

veïns còsmics





Primera edició: Setembre 2015

© UNAWE, 2015

© Jordi Gutiérrez, Rosa M. Ros, 2015 pel text

© Maria Vidal, 2015 per les il·lustracions.

Edició: Rosa M. Ros Ferré

Disseny gràfic:
Maria Vidal

Revisió dels textos:
Carme Alemany, Jaime Fabregat i Cristina Padilla

Traducció: Margarita Espona Donés

Imprès a la UE
ISBN: 978-84-15771-53-1

Veïns Còsmics

Jordi L. Gutiérrez

Rosa M. Ros

UNawe, 2015



“Ciència en Acció” és un programa que va néixer a Espanya l’any 2000 per promoure la comunicació de la ciència, impulsar la innovació docent i fomentar noves vocacions científiques entre els nostres joves. “Adopta una Estrella” va sorgir l’any 2002, dins de “Ciència en Acció”, per despertar l’interès per la ciència, en particular per l’astronomia, entre els nens i joves de tots els països de parla hispana i portuguesa. Hem d’aconseguir que coneguin millor l’univers. No es valora allò que no es coneix i descobrir el sistema solar és una forma de fomentar la curiositat per l’astronomia i la ciència i també de respectar el medi que ens envolta.

www.cienciaenaccion.org



El Consell Superior d’investigacions Científiques (CSIC) és una institució compromesa amb UNAWE des dels seus inicis. Amb un clar esperit de connexió amb tots els països hispans, el CSIC dona el seu suport als treballs d’UNAWA en espanyol pensats per als nens que parlen una mateixa llengua que els uneix

www.csic.es



UNAWE , Universe Awareness , és una iniciativa internacional que neix el 2005 amb l'objectiu de despertar en els nens l'interès per la ciència a través de l'observació de l'Univers . UNAWE funciona com una plataforma: continguts i recursos , posats en comú ; els seus destinataris són els nens de diferents països . A través de les seves experiències i emocions amb els astres es fomenta la seva consciència d'un destí compartit en un món de pau .

es.unawe.org i sac.csic.es/unawe/





Introducció

El Sol i els planetes han estat sempre presents en la imaginació de la humanitat. No podem estar segurs de què pensaven en temps prehistòrics quan els observaven movent-se per la bóveda celeste, però sí que sabem que les civilitzacions més antigues de la història els van dotar d'un caràcter sagrat, els van considerar encarnació dels seus déus.

Pocs de nosaltres (almenys de moment) viatjarem en aquestes naus que iniciaran la nostra expansió pel Sistema Solar, però amb el que ja coneixem ens podem embarcar en un viatge fascinant de la nostra ment cap a entorns que mai ha conegut la nostra espècie. Anem doncs a iniciar una travessia que ens conduirà pels principals cossos del Sistema Solar, un viatge que ens pot portar molt lluny en termes de comprensió i exploració.

Aquestes pàgines volen ser una breu guia de viatge pel Sistema Solar; en elles s'hi descriuen les característiques principals, les peculiaritats i algunes anècdotes dels nostres veïns còsmics més propers.

Figura 1: Saturn i el seu anell, el planeta més bonic del Sistema Solar. (Font: NASA)

Formació de Sistemes Planetaris

Les estrelles es formen a partir d'enormes núvols de gas i pols que es contrauen, cosa que fa créixer la seva densitat i temperatura fins que l'hidrogen experimenta reaccions de fusió nuclear; llavors diem que ha nascut una estrella.

Aquest núvol original rotava i en contreure's va girar més ràpidament, com li passa a un patinador que contreu els seus braços. Llavors, el gas de la zona equatorial va experimentar una força centrífuga (com la d'un cotxe en prendre un revolt) que va contrarestar en part la contracció. Això va passar en menor mesura a prop dels "pols" del núvol, on el gas va caure cap al centre més ràpidament. Així, el núvol va acabar formant una protoestrella envoltada d'un disc equatorial de gas (i una mica de pols). En el disc, partícules de pols i de gel van començar a reunir-se per formar petits grans, còdols i, després d'un llarg procés, planetes. Els més grans van captar grans quantitats de gas (sobretot hidrogen i heli) per formar els planetes gasosos.

En el nostre sistema solar no podem confirmar aquest procés, perquè va succeir fa més de 4.500 milions d'anys, però ha estat corroborat en observar estrelles joves properes, al voltant de les quals s'han descobert molts discos de gas i pols. Ja s'han trobat quasi dos mil exoplanetes, i es creu que prop de la meitat de les estrelles de la Galàxia tenen el seu propi sistema planetari.

Tots els cossos d'un sistema planetari giren al voltant de la seva estrella segons òrbites el·líptiques (excepte els satèl·lits, que giren al voltant d'un planeta).



Figura 2: Disc de pols i planetes al voltant de Fomalhaut (Font: NASA, ESA)

Dibuixem una el·lipse

Tallem un tros de cordill. Fem un nus a cada extrem i el travessem amb una xinxeta que clavem en un paper posat sobre un cartró. Amb la punta d'un llapis empenyem el cordill fins tibar-lo i, mantenint-lo així, movem el llapis donant una volta sencera. Haurem traçat una el·lipse: el conjunt de punts tals que la suma de les distàncies a dos punts fixos - els focus- (on hem fixat les xinxetes) és un valor constant (la longitud del cordill).

