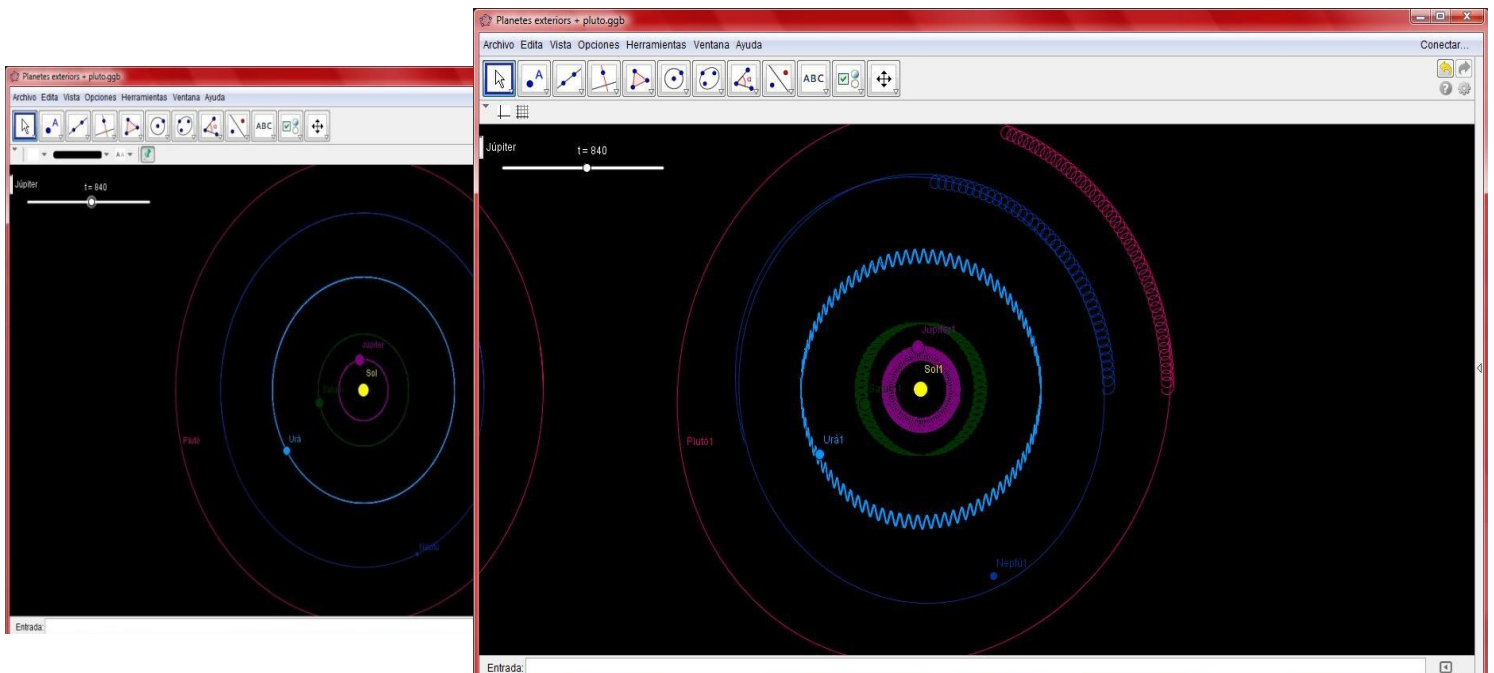
En la figura de la dreta, on es mostra la visió del moviment retrògrad, els planetes del centre tenen trajectòries confoses ja que, en el temps que tarden Júpiter i Saturn a fer poques voltes, els altres astres n'han realitzat centenars.

Una mirada als astres del cel

- La imatge següent mostra el moviment retrògrad dels planetes interiors (Mercuri, Venus i Mart) respecte a la Terra.



- La simulació posterior representa el moviment retrògrad dels planetes exteriors (Júpiter, Saturn, Urà i Neptú) i el planeta nan Plutó.

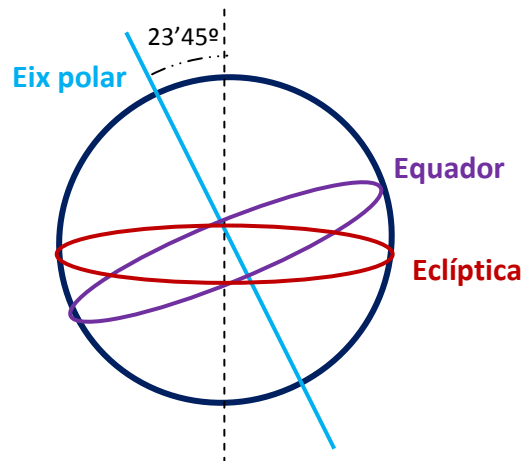


- **NOTA:** Totes les imatges són de font pròpia.

7. ASTRONOMIA DE POSICIÓ

7.1. PRINCIPIS BÀSICS

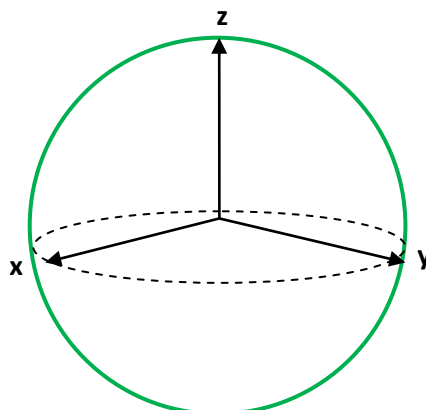
Per tal d'assimilar bé els conceptes que vénen a continuació, cal recordar alguns principis bàsics de l'estructura de la Terra que es mostren en el dibuix següent:



7.2. COORDENADES ESFÈRIQUES

Sistema de coordenades esfèriques: sistema de referència que s'utilitza en punts d'una esfera que es troben a la mateixa distància (o radi) del centre de l'esfera. En resum, defineixen els punts que es troben a la superfície d'una esfera.

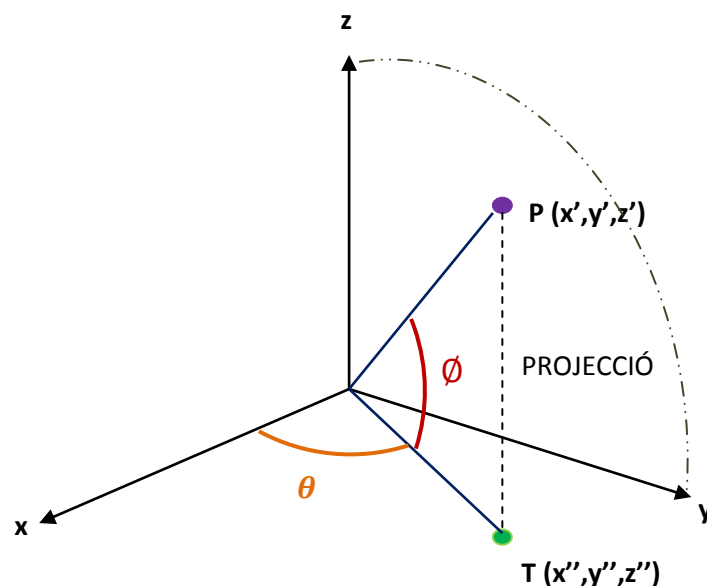
Per utilitzar-lo ens hem d'imaginar que la Terra no està inclinada i posar l'equador al pla horitzontal on estaria l'eclíptica. A partir del centre de l'esfera, surten tres eixos de coordenades que arriben fins al radi d'aquesta. Dos dels eixos (x i y) es troben al pla horitzontal de l'equador.



En veritat, ja que la Terra està inclinada, el sistema també està inclinat, però és de més fàcil comprensió si ens imaginem el nostre planeta com si estigués recte. Si col·loquem aquests eixos a l'esfera del nostre planeta, l'eix vertical z assenyalava el Pol Nord.

7.2.1. Projecció d'un punt

Per poder situar un punt P qualsevol que té una determinada posició (x',y',z') en les coordenades esfèriques, hem de projectar-lo. Projectar significa crear una línia recta vertical imaginària que vagi des de la posició del punt a la superfície de l'esfera fins al pla horitzontal d'aquesta, de manera que projectés el punt P a l'horitzontal. El nou punt T que tindrem projectat, ens serà útil per calcular algunes propietats del punt P . A partir de la projecció d'un punt, podrem determinar dues característiques de la seva posició: la latitud i la longitud.

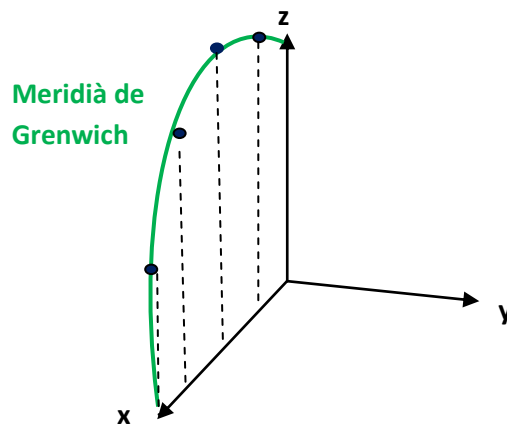


- **Longitud (θ):** Angle que produeix la projecció d'un punt amb l'eix x . També s'anomena angle polar.
- **Latitud (ϕ):** Angle que forma un punt amb l'horitzontal.

La latitud màxima que existeix és la de $\frac{\pi}{2}$ radians (90°), i correspon al Pol Nord. La mínima possible és de $-\frac{\pi}{2}$ radians i es localitza al Pol Sud. Quan la latitud val 0, es troba a la línia de l'equador (pla horitzontal).

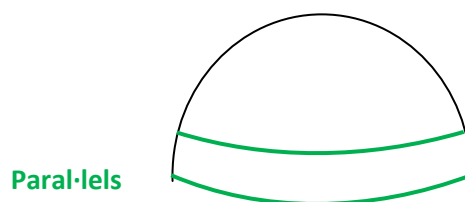
7.2.2. Línies imaginàries

- **MERIDIANS:** Són unes semicircumferències imaginàries del globus terraquí que comencen al Pol Nord i acaben al Pol Sud. Estan formats pel conjunt de punts que, projectats, recauen en un mateix radi de l'esfera en el pla horitzontal. El **Meridià de Greenwich, meridià 0** o **primer meridià** és el meridià utilitzat com a referència per situar tots els altres. Divideix el nostre planeta en Orient i Occident. La seva principal característica és que totes les projeccions dels punts que formen la seva mitja circumferència, recauen en l'eix x de les coordenades esfèriques.



Al nostre planeta hi ha infinits meridians, que van des del meridià 0° fins al meridià $359'9^\circ$. No hi ha un meridià 360° , ja que aquest correspon al meridià 0° . A partir dels meridians es van establir les zones horàries del nostre món.

- **PARAL·LELS:** Són unes circumferències imaginàries constituïdes per un conjunt de punts amb la mateixa latitud. Es troben al globus terraquí horitzontalment i són perpendiculars als meridians. Existeixen infinits paral·lels, però tots van des del paral·lel -90° al 90° .

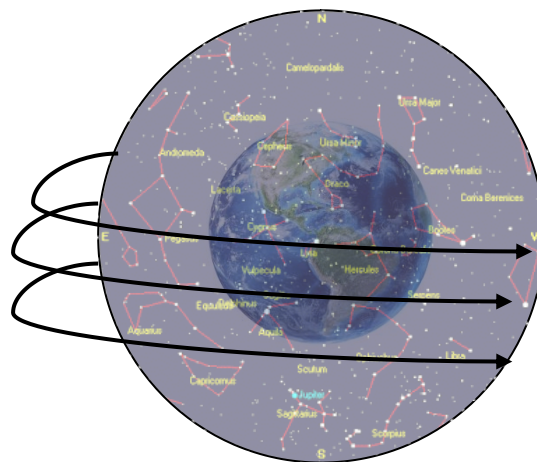


- **EQUADOR:** L'equador és un paral·lel situat al bell mig de l'esfera terrestre, que divideix en hemisferi Nord i hemisferi Sud. El seu pla és perpendicular a l'eix de rotació de la Terra i la seva latitud és igual a 0.
- **ECLÍPTICA:** És un cercle imaginari que es troba en una inclinació de 23° de l'Equador. El seu pla queda horitzontal al pla en què el nostre planeta es mou al voltant del Sol. Es fa servir com a referència per calcular les inclinacions orbitals dels altres planetes (inclosa la Terra).

8 . LA VOLTA CELESTE

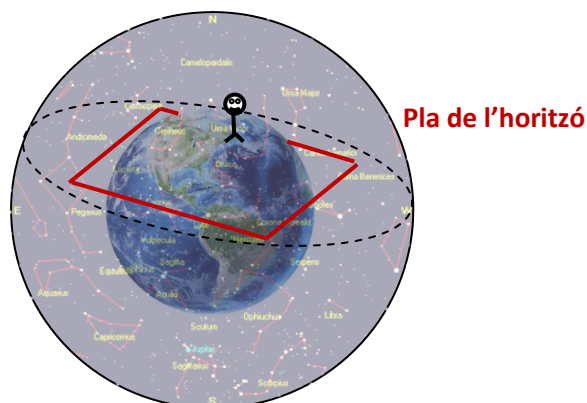
Per explicar millor el moviment de les estrelles al nostre cel, ens hem d'oblidar del Sol que no ens deixa veure els altres astres, i imaginar que sempre és de nit.

Sabem que, lògicament, veiem les estrelles moure's perquè és el nostre planeta el que es mou. Però, per comprendre millor els conceptes següents, hem de construir una bola esfèrica formada per totes les estrelles que envolten la Terra. Hem d'imaginar que el nostre món, que es troba dins aquesta bola, no es mou i que és la volta la que gira.



[8.1] i [8.2]

El pla de l'horitzó és el pla fins al qual, des d'un punt de la Terra, es veuen les estrelles de la volta celeste. Es troba horitzontal a la posició que té la persona en el nostre planeta.



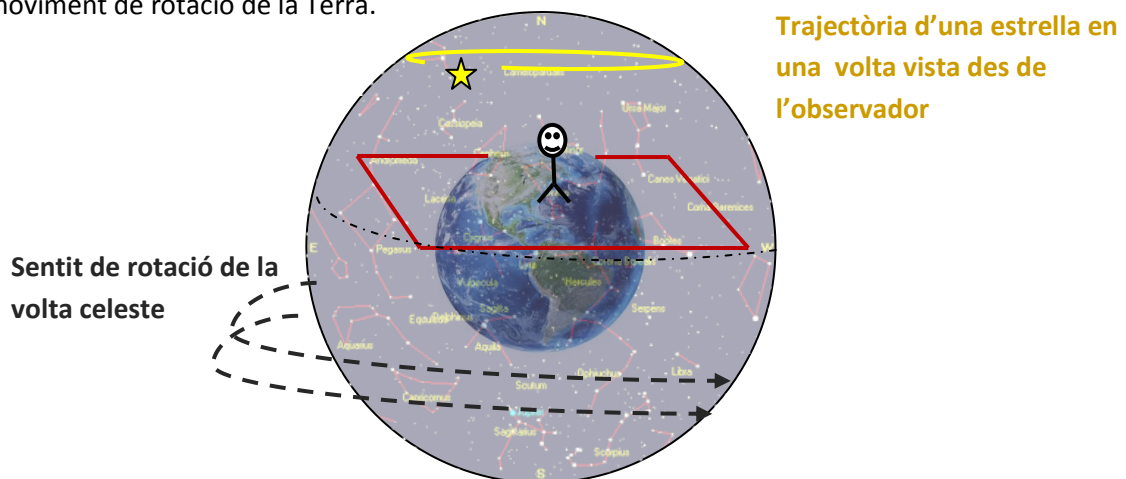
Com podem veure al dibuix, una persona se situa en un punt de la Terra. El pla de l'horitzó es troba al pla horitzontal de la posició on es troba. La persona veurà totes aquelles estrelles que es trobin sobre seu, que vagin des del pla de l'horitzó fins a dalt de la volta.

8.1. VISTA DE LES ESTRELLES SEGONS LA POSICIÓ TERRESTRE

No es veu el mateix cel estrellat a tots els punts de la Terra. Segons la nostra posició terrestre, veurem uns estels o uns altres quan mirem amunt. Per entendre millor com pot ser possible aquest fet, tot seguit tenim tres exemples en els quals un observador astronòmic es troba en diferents llocs del nostre planeta.

8.1.1. Des dels pols de la Terra

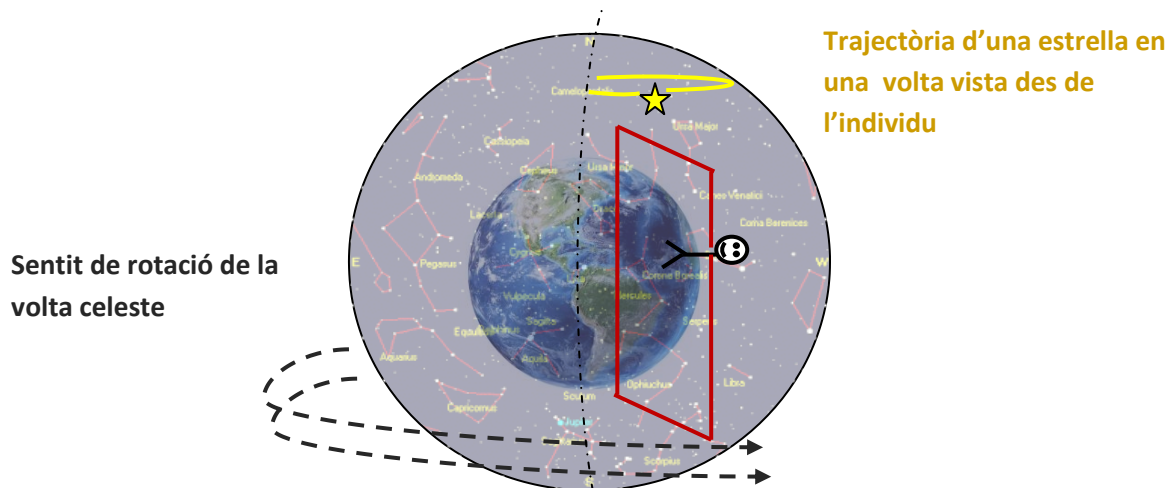
Si una persona situada en un dels pols terrestres observa el cel, veurà una cúpula estel·lar que va des del seu pla horitzontal fins amunt de l'esfera. Si imaginem que la volta celeste gira en el sentit contrari de les agulles del rellotge, és més fàcil d'entendre que si s'explica amb el moviment de rotació de la Terra.



Com podem veure en la imatge, l'observador situat al pol terrestre tan sols veurà aquelles estrelles posicionades en l'hemisferi de la Terra on es localitzi la persona, i només a partir del seu pla de l'horitzó. Per tant, aquest observador no arribarà a veure mai les estrelles que es troben a l'altre hemisferi de la volta celeste. Tanmateix, la persona podrà veure tot el recorregut circular que realitzen les estrelles en una volta (un dia terrestre), de manera que podrà observar la trajectòria de tots els estels del seu cel.

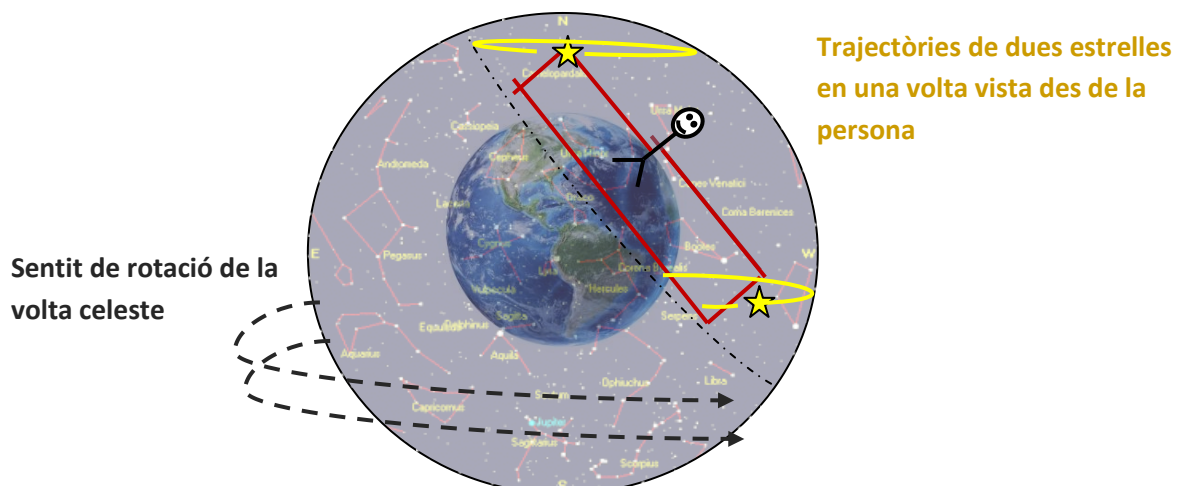
8.1.2. Des de l'Equador terrestre

Un observador situat a l'Equador de la terra es trobarà en un costat lateral de l'esfera del nostre planeta, però per ell el seu pla de l'horitzó serà horitzontal respecte a la seva posició. Per tant, el seu horitzó serà en veritat vertical respecte al nostre punt de vista.



La il·lustració ens mostra que, des de l'Equador, una persona pot veure totes les estrelles que es troben a la volta celeste, tant a l'hemisferi nord com al sud. Malgrat això, la persona no podrà observar tota la trajectòria que completen els estels al llarg del dia, ja que només veurà la meitat d'aquest recorregut a causa de la seva línia de l'horitzó.

8.1.3. Des dels tròpics del nostre planeta



Quan l'individu no es troba ni a la línia de l'Equador ni als pols terrestres, se situa als tròpics de la Terra. El pla de l'horitzó d'aquesta persona serà horitzontal a la seva posició i diagonal segons el punt de vista extern.

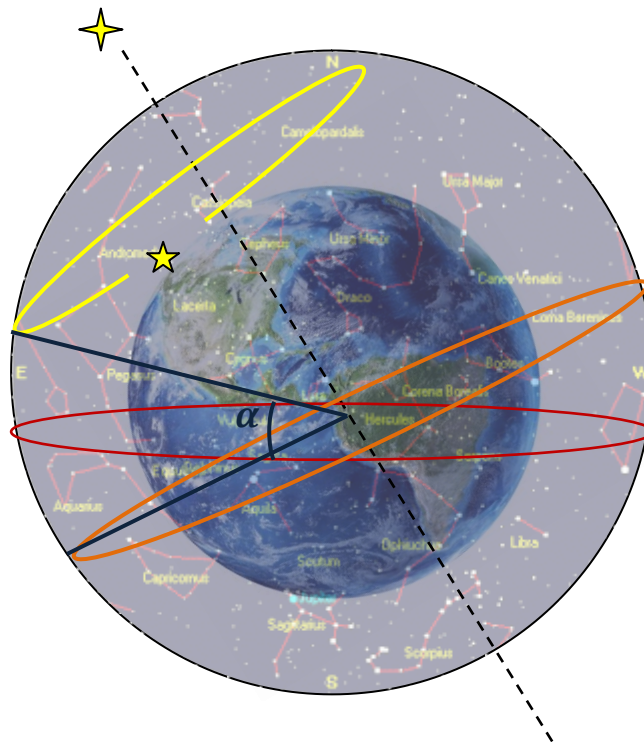
Tal i com la figura indica, si l'observador es troba en punts dels tròpics de la Terra, veu algunes estrelles, però no pot observar totes les que hi ha a la volta celeste. A més a més, algunes les veurà en tota la seva trajectòria circular i d'altres, en canvi, tan sols podrà observar-ne l'arc del seu recorregut. La vista de més o menys estrelles i de la seva trajectòria dependrà del punt on es trobi l'observador.

8.2. LA DECLINACIÓ D'UNA ESTRELLA

Estrella polar: una estrella situada justament a l'eix polar de la Terra. Per tant, aquest estel sempre assenyala el nord terrestre. Per als conceptes següents, tornarem a tenir en compte que el nostre planeta està inclinat 23° respecte a la vertical.



La **declinació d'una estrella** indica l'angle que forma la trajectòria d'una estrella amb l'Equador respecte a l'estrella polar. Per entendre millor aquestes idees, tindrem en compte de nou la volta celeste que envolta la Terra.

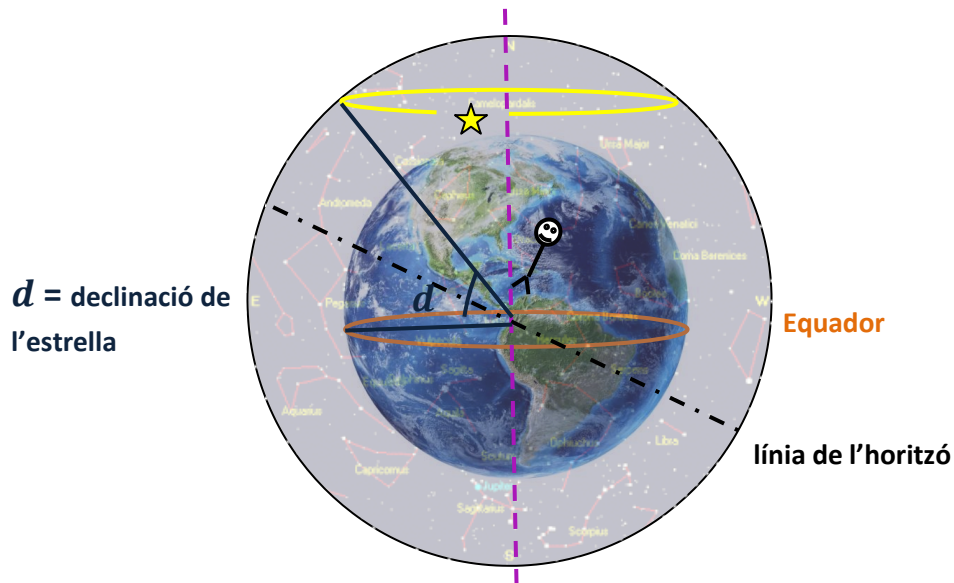


L'angle α és la declinació a l'estrella respecte a l'estrella polar. Les estrelles situades al pla de l'equador sempre tindran una declinació igual a 0. La declinació dels estels situats a l'hemisferi nord sempre serà positiva, mentre que la dels que estan situats a l'hemisferi sud serà negativa. Si una estrella està localitzada justament sobre el Pol Nord, tindrà declinació de 90° (la màxima). En canvi, si es troba justament al Pol Sud, la seva declinació serà -90° (la mínima).