És bo fer proves separant més o menys les xinxetes: allunyant-los l'el·lipse és més allargada, apropant-los és més rodona, i clavant una sola xinxeta travessant dos nusos s'obté una circumferència. Els planetes giren en òrbites el·líptiques amb el Sol en un focus, però són gairebé circumferències. Els cometes, en canvi, recorren òrbites el·líptiques molt allargades

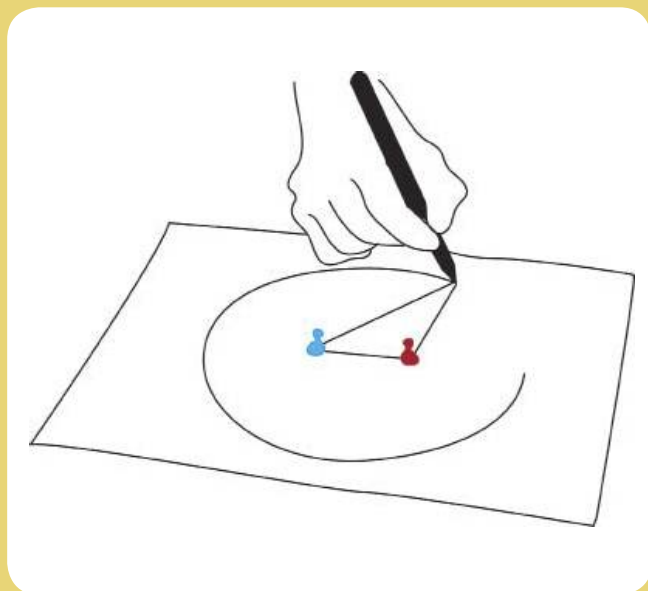


Figura 3: Dibuixem una el·lipse

Què és el Sistema Solar?

El Sistema Solar està format pel Sol, vuit planetes amb els seus satèl·lits, planetes nans, asteroides, objectes del Cinturó de Kuiper i altres cossos més petits com cometes i meteoroides, així com gas i pols entre ells. Tots aquests objectes giren al voltant del Sol, excepte els satèl·lits que giren al voltant del seu planeta, segons òrbites el·líptiques que en el cas dels planetes, satèl·lits i molts asteroides són molt properes a circumferències. Entre tots ells actua la força atractiva de la gravetat.

Els membres del Sistema Solar es troben en aquest ordre: Mercuri, Venus, la Terra, Mart, cinturó d'Asteroides (encara que hi ha asteroides dispersos per tot el Sistema Solar), Júpiter, Saturn, Urà, Neptú, el Cinturó de Kuiper i, més lluny encara, el Núvol d'Oort, un immens dipòsit gelat de milers de milions d'estels.

	Diàmetre en km	Distància al Sol en km
Sol	1.392.000	
Mercuri	4.878	57.900.000
Venus	12.180	108.300.000
Terra	12.756	149.700.000
Mart	6.760	228.100.000
Cinturó d'Asteroides		300.000.000 - 500.000.000
Júpiter	142.800	778.700.000
Saturn	120.000	1.430.100.000
Urà	50.000	2.876.500.000
Neptú	45.000	4.506.600.000
Cinturó de Kuiper		4.500.000.000 - 15.000.000.000

Model de comparació de diàmetres

Si considerem els diàmetres reals dels objectes del Sistema Solar en centímetres i dividim per 1.000.000.000 podrem obtenir-ne un model proporcional de mida raonable.

Amb paper o roba groga retallem un cercle de 1.4 metres de diàmetre que representarà el Sol. Dins d'ell enganxarem els 8 planetes del Sistema Solar, els diàmetres han de ser:

Mercuri 0,5 cm
Venus 1,2 cm
La Terra 1,3 cm
Mart 0,7 cm
Júpiter 14 cm
Saturn 12 cm
Urà 5 cm
Neptú 4,5 cm

Podem decorar-los amb pintures amb l'ajuda d'algunes fotografies dels planetes que es poden aconseguir fàcilment a internet.

Finalment podem enganxar els planetes sobre la superfície del Sol. Cal destacar que l'efecte aconseguit és similar al que es pot veure en un trànsit de Venus o de Mercuri per davant del Sol, excepte que en aquest cas veuríem un disc negre perquè els planetes es limiten a reflectir la llum que els arriba del Sol.



Figura 4: El Sol i els planetes del Sistema Solar

Model de mides de les òrbites dels planetes del Sistema Solar

La distància d'un planeta al Sol és, aproximadament, la meitat que la del següent planeta al Sol; així, la distància que separa Júpiter del Sol és la meitat que la del Sol a Saturn.

Aquesta activitat permet percebre distàncies relatives entre objectes del sistema solar usant una cartolina DIN-A4 o DIN-A3.

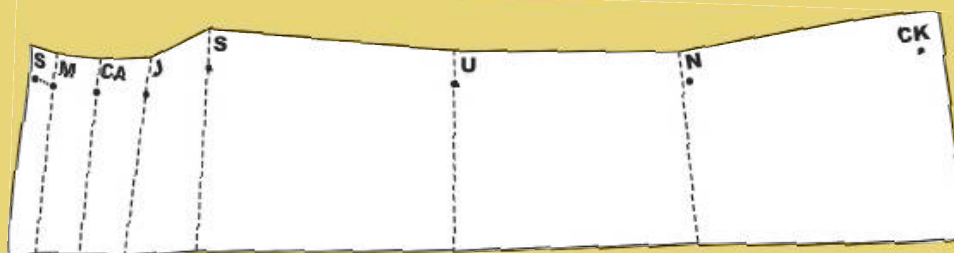
Anotem a l'extrem dret una S, per representar el Sol, i a l'esquerre una CK, per a un objecte del Cinturó de Kuiper. Dobleguem per la meitat la cartolina i en aquest punt situem Urà, anotant una U. Doblem de nou per la meitat entre U i CK, i situem Neptú, marcat amb una N. Si dobleguem per la meitat entre S i U tenim Saturn, on escrivim Sa. Tornem a doblegar la cartolina entre el Sol i Saturn i anàlogament situem Júpiter, amb una J. Dobleguem per la meitat entre el Sol i Júpiter i situem llavors el Cinturó d'Asteroides que designem per CA. Doblegant per la meitat entre el S i CA tenim Mart situat amb una M.

Finalment, dividim en quatre parts iguals la distància entre el Sol i Mart,

i situem Mercuri, Venus i la Terra, que designem per Me, V i T (Figures 5a i 5b). Comparant amb les distàncies reals del Sol als planetes veurem que l'aproximació que hem fet servir no és precisa, però és senzilla i ens dóna una idea intuïtiva de les distàncies relatives, que és l'única cosa que volíem aconseguir.



Figures 5a y 5b: Foto i esquema del model de distàncies.



Model de comparació de diàmetres i distàncies

És interessant oferir un model en què a més de les distàncies a escala puguem representar els planetes a escala. Cal aconseguir un equilibri entre les distàncies perquè no siguin molt grans i que, alhora, els diàmetres dels planetes no resultin invisibles. Una bona opció consisteix a establir tots els valors en metres i dividir-los per 5 000 000; el resultat a escala és el que apareix a la taula següent:

Comencem per situar la pilota de bàsquet del Sol en una cantonada del pati de l'escola. Mercuri és el cap d'una agulla situat a 12 m (un pas és un metre més o menys). Venus i la Terra seran dos caps de dues agulles una mica més grans a 22 m i a 30 m en diferents direccions. Mart, un altre cap d'agulla com Mercuri, és a 46 m. Normalment aquí s'acaba el Sistema Solar dins del pati de l'escola.

Podem completar el sistema si ho fem en un parc públic o en diversos carrers, en diferents direccions, sempre que siguin

	Diámetros	Distancias al Sol
Sol	28,0 cm - pelota de baloncesto	
Mercurio	0,1 cm - cabeza de un alfiler	12 m
Venus	0,2 cm - cabeza de un alfiler	22 m
Tierra	0,2 cm - cabeza de un alfiler	30 m
Marte	0,1 cm - cabeza de un alfiler	46 m
Júpiter	3 cm - pelota de golf	155 m
Saturno	2,5 cm - pelota de ping-pong	285 m
Urano	1 cm - canica	575 m
Neptuno	1 cm - canica	900 m

prou llargues ja que Neptú estarà a 900 m del Sol inicial. Podem utilitzar pilotes de golf per a Júpiter a 155 m del Sol, una pilota de ping-pong per a Saturn a 285 m i dues bales per Urà i Neptú a 575 m i 900 m respectivament (Figura 6).



Figura 6: Pilotes del model a la ciutat.

Sol

Amb uns 4.600 milions d'anys d'edat, el Sol està en la meitat de la seva vida. Cada segon el nucli solar converteix 4 milions de tones de matèria en una immensa quantitat d'energia (que en part percebem com a radiació visible quan emergeix per la seva superfície) i unes partícules esmunyedisses anomenades neutrins *.

El Sol té un camp magnètic prou intens i molt complex que està sempre canviant, i que periòdicament dóna lloc a una gran activitat **. Les línies de camp magnètic emergeixen a la superfície i produeixen les taques solars. Aquestes taques apareixen fosques sobre la superfície del Sol perquè estan més fredes que la resta de la superfície: a "només" 4000°C, quan la temperatura mitjana és d'uns 5500°C.

*Per a més detalls consulteu el llibre "Festa d'Estrelles" d'aquesta mateixa col·lecció.

**Per a més detalls consulteu el llibre "Buscant el Nord" d'aquesta mateixa col·lecció.

Com que el Sol és una bola de gas, la rotació del Sol distorsiona aquests camps magnètics i dóna lloc a la seva ruptura, la qual cosa produeix explosions de partícules de molta energia (les fulguracions), i les ejeccions de massa de la corona (Figura 7). El Sol emet contínuament el vent solar, una tènue brisa formada principalment per protons, nuclis d'heli i electrons.