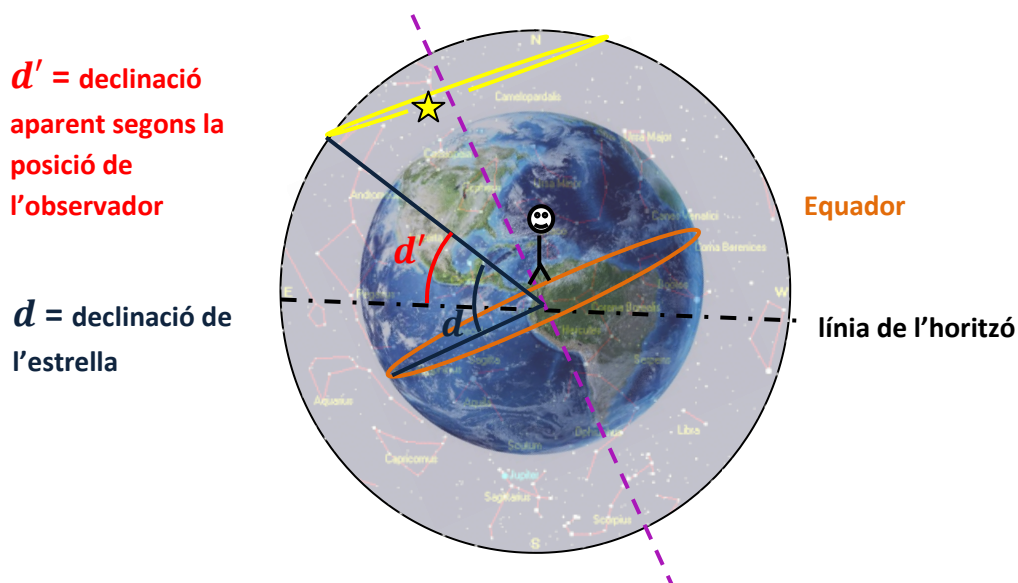
8.3. RELACIÓ ENTRE LATITUD I DECLINACIÓ DE LES ESTRELLES

Als tròpics veiem algunes estrelles en tota la seva trajectòria, i a altres només parcialment. Existeix una manera de saber a partir de quina declinació ha de tenir una estrella perquè es pugui veure en tota la seva trajectòria des dels tròpics.

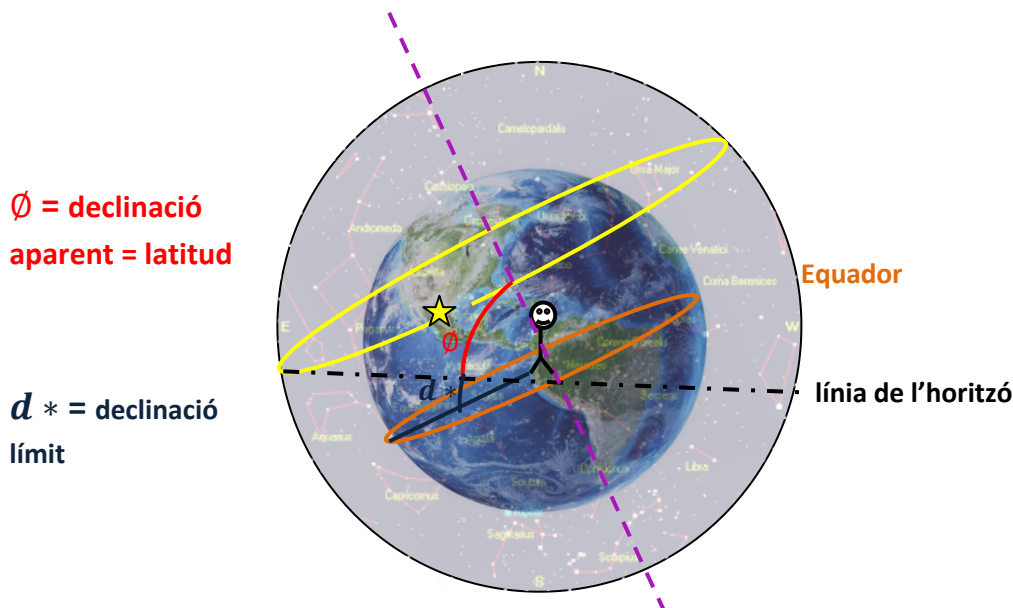
Si col·loquem un observador del cel en algun lloc dels tròpics terrestres, aquesta persona veurà el cel segons la seva línia de l'horitzó. Si tornem a col·locar la Terra ignorant la seva inclinació, la il·lustració, amb la representació de l'horitzó, queda així:



Si posicionem la Terra novament inclinada, tal i com és, podem observar que la línia de l'horitzó de l'observador talla l'angle de la declinació. L'angle que es forma entre la línia de l'horitzó i la trajectòria de l'estrella és la **declinació aparent segons la posició de l'individu**. Com que l'Equador no està a l'abast de la vista de l'observador, aquest creurà que la seva declinació és l'angle que forma amb el seu horitzó. La persona veurà la declinació de l'estrella erròniament, ja que, verdaderament, la declinació és l'angle que forma amb l'Equador i no l'horitzó.



Per saber a partir de quina declinació es veu tota la trajectòria d'una estrella, col·locarem el recorregut de l'estel fins al límit de la línia de l'horitzó, de manera que aquella serà l'angle extrem en el qual es veurà tota la trajectòria de l'estrella des del punt de l'observador. Si la declinació fos una mica més petita, l'estel ja no es veuria en tot el seu recorregut.



Quan la trajectòria d'una estrella es troba a l'extrem de la línia de l'horitzó, la declinació aparent de l'observador coincideix amb la latitud (\emptyset) del punt on es troba. La declinació que té aquesta estrella s'anomena declinació límit (d^*), ja que és la mínima que ha de tenir un estel per ser vist en tota la seva trajectòria des d'un lloc determinat.

Amb aquests fets podem arribar a la conclusió que l'observador veurà tota la trajectòria d'una estrella si la seva declinació (d) és igual o més gran que la declinació límit (d^*). Si aquesta és més petita que la declinació límit, ja no es veurà en tota la seva trajectòria. La declinació límit està relacionada amb la latitud on es troba l'individu, ja que serà sempre 90° (l'angle que hi ha entre l'eix polar i l'Equador) menys la latitud de l'observador.

Matemàticament parlant, les estrelles:

- es veuen en tota la seva trajectòria si $d \geq d^*$
- no es veuen en tot el seu recorregut si $d < d^*$

$$d^* = 90^\circ - \emptyset$$

9. PRÀCTICA : BUSQUEM UNA ESTRELLA QUE ES VEGI EN TOTA LA SEVA TRAJECTÒRIA A FIGUERES, PERÒ QUE NO SIGUI TOTALMENT VISIBLE A LA CATALUNYA DEL SUD

Per tal d'utilitzar els coneixements apresos sobre la visió de les estrelles al nostre planeta, he realitzat una pràctica aplicant els conceptes anteriors. El meu objectiu és trobar una estrella que sigui visible en tota la seva trajectòria al nostre municipi, però que no ho sigui a un poble meridional de Catalunya.

La localitat escollida és Alcanar, l'últim municipi de Catalunya. La seva posició està tant al sud que gairebé pertany a València.



Per realitzar aquesta pràctica utilitzarem la teoria anterior de la pàgina 43.

Recordem que, perquè una estrella es pugui veure en tota la seva trajectòria per un observador, ha de tenir una declinació igual o més gran que la declinació límit. La declinació límit coincideix amb la resta de 90° menys la latitud de la posició de la persona.

- Les estrelles es veuen en tota la seva trajectòria si $d \geq d^*$
- Els estels no es veuen en tot el seu recorregut si $d < d^*$

$$d^* = 90^\circ - \varphi$$

9.1. PROCEDIMENTS

Primer de tot, hem de buscar la declinació límit de les dues poblacions. Com que la declinació límit és igual a 90° menys la latitud, necessitem la latitud dels dos municipis. La latitud de Figueres és de $42^\circ 15'$ i la d'Alcanar, de $40^\circ 32'$. Calculem les seves declinacions límit:

$$d^* \text{ Figueres} = 90^\circ - 42^\circ 15' = 47^\circ 45'$$

$$d^* \text{ Alcanar} = 90^\circ - 40^\circ 32' = 49^\circ 28'$$

Com podem comprovar, la declinació límit de Figueres és més petita que la d'Alcanar.

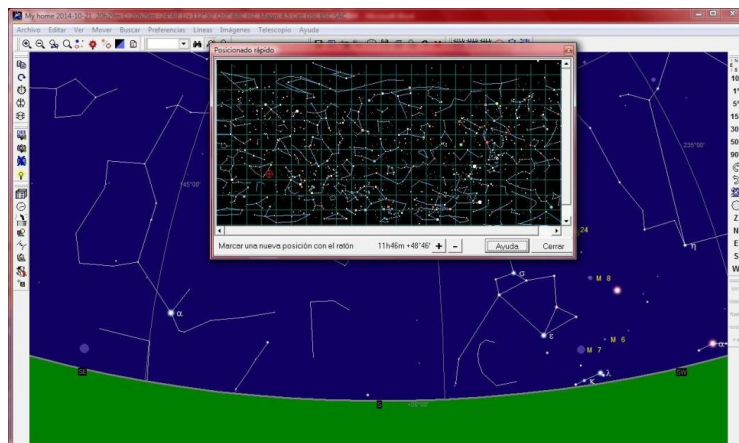
$$47^\circ 45' < 49^\circ 28'$$

Això significa que les estrelles que tinguin una declinació a partir de $47^\circ 45'$ es veuen en tota la seva trajectòria a Figueres, però només es veuran completament a Alcanar si tenen una declinació igual o superior a $49^\circ 28'$. Per tant, hi ha estrelles que nosaltres podem veure en tot el seu desplaçament i els canareus (habitants d'Alcanar) no podran observar en la seva trajectòria completa.

9.1.1 Busquem una estrella amb el Cartes du Ciel

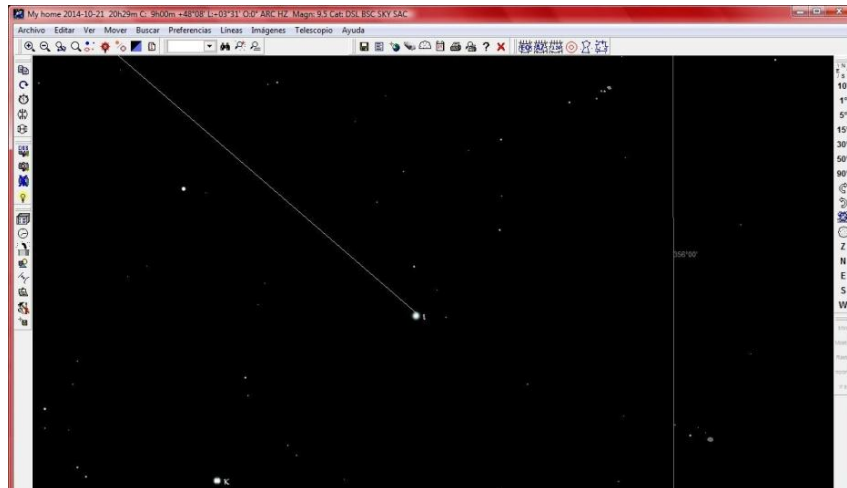
Posteriorment, passem a buscar una estrella que tingui una declinació entre $47^\circ 45'$ i $49^\circ 28'$. Existeix un programa d'ordinador anomenat *Cartes du Ciel*. Aquesta aplicació consisteix en una simulació astronòmica en la qual tu pots buscar tot tipus de cossos celestes, trobar-ne informació i realitzar-ne els càlculs.

Aquest programa té una opció amb la qual es pot buscar una estrella a partir d'un mapa estel·lar fet a escala. També permet visualitzar les seves declinacions a mida que el cursor del ratolí es col·loca sobre els estels.

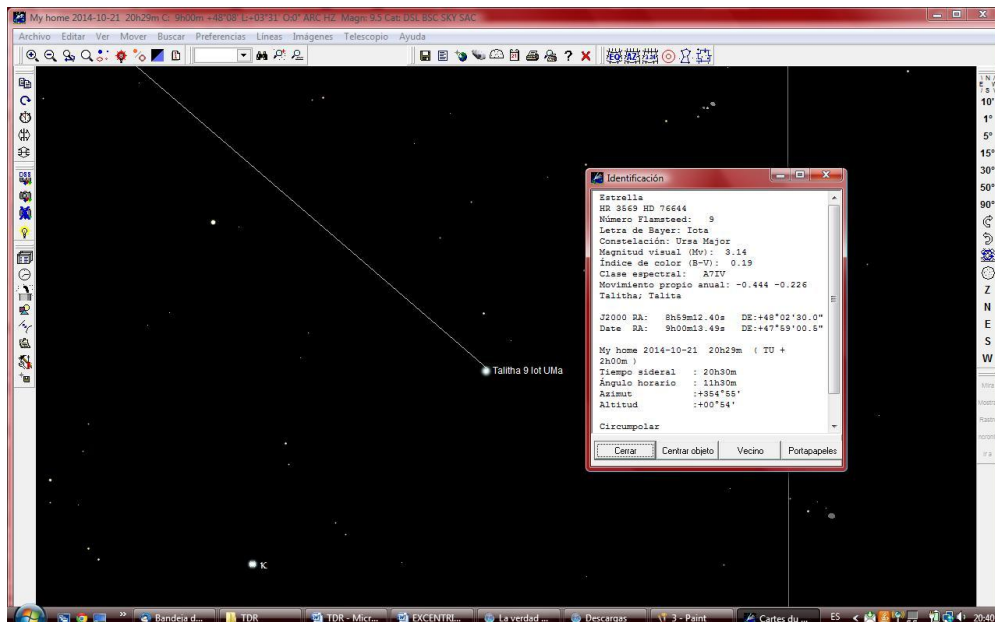


Una mirada als astres del cel

Un cop hem escollit la nostra estrella, ens apareix la posició en augment. El servidor també pot ampliar la vista i veure-la de més a prop. En el meu cas, he escollit una estrella que té una declinació de $48^{\circ}02'$. En aproximar-me a la seva posició, he vist que forma part d'una constel·lació.



En el programa hi ha un seguit d'informacions sobre l'estrella. El seu nom és Talitha i forma part de la constel·lació Óssa Major.



Amb aquestes dues dades he pogut fer recerca sobre aquest estel per Internet. Consisteix en una estrella doble, és a dir, dues estrelles molt juntes que actuen com una de sola. Forma part de la constel·lació Óssa Major i es troba aproximadament a 358 anys llum.

Des de Figueres, podem veure Talitha en tota la seva trajectòria, però els habitants d'Alcanar no poden observar tot el seu desplaçament. Com que aquesta estrella pertany a la constel·lació de l'Óssa Major, això significa que els canareus no poden veure tota la trajectòria de la constel·lació al llarg de la nit.

10. CONCLUSIÓ

No ha estat un treball fàcil, però res que val la pena ho és i estic molt satisfeta dels meus resultats. Valoro molt positivament la feina que he fet durant tots aquests mesos, perquè he ampliat els meus coneixements i he après un munt de coses. Com ja he esmentat en la meua introducció, no veig el meu futur adreçat a aquest àmbit però trobo que sempre és útil saber una mica de tot.

Mentre treballava en aquest projecte, m'he trobat amb diverses dificultats. D'una banda, que, si bé actualment hi ha molta informació penjada a la xarxa, les dades astronòmiques en diverses pàgines web discrepaven molt les unes de les altres. Això m'ha fet dubtar de la seva veracitat, i per això he decidit comprovar-ne l'autenticitat en un dels meus annexos.

Un altre aspecte del que m'he adonat és que realitzar un treball sobre matemàtiques té un cert nivell de dificultat. En la part de les pràctiques, m'he vist amb seriosos problemes quan les equacions no em quadraven o m'equivocava en els càlculs. He pogut comprovar que la sensació d'angoixa i frustració que m'assaltava quan produïa un error era similar a l'atac de nervis provocat davant un examen matemàtic en el qual una persona es queda en blanc. Tot i així, he seguit insistint i tornant a calcular les activitats fins que he superat totes les dificultats.

A part de tot el sector matemàtic i numèric, he volgut introduir al treball alguns aspectes més teòrics, així com també observacions meves, curiositats que a mi particularment m'han interessat o anècdotes que podrien fer més passable a algú que trobi feixuga tanta fórmula. També m'he esmerat en ser prou clara i entenedora perquè la part científica i tècnica sigui comprensible per algú que no estigui familiaritzat amb aquests conceptes.

Les meves conclusions del treball són les següents:

- La visió de les estrelles al nostre cel depèn fonamentalment de la latitud on ens trobem. A la meua pràctica, he pogut comprovar que, amb pocs graus o minuts latitudinals de diferència, una estrella ja pot ser o no visible en tota la seva trajectòria.

- Disposant solament de la latitud d'una posició i d'un programa informàtic, pots arribar a calcular les estrelles que es veuran en tota la seva trajectòria a partir d'aquell punt, quines són i les seves característiques.
- La trajectòria aparent que presenten els planetes al nostre cel és complexa i sorprenent. Aquests astres descriuen unes figures abstractes, provocades per la diferència de velocitat i inclinació orbital característiques de cada cos celeste.
- En la meva pràctica, he pogut comprovar que, suposant que les òrbites planetàries són circulars i que el seu pla d'inclinació és l'horitzontal, cada planeta forma una figura diferent respecte a la Terra. Les trajectòries són totalment simètriques i perfectes, com els dibuixos d'un *mandala*.
- Tenint en compte que en la realitat les òrbites són el·líptiques, inclinades, i que els planetes es veuen influenciats per la força d'altres astres, la figura que descriuen al nostre cel és encara més complicada i elaborada.
- He descobert que, en la majoria de planetes, hi ha una relació més o menys evident entre les seves propietats i els ésser mitològics pels quals porten el nom. L'etimologia dels planetes consta en un dels annexos.
- Encara que he obtingut el resultat que m'esperava, he pogut comprovar en les meves pràctiques la veracitat de les fórmules aplicades al meu treball. Els meus resultats estan introduïts en els annexos.

Personalment, malgrat totes les dificultats que he tingut i alguns moments d'estrès, ha estat un treball que he gaudit molt i que m'ha portat a situacions que, si no l'hagués hagut de fer, no hauria viscut.

D'una banda, he obtingut l'ajuda del Departament d'Informàtica i Matemàtica Aplicada i Estadística (IMAE) de la Universitat de Girona (Udg), que m'ha becat amb una tutora. Aquesta ha estat una gran oportunitat, no només d'avançar a passos de

gegant en el treball, sinó també de conèixer una professional amb totes les lletres i visitar la Universitat en persona.

De l'altra, vaig visitar el Royal Observatory de Greenwich en la meua estada a Anglaterra, fet que no hagués realitzat si no hagués elaborat aquest projecte. També he conegut molta gent i he obtingut ajuda de persones que no m'esperava a causa del treball.

A més a més, jo mateixa he quedat sorpresa amb els resultats a mesura que anava treballant. He après molts conceptes i en les pràctiques he pogut comprovar fenòmens que no m'havia esperat mai. També he gaudit de les curiositats que he anat trobant al llarg d'aquest camí.

Ara que he acabat aquest treball, em sento molt satisfeta de mi mateixa i agraïda amb totes les persones que m'han ajudat a aconseguir-ho. Estic realment contenta amb el meu projecte, i això em dóna una sensació de benestar.

ANNEXOS

ÍNDEX

• ANNEX I: L'UNIVERS QUE ENS ENVOLTA	51
1. La nostra estrella: el Sol	51
2. Planetes del Sistema Solar	53
2.1. Planetes interiors i sòlids	53
2.2. Planetes exteriors i gasosos	61
3. Planetes nan del Sistema Solar	72
4. Asteroides i cometes més importants del Sistema Solar	80
5. Zones notables del nostre Sistema Solar	82
5.1. El cinturó d'asteroides	82
5.2. El cinturó de Kuiper	83
5.3. El disc dispers	83
5.4. El núvol d'Oort	84
6. La nostra galàxia: la Via Làctia	84
• ANNEX II: PRINCIPIS BÀSICS MATEMÀTICS I FÍSICS PREVIS A LA PRÀCTICA I	86
1. Principis matemàtics	86
1.1. Vectors	86
1.2. Coordenades polars	88
2. Principis físics	90
2.1. Lleis de Newton.....	90
• ANNEX III: PRÀCTICA, COMPROVACIÓ MATEMÀTICA DE LA RELACIÓ ENTRE L'EXCENTRICITAT I LES SECCIONS CÒNIQUES	92
1. Desenvolupament de l'equació.....	93
2. La paràbola	93
3. L'el·lipse.....	94
4. La hipèrbola	95
5. La circumferència	97
• ANNEX IV: PRÀCTICA, COM CALCULAR EL SEMIEIX HORIZONTAL DE LES ÒRBITES	100
1. Procediments	100
2. Resultats obtinguts.....	101
• ANNEX V: PRÀCTICA, COMPROVEM LA VERACITAT DE DUES DADES ORBITALS OBTINGUDES	102
1. Comprovació	102
2. Resultats obtinguts.....	103

• ANNEX VI: FENÒMENS ORBITALS ESTRANYS	105
1. El cas curiós de l'òrbita de Mart.....	105
2. La peculiar inclinació d'Urà	106
• ANNEX VII: FUNCIONAMENT DEL GEOGEBRA	107
• ANNEX VIII: DESMUNTANT MITES ASTROLÒGICS	112
1. Les constel·lacions del zodíac.....	112
2. El moviment de precessió de la Terra	112
3. Conseqüències de la precessió que refuten l'astrologia.....	113
• ANNEX IX: VISITA AL ROYAL OBSERVATORY GREENWICH	115
1. Royal Observatory de Greenwich.....	115
2. El planetari.....	116
2.1. Google Lunar Prize	116
3. El meridià de Greenwich	117
3.1. Història del Meridià 0.....	118
• ANNEX X: AGRAÏMENTS	120
• ANNEX XI: BIBLIOGRAFIA	122
1. Webgrafia	122
2. Llibres	123
3. Treballs.....	123
4. Articles.....	123
5. Fonts de les imatges	123

5. ELS MOVIMENTS ORBITALS DELS ASTRES.....	11
5.1. Principis matemàtics previs.....	11
5.1.1. Excentricitat	11
5.1.2. Seccions còniques (l'el·lipse).....	12
5.2. Principis físics previs.....	14
5.2.1. Lleis de Kepler	14
5.2.2. Llei de la Gravitació Universal de Newton	17
5.2.3. El moviment angular	21
• Circumferències.....	21
• El·lipses	23
5.3. Inclinació orbital.....	24
5.3.1. Importància de la inclinació orbital.....	24
5.4. Dades orbitals dels astres del Sistema Solar	25
6. PRÀCTICA: OBSERVACIÓ DEL MOVIMENT DELS PLANETES DES DE LA TERRA	26
6.1. El Geogebra	26
6.2. Representacions amb el Geogebra	26
6.3. El moviment retrògrad dels planetes.....	28
6.4. Simulació del Sistema Solar.....	30
7. ASTRONOMIA DE POSICIÓ	33
7.1. Principis bàsics.....	33
7.2. Coordenades esfèriques.....	33
7.2.1. Projecció d'un punt	34
7.2.2. Línies imaginàries	35
8. LA VOLTA CELESTE	37
8.1. Vista de les estrelles segons la posició terrestre.....	38
8.1.1. Des dels pols de la Terra	38
8.1.2. Des de l'equador	39
8.1.3. Des dels tròpics del nostre planeta.....	39
8.2. La declinació d'una estrella	40
8.2. Relació entre la latitud i la declinació d'una estrella.....	41

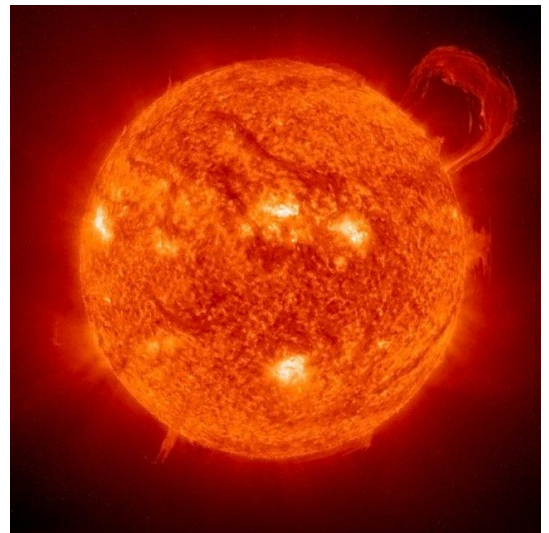
9. PRÀCTICA: BUSQUEM UNA ESTRELLA QUE ES VEGI EN TOTA LA SEVA TRAJECTÒRIA A FIGUERES, PERÒ QUE NO SIGUI TOTALMENT VISIBLE A LA CATALUNYA DEL SUD	44
9.1. Procediments	45
9.1.1. Busquem una estrella amb el <i>Cartes du Ciel</i>	45
10. CONCLUSIÓ	48

ANNEX I: L'UNIVERS QUE ENS ENVOLTA

NOTA: Les dades trobades respecte a les característiques físiques dels astres resulten confuses ja que són lleugerament diferents a cada lloc on s'ha buscat. Jo he escollit aquestes:

1. LA NOSTA ESTRELLA: EL SOL

- **Diàmetre:** 1.392.000 km
- **Massa:** $1'9891 \cdot 10^{27}$ t
- **Volum:** $1'4122 \cdot 10^{18}$ m³
- **Gravetat:** 274 m/s²
- **Temperatura de la superfície:** 5780 K *
- **Període de rotació:** entre 25 i 36 dies
- **Període orbital:** entre 225 i 250 milions d'anys



[11.1]

(centre galàctic)

* Per passar de graus K a Cº, s'ha de restar 273 als graus K.