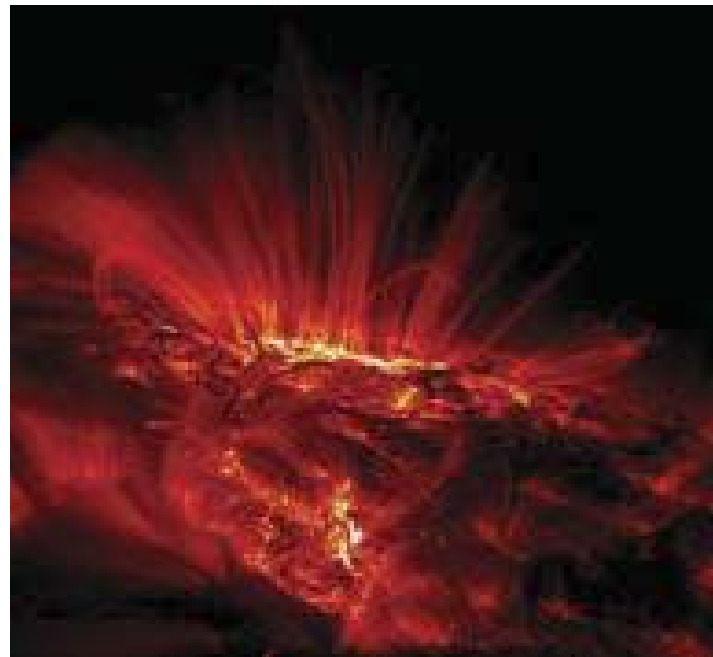


Figura 7: Detalls de les taques i les fulguracions a què donen lloc. (Font: TRACE)

Observació de les taques solars

Observar el Sol és perillós per la seva gran lluentor i pels raigs ultraviolats emesos per la corona solar, que poden causar danys oculars seriosos.

Per observar les taques solars fem servir, però no directament, uns prismàtics amb l'ajuda d'un adult. No es pot mirar el Sol a través d'ells, sinó que s'utilitzen per projectar la imatge del Sol sobre una cartolina. Destapem només un dels dos oculars i el col·loquem en un forat que haurem retallat en una cartolina perquè el disc solar destaquï sobre la zona d'ombra de la cartolina. Orientem l'ocular cap al Sol sense mirar per ell únicament temptejant la seva posició i mirant les ombres sobre la cartolina.