El nucli del nostre sistema planetari és el Sol, l'estrella de mida mitjana al voltant de la qual giren tots els planetes i altres cossos celestes. Aquest astre està situat en un dels braços de la nostra galàxia. Per si sol, representa el 99'86% de la massa del Sistema Solar.

El Sol, com totes les estrelles, orbita al voltant del centre galàctic, és a dir, del nucli de la galàxia al qual pertany. En el seu moviment de translació, arrossega els astres que orbiten al seu voltant amb ell. Per tant, el Sistema Solar està en continu moviment,

seguint la seva estrella. A la vegada, el Sol realitza un moviment de rotació sobre el seu eix, que varia segons el punt de la superfície de l'estrella.

La llum produïda pel Sol, indispensable per la nostra vida, tarda 8 minuts i 19 segons en recórrer la distància entre aquest i el nostre planeta. Des de la Terra, veiem la capa més externa i superficial del Sol, anomenada fotosfera. A l'interior de l'estrella, al nucli, tenen lloc les reaccions nuclears que permeten l'alliberació de tanta energia. Igual com totes les estrelles, la conversió de l'hidrogen en heli és la reacció principal causant de l'emissió de la llum estel·lar.

- **Etimologia:** D'una banda, *sol* ve de la paraula llatina *solis*, que serveix per designar la nostra estrella que ens dóna llum. En aquesta definició no se li atribueix cap divinitat a la paraula.

D'altra banda, en la mitologia grega, existia el déu Helios, que era la personificació del nostre Sol. Helios era un dels fills dels titans, dels quals en parlarem després. Formava part de la tercera generació de déus en les creences gregues. Era representat amb una aurèola i cada dia passava pel cel en un carro tirat per quatre cavalls o toros, els noms dels quals eren Ardent, Resplendent, Igni i Albada. El seu desplaçament d'est a oest pel cel era la nostra visió de l'estrella que ens dóna la llum del dia. També s'associa el déu grec Apol·lo amb el del Sol, però aquesta és una altra versió.

El seu equivalent en la mitologia romana és el déu Sol. Aquest déu va agafar molta importància durant l'Imperi romà, tot i que en la mitologia grega no la tenia.

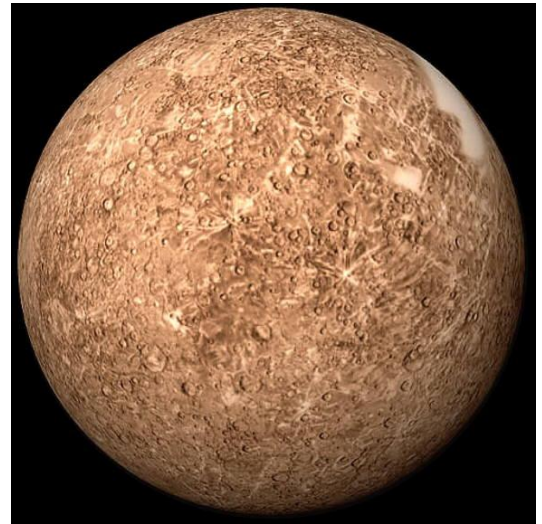
- **OBSERVACIÓ:** El déu Helios també va donar nom a l'element químic heli, possiblement perquè el Sol n'està compost majoritàriament.

2.PLANETES DEL SISTEMA SOLAR

2.1 PLANETES INTERIORS I SÒLIDS

Mercuri

- **Diàmetre (eq.)*:** 4.979'4 km
- **Massa:** $3'302 \cdot 10^{20}$ t
- **Volum:** $1'412 \cdot 10^{18}$ m³
- **Gravetat:** 2'78 m/s²
- **Temperatura mitjana de la superfície:** 166 C^o
- **Període de rotació:** 58'6 dies
- **Període orbital:** 87'97 dies
- **Distància mitjana de la Terra**:** 91.688.534'84 km
- **Distància mitjana del Sol**:** 57. 909.335'86 km
- **Nombre de satèl·lits:** cap



[11.2]

* Com que els planetes no són esferes exactes, el seu diàmetre equatorial és lleugerament diferent al polar. En les dades es té en compte el diàmetre equatorial.

** Ja que les òrbites dels planetes són el·líptiques, hi ha punts on la distància entre els planetes i la resta d'astres és màxima i punts on és mínima. Les dades obtingudes representen la mitjana entre la distància màxima i mínima.

Mercuri és el planeta més pròxim al Sol, el més petit del Sistema Solar i el més ràpid en realitzar una volta al voltant de la nostra estrella. Aquest astre està compost majoritàriament de metalls, i té un aspecte exterior semblant a la Lluna.

A causa de la seva posició, aquest planeta té una atmosfera gairebé nul·la, per la qual cosa no disposa d'una capa protectora contra els meteoroides exteriors. Com a

conseqüència, la superfície de Mercuri està plena de cràters, fosses i crestes. Un altre efecte de la seva proximitat al Sol són les temperatures extremes. Durant el dia mercurià, les temperatures són altíssimes i arriben als 430°C. A la nit, el planeta es refreda considerablement i assoleix una temperatura de -180°C.

Un tret curiós i característic de Mercuri és l'anomenada ressonància orbital. Aquest fenomen té lloc quan entre les òrbites de dos cossos hi ha una relació que es pot definir en una fracció de nombres enters. Mercuri tarda 59 dies (aproximadament) en realitzar una volta al Sol i uns 88 aproximats en fer una volta sobre si mateix. Per cada tres voltes que completa Mercuri al voltant del Sol, efectua dues voltes sobre si mateix. La seva ressonància orbital és de 2:3. Aquest fet també succeeix en altres planetes i asteroides del Sistema Solar.

- **Etimologia:** En la mitologia grega, Hermes era el déu del comerç i del negoci, dels viatgers, de les fronteres i de l'astúcia dels lladres i mentiders. Era fill de Zeus i d'una plèiade (filla d'un déu i una nimfa) anomenada Maya. Era el missatger dels déus i se'l representava amb unes sandàlies i un barret amb ales. Era ràpid, veloç i lleuger. També tenia el do de la paraula i el pensament, i es diu que va inventar l'alfabet.

En la mitologia romana Hermes és Mercuri, déu amb qui comparteix gairebé totes les característiques. El planeta Mercuri es va guanyar el nom amb les seves propietats: és el planeta més ràpid en donar una volta al Sol, el més petit i el més lleuger, com el déu missatger.

- **OBSERVACIÓ:** El déu Mercuri també va determinar el nom de l'element químic Mercuri, ja que és una substància molt volàtil i lleugera.

Venus

- **Diàmetre (eq.):** 12.103'6 km
- **Massa:** $3'869 \cdot 10^{21}$ t
- **Volum:** $9'284 \cdot 10^{20}$ m³
- **Gravetat:** 8'87 m/s²
- **Temperatura mitjana de la superfície:** 463'85 Cº
- **Període de rotació:** 243 dies
- **Període orbital:** 224'7dies
- **Distància mitjana de la Terra:** 41.393.730'6 km
- **Distància mitjana del Sol:** 108.204.140'1 km
- **Nombre de satèl·lits:** cap



[11.3]

Venus és el segon planeta més proper al Sol i el tercer més petit del Sistema Solar. És un astre rocós i abrupte. És considerat el “bessó” de la Terra, ja que la seva mida s’assembla a la del nostre planeta. A diferència de la majoria d’astres del nostre sistema planetari, Venus gira sobre sí mateix en el sentit de les agulles del rellotge.

Malgrat que no és el planeta més pròxim a la nostra estrella, Venus és l’astre amb temperatures més altes de tot el Sistema Solar. Això és a causa de la seva densa atmosfera, composta majoritàriament per gasos d’efecte hivernacle, com el diòxid de carboni. Es calcula que la pressió atmosfèrica de Venus és 90 vegades superior a la de la Terra.

Vist des del nostre planeta, Venus és l’astre més brillant després de la Lluna i el Sol.

- **Etimologia:** Afrodita era la deessa grega de l’amor, la bellesa i la fecunditat. No se sap exactament qui eren els seus pares. Hi ha històries que afirmen que era filla de la deessa Anfitrite i del déu Tritó. Altres mites narren que va néixer quan el déu Cronos

va castrar el seu pare Urà i va tirar els seus genitals al mar. Dels genitals fecundats va sorgir Afrodita sobre una petxina. Era representada com la deessa més bella de l'Olimp.

El seu equivalent romà, Venus, té les mateixes virtuts i és la que dona nom al planeta més càlid de tot el Sistema Solar.

Terra

- **Diàmetre (eq.):** 12.765 km
- **Massa:** $5'974 \cdot 10^{24}$ t
- **Volum** $1'083 \cdot 10^{21}$ m³
- **Gravetat:** 9'78 m/s²
- **Temperatura mitjana de la superfície:** 14'05 Cº
- **Període de rotació:** 23'93 hores
- **Període orbital:** 365'256 dies
- **Distància mitjana del Sol:** 149.597.870'7 km
- **Nombre de satèl·lits:** un



[11.4]

La Terra és el tercer planeta que orbita al voltant del Sol i el més gran entre els planetes interiors i rocosos. Aquest astre posseeix quatre característiques singulars en tot el Sistema Solar: l'existència de l'aigua que forma els seus immensos oceans, els éssers vius que habiten el planeta, l'intens camp magnètic que posseeix i el fet que les plaques tectòniques estiguin en continu moviment (la deriva continental).

La seva posició respecte el Sol és idònia per a la vida. La seva atmosfera és prou densa per protegir la Terra de possibles meteorits, i amb gasos com el diòxid de carboni que permet mantenir l'escalfor del Sol, és òptima perquè els organismes hi visquin. A més a més, la presència d'aigua líquida fa possible l'existència dels éssers vius. De moment, la Terra és l'únic planeta conegut on hi ha vida.

- **Etimologia:** Etimològicament, *terra* prové del llatí *tellus*, que significa el nostre planeta Terra. Aquesta paraula es tradueix a les altres llengües llatines.

En la mitologia grega, Gea o Gaia era la Terra Mare, la deessa de la maternitat i de la fecunditat. Era la mare de totes les races divines, que va engendrar els gegants, els titans i els hecatònquirs (monstres). Segons els mites, va néixer del caos i del desordre juntament amb Urà.

El seu equivalent en la creença romana és la deessa Tellus o Terra, personificació de la terra i de la maternitat. Aquest és el nom que va assolir el nostre planeta blau.

L'únic satèl·lit : La Lluna

- **Diàmetre (eq.):** 3.476 km
- **Massa:** $7'349 \cdot 10^{19}$ t
- **Volum:** $2'2 \cdot 10^{19}$ m³
- **Gravetat:** 1'62 m/s²
- **Temperatura mitjana de la superfície:** 107 C^o
- **Període de rotació:** 27'32 dies
- **Període orbital:** 27'32 dies
- **Distància de la Terra:** 384.400 km



[11.5]

La Lluna, origen de mites i llegendes des de l'antiguitat, està posicionada a la distància justa de la Terra, de tal manera que vista des del nostre planeta tingui la mateixa mida que el Sol. El seu diàmetre és una quarta part del de la Terra, i la seva massa una vuitena part.

Malgrat la seva brillantor aparent, aquest satèl·lit té un aspecte gris apagat. La seva superfície està plena de cràters, fosses i zones més fosques anomenades mars. Això és conseqüència dels nombrosos impactes de meteorits que ha sofert la Lluna al llarg dels mil·lennis.

Un fet curiós és que la Lluna té la rotació síncrona, és a dir, tarda el mateix en donar una volta a la Terra que en efectuar-ne una sobre si mateixa, de manera que des la posició del nostre planeta sempre veiem la mateixa cara del satèl·lit. Aquest fet també és considerat com una ressonància orbital entre la Terra i el seu satèl·lit de 1:1. La Lluna és l'únic cos celeste en el qual l'ésser humà ha realitzat un descens.

- **Etimologia:** De fet, la paraula *lluna* prové del llatí *luna*, que fa referència al nostre satèl·lit.

En l'antiga Grècia Selene era la deessa lunar, filla dels déus titans i germana d'Helios, el déu del Sol. Era representada com una dona bella que vestia amb túniques i amb una tiara en forma de mitja lluna. Segons la mitologia, conduïa un carro platejat tirat per bous. La seva feina era desplaçar-se pel cel tan bon punt acabava el seu trajecte el seu germà Helios, produint la nit. Més tard també es va relacionar amb la deessa Artemisa, portadora de la Lluna.

L'equivalent de Selena en la mitologia romana és la deessa Luna. D'aquí prové el nom llatí del nostre satèl·lit.

Mart

- **Diàmetre (eq.):** 6.794 km
- **Massa:** $6'419 \cdot 10^{20}$ t
- **Volum:** $1'632 \cdot 10^{20}$ m³
- **Gravetat:** 3'69 m/s²
- **Temperatura mitjana de la superfície:** -46 C°

[11.6]



- **Període de rotació:** 24'62 hores
- **Període orbital:** 1'88 anys
- **Distància mitjana de la Terra:** 78.882.957'7 km
- **Distància mitjana del Sol:** 228.480.828'4 km
- **Nombre de satèl·lits:** 2

Mart és el quart planeta més pròxim al Sol i el més allunyat entre els planetes rocosos. Amb el seu color vermell destacat, aquest astre té una superfície muntanyosa, volcànica i rocosa, amb algunes zones on es troben cràters produïts per impactes amb meteoroides.

Malgrat la seva mida més petita i la seva naturalesa freda, Mart és el planeta que posseeix més característiques similars a la Terra: la inclinació del seu eix és gairebé la mateixa que la del nostre planeta, l'existència de casquets polars diferenciats de la resta del planeta, una atmosfera semblant, similar període de rotació, etc.

El gran misteri de Mart són les evidències descobertes que semblen apuntar a la presència d'aigua en un passat, quan el clima era més càlid. Aquesta revelació va fer plantejar als científics la possibilitat d'haver existit o existir vida en el planeta. Avui dia, aquest tema encara està en dubte.

- **Etimologia:** En les creences gregues Ares era el déu de la guerra, de la brutalitat, la violència i l'horror de les batalles. Era fill de Zeus i Hera, tot i que existeix una altra versió que explica que va néixer quan Hera va tocar una determinada flor que li va oferir una nimfa. Era representat com un jove guapo, presumit, maleducat i sense cultura. Portava sempre amb ell un escut, un casc i una llança tacada de sang.

En la mitologia romana, l'igual d'Ares és el déu Mart, que té les seves mateixes característiques. El color vermell del planeta, llampant com la sang, va atribuir al planeta el nom del déu de la guerra.

Els satèl·lits de Mart : Fobos i Deimos

Fobos

Fobos és el satèl·lit més gran de Mart, amb una massa de $1'06 \cdot 10^{13}$ tones. Malgrat això, té una mida molt petita per ser un satèl·lit, i, com a conseqüència, no té forma esfèrica. Fobos té una estructura rocosa, ovalada i desigual. La seva superfície presenta nombrosos cràters.

- **Etimologia:** Fobos era la personificació del temor i l'horror. Fill d'Ares i Afrodita, acompanyava el seu pare a totes les guerres. Representava la por que tenien els combatents d'una guerra abans de lluitar, pel temor de la mort o el dolor.

El seu equivalent romà era Timor. De la paraula *fobos* deriva la paraula *fòbia*.

Deimos

Deimos és el satèl·lit més petit que orbita al voltant de Mart. La seva massa és de $2'4 \cdot 10^{12}$ tones. Les seves característiques són molt semblants a les de Fobos. Igual que l'altre satèl·lit, la seva aparença és similar a la d'un asteroide .

- **Etimologia:** Deimos era la personificació del terror. Era fill d'Ares i Afrodita, i acompanyava Ares en les seves batalles juntament amb el seu germà Fobos. Representa el terror que sembla la guerra en la gent.

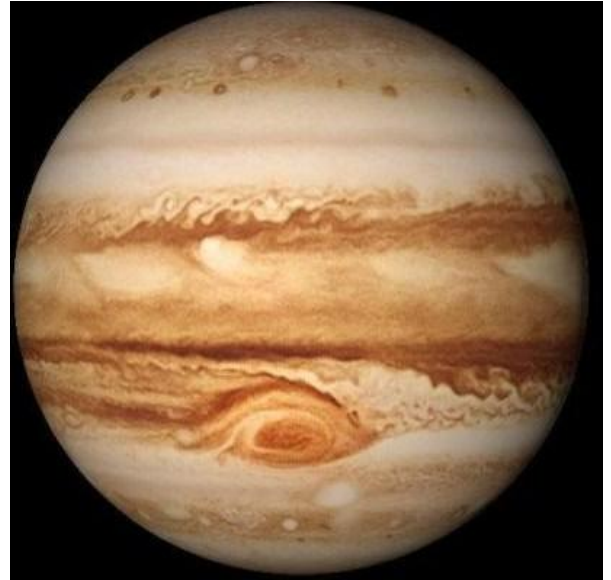
El seu igual en la mitologia romana era Fuga, tot i que també se li atribuïen altres noms.

NOTÍCIA CURIOSA: L'any 1726 Jonathan Swift va escriure el famós llibre de ciència-ficció *Els Viatges de Gulliver*. En la història, el protagonista viatja a la terra imaginària de Lilliput, on coneix uns astrònoms que observen les dues llunes de Mart. En la novel·la, els dos satèl·lits són descrits amb tot detall, especificant les hores que tarden cada un en donar una volta al planeta. El més curiós de tot és que, 150 anys després, es va descobrir que realment Mart tenia dos satèl·lits i que les seves característiques coincidien aproximadament amb les descrites en el llibre de Swift.

2.2. PLANETES EXTERIORS I GASOSOS

Júpiter

- **Diàmetre (eq.):** 142.984 km
- **Massa:** $1'899 \cdot 10^{24}$ t
- **Volum:** $1'431 \cdot 10^{24}$ m³
- **Gravetat:** 24'79 m/s²
- **Temperatura mitjana*:** entre -108 i -161 Cº
- **Període de rotació:** 9'84 hores
- **Període orbital:** 11'86 anys
- **Distància mitjana de la Terra:** 628.729.932'5 km
- **Distància mitjana del Sol:** 778.327.803'2 km
- **Nombre de satèl·lits:** 63



[11.7]

* En els planetes gasosos, ja no parlem de superfície perquè estan compostos majoritàriament de gasos i els pocs materials sòlids presents es troben al nucli. Per tant, la temperatura mitjana és la de les substàncies gasoses que formen les capes superficials del planeta.

Júpiter és el planeta més gran de tot el Sistema Solar i el cinquè més a prop de la nostra estrella. Encara que la massa de Júpiter sigui una mil·lèsima de la solar, multiplica per 300 la de la Terra. De fet, la seva massa representa les tres quartes parts de la massa de tots els planetes del nostre sistema junts.

Júpiter està compost bàsicament per hidrogen i heli, dos gasos molt lleugers. En tractar-se d'un planeta gasós, quasi tots els seus materials es troben en aquest estat, fet pel qual posseeix una atmosfera enorme carregada de nombrosos núvols. L'existència d'aquests gasos formats per diferents compostos químics, dóna al planeta aquest aspecte físic de ratlles paral·leles. A l'interior de Júpiter, se situa un nucli

metàl·lic rodejat de roca i líquids. Aquest nucli desprèn una gran quantitat d'energia semblant a la del Sol i exerceix un gran camp magnètic.

La Gran Taca Vermella descoberta en les fotografies del planeta és un enigma pels científics. Es tracta d'una gran zona vermella - d'uns 40.000 km d'allargada - formada per gasos i en continu moviment. Els experts no saben explicar de què es tracta amb exactitud.

Tot i que no és gaire impressionant, Júpiter té un sistema d'anells tènue que gira al seu voltant. Aquests anells, visibles només amb aparells satèl·lits artificials, estan formats per restes d'astres i asteroides atrets per la força de gravitació de Júpiter.

- **Etimologia:** Zeus era el déu grec pare de tots els déus (tot i que en realitat no així), era el rei de les divinitats, senyor de l'Olimp, amo del cel (després de destronar a Cronos) i dominador del tro i del llamp. Era fill de Rea i Cronos, rei dels titans. Zeus va ser el déu que va destronar Cronos i va alliberar els seus germans de la maldat i cobdícia del seu pare, que no volia cedir el poder a cap dels seus fills. Era un personatge poderós, valent i presumit. Estava casat amb la deessa Hera però li era infidel molt sovint. Per posseir les seves amants, amb qui va tenir nombrosos fills, les enganyava transformant-se en un animal o persona. Era representat amb una corona, un ceptre i per la figura de l'àguila.

El seu déu equivalent romà era Júpiter, també anomenat Jove. Les grans dimensions del planeta van portar a anomenar-lo com el rei dels déus.

Satèl·lits més importants de Júpiter

Ganimedes

És el satèl·lit més gran de Júpiter i el del Sistema Solar. La seva massa és de $1'482 \cdot 10^{20}$ tones, superior a la de Mercuri i, fins i tot, a la de Plutó. És l'únic satèl·lit del nostre sistema planetari que té un camp magnètic notable. A diferència dels satèl·lits de Mart, Ganimedes té forma esfèrica.

- **Etimologia:** Ganimedes era un humà príncep de Troia que es va convertir en heroi per les seves gestes i proeses. Era un jove molt guapo i bell, i Zeus es va enamorar d'ell. Convertit en àguila, el rei del déus el va raptar i el va portar a l'Olimp, on el va fer el

seu amant i el va convertir en coper. La feina de coper consistia en servir nèctar a les copes de les divinitats. No té equivalent romà.

Cal·listo

És el segon satèl·lit més gran que circula al voltant de l'enorme Júpiter. Igual que la Lluna, el seu període orbital és el mateix que el de rotació, de tal manera que sempre mostra la mateixa cara a Júpiter. La seva superfície és rocosa i irregular. És el satèl·lit que posseeix més cràters i deformitats de tot el Sistema Solar.

- **Etimologia:** Tot i que no se'n sap la procedència, Cal·listo era una humana o una nimfa caçadora que pertanyia a la cort d'Artemisa. Com totes les seguidores d'Artemisa, va fer un vot de castedat segon el qual no podia tenir relacions. Zeus es va enamorar d'ella i, per seduir-la, es va disfressar d'Artemisa. La caçadora es va quedar embarassada. En diverses versions de la història, Cal·listo acaba transformada en la constel·lació d'Ossa Major. No té divinitat igual en la mitologia romana.

Ío

És el tercer satèl·lit més gran de Júpiter. La seva característica singular és que sembla tenir una composició química interna molt similar a la dels planetes del Sistema Solar. Es tracta d'un satèl·lit molt metàl·lic, amb una superfície plena de cràters.

- **Etimologia:** Ío era una donzella sacerdotessa d'Hera que va enamorar a Zeus. El rei dels déus la va seduir en somnis i aquesta va anar a trobar-lo al llac Llane per ser la seva amant. Però els dos van ser sorpresos per Hera i Zeus la va transformar en una vedella per salvar-la. Ío pateix moltes aventures i desventures juntament amb el fill de Zeus, a causa de la gelosia d'Hera, però finalment troba la pau a Egipte. Altres versions afirmen que més tard va ser convertida en la deessa Demèter per Zeus. No té nom romà.

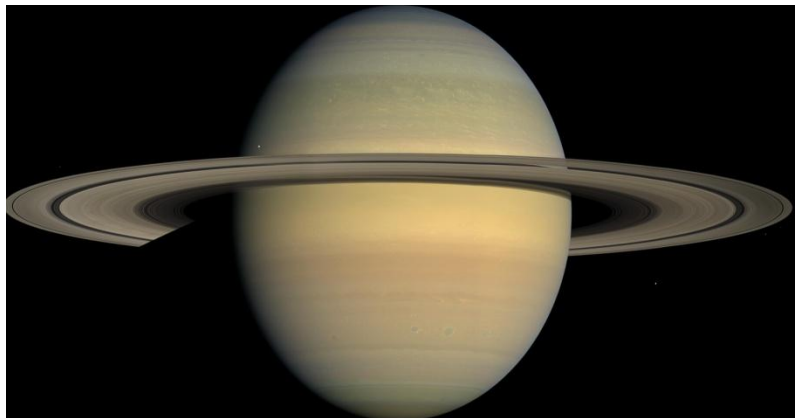
Europa

És el quart satèl·lit més gran que orbita al voltant de Júpiter. Té una mida una mica més petita que la de la Lluna i igual que Ío, amb una composició similar a la dels planetes. És un dels satèl·lits més densos de Júpiter.

- **Etimologia:** Europa era una humana fenícia que va fascinar Zeus per la seva bellesa. El rei de l'Olimp va seduir-la transformant-se en toro: la noia, pensant-se que era una animal, es va muntar sobre Zeus i aquest la va raptar emportant-se-la a Creta. Allà la va convertir en la seva amant i la va fer reina de l'illa. Aquesta donzella va donar nom al nostre continent. No té equivalent en la mitologia romana.
- **OBSERVACIÓ:** La majoria de satèl·lits de Júpiter reben el nom d'amants que va tenir el déu en la mitologia grega.

Saturn

- **Diàmetre (eq.):** 120.536 km
- **Massa:** $5'688 \cdot 10^{23}$ t
- **Volum:** $8'27 \cdot 10^{23}$ m³
- **Gravetat:** $10'44$ m/s²
- **Temperatura mitjana:** -130 Cº
- **Període de rotació:** 10'23 hores
- **Període orbital:** 29'5 anys
- **Distància mitjana de la Terra:** 1.277.386.301 km
- **Distància mitjana del Sol:** 1.426.984.172 km
- **Nombre de satèl·lits:** 61



[11.8]

Saturn és el sisè planeta del Sistema Solar i el segon més gran. És també el menys dens de tot el nostre sistema planetari. Tot i que només n'hi ha 61 d'assegurats, es creu que hi ha aproximadament cap a 200 satèl·lits que orbiten al voltant de Saturn.

Es tracta d'un planeta gasós com Júpiter, amb qui comparteix diverses característiques. El seu nucli està format per materials sòlids i líquids que produeixen una gran quantitat de calor interna. La resta del planeta està compost per combinacions de gasos i núvols, que formen unes ratlles similars en la seva l'aparença a les de Júpiter, tot i que no són tan destacades.

El més espectacular de Saturn són els anells, visibles des de qualsevol telescopi una mica potent i els més fascinants de tot el Sistema Solar. De fet, estan formats per pols, gel i milions d'asteroides, que circulen al voltant del planeta i que des de lluny donen aquesta impressió de ser una superfície compacte. Consisteixen en unes estructures semblants a grans anells, anomenades de la A a la F, separades per diferents divisions. A més a més, cadascuna d'aquestes àrees està formada per milers de subanells.

- **Etimologia:** En la mitologia grega, Cronos era el déu de l'agricultura, dels cultius i del pas del temps. Va ser el primer déu de la generació dels titans, fill d'Urà i Gea. El seu pare no volia que cap dels seus fills el destronés, ja que ell era l'amo de tot. Però Cronos, gràcies a la seva mare, el va guanyar i el va castrar, arrabassant-li el poder. Més tard Cronos es va casar amb la deessa Rea. Tenia por que li passés com al seu pare i va decidir menjar-se els seus fills tan bon punt naixessin. Quan va néixer el sisè fill, Zeus, Rea va enganyar a Cronos i li va donar una pedra embolicada perquè cregués que era el seu fill. El déu del temps no va notar l'engany i, més tard, Zeus va vèncer el seu pare i va alliberar els seus germans de la panxa de Cronos. Juntament amb dos dels seus germans, el déu del tro va desterrar el seu pare i es va convertir en déu de l'Olimp i del cel. Cronos es representava com un home vell, amb cabells canosos i barba, sostenint a la mà una falç que és la que va utilitzar per castrar el seu pare.

En les divinitats romanes, Cronos és el déu Saturn, portador del temps. A causa de la posició de l'astre darrere de Júpiter, el seu fill en la mitologia, aquest déu va determinar el nom del planeta.

Satèl·lits més importants de Saturn

Tità

Tità és el satèl·lit més gran de Saturn; fins i tot la seva mida és superior a la de Mercuri. Amb un diàmetre de 5120 kilòmetres, és el segon satèl·lit més gran del Sistema Solar i el que té una atmosfera més considerable. Alguns descobriments interessants sobre Tità tenen a veure amb la troballa d'evidències de la possible d'existència d'aigua en aquest satèl·lit, fet que encara s'està investigant.

- **Etimologia:** De fet, Tità no és cap personatge de la mitologia grega. Els titans eren una raça de déus molt poderosos que representen les forces de la natura. Van ser una de les races filles del déu Urà i la deessa Gea. Els primers de la descendència van ser Cronos i Rea, i van passar el llinatge a tots els seus fills. No tenen cap equivalent en les creences romanes.

També existeix un déu anomenat Tità que era germà d'Helios, però no té res a veure amb Cronos.

Rea

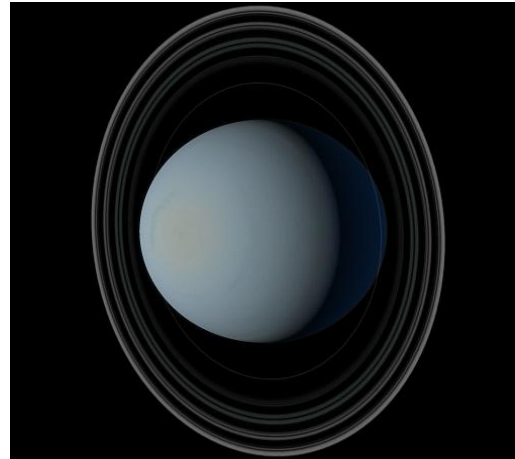
Rea és el segon satèl·lit més gran de Saturn. La seva mida és la meitat de la de la Lluna i la seva òrbita és gairebé circular. Està compost per un nucli rocós cobert de materials gelats i freds.

- **Etimologia:** En les divinitats gregues, Rea era la deessa de la maternitat i de la fertilitat, així com també de l'agricultura. Era filla d'Ura i Gea i germana de Cronos, amb qui després es va casar. Va tenir sis fills amb el déu del temps, l'últim dels quals va ajudar a enderrocar la tirania de Cronos. Rea era de la primera generació dels titans. Es representava sobre un carro tirat per lleons.

En la mitologia romana, Rea rep el nom d'Ops, tot i que també se la relaciona amb la deessa Cibeles.

Urà

- **Diàmetre (eq.):** 51.118 km
- **Massa:** $8'686 \cdot 10^{22}$ t
- **Volum:** $6'833 \cdot 10^{22}$ m³
- **Gravetat:** $8'69$ m/s²
- **Temperatura mitjana:** -205'2 Cº
- **Període de rotació:** 17'9 hores
- **Període orbital:** 84'01 anys
- **Distància mitjana de la Terra:** 2.721.394.711 km
- **Distància mitjana del Sol:** 2.870.992.582 km
- **Nombre de satèl·lits:** 27



[11.9]

Urà és el setè planeta més llunyà del Sol i el tercer més gran de tot el Sistema Solar. Amb el seu color blau clar, forma part dels planetes gasosos més exteriors del nostre sistema planetari. És un dels pocs astres que roten en el sentit de les agulles del rellotge.

Té algunes similituds amb Júpiter i Saturn, com ara un nucli rocós que ocupa molt poca part del planeta, una gran quantitat de gasos i núvols que constitueixen l'astre o una atmosfera composta majoritàriament per hidrogen i heli. Però aquest planeta posseeix singularitats que el diferencien dels altres dos. Els gasos que formen Urà estan compostos a més a més de gel, per metà i altres elements, que afavoreixen les baixes temperatures que adquireix el planeta. Al seu nucli, a part, també s'hi troba una alta porció de gel.

Una característica curiosa del planeta és l'orientació del seu eix. L'eix d'Urà està tan inclinat que gairebé es troba horitzontal al mateix pla que la seva òrbita, de manera que els pols del planeta es troben on hauria d'estar l'equador i viceversa. Urà també té un sistema d'anells que gira al voltant del seu equador; és a dir, es troba vertical al

Una mirada als astres del cel

voltant del planeta. Consisteixen en 13 anells, formats per asteroides rocosos i gèlids, anomenats cada un amb lletres de l'alfabet grec.

- **Etimologia:** En l'antiga Grècia Urà era el déu del cel, amo de tot el món i senyor de tots els déus abans que el destronés el seu fill Cronos. En algunes històries era fill de la mateixa Gea, tot i que en altres mites va néixer del caos o el desordre. Va ser el primer déu masculí. Es va casar amb Gea i van tenir fills. Urà no volia que cap dels seus descendents li arrabassés el poder, i per això els amagava i els tancava tan bon punt naixien. Tot i així, Gea va maquinari un pla i va construir una falç per a Cronos, un dels seus fills. Cronos es va rebel·lar contra el seu pare, el va castrar i el va enderrocar.

En les creences romanes, l'equivalent d'Urà és el déu Caelus, senyor del cel i del firmament. Una variant del nom és la paraula *caelum*, que significa *cel* en llatí. El color característic del planeta, d'un blau cel, i la seva posició darrere el seu fill va inspirar a anomenar-lo com el déu Urà.

Satèl·lits més importants d'Urà

Titània

Amb un diàmetre equatorial de 1.577'8 km, és el satèl·lit més gran d'Urà i el vuitè del Sistema Solar. Està compost per gel i roca i la seva superfície està marcada per cràters i fosses.

- **Etimologia:** Titània és un personatge de l'obra *El somni d'una nit d'estiu*, escrita pel famós William Shakespeare. En la història, ella és la reina de les fades i, com a tal, és molt poderosa i orgullosa.

Oberó

És el satèl·lit més exterior d'Urà, el segon de mida i el que té més massa. Posseeix una estructura molt similar a la de Titània, amb una superfície molt escarpada i deformada per impactes de meteorits.

- **Etimologia:** Oberó és un altre personatge creat per Shakespeare en *El somni d'una nit d'estiu*. És rei de les fades i la seva esposa és Titània. En l'obra manté una disputa

amb ella ja que els dos intenten competir per veure qui és el més poderós i fort de la parella.

Umbriel

És el tercer satèl·lit més gran dels cinc satèl·lits principals que orbiten al voltant d'Urà. Es tracta d'un astre fosc, amb cràters de color negre i una estructura que reflecteix poc la llum.

- **Etimologia:** Es tracta d'un personatge del poema *El rínxol violat*, d'Alexander Pope. L'autor va donar aquest nom a un esperit de la malenconia, que en l'obra també es representa com una ombra.

Ariel

D'entre els satèl·lits principals d'Urà, és el quart més gran i massiu. A diferència d'Umbriel, es tracta de l'astre més brillant i lluent que gira al voltant d'Urà. La seva òrbita i la seva forma són gairebé circulars.

- **Etimologia:** En *El rínxol violat*, escrit per Alexander Pope, Ariel és una sílfide lluminosa. Aquesta criatura és un esperit imaginari de l'aire que s'assembla a un àngel. També hi ha un personatge anomenat així a *La Tempesta*, de William Shakespeare. En l'obra, Ariel és un esperit de l'aire amb poders màgics.

Miranda

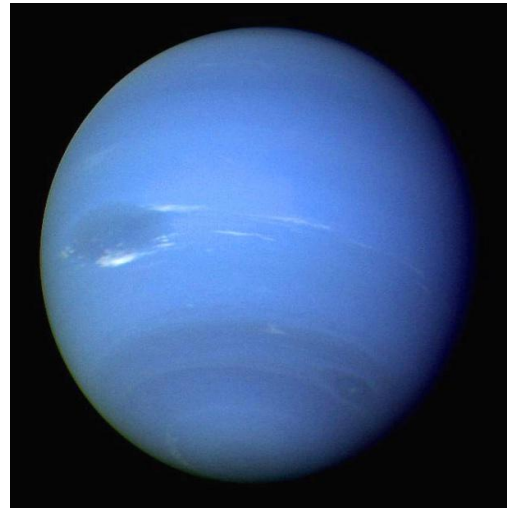
Miranda és el cinquè satèl·lit en mida d'Urà. Està compost per aigua gelada i roca. La seva superfície és extremament rocosa i irregular, fet pel qual dóna evidències d'una gran activitat geològica en el passat.

- **Etimologia:** William Shakespeare va escriure la cèlebre obra *La Tempesta*, on apareix un personatge anomenat Miranda. Miranda és una noia jove i bonica, filla del mag Pròsper.

- **OBSERVACIÓ:** Tots els satèl·lits d'Urà reben el nom de personatges de les obres de William Shakespeare o d'Alexander Pope. A banda d'això, la majoria d'ells tenen relació amb el cel (aire, ales, etc.), que representa el seu planeta Urà.

Neptú

- **Diàmetre (eq.):** 49.572 km
- **Massa:** $1'024 \cdot 10^{23}$ t
- **Volum:** $6'254 \cdot 10^{22}$ m³
- **Gravetat:** 11'15 m/s²
- **Temperatura mitjana:** -220 C°
- **Període de rotació:** 16'11 hores
- **Període orbital:** 164'8 anys
- **Distància mitjana de la Terra:** 4.347.478.689 km
- **Distància mitjana del Sol:** 4.497.076.560 km
- **Nombre de satèl·lits:** 14



[11.10]

Neptú és el planeta més exterior del Sistema Solar i, com a conseqüència, el més fred i de temperatures més baixes. Compost majoritàriament de gasos, té un color blau fosc amb taques d'aquesta tonalitat.

Aquest planeta també es considera el “germà bessó” d'Urà, ja que la seva mida i composició són molt similars. Neptú té un nucli format de roca i gel, i una atmosfera molt freda integrada per hidrogen, heli, metà i altres compostos. En anys anteriors, a la superfície del planeta es visualitzava una Gran Taca Fosca semblant a la de Júpiter, però recentment ha desaparegut. Es calcula que els vents de Neptú són els més forts de tot el Sistema Solar.

Neptú també posseeix un sistema d'anells tènue i poc perceptible com el de Júpiter. Aquest sistema està compost per tres anells principals, batejats amb noms d'astrònoms, i més divisions, subanells i anells secundaris que constitueixen el conjunt. Els anells estan formats per asteroides, roca i gel que orbiten al voltant del planeta. Descobriments recents han detectat que els anells de Neptú s'estan deteriorant i trencant. A aquest fenomen encara no se li ha trobat cap explicació.

- **Etimologia:** En la mitologia grega Posidó era el déu dels rius, del mar i de l'oceà. Posidó era fill de Crons i Rea, i va ajudar el seu germà Zeus a enderrocar el seu pare. Com a recompensa, es va quedar el territori dels mars. Es va casar amb Amfitrite, la deessa de les aigües tranquil·les. La seva arma era un trident, amb el qual podia separar els mars i fer brotar deus de les roques. Posidó era representat en un carro tirat per cavalls blancs, animal que ell afirmava haver creat.

El seu déu equivalent romà és Neptú. El color blau fosc del planeta recorda les aigües dels mars i oceans, i que van donar lloc al nom del planeta Neptú.

Satèl·lits més importants de Neptú

Tritó

És el satèl·lit més gran de Neptú - té un diàmetre de 2.707 km - i un dels astres més freds de tot el Sistema Solar. Està format de nitrogen i gel, i té un nucli metàl·lic. És l'únic satèl·lit del Sistema Solar que orbita en sentit contrari al moviment de rotació del seu planeta i l'únic de Neptú que té gairebé forma esfèrica.

- **Etimologia:** En les divinitats gregues, era el déu missatger de les aigües marines i oceàniques. Fill de Posidó i Amfitrite, se'l representava amb la part superior del cos humana i una cua de peix, una sirena però en masculí. Tritó portava un trident i un cargol de mar. Quan el bufava, feia un soroll terrible i feia desbocar les onades. No té equivalent romà.

Proteus

És el segon satèl·lit en mida de Neptú i un dels cossos més foscos del Sistema Solar, ja que reflecteix molt poc la llum del Sol, igual que Umbriel. Té una estructura irregular i plena de deformitats.

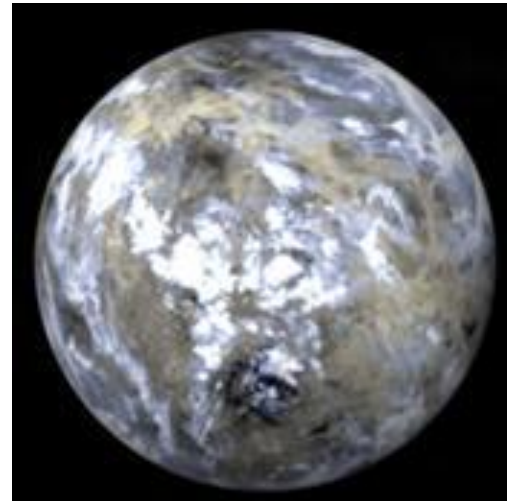
- **Etimologia:** Tot i que no se'n sap exactament la seva procedència, era un antic déu del mar que treballava per a Posidó. Es tractava d'un pastor que cuidava del ramat de foques del seu amo, i tenia l'habilitat de poder predir el futur. No acceptava ajudar els que li demanaven la seva clarividència. Per obtenir el que desitjaven, havien de capturar Proteus mentre ell intentava fugir transformant-se en tot tipus d'éssers, i només si l'obligaven accedia a narrar el que havia de succeir.

3. PLANETES NAN DEL SISTEMA SOLAR

NOTA: Excepte amb Plutó i Ceres, la informació que segueix són dades aproximades ja que els planetes nan encara no s'han investigat del cert i hi ha poques fonts que n'especifiquin les característiques.

Ceres

- **Diàmetre (eq.):** 942'4 km
- **Massa:** $9'5 \cdot 10^{17}$ t
- **Volum:** $4'567 \cdot 10^{17}$ m³
- **Gravetat:** 0'27 m/s²
- **Temperatura mitjana:** -103 Cº (aprox.)
- **Període de rotació:** 9'1 hores
- **Període orbital:** 4'6 anys
- **Distància mitjana de la Terra:** 264.183.856'6 km
- **Distància mitjana del Sol:** 431.781.727'3 km
- **Nombre de satèl·lits:** cap



[11.11]

És el planeta nan més petit del Sistema Solar, fins al punt que té una mida molt inferior a la nostra Lluna. Està situat en el cinturó d'asteroides, entre les òrbites de Mart i Júpiter, i consisteix en un terç de la massa total de tots els cossos que formen el cinturó.

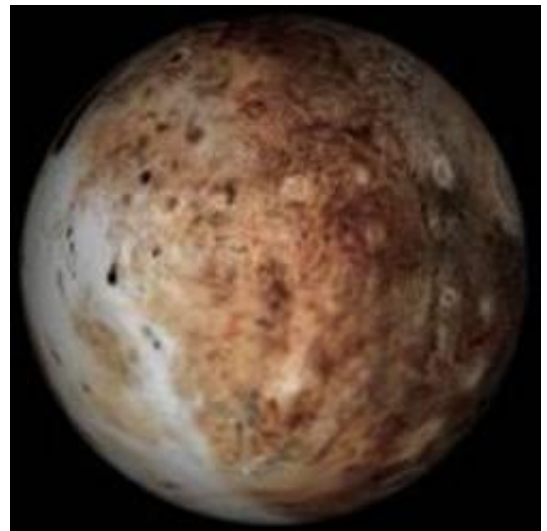
Ceres posseeix un nucli rocós envoltat de gel. Es calcula que en el planeta nan hi ha més quantitat d'aigua dolça que a la Terra, però a causa de les baixes temperatures es troba congelada. Algunes investigacions sobre el planeta nan han plantejat la possibilitat que Ceres tingui una atmosfera tènue, però encara no s'ha descobert del tot.

- **Etimologia:** En l'antiga Grècia, Demèter era la deessa de la fertilitat, l'agricultura, els cereals, les fruites i el matrimoni. Era filla de Cronos i Rea, i germana dels altres déus de l'Olimp. Representava una figura maternal i era la portadora de les bones collites, en especial el blat. Tenia una filla anomenada Perséfone, a qui Hades, el déu de la mort, va segrestar i se la va emportar a l'infern amb ell. Després d'un judici davant Zeus, Demèter va acceptar un pacte amb Hades per compartir a Perséfone. Els mites afirmen que no somreia mai, només quan la seva filla la visitava una vegada a l'any.

En la mitologia romana, Demèter rep el nom de Ceres, la deessa de la collita. El planeta nan va ser anomenat així perquè Ceres és la patrona de Sicília, illa d'origen del seu descobridor.

Plutó

- **Diàmetre (eq.):** 2.306 km (aprox.)
- **Massa:** $1'25 \cdot 10^{19}$ t
- **Volum:** $7'143 \cdot 10^{18}$ m³
- **Gravetat:** 0'6 m/s²
- **Temperatura mitjana:** -229 C°
- **Període de rotació:** 6'4 dies
- **Període orbital:** 248'54 anys
- **Distància mitjana de la Terra:** 5.763.916.211 km
- **Distància mitjana del Sol:** 5.913.514.082 km
- **Nombre de satèl·lits:** 5



[11.12]

Plutó és el segon planeta nan més allunyat del Sol del Sistema Solar. De fet, va ser considerat el planeta més petit i el novè del nostre sistema planetari fins que l'any 2006, en l'Assemblea General de la Unió Astronòmica General, es va crear la categoria de planeta nan i es va incloure Plutó en ella. La seva posició és bastant singular: es

troba entre un cinturó de cossos celestes anomenat cinturó de Kuiper i l'òrbita de Neptú, amb la qual es creua i l'arriba a avançar.

A causa de la seva mida i de la gran distància de la nostra estrella - gairebé quaranta vegades la de la Terra - Plutó és un planeta que reflecteix molt poc la llum del Sol. Posseeix una de les òrbites més excèntrica de tot el Sistema Solar, i una de les més inclinades respecte al pla horitzontal del Sol. El planeta té una atmosfera molt tènue formada per gasos congelats, que no el protegeix gaire dels meteorits. La seva superfície és rocosa i extremament freda. Plutó gira sobre si mateix en el sentit de les agulles del rellotge.

- **Etimologia:** En la mitologia grega, Hades era el déu de la mort i, com a tal, era tenebrós, odiat i cruel. Era fill de Cronos i Rea, i va ajudar el seu germà Zeus a enderrocar el seu propi pare. Es va quedar el territori subterrani, l'inframón, i la seva part més obscura anomenada Tàrtar. Allà anaven les ànimes de les persones mortes. Tenia prohibit anar a l'Olimp. Es va casar amb Persèfone, la filla de Demèter, tot i que ella no volia. Era representat com una figura obscura, lletja i horrible.

El seu déu igual romà és Plutó, que tenia un caràcter més benigne i menys despietat que Hades. El planeta nan Plutó deu el seu nom a la seva posició, el planeta més allunyat de tots quan es va descobrir, fet que el relaciona amb el món del més enllà. També destaca la poca brillantor vist des de la Terra, un fet que li dona un aspecte fosc, recordant a la mort i la desgràcia.

El satèl·lit més important de Plutó: Caront

Amb un diàmetre de 1.207 km, Caront és el satèl·lit més gran de Plutó i, curiosament, la seva mida és gairebé la meitat d'aquest. Aquesta proporció tan exagerada ha fet dubtar els científics sobre la naturalesa del planeta; de fet, és un dels possibles candidats a ser anomenat planeta nan. Els experts creuen que els dos astres són un doble planeta, ja que sembla ser que Caront i Plutó giren a l'uníson sobre un punt

situat entre els dos, com si estiguessin lligats amb una cadena. Aquest fenomen encara s'ha d'investigar. Caront és un cos gelat, constituït per roques i gasos freds.

- **Etimologia:** En la mitologia grega, Caront era el barquer que s'encarregava de portar les ànimes dels morts a la seva barca a través del riu Aqueront i els conduïa el regne d'Hades. Perquè els deixessin pujar a la barca, les persones havien de pagar una moneda, i aquest és el motiu per el qual a l'Antiga Grècia enterraven els morts amb una moneda a la llengua. Era representat com un senyor vell, barbut i de terribles faccions.

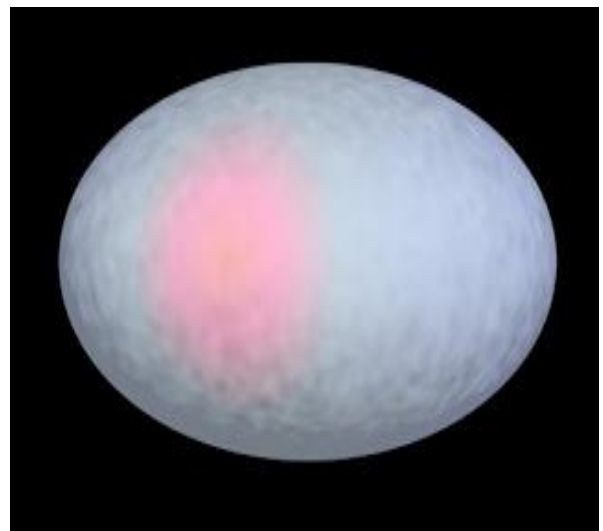
NOTÍCIA CURIOSA: L'astrònom Jim Christy va descobrir la lluna de Plutó l'any 1978. Com a descobridor del satèl·lit, tenia dret a posar-li nom, i ell desitjava anomenar-lo com la seva dona Charlene. Malgrat això, la tradició clàssica és elegir noms de la mitologia grega i romana. Christy va buscar en un diccionari i sorprenentment, va trobar el personatge del barquer Caront. En anglès, la paraula és *Charon* i la seva pronunciació s'assembla molt a *Charlene*.

Va decidir posar-li aquest nom en honor a la seva dona. Com ella mateixa va afirmar en una entrevista: "Molts marits prometen a les seves esposes la lluna, però el meu me la va portar de veritat". Els astrònoms anglesos encara pronuncien el satèl·lit com a "Sharon" i no "Karont".