Figura 8: Observant les taques solars amb uns prismàtics

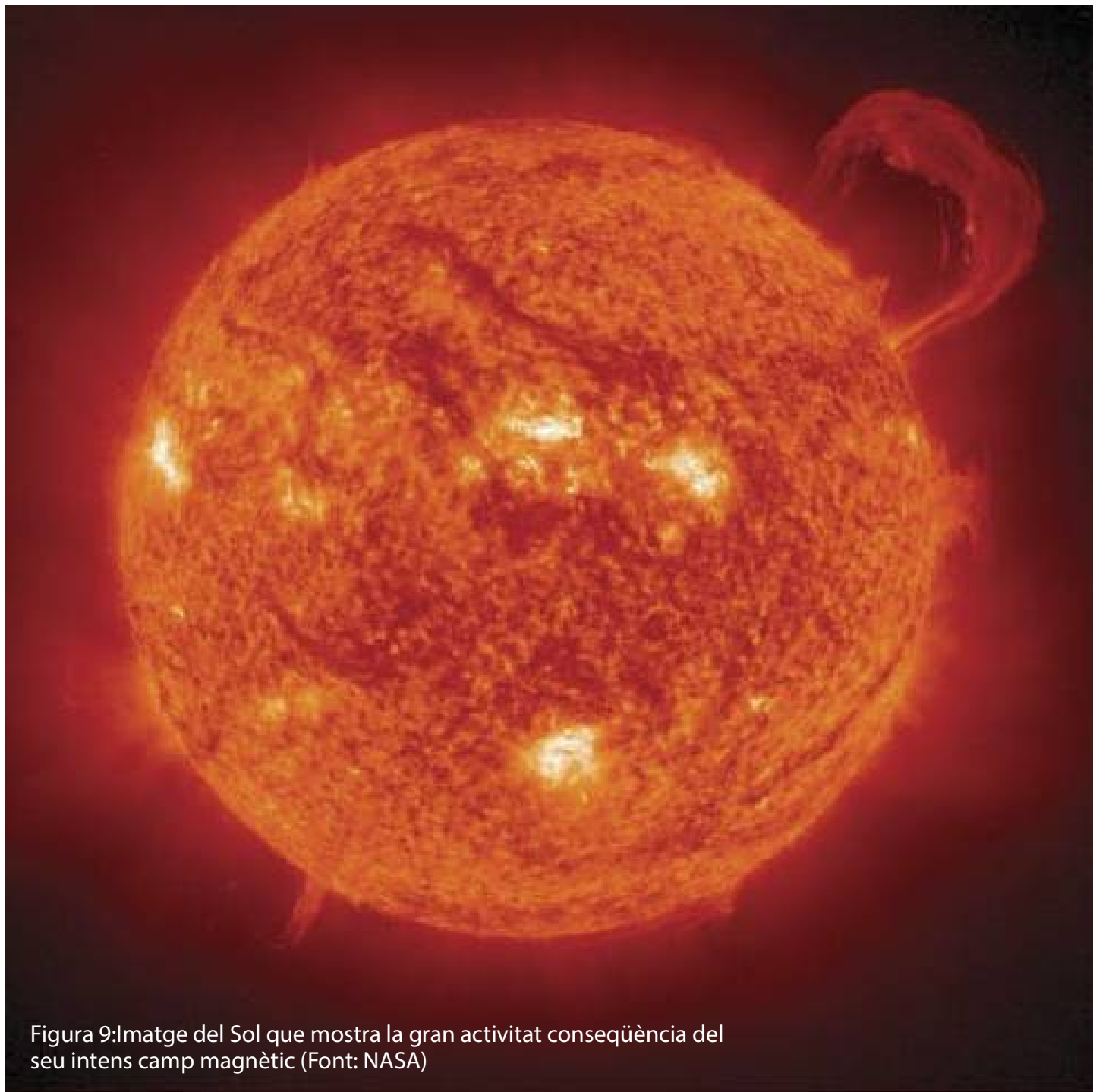


Figura 9: Imatge del Sol que mostra la gran activitat conseqüència del seu intens camp magnètic (Font: NASA)

Model de línies de camp magnètic i taques solars

Per visualitzar les línies del camp magnètic solar que generen les taques solars fem servir alguns imants sobre la fotografia del Sol (Figura 9).

En primer lloc imprimim la foto del Sol (Figura 9) i enganxem per parelles de taques solars uns petits imants circulars plans de manera que un tingui el pol nord a dalt i l'altre a baix. Col·loquem després un imant en forma de ferradura en ells i així tenim la visualització de les línies del camp magnètic associades a un dels parells de taques solars, que surten de la superfície solar, i que en ocasions provoquen grans fulguracions. Es pot substituir l'imant de ferradura per un trosset de neteja-pipes que col·loquem sobre dels imants circulars (Figura 11).

Gràcies al vent solar, aquestes ejeccions arriben al camp magnètic del nostre planeta o d'un altre i donen lloc a les aurores. De fet s'han observat aurores a Júpiter, Saturn i Neptú, a més de a la Terra.

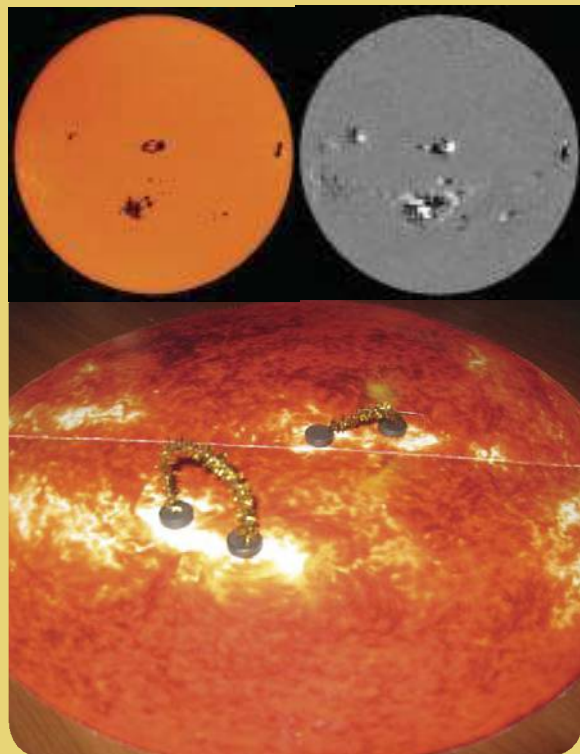


Figura 10a: Imatge del sol al visible (color falsejat). Figura 10b: Imatge magnètica del sol en blanc i negre per mostrar la polaritat de les taques. El blanc correspon al pol sud i el negre al pol nord de la taca. Figura 11: Model amb neteja-pipes.

Mercuri

Mercuri és el planeta més petit del Sistema Solar (encara que no és gaire més petit que Mart) i el més proper al Sol. Precisament per ser el primer planeta que trobem des del Sol és el que es desplaça de forma més ràpida. Els grecs creien que era el missatger dels déus, per la seva rapidesa de moviments sobre la volta celeste (Figura 12).

Per la seva proximitat al Sol, Mercuri és incapaç de retenir una atmosfera apreciable. La seva superfície ens recorda la Lluna perquè està crivellada per cràters d'impacte de totes les mides (entre ells hi ha l'enorme Conca Caloris, resultat de l'impacte d'un objecte de centenars de quilòmetres de diàmetre).

Mercuri té una altra peculiaritat: el seu dia dura 59 dies terrestres, el seu any 88 i el temps entre dues sortides del Sol consecutives és de 176 dies: dos anys de Mercuri! La zona il·luminada arriba a temperatures terribles, fins a més de 600°C , mentre que a la regió nocturna baixen en picat fins als -150°C !



Figura 12: Mercuri, el missatger dels déus.



Figura 13: Superfície de Mercuri.

Model de cràters d'impacte

Es pot reproduir l'aspecte dels cràters d'impacte amb farina i cacau en pols. Primer cal posar papers de diari a terra per no embrutar i per facilitar la recollida de la farina i el cacau després de realitzar l'activitat, a fi de reciclar-los i aprofitar-los per repetir l'activitat.

Distribuïm una capa llisa d'1 o 2 cm de farina amb un colador per evitar grumolls. Seguidament posem una capa d'uns pocs mil·límetres de cacau en pols sobre la farina amb el colador. Des d'uns 2 m d'alçada (només cal aixecar els braços per sobre del nostre cap) deixem caure una cullerada sopera de cacau en pols que deixarà marques similars als cràters que es veuen sobre la superfície de Mercuri i de molts altres cossos del Sistema Solar.

Per seguir investigant es poden llançar sobre el llit de farina diverses pilotes o pedretes, de diferents mides i materials. També es poden llançar incidint des de dalt o amb inclinació i estudiar els resultats obtinguts.

En aquests casos es pot seguir experimentant amb una superfície de farina o amb una superfície d'argila, sempre tenint en compte que caldrà

donar més profunditat a la capa de material sobre la qual s'impacta (sinó, l'objecte que llancem rebotarà contra la superfície que hi hagi sota de la farina o argila).



Figura 14: Cràters amb farina i cacau.

Venus

Quan està en la seva lluentor màxima és l'objecte més brillant del firmament després del Sol i la Lluna. Tot i ser un planeta es coneix com l'"estrella del matí" (quan va per davant del Sol) o com l'"estrella de la tarda" (quan va per darrere). Els romans li van donar el nom de la deessa de l'amor i la bellesa (Figura 15).

És el planeta rocós amb l'atmosfera més densa: la seva pressió és noranta vegades més gran que la de l'atmosfera terrestre. L'aire està compost bàsicament de diòxid de carboni (CO_2) i crea el major efecte hivernacle de tot el Sistema Solar, amb una temperatura mitjana a la superfície que arriba a 460°C (més gran que la temperatura mitjana de Mercuri, i molt més gran, afortunadament, que la de la Terra) (Figura 16).

La densa atmosfera està coronada per una capa perpètua de núvols. En més de 400 anys d'observació mai s'ha obert un clar que permeti observar la seva superfície. Els núvols, entre altres components, tenen àcid sulfúric. I es creu que pot haver-hi pluges d'aquest compost altament corrosiu.



Figura 15: Deessa romana de la bellesa.



Figura 16: La capa nuvolosa de Venus és tan espessa que no ens permet veure la seva superfície.

Model d'efecte hivernacle

Prenem dos pots de vidre amb tapa i dos termòmetres, tots ells iguals. Fem un forat de diàmetre una mica més gran que el dels termòmetres a la tapa dels pots. Un d'aquests pots serà l'atmosfera de la Terra (cosa fàcil, ja que el pot tanca una porció d'autèntica atmosfera terrestre), i l'altre serà de composició més semblant a la de Venus; és a dir, tindrà major abundància de CO_2 .

Per aconseguir-ho prenem una canyeta per a refrescs, la introduïm en el pot per l'orifici de la tapa i bufem. L'aire exhalat pels nostres pulmons està enriquit en CO_2 . Després introduïm els termòmetres pels orificis de les tapes i fem servir plastilina per evitar que hi hagi intercanvi d'aire entre els flascons i l'exterior. L'extrem inferior del termòmetre no ha de tocar les parets ni el fons del pot. A més hem de posar un tros de paper enganxat al fons dels pots de manera que faci de para-sol als termòmetres, i així evitar que la llum solar incideixi directament en els termòmetres. Un cop fet tot això, deixem els flascons al sol i, passat un temps, comparem la mesura dels termòmetres. Veurem que la lectura del pot amb CO_2 és més alta, la qual cosa encaixa amb el que passa a Venus i la Terra.



Figura 17: Model d'efecte hivernacle.

A manera de suggeriment es pot repetir l'experiment amb els pots pintats de blanc, o negre o folrats de paper d'alumini i comparar per veure quins resultats s'obtenen.

La Terra

És l'únic planeta de l'Univers del qual sabem que alberga vida. Format fa 4.570.000.000 d'anys està cobert en la seva major part d'aigua, el 71%, i només és sòlida i seca el 29% de la seva superfície. Però en realitat, la quantitat d'aigua a la Terra és molt menor que la quantitat total de roca. La seva temperatura superficial és molt variable, amb una mitjana de 15°C, ni molt baixa ni molt alta, el que dona les condicions necessàries perquè existeixi aigua líquida en la seva superfície i es desenvolupi la vida.

La vida terrestre ha influït de manera extraordinària en les propietats del planeta (o, almenys, de la part del planeta que ens és accessible). Així, la composició de la nostra atmosfera, amb un extraordinari 21% d'oxigen lliure, ens indica que hi ha alguna cosa diferent (pel que fa a Venus i Mart) que són els organismes fotosintètics. Si eliminéssim tota la vida terrestre, l'oxigen de l'aire es combinaria ràpidament amb els materials de l'escorça i deixaria d'estar present en estat lliure.

L'interior del planeta, inaccessible directament, s'ha estudiat per mitjà d'ones sísmiques. Així, s'ha comprovat que sota una prima escorça dura (d'unes desenes de quilòmetres de gruix), hi ha una capa, el mantell, on les roques flueixen com si fossin un líquid molt viscos. Per sota del mantell hi ha el nucli, format per ferro, níquel i altres metalls fosos, on s'origina el camp

magnètic de la Terra. Sorprenentment, la part més interna del nucli terrestre és sòlida, ja que la immensa pressió a la qual està sotmesa predomina sobre la temperatura (que és superior a la de la superfície visible del Sol).