Haumea

- **Diàmetre (eq.):** 1.400 km (aprox.)
- **Massa:** $4 \cdot 10^{18}$ t (aprox.)
- **Volum:** $2 \cdot 10^{18}$ m³ (aprox.)
- **Gravetat:** 0'8 m/s² (aprox.)
- **Temperatura mitjana:** -245 Cº (aprox.)
- **Període de rotació:** 3'91 hores

[11.13]



- **Període orbital:** 285'4 anys
- **Distància mitjana de la Terra:** 6.333.225.869 km
- **Distància mitjana del Sol:** 6.482.823.740 km
- **Nombre de satèl·lits:** 2

Haumea és un planeta nan situat al cinturó de Kuiper, cinturó que consisteix en un conjunt de cossos celestes que giren al voltant del Sol i segueixen una òrbita més llunyana que la de Neptú i Plutó.

La seva mida és un terç de la de Plutó. Aquest planeta nan destaca per la seva superfície composta per cristalls de gel, que li dona un aspecte brillant. A més a més, posseeix una gran taca vermella d'origen desconegut. Es creu que Haumea té una forma allargada d'el·lipse, fet que el fa un astre molt singular. El seu període de rotació és sorprenentment ràpid, ja que tarda tan sols 4 hores a donar una volta sobre si mateix.

- **Etimologia:** En la mitologia hawaiana, Haumea era la deessa de la fertilitat i dels parts. És la patrona de l'illa de Hawaii. En els mites hawaïans, aquesta deessa vetllava pel bé dels homes, els subministrava aliments i ajudava en els matrimonis i naixements.

Els descobridors del planeta nan van decidir utilitzar un personatge de les divinitats hawaïanes perquè treballen a l'Observatori Mauna Kea, a la seva illa nativa de Hawaii.

Els dos satèl·lits d'Haumea

Hi'iaka

És el satèl·lit més gran i exterior que orbita al voltant d'Haumea. Es creu que té un diàmetre d'aproximadament 310 km. Posseeix una forma en aparença bastant esfèrica.

- **Etimologia:** Hi'iaka, filla d'Haumea, era una deessa hawaïana que tenia el poder de retornar els morts i de cuidar els éssers vius. Era mestressa de les illes i turons, i se la

representava com una deessa de l'aire. Hi'iaka va néixer d'un ou que va incubar la seva germana gran Pelé, deessa dels volcans, el foc i el llamp.

Namaka

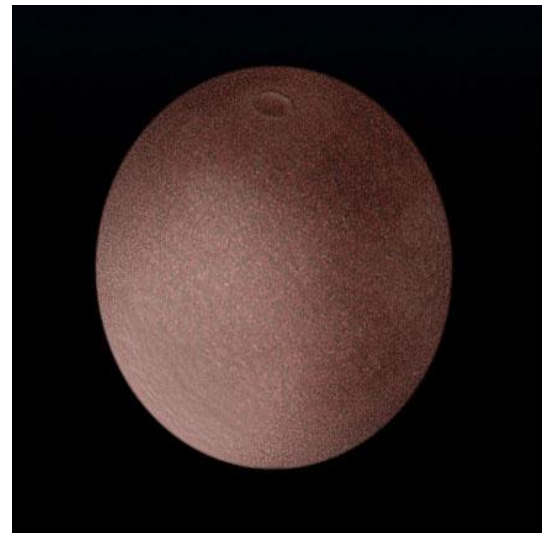
És el satèl·lit més petit i més interior d'Haumea. El seu diàmetre és d'uns 170 km. Les seves característiques són semblants a les de Hi'iaka.

- **Etimologia:** Namaka és la deessa hawaiana de les onades i del mar. Filla d'Haumea, era la més gran de les germanes. Tot i així, sentia gelosia de la seva germana menor Pelé, que era la preferida. Se li atribuïen els tsunamis i les tempestes que es produïen al mar a causa de la seva fúria.

Makemake

- **Diàmetre (eq.):** entre 1300 i 1900 km (aprox.)
- **Massa:** $4 \cdot 10^{18}$ t (aprox.)
- **Volum:** $2 \cdot 10^{18}$ m³ (aprox.)
- **Gravetat:** 0'8 m/s² (aprox.)
- **Temperatura mitjana:** entre -240 i -250 Cº (aprox.)
- **Període de rotació:** no es sap
- **Període orbital:** 309'88 anys
- **Distància mitjana de la Terra:** 6.700.638.240 km
- **Distància mitjana del Sol:** 6.850.236.111 km
- **Nombre de satèl·lits:** cap

[11.14]



És el tercer planeta nan en mida del Sistema Solar i es troba al cinturó de Kuiper juntament amb Haumea. El seu diàmetre és aproximadament les tres quartes parts del diàmetre de Plutó.

La seva superfície està composta per gasos congelats, com ara el nitrogen o el metà. Les temperatures en aquest planeta nan són extremament fredes. Les seves característiques són similars a les d'Haumea, però Makemake és molt més brillant i reflecteix més la llum del Sol.

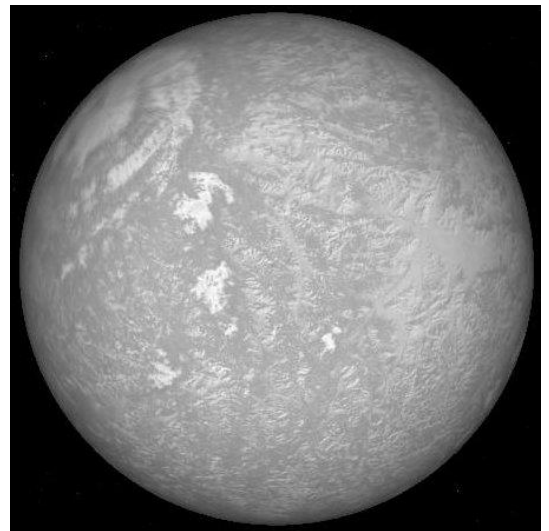
- **Etimologia:** En la religió de l'Illa de Pasqua, Make-make era el déu creador de tot, el pare del món i de tots els éssers i qui va formar els humans i altres déus. Era representat com la figura d'un ocell.

Els astrònoms van descobrir el planeta nan la setmana de Pasqua. Per aquesta raó, van voler escollir un nom que tingués relació amb aquest tema i van elegir aquest déu, procedent de la mitologia de l'illa.

Eris

- **Diàmetre (eq.):** 2.326 km (aprox.)
- **Massa:** $1'67 \cdot 10^{19}$ t (aprox.)
- **Volum:** $6'627 \cdot 10^{18}$ m³ (aprox.)
- **Gravetat:** no es sap
- **Temperatura mitjana:** -243 Cº (aprox.)
- **Període de rotació:** no es sap*
- **Període orbital** 557 anys
- **Distància mitjana de la Terra:** 9.973.405.819 km
- **Distància mitjana del Sol:** 10.123.003.690 km
- **Nombre de satèl·lits:** un

[11.15]



* Tot i que encara no s'ha descobert del tot quan tarda Eris en realitzar una volta sobre si mateix, es creu que el període de rotació és d'unes 8 hores.

És el planeta nan més massiu de tot el Sistema Solar i el més allunyat de la nostra estrella. Està situat al disc dispers, del qual parlarem més endavant. El seu descobriment va representar la instauració de la categoria planeta.

La seva òrbita és la més inclinada de tot el nostre sistema planetari. Té unes característiques molt semblants a les de Plutó i per això se'l considera el "germà bessó" d'aquest. Es creu que la seva superfície està totalment congelada i que aquest és el motiu de la seva brillantor aparent. És un dels astres del Sistema Solar que reflecteix més la llum de la nostra estrella.

- **Etimologia:** En la mitologia grega, Eris era deessa de la discòrdia. Com a tal, tenia un caràcter destructiu i problemàtic. Se li atribuïa l'oblit, la fam, les penes, l'engany i la il·legalitat. Era filla de Zeus i Maya i, per tant, germana d'Hermes. No queia bé a cap de les divinitats a causa de la seva naturalesa. Va ser la principal causant de la Guerra de Troia.

En les divinitats romanes, Eris és la deessa Discòrdia. L'elecció d'aquest nom per al planeta nan és molt adequada, ja que el descobriment d'Eris va suposar la desqualificació de Plutó com a planeta i la nova categoria de planeta nan.

L'únic satèl·lit d'Eris : Disnòmia

Amb un diàmetre de 150 km, aquest satèl·lit és 60 vegades més petit que Eris i 60 vegades menys lluminós que el seu planeta. Té una superfície congelada i rocosa.

- **Etimologia:** Disnòmia era una deessa grega filla d'Eris. Tenia el poder del desordre civil i la il·legalitat, i se la representa sovint com un dimoni o un esperit maligne. Els descobridors del satèl·lit li van posar aquest nom perquè, entre altres raons, aquesta definició recorda un gran personatge televisiu anomenat *Xena*, interpretat per Lucy Lawless. *Lawless* significa "sense llei" en anglès i està molt relacionat amb la naturalesa de Disnòmia.

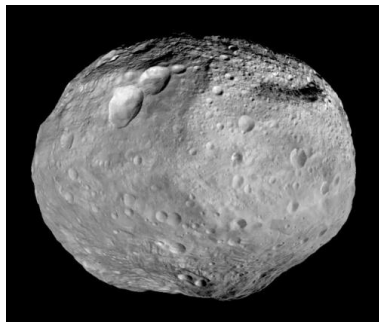
4. ASTEROIDES I COMETES MÉS IMPORTANTS DEL SISTEMA SOALR

La majoria de cometes i asteroides es troben al cinturó d'asteroides o al de Kuiper. Molts asteroides estan catalogats com a possibles futurs planetes nan. Els següents cossos celestes es troben entre els més coneguts.

Els cometes que passen pel Sistema Solar poden tenir una òrbita el·líptica i ser periòdics; o poden realitzar una paràbola o hipèrbola i passar un cop al voltant del Sol per després perdre's en l'Univers infinit. Els que pertanyen al segon cas no són gaire importants i ni tan sol se'ls posa nom, ja que són simplement temporals.

L'asteroide Vesta

Vesta és el segon cos celeste amb més massa del cinturó d'asteroides i el tercer en mida. També destaca perquè és l'asteroide més brillant de tots els que formen el cinturó. Té una figura irregular, tot i que la forma és bastant ovalada. La seva superfície presenta nombrosos cràters. Presenta un nucli metàl·lic on majoritàriament hi ha ferro. Alguns científics creuen que aquest asteroide hauria de ser anomenat planeta nan, i potser algun dia no molt llunyà serà així.



[11.16]Vesta

- **Etimologia:** En la mitologia grega, Hestia era la deessa de la llar, la cuina, l'arquitectura i la família. S'encarregava de mantenir calent el foc que donava vida i calor a les cases. Era filla de Cronos i Rea, i la primera dels germans de l'Olimp. Es representava com una divinitat modesta, pacífica i calmada, que es va mantenir sempre verge i pura.

En les creences romanes, la deessa equivalent d'Hestia és Vesta, vista com la protectora de Roma i la cuidadora de les llars dels ciutadans.

El cometa Halley

Halley és un cometa gran i brillant que tarda un promig de 76 anys en realitzar una volta al Sol. Durant la seva òrbita, aquest cometa passa pel costat de la Terra i es possible veure'l al cel. És un dels cometes més famosos de la història. Està situat al cinturó de Kuiper.

Es calcula que el nucli del cometa, format de roca i gel, té una forma irregular i un diàmetre de 15 kilòmetres. La seva massa és de $2 \cdot 10^{11}$ tones. Quan s'acosta la seva estrella, els materials del nucli es fonen i formen la vistosa cua. L'òrbita de Halley és molt excèntrica i està molt inclinada respecte al pla horitzontal del Sol. L'últim cop que es va veure el cometa al nostre cel va ser l'any 1986 i el pròxim que es visualitzarà serà l'any 2061.

Història del cometa Halley

Des de l'antiguitat dels temps, el cometa Halley, amb la seva cua impressionant i la seva brillantor visible des de la Terra, no va passar desapercebut als humans. Quan l'astronomia no era ni tan sols una ciència, el pas d'aquest astre pel nostre cel era vist com un mal presagi per les persones. Milers de cultures arreu del món creien que era un càstig diví, una ànima mística o un dimoni que els portaria mala sort i desgràcies. Es troben referències del cometa a partir de l'any 240 aC.

L'any 66 aC., un historiador jueu va veure en aquest cometa la destrucció de Jerusalem i, curiosament, quatre anys més tard la ciutat va caure. Els romans van visualitzar Halley en el cel al 44 aC. i creien que era l'ànima de Juli Cèsar. Centenars d'anys més tard, al 837, un "astrònom" de l'època va afirmar que l'aparició del cometa comportaria la desgràcia a l'emperador Lluís I El Pietós. Aquesta profecia es va complir, ja que tres anys més tard l'imperi es va quedar sense rei.

D'anècdotes d'aquestes en van passar moltes, però ja en èpoques d'abans de Crist, alguns van veure que aquell fenomen no era res més que un fet astronòmic o meteorològic. Amb el pas del temps, cada vegada hi havia més gent que es posava de part seva. L'any 1456 va ser observat per un astrònom alemany. Però no va ser fins l'any 1705, que Edmund Halley es va adonar que totes les aparicions del cometa tenien característiques comunes i que, per tant, es tractava del mateix cos celeste. Aquest astrònom anglès va fer recerca i es va adonar que

l'astre apareixia al cel cada 75 o 76 anys. Va realitzar una estimació de la seva òrbita i va predir que passaria pel nostre planeta l'any 1757.

Aquell any tots els astrònoms mundials van esperar impacientment que es confirmés la seva teoria, però el cometa no va arribar fins l'any 1758 a causa d'una lleugera desviació que va patir per l'atracció gravitatòria de Júpiter i Saturn. Malauradament, per aquella època Edmund Halley ja era mort des de feia 17 anys. Se li va posar el seu nom al cometa en honor d'ell.



[11.17]Cometa Halley

5. ZONES NOTABLES DEL NOSTRE SISTEMA SOLAR

5.1. EL CINTURÓ D'ASTEROIDES

El cinturó d'asteroides - també conegut com el cinturó principal - és una zona del Sistema Solar situada entre les òrbites de Mart i Júpiter, en el qual es troben un conjunt de cossos celestes, com ara asteroides i planetes nan.

Es calcula que està format per uns quants milions d'asteroides. L'únic planeta nan del cinturó és Ceres, el cos celest més gran de tota l'estructura. Aquests cossos orbiten al voltant del Sol, molts d'ells compartint òrbita. El cinturó d'asteroides té una massa total d'entre $3 \cdot 10^{18}$ i $3'6 \cdot 10^{18}$ tones. Aquesta massa representa el 4% de la massa de la nostra Lluna.

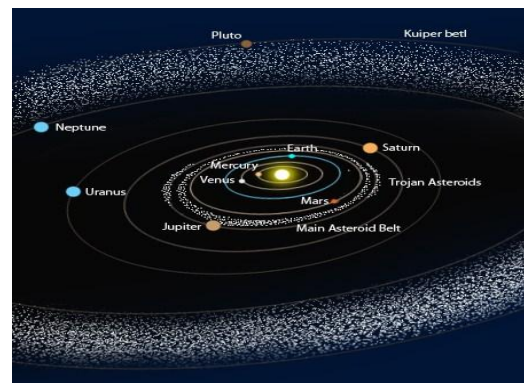
Més enllà del cinturó d'asteroides, també hi ha un conjunt de cossos celestes que circulen al voltant de l'òrbita de Júpiter i que formen dos grans blocs. S'anomenen els asteroides troians.

5.2. EL CINTURÓ DE KUIPER

El cinturó de Kuiper està format per un conjunt de milers de cossos celestes anomenats transneptunians. Aquests objectes s'anomenen així perquè tota la zona on orbiten se situa més enllà de l'òrbita de Neptú, a l'extrem del Sistema Solar. El cinturó deu el seu nom a l'astrònom Gerard Kuiper, que va predir la seva existència 30 anys abans que es descobrís.

Està format per asteroides, roques i planetes nan que giren al voltant del Sol i l'òrbita dels quals es situa parcialment o totalment en aquesta regió. Aquests cossos celestes tenen una mida d'entre 100 i 1000 kilòmetres. Els més grans d'ells són els planetes nan Makemake i Haumea. Plutó també es troba en el cinturó de Kuiper, tot i que en molt poca part de la seva òrbita.

Actualment es dóna molta importància als asteroides d'aquest cinturó perquè, de tant en tant, alguns dels cossos que el formen s'escapen espontàniament i surten disparats pel Sistema Solar. La preocupació que un asteroide pugui col·lisionar amb la Terra ha produït que els científics establissin una associació anomenada Near Earth Object (NEO), destinada a regular això.



[5.18] El cinturó d'asteroides i el cinturó de Kuiper.

5.3. EL DISC DISPERS

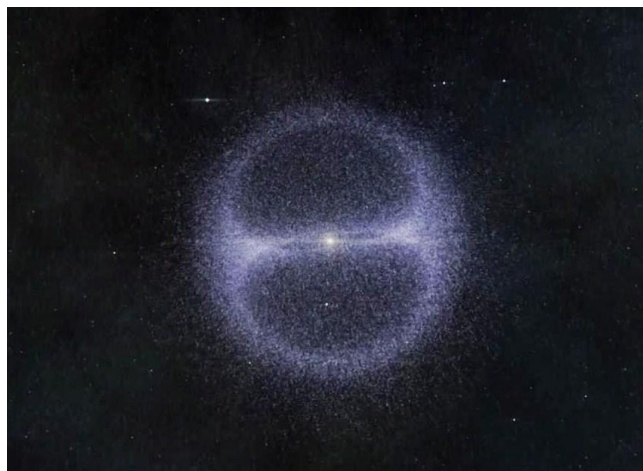
El disc dispers o disc difús és una àrea del Sistema Solar que és més externa que el cinturó de Kuiper. Comprèn una zona on circulen alguns objectes transneptunians, l'òrbita dels quals a vegades passa pel cinturó de Kuiper i va a l'interior del nostre sistema planetari.

Els cossos celestes que orbiten en aquesta zona - 90 coneguts actualment - són objectes gelats que tenen una mida màxima de 1000 kilòmetres. El més gran d'ells és el planeta nan Eris. Alguns asteroides dels disc dispers tenen característiques orbitals molt peculiars.

5.3. EL NÚVOL D'OORT

El núvol d'Oort és un núvol més o menys esfèric, format per objectes transneptunians que es troba als límits del Sistema Solar i que l'embolcalla com una bombolla, a uns 9.460.800.000 quilòmetres del Sol (un any llum). El seu nom fa honor al seu descobridor, Jan Oort.

Està format per dues parts: la primera, anomenada núvol interior o núvol de Hills, consisteix en un disc format de cossos celestes; la segona, el núvol exterior, té una forma esfèrica que embolcalla tot el Sistema Solar al seu interior. Es calcula que en total està constituït per 10^{12} o 10^{14} cossos celestes.



[5.19]. En aquesta fotografia es pot apreciar el núvol interior i el núvol exterior del núvol d'Oort. Al centre, es troba el Sistema Solar.

6. LA NOSTRA GALÀXIA: LA VIA LÀCTIA

La Via Làctia és la galàxia on es troba el nostre Sistema Solar, situat en un dels braços de l'enorme espiral format per milions de sistemes planetaris. Es calcula que conté entre 200.000 i 400.000 milions d'estrelles, i que la seva longitud és aproximadament d'un trilió de

kilòmetres. La Via Làctia forma part d'un conjunt de galàxies anomenat Grup Local, la més brillant de les quals és la galàxia Andròmeda.

- **Etimologia:** En la mitologia grega, Zeus va ser infidel a Hera amb una dona mortal anomenada Alcmena. De la seva relació en va néixer un fill, Heracles, destinat a ser heroi per les profecies. Hera era una deessa extremament gelosa i va intentar desfer-se del nen i de la seva mare nombroses vegades. Heracles es va convertir en el preferit de la resta dels déus de l'Olimp, en especial de Zeus. Tot i així, el noi era mortal i no tenia el poder de les divinitats.

En algunes versions, el déu Hermes va portar Heracles, encara nadó, davant la deessa Hera, quan aquesta dormia per tal que begués la llet dels seus pits, ja que concedia la immortalitat. Hera, en despertar-se i veure el que estava passant, va apartar Heracles bruscamment i es va vessar la llet, formant la Via Làctia al cel. En altres mites la deessa Atenea convenç Hera perquè Heracles begui la seva llet, però el nadó succiona amb tal força que fa mal a la deessa, i aquesta l'aparta, fent vessar la llet que formarà la nostra galàxia. En les dues versions Heracles es queda sense la immortalitat.

En les creences romanes, Heracles es deia Hèrcules. Tant en les històries romanes com en les gregues, aquest mortal aconseguix la immortalitat per la seva gran valentia demostrada en moltes gestes.



[5.20]La Via Làctia

ANNEX II: PRINCIPIS BÀSICS MATEMÀTICS I FÍSICS PREVIS A LA
PRÀCTICA 1

1. PRINCIPIS MATEMÀTICS

1.1. Vectors

Vector: segment orientat que posseeix quatre qualitats:

- Punt d'aplicació: origen del vector.
- Direcció: recta sobre la qual s'aplica el vector.
- Sentit: indica cap a on es dirigeix.
- Mòdul: llargada del vector que representa la intensitat de la magnitud vectorial.

Un vector \vec{v} està format per dos components, (v_x, v_y) . **EXEMPLE :** $\vec{v} = (1,3)$

Mòdul d'un vector

Per calcular el mòdul d'un vector, hem de fer l'operació següent:

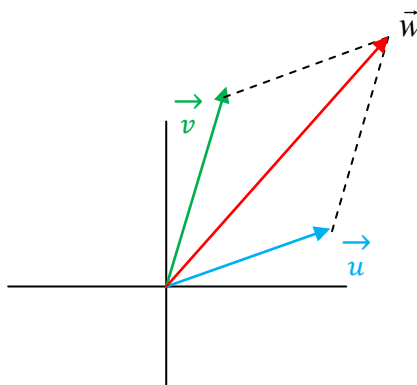
$$|\vec{v}| = \sqrt{(V_x)^2 + (V_y)^2}$$

Suma i resta de vectors

Per determinar el vector resultant de la suma d'un vector $\vec{v} = (V_x, V_y)$ i un vector $\vec{u} = (U_x, U_y)$, s'ha de calcular:

$$\vec{w} = \vec{v} + \vec{u} = (V_x + U_x, V_y + U_y)$$

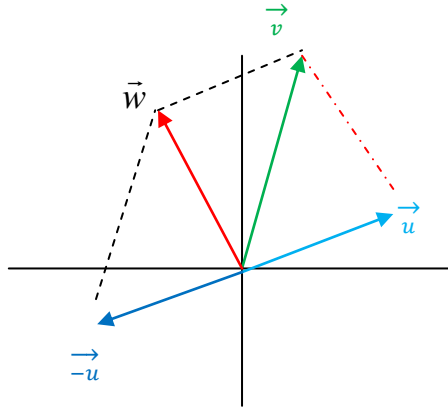
Gràficament:



Per restar a un vector $\vec{v} = (V_x, V_y)$ un vector $\vec{u} = (U_x, U_y)$, hem d'operar:

$$\vec{w} = \vec{v} - \vec{u} = (V_x - U_x, V_y - U_y)$$

Gràficament:



Per poder realitzar la resta gràficament, primer hem de projectar el vector $-\vec{u}$ i sumar-lo al vector \vec{v} . Com podem comprovar, el vector resultant té la mateixa llargada que la distància que hi ha entre els extrems dels vectors \vec{v} i \vec{u} , marcada en una línia discontinua vermella.

Obtenir un vector igual de mòdul unitari

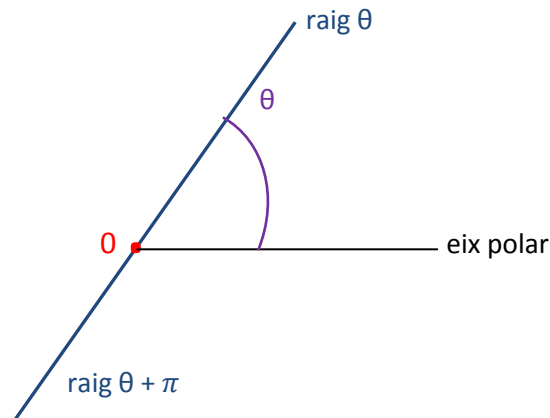
Si tenim un vector \vec{v} que té un determinat mòdul, i volem obtenir un vector unitari (de mòdul 1) de mateix sentit i direcció que \vec{v} , hem de realitzar l'operació següent:

$$\vec{e} = \frac{\vec{v}}{|\vec{v}|} \quad (\text{on } \vec{e} \text{ és el vector unitari})$$

\vec{e} és el vector unitari de mòdul 1. De la mateixa manera que si dividim un número per ell mateix obtenim com a resultat 1, si dividim un vector pel seu mòdul trobem el vector unitari. Aquest vector tindrà el mateix sentit i direcció que el vector original.

1.2 Coordenades polars

Sistema de coordenades polars: s'utilitza per representar corbes planes que tenen simetria circular. El sistema de referència és un punt 0 (pol) i una semirecta (l'eix polar) que parteix d'aquest pol. A partir del punt 0, s'estableix una línia diagonal inclinada (el raig) que es troba a certs graus d'inclinació (θ) de l'eix polar.