Figura 18: Planeta Terra vist des de l'espai (Font: NASA).

Model de germinació de cigrons

Posem una bola de cotó i un cigró en quatre gots iguals. En tres mantindrem el cotó mullat durant tot l'experiment i el quart el deixem sense aigua.

Situem cada vas en un lloc diferent amb diferents condicions de llum, temperatura i humitat. Un el situem a la llum del sol, un altre en un lloc amb poca llum, en penombra, i el tercer dins d'un frigorífic. Situem el got sense aigua al costat del que està al sol.

Passats uns 10 dies veurem que el cigró sense aigua no ha germinat, i tampoc el que estava a la nevera, a les fosques i amb baixes temperatures. El cigró en penombra ha germinat, però la seva tija és feble i molt allargada, mentre que el cigró amb aigua i situat en zona assolellada s'ha desenvolupat millor: per germinar i créixer el cigró necessita una temperatura mitjana, humitat i llum solar.

Es poden fer més intents amb diverses llavors en diferents llocs i comparar els resultats.



Figura 19: Quatre cigrons cultivats (d'esquerra a dreta: al sol, a les fosques, a la nevera i sense aigua).

Mart

És un planeta fàcilment visible: en els casos més favorables pot arribar a ser més brillant que Júpiter, si bé menys que Venus. Pren el seu nom del déu romà de la guerra, Mart, a causa del seu color vermellós, que evocava el de la sang (Figura 20). El seu característic color ocre és degut als compostos de ferro de la seva superfície.

El seu diàmetre és aproximadament la meitat que el de la Terra, però posseeix la muntanya més alta del Sistema Solar (el volcà Olympus Mons), amb una altura de més de 25 km. I també el canó més extens (Valls Marineris), amb uns 5000 km de longitud i una profunditat que arriba a assolir 6 km (Figura 21); és tan ample que en molts llocs des d'una vora no es pot distingir la vora oposada perquè queda per sota de l'horitzó. S'observen indicis de corrents d'aigua en la seva superfície però són molt antics; actualment l'aigua només es troba en forma de gel en els casquets polars (que varien d'extensió amb estacions similars a les terrestres), i molt probablement en el subsòl.



Figura 20: Mart, déu romà de la guerra.



Figura 21: Superfície del planeta Mart (Font: NASA).

Model de gravetats superficials

Mart i Mercuri són els planetes més petits del Sistema Solar, el que comporta que tinguin la gravetat superficial menor de tots els planetes: Mart posseeix aproximadament una tercera part de la gravetat superficial terrestre. Això vol dir que llançar un coet a Mart resultaria molt més fàcil que a la Terra, i que en saltar a Mart, amb el mateix esforç, s'aconsegueix saltar molt més alt (gairebé tres vegades més) que en el nostre planeta. Una cosa semblant passa a la Lluna, que en ser encara més petita multiplica els salts de la Terra per sis.

Per visualitzar aquest efecte proposem que l'alumne salti per sobre d'una caixa de sabates. Mesurem l'altura d'aquesta caixa amb una cinta mètrica, multipliquem el resultat per 3 o per 6 i mirem a la cinta quina seria l'altura del salt que podríem fer a Mart o a la Lluna amb la mateixa musculatura i el mateix esforç.

Es pot complementar aquesta activitat buscant a internet pel·lícules dels astronautes de l'Apol·lo 11 caminant sobre la superfície lunar i observar-hi els seus salts. No és equivalent perquè portaven un vestit espacial realment pesat. El que sí s'observa és que cauen més lentament, com si fos a "càmera lenta".

Cinturó d'Asteroides

Els asteroides són cossos rocosos orbitant al voltant del Sol entre Mart i Júpiter. Són de totes les mides, des dels que tenen un diàmetre de centenars de km fins els que són similars a partícules de pols. És difícil donar el seu nombre, perquè depèn de la mida a partir de la qual decidim que és massa petit per ser un asteroide (llavors serien meteoroides, que quan entren a l'atmosfera donen lloc a meteors i, els que arriben a terra es diuen meteorits). Hi ha meteors metàl·lics, i es poden recollir meteorits microscòpics amb un imant.*

L'asteroide més gran és Ceres, que va ser considerat un planeta des de la seva troballa el 1801 fins el 1850, en què va ser degradat a asteroide en trobar-ne molts d'anàlegs en aquesta zona. Ceres té un diàmetre de 1000 km i la seva força gravitatòria li ha permès assolir forma esfèrica, però no netejar la seva òrbita. Per tot això, Ceres va ser classificat el 2006 com a planeta nan.

Els asteroides típics tenen mides molt menors a la de Ceres, ja que el seu camp gravitatori no és prou intens per suavitzar la seva forma i acostumen a tenir forma de patata. Les seves superfícies estan crivellades de cràters per l'efecte d'impactes violents. S'ha descobert que molts tenen petits satèl·lits.

* Per a més detalls consulteu el llibre "Buscant el Nord" d'aquesta mateixa col·lecció.