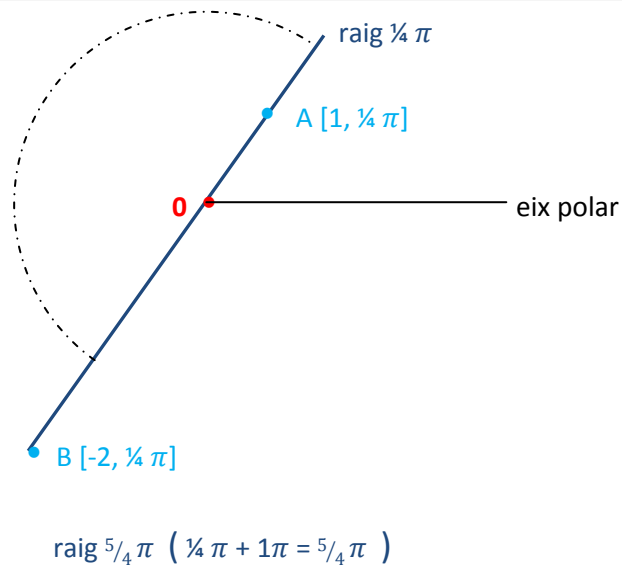
Per determinar els angles, en les coordenades polars s'utilitzen els radiants com a unitat de mesura. Un radiant (π) equival a 180° .

El **raig θ** forma un angle de θ radiants amb l'eix polar. El costat oposat, el **raig $\theta + \pi$** , forma un angle de $\theta + \pi$ radiants amb l'eix polar, és a dir, és l'angle θ més mitja circumferència.

L'**angle θ** és un angle qualsevol, determinat per la persona que utilitza el sistema. De manera que θ pot ser $\frac{1}{2}$ radiants, $\frac{1}{4}$ radiants, etc. (Recordem que un radiant són 180°)

Un punt està representat en coordenades polars per **$[r, \theta]$** , on r és la distància entre el punt i el pol 0. El punt sempre se situa al raig i dintre del raig a la distància r del pol. L'**angle θ** indica els radiants que hi ha entre el raig i l'eix polar.

EXEMPLE. Per facilitar la comprensió, creem un sistema de coordenades polars on θ equivaldrà a $\frac{1}{4}\pi$ ($\frac{1}{4}$ radiants). Situem dos punts, el punt A i el punt B. Les coordenades d'aquests punts són punt A $[1, \frac{1}{4}\pi]$ i punt B $[-2, \frac{1}{4}\pi]$

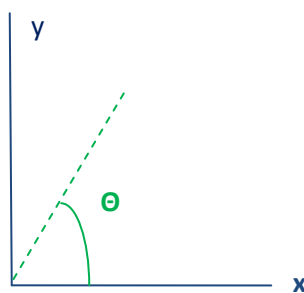


Per tant, si el nombre r és negatiu, el punt va al raig $\theta + \pi$.

El nombre θ determina el raig al qual s'ha de situar al punt. Si hi hagués un punt C $[3, \frac{1}{2} \pi]$ hauríem de dibuixar un nou raig amb angle $\frac{1}{2} \pi$ respecte a l'eix polar.

Relació entre les coordenades polars i les cartesianes

La relació entre els dos sistemes de coordenades serà útil per definir els moviments orbitals dels astres. La fórmula prové d'una senzilla relació trigonomètrica que hi ha entre els dos sistemes



La relació, obtinguda utilitzant el Teorema de Pitàgores, es defineix amb les fórmules següents:

$$x = r \cdot \cos \theta$$

$$y = r \cdot \sin \theta$$

2. PRINCIPIS FÍSICS

2.1. Lleis de Newton

- **Primera llei:** *Qualsevol cos conserva el seu estat de repòs o de moviment rectilini uniforme tret que se l'obligui a canviar per mitjà d'alguna força.*

Això significa que si no apliquem una força sobre un cos, aquest restarà quiet o s'estarà movent en moviment rectilini uniforme (MRU).

- **Segona llei o llei fonamental de la dinàmica:** *El canvi de la quantitat de moviment d'un cos és proporcional a la força aplicada sobre aquest.*

Aquesta llei és el principi d'una fórmula que es basa en la relació que hi ha entre una força que s'aplica a un cos i la quantitat de moviment d'aquest, una magnitud expressada en massa · velocitat. L'equació té com a fonament la quantitat de moviment en funció del temps i, desenvolupant-la, dóna el resultat següent :

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

\vec{F} = força (unitats: N)

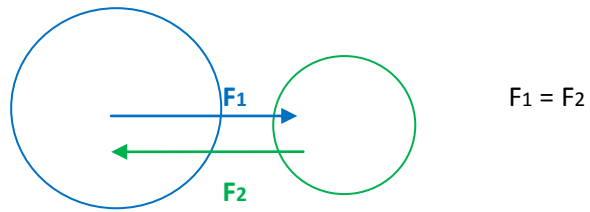
m = massa (unitats : kg)

\vec{a} = acceleració (unitats : m/s²)

- **Tercera llei o llei d'acció-reacció :** *Per a qualsevol acció sempre hi ha una reacció oposada i igual; o de manera semblant, les accions de dos cossos que s'oposen són sempre iguals i sempre de direcció oposada.*

Quan un cos exerceix una força F_1 sobre un altre, aquest realitza una força F_2 cap al primer cos de la mateixa intensitat que F_1 . Aquesta llei es pot entendre fàcilment amb l'exemple d'un nedador en una piscina. Per agafar impuls, el nedador generarà una força contra la paret de la

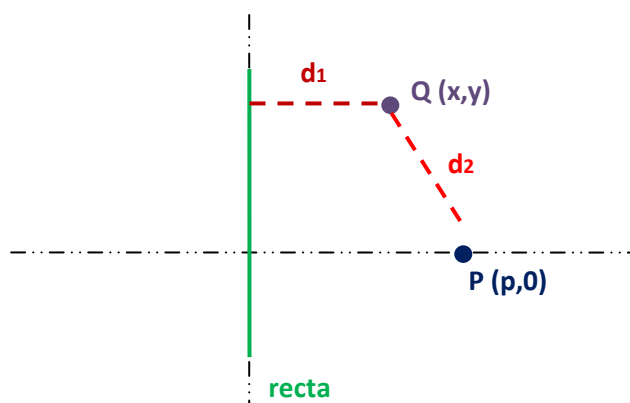
piscina. Com a reacció, la paret realitza una força igual cap al nedador, que l'aprofitarà com a impuls per començar a nedar. Això succeeix en tots els cossos.



ANNEX III: PRÀCTICA, COMPROVACIÓ MATEMÀTICA DE LA RELACIÓ ENTRE L'EXCENTRICITAT I LES SECCIONS CÒNIQUES

Com figura a la pàgina 12, de l'equació de l'excentricitat en deriven les fórmules de totes les seccions còniques. Segons com se substitueixi l'excentricitat (e), dins d'aquesta expressió, obtindrem una secció cònica o una altra.

Recordem que la definició d'una cònica és el conjunt de punts tals que, la seva distància a un punt fixat (focus), és un múltiple de la distància a una recta fixada.



El focus està situat en el punt $(p,0)$, i es compleix la següent relació:

$$d_2 = e \cdot d_1$$

Podem observar que e és la constant, i és l'anomenada excentricitat. Per treballar, necessitarem la fórmula següent, desenvolupada de l'anterior:

$$\sqrt{(x-p)^2 + y^2} = e \cdot x$$

En aquesta pràctica, comprovarem matemàticament com s'arriba a les equacions de les seccions còniques a partir d'aquesta expressió. Per exemplificar-ho donarem valors concrets a les constants p i e .

1. DESENVOLUPAMENT DE L'EQUACIÓ

Per començar, anirem fent evolucionar la fórmula per tal d'obtenir-ne una de més simple i més general. En primer lloc, traurem l'arrel de l'expressió elevant les dues bandes de l'equació a 2.

$$\sqrt{(x-p)^2 + y^2} = e \cdot x \rightarrow (\sqrt{(x-p)^2 + y^2})^2 = (e \cdot x)^2 \rightarrow (x-p)^2 + y^2 = e^2 x^2$$

Tot seguit, recordant les identitats notable $(a-b)^2 = a^2 - 2ab + b^2$ efectuarem:

$$x^2 - 2xp + p^2 + y^2 = e^2 x^2$$

Un cop fet aquest pas, passarem el terme $e^2 x^2$. Finalment, podrem treure factor comú a $x^2 - e^2 x^2$, ja que els dos valors tenen en comú x^2 .

$$x^2 - e^2 x^2 - 2xp + p^2 + y^2 = 0 \rightarrow (1-e^2) \cdot x^2 - 2xp + p^2 + y^2 = 0$$

Aquesta és l'equació que utilitzarem en la pràctica.

2. LA PARÀBOLA

L'equació de la paràbola s'obté quan l'excentricitat val 1. Per comprovar-ho, hem de substituir el valor de 1 per la e a la fórmula i igualar el número p a un nombre qualsevol, que en aquest cas serà també 1:

$$(1-1^2) \cdot x^2 - 2x + 1^2 + y^2 = 0$$

$$0 \cdot x^2 - 2x + 1 + y^2 = 0$$

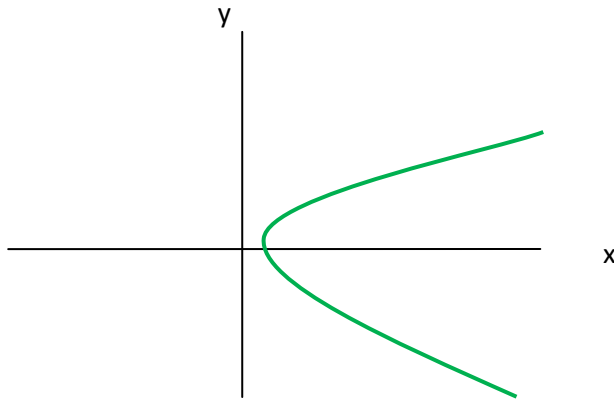
$$-2x + 1 + y^2 = 0$$

Per acabar, ja obtenim l'equació d'una paràbola:

$$y^2 = 2x - 1$$

El vèrtex de la paràbola en aquesta expressió és el punt $(\frac{1}{2}, 0)$.

Tot i que aquesta fórmula és lleugerament diferent a la de la paràbola vertical, això perquè aquesta paràbola es troba de costat. Tanmateix, es tracta igualment d'una paràbola.



3. L'EL·LIPSE

La fórmula de l'el·lipse ve donada quan l'excentricitat és igual a un nombre entre 0 i 1. Substituirem el valor de e per $1/\sqrt{2}$ i també li donarem un valor al terme p , que valdrà 1. Desenvolupant l'equació:

$$[1 - (1/\sqrt{2})^2] \cdot x^2 - 2 \cdot 1 \cdot x + 1^2 + y^2 = 0$$

$$\frac{1}{2}x^2 - 2x + 1 + y^2 = 0$$

Per treure el 2 que divideix a x^2 , multiplicarem tots els termes per 2:

$$\frac{x^2}{2} - \frac{4x}{2} + \frac{2}{2} + \frac{2y^2}{2} = 0$$

$$x^2 - 4x + 2 + 2y^2 = 0$$

Seguidament, col·locarem un +2 i un -2 a l'equació, que ens serà molt útil en el següent pas. Aquests dos números els podem afegir perquè s'anul·len entre si i no tenen cap repercussió en la fórmula:

Una mirada als astres del cel

$$x^2 - 4y + 2 + 2 - 2 + 2y^2 = 0$$

→

$$x^2 - 4x + 4 - 2 + 2y^2 = 0$$

Recordant la identitat notable utilitzada anteriorment, $(a-b)^2 = a^2 - 2ab + b^2$, tindrem:

$$(x-2)^2 - 2 + 2y^2 = 0$$

$$(x-2)^2 + 2y^2 = 2$$

I, finalment, dividint els termes entre 2 l'equació quedarà així:

$$\frac{(x-2)^2}{2} + y^2 = 1$$

El centre de la nostra el·lipse és el punt (2,0). Podem comprovar que aquesta és la fórmula de l'el·lipse ja que la seva expressió general és:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

En aquesta equació, la figura està centrada al punt (0,0).

4. LA HIPÈRBOLA

S'aconsegueix l'equació de la hipèrbola quan se li dóna a e un valor més gran que 1 en l'expressió de la cònica. Substituirem e per 2 i el número p per un 1. Comencem a operar:

$$(1-2^2)x^2 - 2 \cdot 1 \cdot x + 1^2 + y^2 = 0$$

$$-3x^2 - 2x + 1 + y^2 = 0$$

Per treure el 3 que multiplica x^2 , dividirem tots els termes de l'equació entre -3:

$$\frac{-3x^2}{-3} + \frac{2x}{3} - \frac{1}{3} - \frac{y^2}{3} = 0$$

Igual que amb l'equació de l'el·lipse, introduïrem un $\frac{1}{9}$ i un $-\frac{1}{9}$, que, per si mateixos, s'anul·len i no alteren el resultat de l'equació. Malgrat això, ens seran molt útils.

$$x^2 + \frac{2x}{3} + \frac{1}{9} - \frac{1}{9} - \frac{1}{3} - \frac{y^2}{3} = 0$$

Seguidament ens aprofitarem dels termes $x^2 + \frac{2x}{3} + \frac{1}{9}$ per aplicar-hi la identitat notable $(a+b)^2 = a^2 + 2ab + b^2$. També realitzarem la resta $-\frac{1}{9} - \frac{1}{3}$. La fórmula resultant quedarà així:

$$\left(x + \frac{1}{3}\right)^2 - \frac{1}{9} - \frac{1}{3} - \frac{y^2}{3} = 0 \quad \rightarrow \quad \left(x + \frac{1}{3}\right)^2 - \frac{4}{9} - \frac{y^2}{3} = 0$$

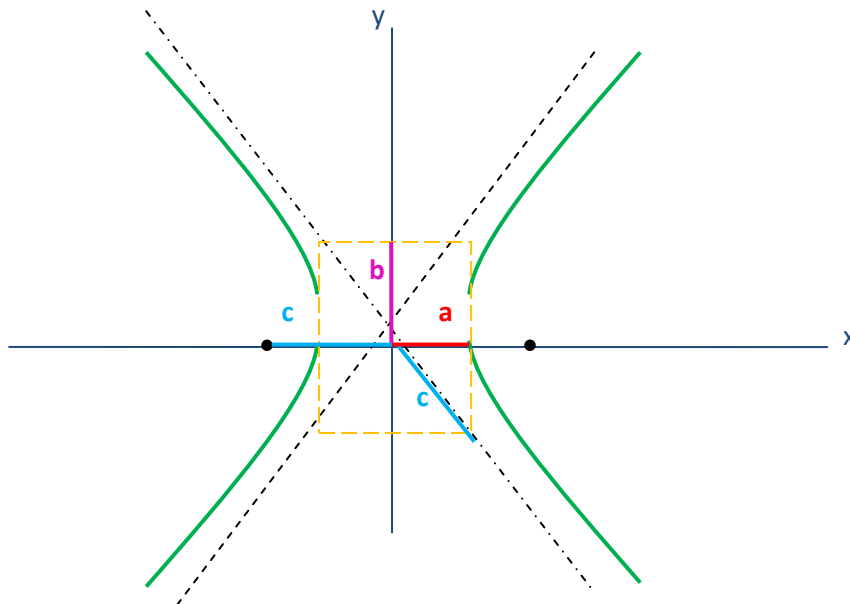
$$\left(x + \frac{1}{3}\right)^2 - \frac{y^2}{3} = \frac{4}{9}$$

Per acabar, hem de dividir tots els termes en $\frac{4}{9}$ per tal que, a l'altre costat de la igualtat s'obtingui un 1 dividint $\frac{4}{9}$ entre $\frac{4}{9}$. L'equació final serà la següent:

$$\frac{\left(x + \frac{1}{3}\right)^2}{\frac{4}{9}} - \frac{y^2}{\frac{27}{4}} = 1$$

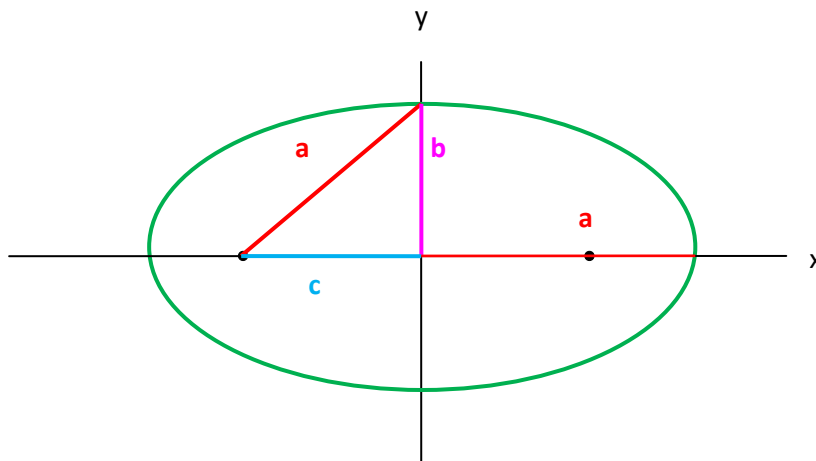
Aquesta fórmula és l'equació de la hipèrbola. En la nostra expressió la figura està centrada en el punt $(-\frac{1}{3}, 0)$. La fórmula general de la hipèrbola amb el centre al punt $(0,0)$ és la següent:

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1$$



5. LA CIRCUMFERÈNCIA

Anem a veure com es pot obtenir l'equació d'una circumferència com a cas particular d'una el·lipse. No es pot aplicar l'equació anterior a la circumferència, ja que el resultat que se n'obté no existeix matemàticament. Per això, l'hem de considerar com una el·lipse.



En una el·lipse, el nombre a equival al semieix horitzontal, b representa el semieix vertical, i c és distància del focus al centre. També existeix una relació entre aquests valors que utilitzarem:

$$b^2 = a^2 - c^2$$

L'equació exclusiva de l'excentricitat per a l'el·lipse és la següent:

$$e = \frac{c}{a}$$

Si considerem la circumferència com un cas particular d'el·lipse, podem comprovar la seva excentricitat amb aquesta fórmula. L'excentricitat de la circumferència val 0. Substituïm e per 0 a l'expressió:

$$0 = \frac{c}{a} \rightarrow c = 0$$

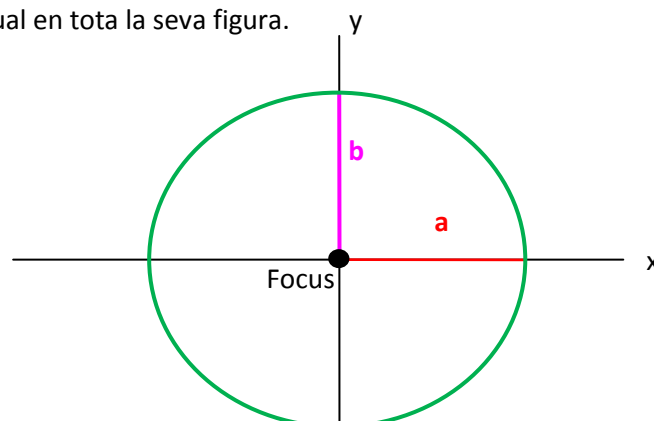
Si e equival a 0, c serà igual a 0 també, perquè 0 dividit per qualsevol número dóna com a resultat 0. No podem dir que a sigui nul també, ja que no es pot dividir cap nombre per 0, de manera que a sempre serà un número diferent a 0.

Si obtenim que c és igual a 0, significa que la distància entre els dos focus és nul·la. Això vol dir que els dos focus són un de sol, i formen un únic punt al centre de la figura. A més a més, segons la relació $b^2 = a^2 + c^2$:

$$b^2 = a^2 + 0 \rightarrow b = a$$

Per tant, el semieix horitzontal i el vertical són iguals.

Aquests dos fets només succeeixen en el cas de les circumferències, que tenen un únic focus al centre i un radi igual en tota la seva figura.



També existeix una altra manera de comprovar-ho, agafant l'equació de l'el·lipse:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

Com que en les circumferències $a = b$, podem dir que:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{a^2} = 1 \quad \rightarrow \quad \frac{x^2 + y^2}{a^2} = 1$$

Podem passar a^2 a l'altre costat multiplicant i obtenim aquesta equació:

$$x^2 + y^2 = a^2$$

Aquesta equació és la mateixa que la de la circumferència, ja que la seva fórmula és:

$$x^2 + y^2 = r^2$$

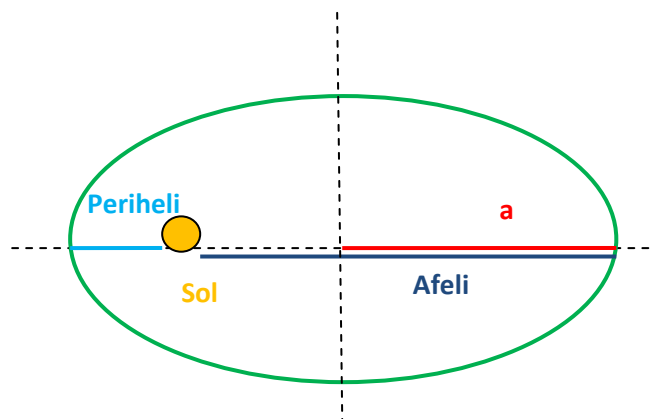
El nombre r és el radi de la circumferència, on el cas de la nostra expressió és igual a a .

ANNEX IV: PRÀCTICA, COM CALCULAR EL SEMIEIX HORIZONTAL (a) DE LES ÒRBITES

En les fonts d'informació de les quals he obtingut les dades de la taula situada a la pàgina 25, no vaig trobar cap valor sobre el semieix horitzontal de les òrbites dels planetes. Com que aquesta dada era vital per realitzar la pràctica del meu treball, se'm va acudir una manera matemàtica per obtenir-la a partir de la distància mínima entre l'astre i el Sol (periheli) i la màxima (afeli), informació que sí que vaig trobar en les meves fonts.

1. PROCEDIMENTS

Recordant les parts d'una el·lipse, tenim que:



Observant aquest dibuix, podem obtenir la relació que hi ha entre el semieix horitzontal de l'el·lipse i el seus periheli i afeli:

$$\text{periheli} + \text{afeli} = 2a$$

Per tant, si volem obtenir a , simplement hem d'aïllar-la a l'equació:

$$a = \frac{\text{periheli} + \text{afeli}}{2}$$

2. RESULTATS OBTINGUTS

Utilitzant aquest mètode, he obtingut el valor del semieix horitzontal de tots els planetes.

	Distància periheli (distància mínima del Sol) (UA¹)	Distància afeli (distància màxima del Sol) (UA¹)	Semieix horitzontal o a (UA*)
Mercuri	0'31	0'47	0'39
Venus	0'72	0'73	0'73
Terra	0'98	1'02	1'00
Mart	1'38	1'67	1'53
Júpiter	4'95	5'45	5'20
Saturn	9'01	10'07	9,54
Urà	18'28	20'09	19'19
Neptú	29'8	30'32	30'06
Plutó	29'6	49'3	39'45

1. Una Unitat Astronòmica (UA) equival a 149.597.870'7 quilòmetres.

ANNEX V: PRÀCTICA, COMPROVEM LA VERACITAT DE DUES DADES ORBITALS OBTINGUDES

Les dades obtingudes en la taula de la pàgina 25, adjuntada aquí, s'han obtingut de diverses fonts d'informació. Per comprovar que aquests continguts són autèntics i s'aproximen als reals, podem realitzar uns petits càlculs per assegurar-nos-en.

En aquesta pràctica, voldrem saber si els valors per al període dels astres (temps que tarden els planetes en completar una volta al Sol) i el semieix horitzontal (a) de la seva òrbita són verídics.

Astres	Període orbital (anys)	Semieix horitzontal o a (UA ¹)
Mercuri	0'241	0'39
Venus	0'616	0'73
Terra	1'000	1'00
Mart	1'882	1'53
Júpiter	11'873	5'20
Saturn	29'458	9,54
Urà	84'010	19'19
Neptú	164'789	30'06
Plutó*	248'540	39'45

1. COMPROVACIÓ

Per comprovar que el període i el semieix horitzontal són els correctes, hem de tenir una equació que els relacioni amb algun nombre que nosaltres sabem i que valgui per a tots els planetes. En aquest cas, l'equació més útil serà la de la tercera llei de Kepler (pàg. 16):

$$T^2 = k \cdot a^3$$

Una mirada als astres del cel

1. Una Unitat Astronòmica (UA) equival a 149.597.870'7 quilòmetres.

Sabem que k és una constant que, com el seu nom indica, és invariable i és la mateixa per a tots els planetes. Utilitzarem aquesta propietat per saber si les dades són correctes. Si aïllem k de l'equació, tenim que:

$$k = \frac{T^2}{a^3}$$

Per comprovar la veracitat de les dades, aplicarem aquesta equació a tots els planetes i calcularem la k de cada un dels astres. Si la informació per al període i el semieix horitzontal són correctes, el nombre de k que ens resulti de tots els planetes hauria de ser el mateix, o molt semblant. En aquesta pràctica utilitzarem els anys com a unitat del període i la unitat astronòmica per al semieix horitzontal.

2. RESULTATS OBTINGUTS

Calculant la k aplicant tots els planetes a l'equació de Kepler, tenim les dades següents:

Astres	Constant k
Mercuri	0'979
Venus	0'975
Terra	1
Mart	0'989
Júpiter	1'003
Saturn	0'999
Urà	0'999
Neptú	1
Plutó*	1'006

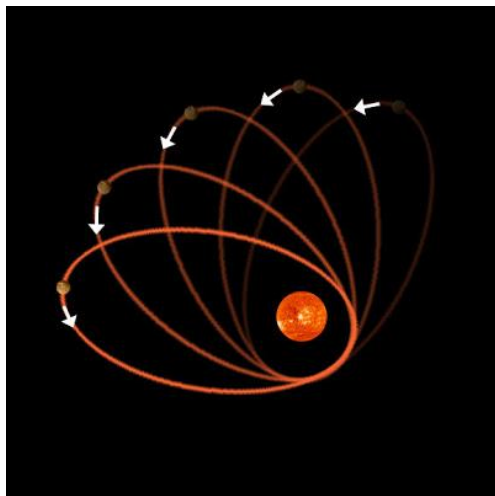
Com podem veure, els valors de k estan molt aproximats al valor real ja que s'acosten tots a 1, fet pel qual podem dir que les dades obtingudes són autèntiques. Tot i així, no acaben de ser les ajustades al màxim, i un dels motius és perquè jo mateixa vaig arrodonir-ne els decimals en introduir-les a la taula. Tanmateix, a l'hora de realitzar les pràctiques les dades escollides han estat les òptimes.

ANNEX VI: FENÒMENS ORBITALS ESTRANYS

1. EL CAS CURIÓS DE L'ÒRBITA DE MART

Mercuri és, possiblement, un dels planetes més misteriosos de tot el Sistema Solar. A part de ser un astre de difícil observació al cel, la seva òrbita té una peculiaritat que el fa únic. Aquesta característica que el fa tan especial rep el nom de **desplaçament del periheli**.

Aquest fet consisteix en el moviment de la part de l'òrbita més pròxima al Sol, produït cada



vegada que Mercuri completa una volta al voltant de l'estrella. Aquest lleu canvi provoca que el pla de la òrbita canviï, i que la propera volta de translació es faci a una inclinació diferent que la posterior, i així successivament. A la llarga, aquest moviment provocarà que l'òrbita de mercuri es desplaci fins a fer una volta de 360° al pla de l'eclíptica.

[16.1] Desplaçament del periheli de l'òrbita de Mercuri.

El desplaçament del periheli és un moviment gairebé imperceptible, ja que només es mou 0'012 graus per cada volta que completa Mercuri al voltant del Sol. Es necessitarien milers d'anys perquè el pla de l'òrbita realitzés una volta.

Tot i així, quan es va descobrir, aquest fenomen escapava totalment de les lleis físiques que havia formulat Newton i que eren aplicables a tots els astres. Els científics de l'època no hi podien donar explicació. La majoria de la comunitat científica va arribar a la conclusió que l'alteració de l'òrbita de Mercuri la provocava un altre planeta que es localitzava més a prop del Sol, i fins i tot, van anomenar *Vulcano* aquest suposat astre.

La resposta al fenomen no va arribar fins que Albert Einstein va publicar la Teoria de la Relativitat General, i amb ella explicava la causa del moviment del periheli de Mercuri. Segons les teories relativistes, aquest fet es produeix per la poca distància que hi ha entre el planeta i la nostra estrella. A causa d'això, l'espai-temps a través del qual es desplaça Mercuri fa alterar

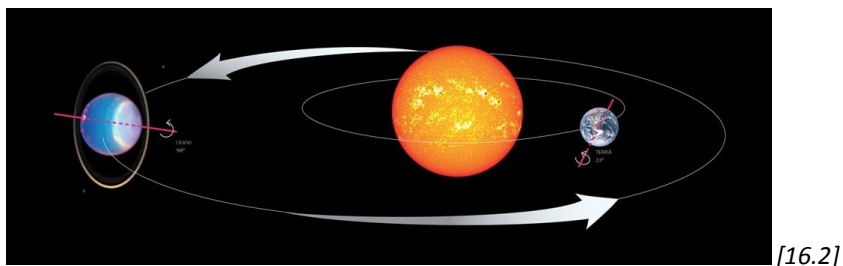
la dinàmica de la seva òrbita. Einstein va explicar molt bé aquest fenomen en les equacions relativistes de la gravetat i finalment es va donar com a vàlida.

Actualment sabem que no només Mercuri presenta tal anomalia. A causa de la seva proximitat al Sol, els planetes Venus, la Terra i Mart també presenten un grau de desviació del periheli. Però aquest fenomen és pràcticament imperceptible i es necessitarien milers de milions d'anys per tal de visualitzar algun canvi notori en les seves òrbites. Mercuri és el planeta que presenta aquesta característica més destacadament.

2. LA PECULIAR INCLINACIÓ D'URÀ

Urà destaca per tenir una característica realment especial en tot el sistema planetari: la inclinació del seu eix de rotació. Mentre que la majoria de planetes estan lleugerament inclinats, com la Terra, la inclinació d'Urà, d'uns 97'77 graus, és tal, que el planeta gairebé està col·locat de costat. El seu eix de rotació és el més inclinat de tot el Sistema Solar.

Aquest fet explica per què els anells d'Urà estan situats verticalment i no en el pla horitzontal, com ho fan els de Saturn. Un altre fet curiós que provoca aquesta inclinació és que, quan el planeta gira sobre si mateix, com que l'eix de rotació es troba gairebé horitzontal, l'astre realitza voltes com si es tractés d'una croqueta. A més a més, aquest gir proporciona al planeta uns canvis de temperatura molt dràstics.

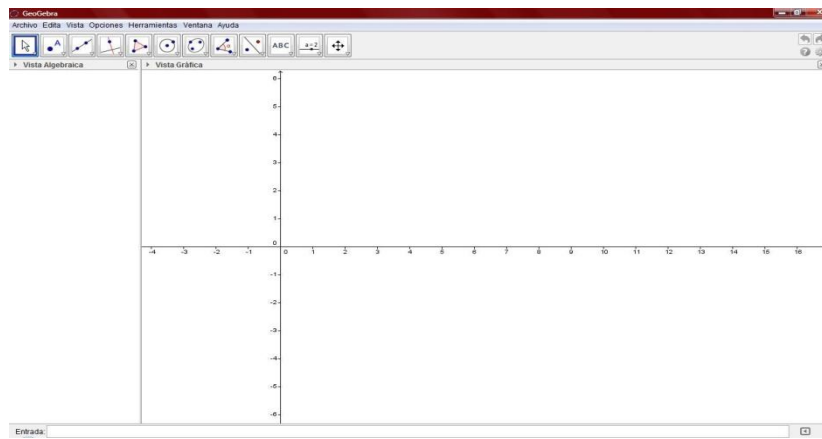


Tot i que els científics han elaborat diverses teories, com ara l'atracció gravitatòria dels astres del voltant o la influència de camps magnètics, encara no s'ha donat cap explicació verdadera que sàpiga raonar per què succeeix aquest fet. Avui dia, encara s'està investigant el perquè d'una inclinació que el fa tan singular.

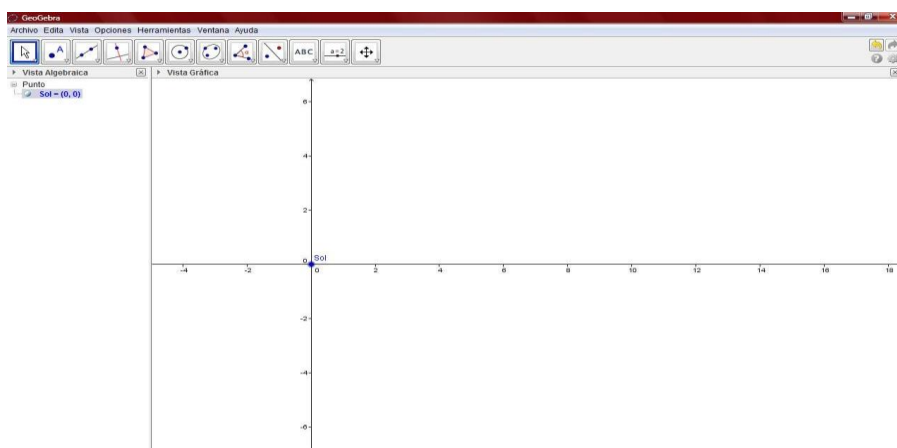
ANNEX VII: FUNCIONAMENT DEL GEOGEBRA

En aquest apartat explicaré pas a pas com he realitzat les meves simulacions planetàries amb el Geogebra, per tal que es pugui entendre bé el seu funcionament.

En primer lloc, l'aplicació del Geogebra en si consisteix en un sistema de coordenades cartesianes a les quals tu els pots aplicar figures i càlculs. La barra de sota de la pàgina és la que s'utilitza per introduir les equacions. L'espai del costat esquerre és el que t'indica les fórmules aplicades al programa.



Per col·locar un punt dins de les coordenades, només ens hem de situar a la barra de sota, escriure el nom del punt i igualar-lo a la posició desitjada. Com, per exemple, un punt $P=(x',y')$. En aquest cas, situarem el Sol en la posició $(0,0)$.

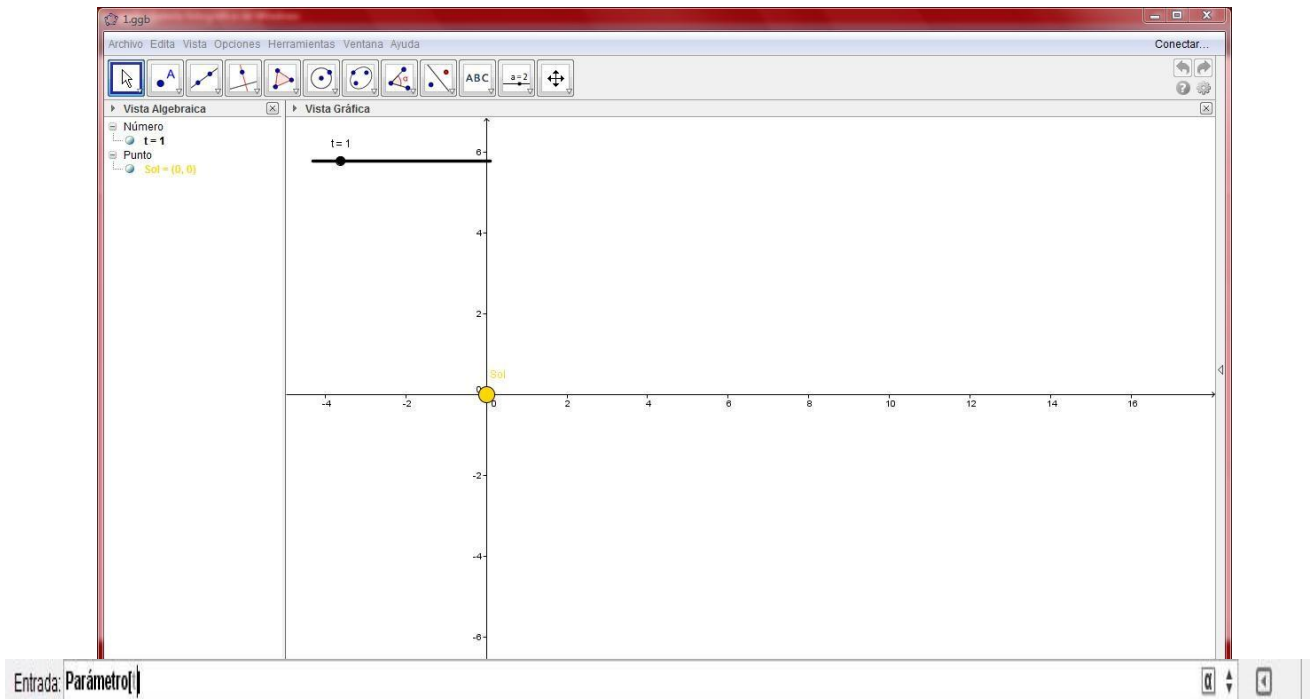


Entrada: Sol=(0,0)

Un cop tenim el punt, podem canviar-ne les propietats, de manera que li puguem assignar un color o una mida al nostre gust. La segona equació que hem d'introduir és la variable que utilitzarem, que és el temps. Per fer-ho, tan sols hem d'anotar *Parámetro[t]* a la barra de sota.

Una mirada als astres del cel

Automàticament, el programa ens demanarà per construir una barra lliscant, la qual nosaltres acceptarem. En qualsevol moment podem accedir a les opcions de la barra i triar el temps inicial i el temps final per ajustar-ho a la nostra mesura.



Ara que ja tenim definit el temps i el Sol, introduïrem les òrbites dels planetes, que tindran com a centre l'estrella. Començarem per la Terra, el radi de la qual serà una unitat astronòmica. Per expressar la seva equació, hem de trobar la forma corresponent a la barra:

Curva[<Expresión>, <Expresión>, <Parámetro>, <Valor inicial>, <Valor final>]
Curvalplícita[<Lista de puntos>]
Curvalplícita[<f(x, y)>]
CurvaTriangular[<Punto>, <Punto>, <Punto>, <Ecuación>]
Curvatura[<Punto>, <Objeto (función, curva)>]

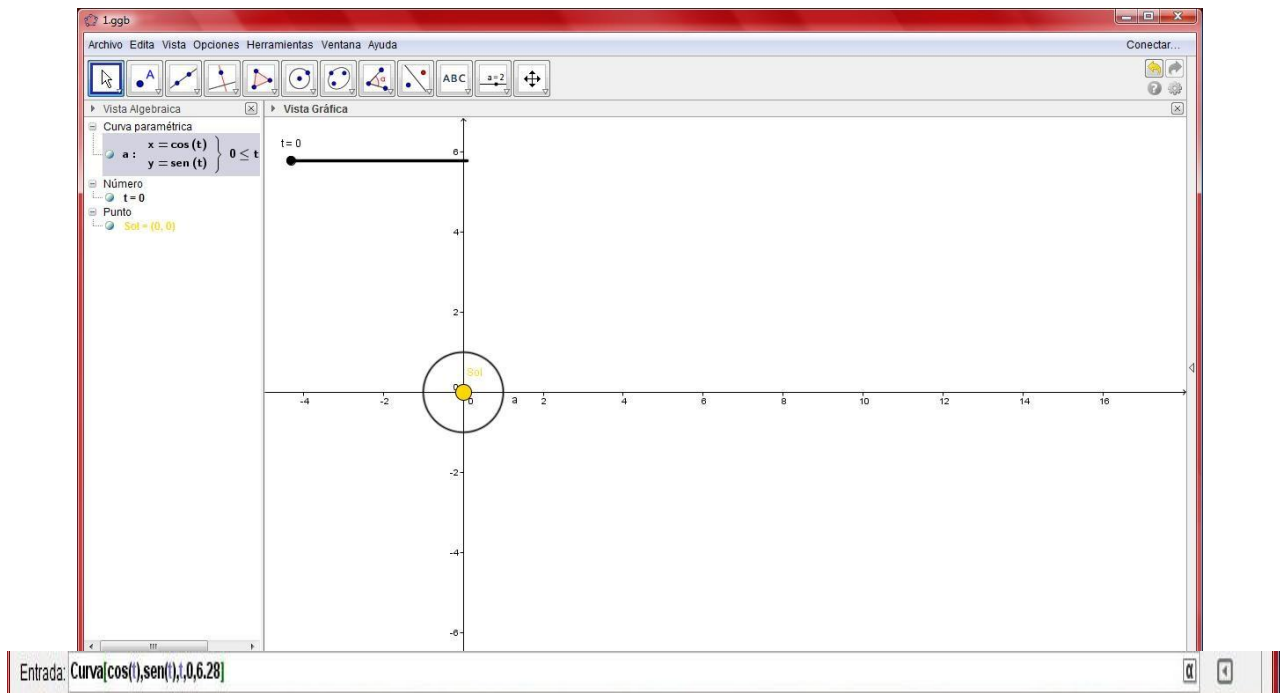
Entrada:

La fórmula, per tant, té cinc informacions per introduir. Les dues primeres, són la posició (x,y) de la circumferència en funció del temps, i consisteix en l'equació definida anteriorment:

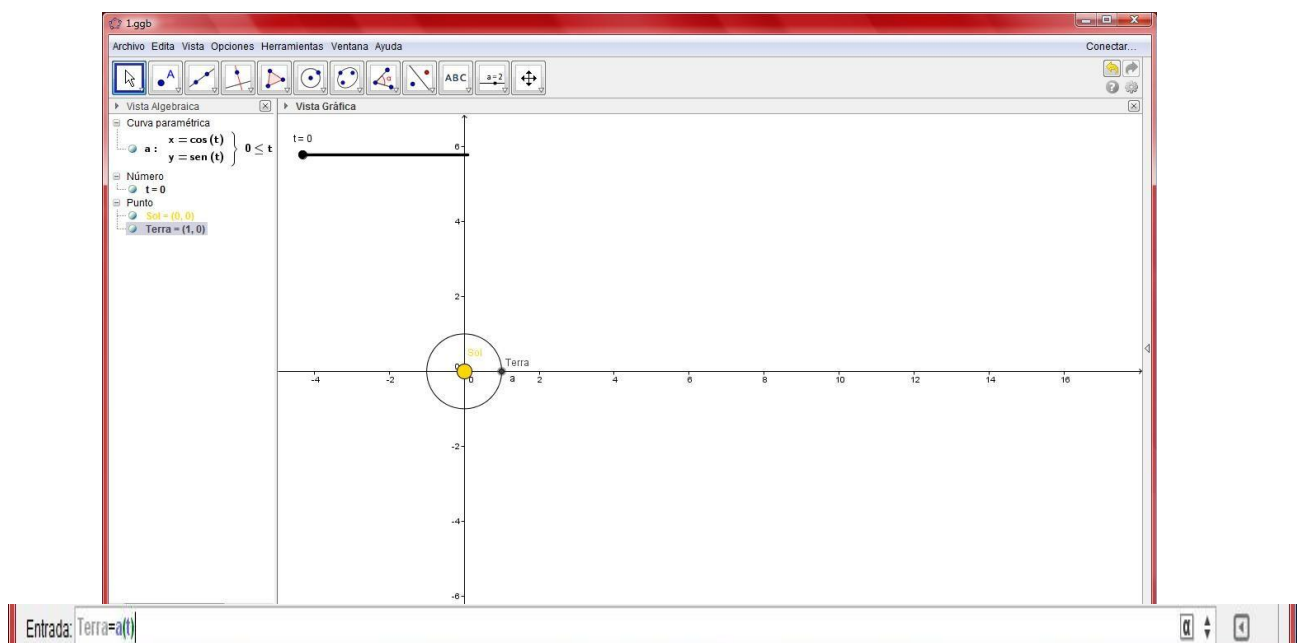
$$(x,y) = \left(a \cdot \cos \frac{t}{\sqrt{a^3}}, a \cdot \sin \frac{t}{\sqrt{a^3}} \right)$$

Una mirada als astres del cel

El paràmetre és el temps (t), i el valor inicial i final és el temps del principi i la fi que volem ajustar per a l'òrbita. Recordant que el valor de a és 1 per a la Terra, introduïrem la fórmula següent:

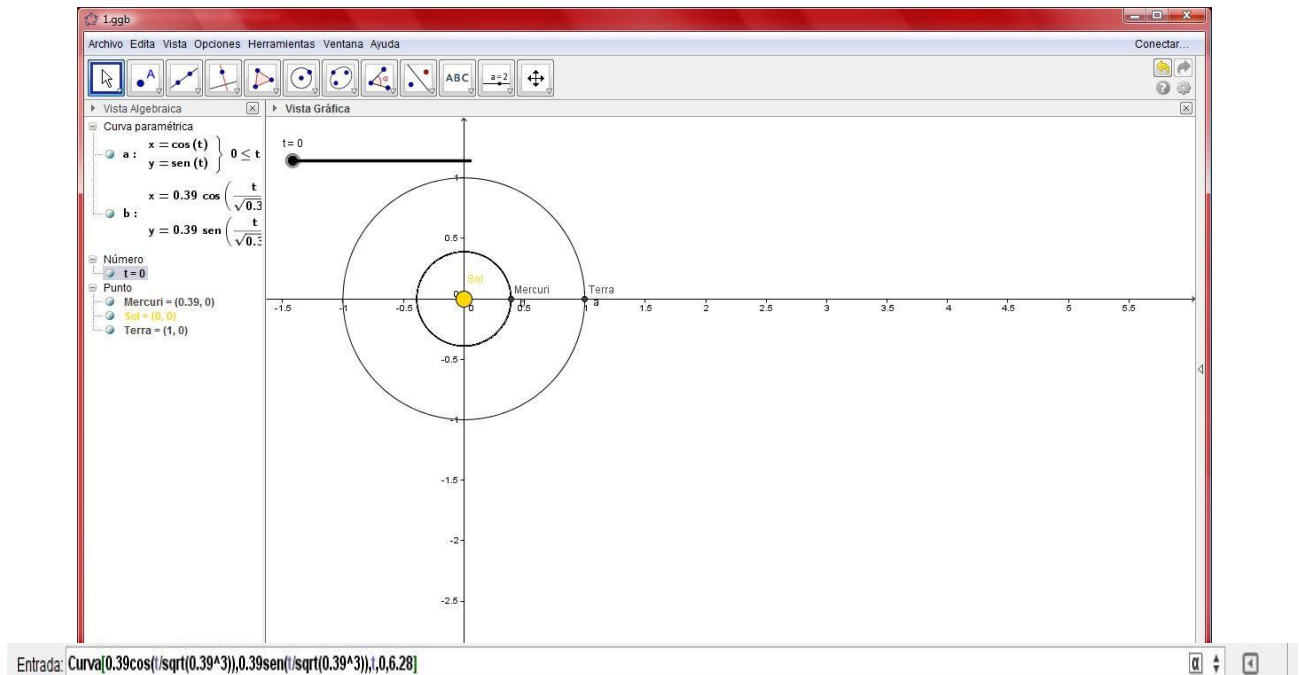


Hem triat com a valor final del temps 6.28 anys. El següent moviment consisteix a situar el planeta que es mogui seguint la seva òrbita. Per introduir-lo, simplement hem d'escriure el nom de l'astre i igualar-lo al nombre de l'equació en funció de t . En aquest cas, podem veure com l'equació té el nom d' a . Per tant, hem d'indicar a la barra: $Terra = a(t)$.



Una mirada als astres del cel

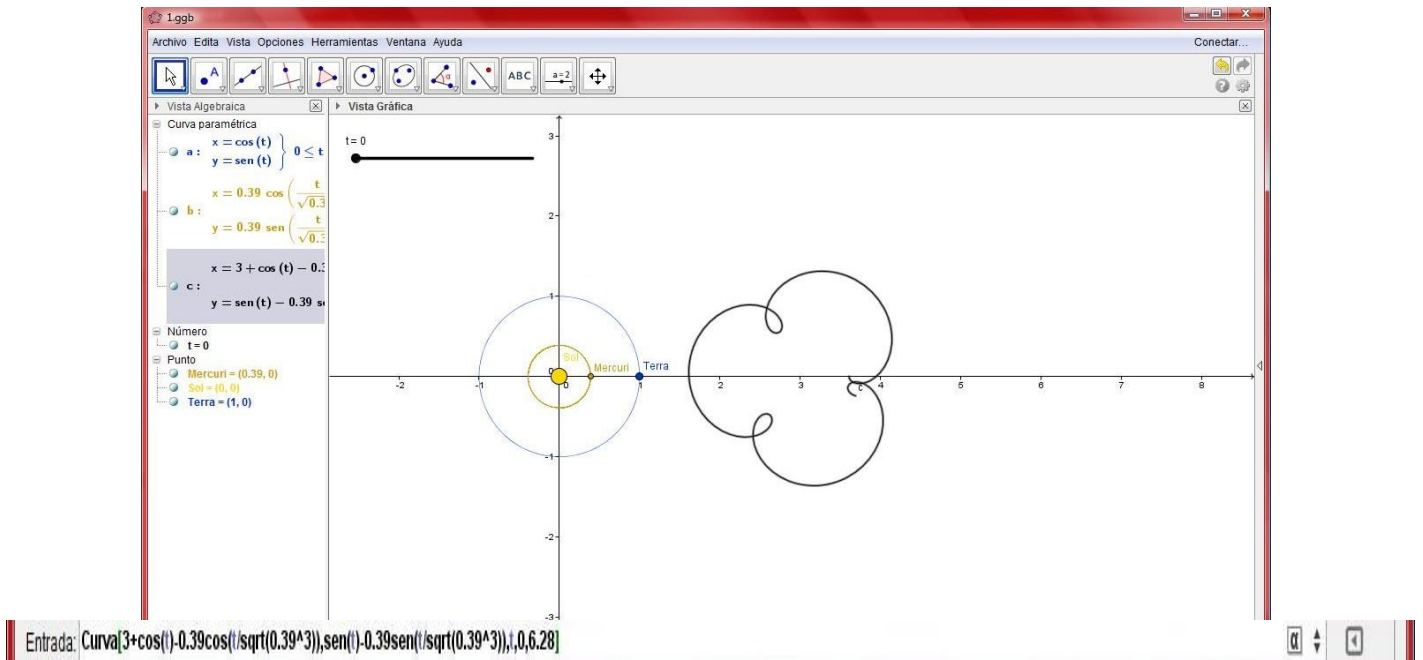
Tot seguit, procedirem a col·locar l'equació de Mercuri, seguint la mateixa fórmula que la utilitzada anteriorment. Haurem de tenir en compte que l'a de Mercuri és 0.39 ua, però haurem de posar els mateixos intervals de temps que en la Terra.



Després de formular l'òrbita de Mercuri, passarem a introduir el seu planeta, escrivint a la barra $Mercuri = b(t)$. Ara que ja tenim les dues òrbites, podem canviar-ne les propietats i acolorir-les. També podem definir la mida del segon planeta.

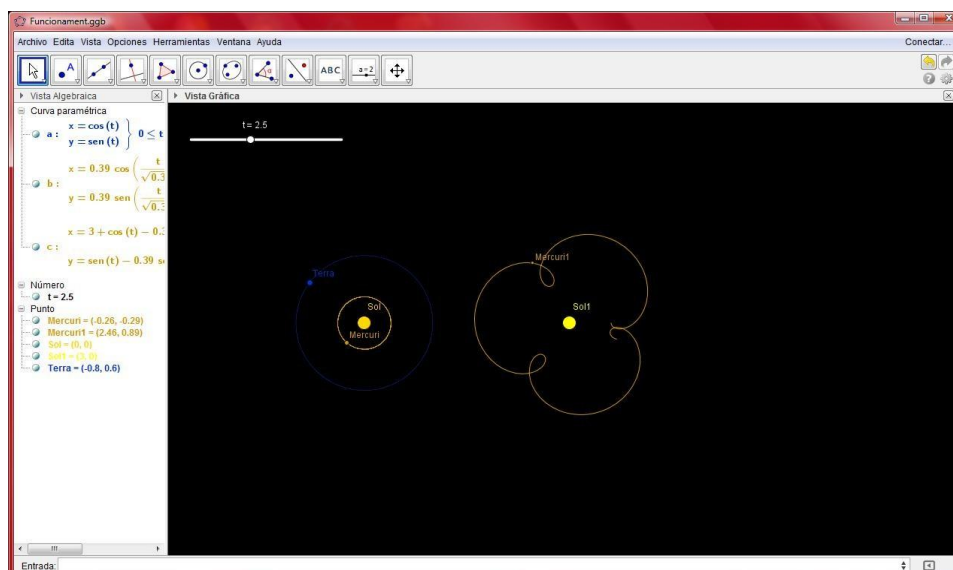
L'últim que ens queda per fer és establir la figura del moviment retrògrad de Mercuri respecte a la Terra. Per tal de fer-ho, hem d'utilitzar la mateixa equació que hem emprat per determinar les òrbites.

Per tal que l'estructura quedi desplaçada i no justament a sobre de les òrbites que ja tenim, sumarem un número a la x, que en aquest cas serà un 3. A més a més, perquè es vegi el moviment retrògrad hem de restar l'equació del planeta més interior a la del més exterior. Els paràmetres de la t han de ser iguals que ens les altres equacions. Per tant, quedarà així:



Finalment, l'únic que haurem d'introduir és un objecte que es mogui sobre la segona figura; per tant, *expressarem Mercuri₁ = c(t)*. Per acabar de donar-li el toc final, podem retocar els colors i l'estètica del sistema. A part, podem col·locar un segon Sol al centre de la segona figura perquè faci bonic.

Enllestida la simulació, podem observar que, a mida que anem fent lliscar el cursor del temps, els planetes es mouen respecte a la seva òrbita. La simulació planetària estarà acabada.

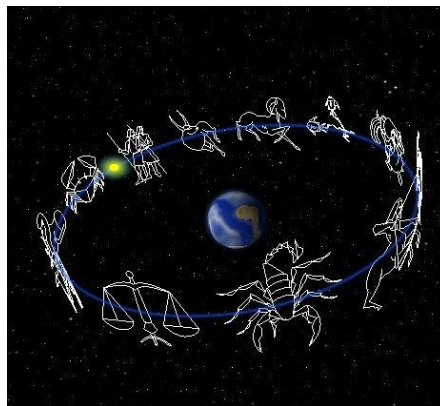


NOTA: Totes les imatges corresponen a fonts pròpies.

ANNEX VIII: DESMUNTANT MITES ASTROLÒGICS

1. LES CONSTEL·LACIONS DEL ZODÍAC

Les **constel·lacions del zodíac** consisteixen en dotze constel·lacions que es troben en una franja del cel anomenada zodíac. El zodíac està col·locat a la mateixa altura que l'eclíptica, de manera que les 12 constel·lacions que en formen part es troben al nivell de l'eclíptica.



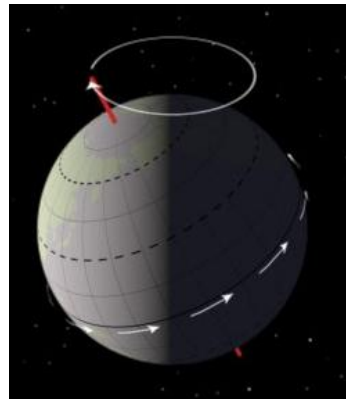
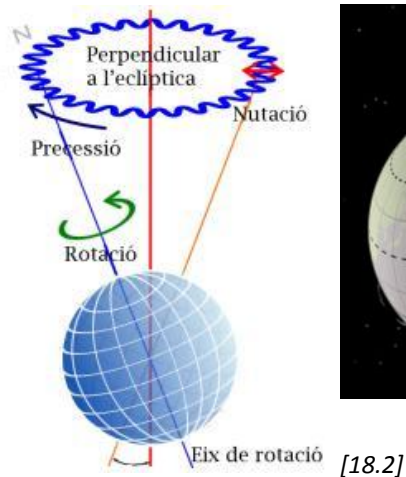
[18.1] Constel·lacions del zodíac.

L'astrologia no està considerada una ciència com a tal, sinó que es defineix com un conjunt de creences i sistemes d'endevinació que estudia la relació dels fenòmens astronòmics i les persones. Les pràctiques astrològiques requereixen l'horòscop, les dotze constel·lacions del zodíac a les quals s'atribueixen propietats. La seva veracitat està en dubte, i hi ha alguns fenòmens astronòmics que desmunten els seus càlculs.

2. EL MOVIMENT DE PRECESSIÓ DE LA TERRA

A part del moviment de rotació i el de translació, la Terra realitza dos moviments més. Un d'ells és la nutació, de la qual no en parlarem en aquest treball. L'altre, que té més importància astronòmica, es el de precessió.

La precessió consisteix en el desplaçament circular de l'eix de rotació de la Terra, de manera que descriu una circumferència, semblant al moviment que realitza una baldufa desequilibrada.



[18.3] Moviment de precessió

Es tracta d'un moviment extremament lent, ja que es calcula que tard, entre 25.700 i 25.900 anys a realitzar una volta completa. Tot i així, aquest fenomen provoca que la inclinació terrestre variï gradualment i que oscil·li al llarg dels anys entre els 27° i els 23°.

3. CONSEQÜÈNCIES DE LA PRECESSIÓ QUE REFUTEN L'ASTROLOGIA

En primer lloc, com que el moviment de precessió terrestre provoca que la inclinació de la Terra canviï, també causa variacions en el pla de l'eclíptica. Per tant, mentre que el pla de l'eclíptica hauria d'estar situat al pla horitzontal terrestre, la seva inclinació respecte del nostre planeta ha anat variant al llarg dels mil·lennis i, en l'actualitat, difereix lleugerament d'èpoques anteriors.

Aquest fenomen provoca que, constel·lacions que en l'antiguitat vèiem d'una determinada manera, ara les veiem diferent. Quan es van realitzar les cartes astrològiques, es van definir les constel·lacions de l'horòscop com aquelles que es troben al pla de l'eclíptica. Tanmateix, avui aquest pla ha variat i no es localitzen ben bé on es va predir. Els sistemes astrològics no han variat des de llavors i, per tant, es basen en càlculs que avui en dia són erronis.



[18.4]

Una mirada als astres del cel

Una altra conseqüència que provoca aquest moviment és la introducció gradual d'una nova constel·lació al pla de l'eclíptica, fet que la converteix en una nova constel·lació del zodíac. La figura s'anomena Ofiuco i, de mica en mica, s'anirà convertint en la tretzena constel·lació. Mentre aquesta constel·lació es va introduint a l'eclíptica, les dues constel·lacions que té a sota, Escorpí i Sagitari, es retiren una mica del pla de l'eclíptica.



[18.5]. En la fotografia, capturada amb el programa Night Sky 2, es pot veure Ofiuco entre Escorpí i Sagitari.

Aquest fenomen refuta totes les teories astrològiques, que basen els seus conceptes en les dotze constel·lacions. Tot i així, els astròlegs argumenten que hi ha una clara diferència entre els seus signes del zodíac i les constel·lacions astronòmiques del zodíac. Malgrat aquesta proposta, els signes del zodíac estan suposadament inspirats en les constel·lacions, de manera que si aquestes varien, possiblement aquests també ho haurien de fer. Aquest tema és un continu debat entre científics i astròlegs, i avui dia encara està molt discutit.

ANNEX IX: VISITA AL ROYAL OBSERVATORY GREENWICH

L'estiu passat vaig anar a passar dues setmanes a Anglaterra amb una família anglesa molt acollidora, amb la qual vaig millorar molt l'idioma. La meva estada allà va ser increïble i vaig gaudir molt de la seva companyia. Com que estava fent el treball de recerca, els vaig demanar de realitzar una excursió a Greenwich, per fer una visita al famós Reial Observatori de Londres i poder veure el monument que hi ha col·locat justament per on passa el Meridià 0. La família hi va estar d'acord i, juntament amb altres estudiants de diferents nacionalitats, vam anar fins a Londres a visitar l'observatori.

1. ROYAL OBSERVATORY DE GREENWICH

El Reial Observatori de Greenwich està situat a Greenwich, en un barri de Londres, on hi ha un famós complex de museus i galeries, entre els quals també es troba la Universitat. L'observatori va ser construït l'any 1675 seguint les ordres del rei Carles II d'Anglaterra. L'edifici estava destinat a ser un centre d'investigació astronòmic i estel·lar. Tot i així, amb el pas dels anys la contaminació atmosfèrica de l'aire de Londres va fer impossible la visualització del cel i aviat les investigacions van ser traslladades a un altre lloc més adequat.

Actualment, el Reial Observatori és un museu que conté un planetari, galeries històriques i activitats didàctiques per als visitants. L'antic observatori és famós, sobretot, perquè va donar nom al Meridià de Greenwich, que passa justament per un monument col·locat a l'edifici.

Royal Observatory Greenwich



2. EL PLANETARI

Després de fer una visita pel museu i les galeries, vam anar a una exhibició del planetari. El planetari estava format per una habitació molt gran, el sostre de la qual era una immensa cúpula. Els espectadors ens situàvem còmodament en unes butaques semiestirades que estaven per sota de la cúpula, mentre gaudíem de l'escena.

L'espectacle va ser realment increïble. La imatge mostrada a la cúpula era de primera qualitat i el vídeo es veia en tres dimensions, de manera que semblava que estiguessis entre les estrelles. L'exhibició consistia en una explicació de la Lluna, les seves característiques i el famós viatge a aquest satèl·lit realitzat per la NASA. Tot seguit, relatava l'existència d'un concurs anomenat Google Lunar XPrize, sempre amb imatges fantàstiques i molt definides. Malgrat que tot estava en anglès, l'explicació era prou nítida i s'entenia molt bé. Vaig gaudir molt del planetari i vaig aprendre moltes coses que no sabia. Tot i que vaig acabar una mica marejada al final de l'espectacle -les tres dimensions feien jugar males passades- em va agradar molt l'experiència.



El planetari.

2.1. Google Lunar XPrize

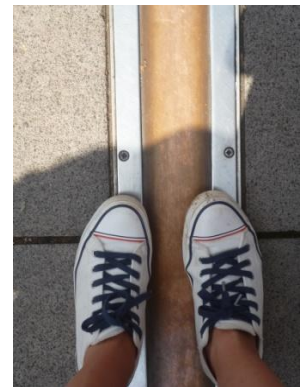
El Google Lunar XPrize, també anomenat Moon 2.0, és una competició espacial organitzada per la companyia XPrize i patrocinada per Google. El concurs consisteix que, els grups formats pels participants, han de construir un robot que sigui capaç d'enlairar-se, viatjar i aterrar a la Lluna sense problemes. Un cop allà, la màquina haurà de recórrer 500 metres i enviar fotografies d'alta definició i vídeo a la Terra. La gràcia de la competició és que els concursants no poden ser ajudats per cap centre espacial ni cap persona professional en la matèria. Els que ho aconsegueixin, tindran com a premi 15 milions de dòlars.

Actualment hi ha 29 grups d'arreu del món que participen en el concurs. Molts d'ells estan formats per enginyers aeronàutics, doctorats en astronomia o, fins i tot, per ex treballadors astrofísics. Un dels grups participants és de Barcelona i s'anomena *Barcelona Moon Team*. Tanmateix, encara ningú ha pogut aconseguir el fantàstic premi. Si a finals d'aquest any no hi ha hagut guanyador, XPrize baixarà la recompensa perquè els grups tarden massa, com ja va fer fa dos anys (inicialment el premi era de 20 milions de dòlars).

3. EL MERIDIÀ DE GREENWICH

A fora del Reial Observatori, col·locat en un pati exterior, hi ha el famós monument dedicat al Meridià 0. He d'admetre que, en realitat, em va decebre una mica. Jo m'esperava un arc enorme o una figura molt elaborada i complexa de grans dimensions. En canvi, l'estàtua de metall tan sols mesurava uns dos metres i amb prou feines tenia una fletxa que indicava la direcció del Primer Meridià.

El que em va fer més gràcia va ser la línia ataronjada gravada a terra, que indicava que era el lloc per on passava Meridià 0. A banda i banda de la ratlla, hi havia escrits noms de les ciutats més famoses del nostre planeta (entre les quals hi havia Madrid), juntament amb el nombre de graus que té la seva posició respecte al Meridià de Greenwich.



Em va sorprendre molt la cua quilomètrica que vaig haver de fer per fotografiar-me amb el monument. La quantitat de turistes que esperaven per fer-se una foto amb l'atracció més important de tot el museu era de dimensions desproporcionades. Tot i així, va ser una experiència agradable -ens van regalar un petit espectacle per entretenir-nos mentre estàvem

esperant- i trobo que la llarga espera va valer la pena. Poca gent pot dir que ha trepitjat justament el Meridià de Greenwich al seu lloc d'origen.



3.1. Història del Meridià 0

Tot i que sembla impossible, el Meridià de Greenwich no va passar sempre per Greenwich, sinó que, de fet, ha tingut diferents punts d'origen al llarg de la història.

El primer de col·locar el Meridià 0 va ser Claudi Ptolomeu, 100 anys abans de C., que va decidir que el Primer Meridià estava situat en unes illes atlàntiques que es trobaven a l'extrem del món. A l'Antiga Grècia, Amèrica encara no havia estat descoberta i es creia que aquell arxipèlag estava situat a la fi del planeta. Actualment, no se sap exactament a quin punt geogràfic es referia el savi Ptolomeu, ja que els seus mapes són erronis i es calcula que el meridià se situava a alguna de les illes Canàries.

Ja en l'Edat Mitjana, al segle XV, el Meridià 0 va ser desplaçat a l'illa canària de Fuerteventura pel cartògraf Gerardus Mercator. No obstant, anys més tard, aquest mateix matemàtic va situar-lo a les illes Açores, un arxipèlag portuguès que es troba al bell mig de l'Atlàntic. Aquestes últimes referències van ser les que va utilitzar Cristòfor Colom en els seus viatges nàutics.

Un segle més tard, el militar francès Richelieu Levoyer va recol·locar el Primer Meridià a l'illa El Hierro, novament a les Canàries. Aquesta referència va ser molt utilitzada internacionalment, tant que fins i tot ara encara s'anomena a aquesta illa "*Isla del Meridiano*".

Amb el pas del temps, els astrònoms francesos van determinar que el Meridià 0 passava a pocs graus de París. Alhora, els científics del Royal Observatory de Greenwich -entre els quals hi havia Isaac Newton i Edmund Halley- van elaborar tots els seus càlculs i anàlisis partint de supòsit que el meridià estava situat a Greenwich.

Davant la gran confusió originada per tal quantitat de Meridians 0, cada un situat en un lloc del món diferent i utilitzat lliurement per cada persona, es va convocar una conferència internacional a Washington l'any 1884 per discutir la qüestió. Finalment, va ser elegit per conveni, el Meridià de Greenwich, ja que la majoria de cartes nàutiques del moment utilitzaven com a referència aquest meridià, i en honor al Royal Observatory, els científics dels quals han estat essencials en els avenços de la ciència moderna.

NOTA: Totes les fotografies són de font pròpia.

ANNEX X: AGRAÏMENTS

Dono les gràcies a totes aquelles persones sense les quals aquest treball no hauria estat possible:

- A la Marta Ayats, la meva tutora, que m'ha dirigit el treball, m'ha ajudat en tot moment i s'ha preocupat per aquest projecte com si fos seu. Espero que algun dia em perdoni per tots els maldecaps que li he ocasionat.
- A l'Esther Barrabés, la meva segona tutora, per haver-me dedicat el seu temps, haver-me ensenyat amb paciència tots els conceptes i haver-me aportat una gran quantitat d'idees. Sense ella, aquest treball no hauria estat el mateix.
- A la Laura Garcia, matemàtica i professora de la Universitat de Girona, que va participar en una de les nostres reunions en les quals m'explicaven els conceptes.
- A la meva mare, per ser-hi sempre quan més la necessito, per aguantar-me i per donar-me un cop de mà quan més ha calgut. No en podria tenir una de millor.
- Al meu germà, per haver-me salvat dels problemes informàtics que he tingut amb el projecte.
- A l'Àlex Llobet, pel seu suport moral i emocional que m'ha fet animar en els meus pitjors moments.
- A tota la família d'Anglaterra que va estar una hora esperant-me a ple sol, mentre jo feia cua per fer-me una fotografia amb el Meridià de Greenwich. Ho agraeixo de tot cor, a la Marilla Milles (anglesa); a la Jojo Marbach i la Maria Gabriel (austríaques) i a la Susanna Beccaccini, la Martina Burzio, la Martina Ponchintesta, la Linda i l'Angelo Semenza (italians).
- A la Clara Camps, la Xènia Costa i la Sandra Wentzinger, perquè, tot i prestar-me petites ajudes, ja se sap que els detalls marquen la diferència.

- A en Jordi Bosch, per haver-me resolt alguns dubtes ortogràfics.
- A Pere Hors, president de la Societat Astronòmica de Figueres, per resoldre'm una qüestió respecte una de les meves pràctiques.
- A Juan Carlos Casado, fotògraf astronòmic, per permetre'm posar les seves dues increïbles i fantàstiques fotografies que formen la portada del meu treball.

ANNEX XI: BIBLIOGRAFIA

1. WEBGRAFIA

- <http://astronomia921.wordpress.com>
- <http://es.wikipedia.org>
- <http://www.buscaqui809.com>
- <http://cienciageografica.carpetapedagogica.com>
- <http://cosaspracticas.lasprovincias.es/meteroide-meteorito-cometa-asteroide/>
- <http://shubiologas.blogspot.com.es/2013/04/que-contiene-el-universo.html>
- <http://www.astromia.com/solar/sol.htm>
- <http://elsol6bies.blogspot.com.es/2009/04/caracteristicas-fisicas.html>
- <http://astronomiac.blogspot.com.es/2014/01/color-del-planeta-mercurio.html>
- <http://www.los-planetas.com.ar/venus.html>
- <http://www.astromia.com/solar/planetas.htm>
- http://www.windows2universe.org/our_solar_system/planets_orbits_table.html&lang=sp
- <http://www.todoelsistemasolar.com.ar/planetas-enanos.htm>
- <http://planetasgrupo4.blogspot.com.es/2012/03/el-origen-mitologico-de-los-planetas.html>
- <http://www.espacioprofundo.com.ar/astronomia/sistema-solar/40-historia-del-cometa-halley.html>
- <http://portalhispano.wordpress.com/2014/03/03/sistema-solarcinturon-de-kuiper-el-disco-disperso-y-nube-de-oort/>
- http://www.windows2universe.org/our_solar_system/planets_table.html&lang=sp
- http://www.cca.org.mx/cca/cursos/AIDA/Analisis_y_consecuencias_de_la_definicion_formal_de_planeta_version_1.5/ch03s04.html
- <http://hugojarag.blogspot.com.es/2008/03/el-planeta-mercurio-y-la-teora-de-la.html>
- <http://www.astromia.com/tierraluna/precisionutacion.htm>
- <http://stopsecrets.ning.com/profiles/blogs/el-13-signo-del-zodiaco-ofiuco-la-constelacion-suprimida-el>
- <http://www.curistoria.com/2009/07/de-cuando-el-meridiano-cero-no-era.html>
- http://centrodeartigo.com/articulos-enciclopedicos/article_85445.html

2. LLIBRES

WILLEY, John & Sons. *Calculus, una y varias variables - Volumen 1*

Barcelona: Reverté, 2002.

SMOLUCHOWSKI, Roman. *El Sistema Solar*. Barcelona: Prensa Científica, 1986.

GRAVES, Robert. *Dioses y héroes de la antigua Grecia*. Madrid: Bibliotex, 1999.

PEREZ-RIOJA, José Antonio. *Diccionario de símbolos y mitos*. Madrid: Tecnos, 1962.

HEATHER, Couper; NIGEL, Henbest. *Historia de la Astronomía*.

Barcelona: Paidós, 2008

3. TREBALLS

MONTSERRAT COMPANYS, Joaquim. *De l'Astronomia de l'Antiguitat a un viatge a la Lluna*. 2011.

4. ARTICLES

“El límite entre la astronomía y la astrología” revista Astronomía, juny del 2014, nº 180.

5. FONTS DE LES IMATGES

- [3.1]: http://themellowjihadi.com/wpcontent/uploads/2013/06/stonehenge_diagram.gif
- [3.2]: http://ca.wikipedia.org/wiki/Stonehenge#mediaviewer/File:Stonehenge_tarda.JPG
- [3.3]: <http://www.astromia.com/fotohistoria/geocentrico.htm>
- [3.4]: <http://www.taringa.net/posts/cienciaeducacion/6464527/NeilArmstrongVerdad-o-Mentira-del-viaje-a-la-luna.html>

- [5.1]: <http://www.enciclopedia.cat/enciclopèdies/gran-enciclopèdia-catalana/EC-GEC-0226061.xml>
- [5.2]: http://www.windows2universe.org/the_universe/uts/kepler2.html&lang=sp
- [5.3]: http://news.softpedia.com/news/45-New-KuiperBeltObjects22317.shtml#sgal_0
- [5.4]: <http://physics.stackexchange.com/questions/42004/why-are-the-orbits-of-the-planets-in-our-solar-system-along-the-same-basic-plane>
- [5.5]: <http://www.aavbae.net/aavbae/index.php/cursoastronomia/cursodeastronomia/22-curso-astronomia-19-pluton-el-lejano-planeta>
- [6.1]: <http://observatorio.info/2010/06/marte-en-movimiento-retrogrado/>
- [8.1]: <http://www.picpicx.com/earth/>
- [8.2]: <http://yadirachokiz.blogspot.com.es/2010/11/boveda-celeste.html>
- [11.1]: <http://es.wikipedia.org/wiki/Sol#mediaviewer/File:TheSun.png>
- [11.2]: <http://www.astromia.com/fotosolar/planetamercurio.htm>
- [11.3]: http://en.wikipedia.org/wiki/Venus#mediaviewer/File:Venus_globe.jpg
- [11.4]: <http://www.astromia.com/fotosolar/fototierra.htm>
- [11.5]: <http://www.meteobanyoles.com/lluna.htm>
- [11.6]: [http://ca.wikipedia.org/wiki/Mart_\(planeta\)](http://ca.wikipedia.org/wiki/Mart_(planeta))
- [11.7]: <http://burro.astr.cwru.edu/stu/jupiter.html>
- [11.8]: http://img2.wikia.nocookie.net/_cb20130714130507/expanse/images/6/61/Saturn.jpg
- [11.9]: <http://videos.howstuffworks.com/tlc/29946solarempireringsofuranusvideo.htm>
- [11.10]: <http://www.rummet.dk/solsystemet/neptun>
- [11.11]: <http://terraforming.wikia.com/wiki/Ceres>
- [11.12]: <http://www.profesorenlinea.cl/fisica/pluton.htm>
- [11.13]: <http://www.wired.com/2011/05/haumea-ice/>
- [11.14]: [http://pl.wikipedia.org/wiki/\(136472\)Makemake#mediaviewer/File:2005FY9art.jpg](http://pl.wikipedia.org/wiki/(136472)Makemake#mediaviewer/File:2005FY9art.jpg)
- [11.15]: <http://barcino.info/19/planetes/eris.htm>
- [11.16]: http://en.wikipedia.org/wiki/4_Vesta#mediaviewer/File:Vesta_full_mosaic.jpg
- [11.17]: <http://www.taringa.net/posts/info/15748426/ElCometaHalleyIsaacAsimov.html>
- [11.18]: http://www.planetsforkids.org/news/asteroid-orbits/asteroid_belt/

- [11.19]: <http://despiertaalfuturo.blogspot.com.es/2013/05/un-misterioso-objeto-de-la-nube-de-oort.html>
- [11.20]: <http://fondos10.com/wp-content/uploads/images/6e/via-lactea-0.jpg>
- [16.1]: <http://sciexplorer.blogspot.com.es/2011/04/mercury.html>
- [16.2]: <http://revistapesquisa.fapesp.br/es/2011/11/01/por-que-uranogiradecostado/>
- [18.1]: <http://earthsky.org/tonight/find-the-constellations-o-the-zodiac-on-october-evenings>
- [18.2]: http://es.wikipedia.org/wiki/Precesión_de_los_equinoccios#mediaviewer/File:Precession-nutation-ES.svg
- [18.3]: https://encryptedtbn1.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcR1I0iboPvTzAXCEObspGPS_vFCPUdK1JIDxYwryl_Z8151mRrElbKYS6Y
- [18.4]: <http://escuelahuber.wordpress.com/2012/01/17/ano-ptolomeico/>
- [18.5]: font pròpia.