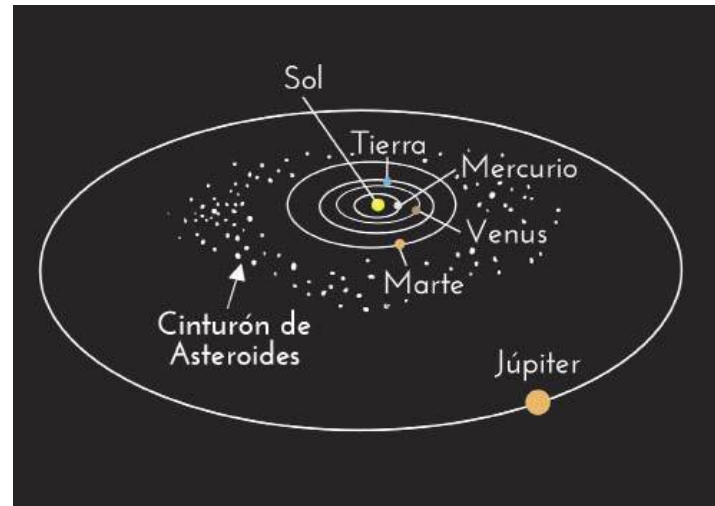


Figura 22: Cinturó d'asteroides.



Figura 23: Asteroide Gaspra (Font: Sonda Galileu).

Policies del cel

A finals del segle XVIII els astrònoms estaven convençuts que entre Mart i Júpiter havia d'existir un altre planeta, un planeta perdut que no s'havia descobert fins a la data. Un grup d'ells va decidir rastrejar el cel fins a trobar-lo. Aquests caçadors de planetes es van qualificar a si mateixos com "policies del cel".

Curiosament, Ceres va ser descobert per l'astrònom italià Giuseppe Piazzi poques setmanes abans que li arribés la invitació a formar part del grup.

Proposem com a activitat fer una cosa semblant i rastrejar el firmament. No és senzill descobrir un nou cos en el nostre Sistema Solar avui dia, però sí que és fàcil observar el pas de l'estació espacial ISS. Es pot advertir a simple vista (i és sorprenentment brillant) si se sap quina és la zona celeste on s'ha de mirar i a quina hora s'ha de fer. Per això cal que consulteu el web <http://spotthestation.nasa.gov/>



Figura 24: Ceres.



Figura 25: La ISS tal com es veu des de la Terra (Font: Jürgen Michelberger).

Júpiter



Figura 26: El déu romà Júpiter.

Júpiter és el més gran dels planetes del Sistema Solar. El seu diàmetre és 11 vegades el de la Terra, i la seva massa gairebé 318 vegades la del nostre planeta. Com que és molt brillant i es mou amb majestuosa lentitud entre les estrelles, els antics grecs li varen donar el nom del pare dels déus: Júpiter.

Aquest planeta és una enorme bola de gas (fonamentalment hidrogen i heli) amb un nucli de roca diverses vegades més dens que la Terra. Hi podem observar les estructures nuvoloses que es formen i es desfan, influïdes en bona part per la ràpida rotació del planeta (dóna una volta sobre el seu eix en poc més de nou hores). En particular, hi ha una immensa taca (un cicló de la mida de dues Terres) que s'ha observat des de fa quatre-cents anys (Figura 27). No obstant això, en els últims anys està disminuint considerablement la seva grandària.

Degut també a la seva ràpida rotació, Júpiter té un intens camp magnètic, que és amb diferència el més potent de tots els planetes.



Figura 27: Júpiter i la seva gran taca.

Al seu voltant trobem molts satèl·lits, quatre dels quals són tan grans que podrien passar per planetes: Ío, Europa, Ganimedes i Calixto. A Europa, es creu que hi ha un oceà d'aigua líquida cobert per una capa de gel i es considera molt prometededor des del punt de vista biològic.

Model de comparació de volums de Júpiter i la Terra

El radi de Júpiter és 11 vegades el de la Terra. Com que el volum d'una esfera és $\frac{4}{3}$ de π pel radi al cub, el volum de Júpiter és més de 1.300 vegades el volum de la Terra. ($11 \times 11 \times 11 = 1.331$).

Simulem la Terra amb un cigró. El diàmetre d'un cigró mesura aproximadament 1 cm de diàmetre. Per simular el diàmetre de Júpiter (que ha de ser 11 vegades més gran) prenem 2 enciameres semiesfèriques de cuina d'11 cm de diàmetre i fem servir uns 2 quilos de cigrons per omplir les dues semiesferes (les dues enciameres).

Per fer-ho més senzill és bo disposar d'una "mesura" amb la qual puguem comprovar que un cop plena correspon a uns 100 cigrons. D'aquesta manera és molt senzill veure quantes vegades hem d'omplir la "mesura" per poder omplir l'enciamera, i així s'explica més fàcilment (Figura 28). El total ha de ser d'uns 1.300 cigrons (1.331 com hem vist abans).

Es poden comparar altres planetes entre ells a més de Júpiter i la Terra. És un bon exercici de proporcions.



Figura 28: Comparació del volum de Júpiter i de la Terra.

Saturn



Figura 29: Saturn pintat per Rubens el 1636 després de conèixer la seva interpretació per Galileu com a cos triple (part superior del quadre).

Saturn era el cinquè planeta observat pels grecs i els romans. És conegut pel seu sistema d'anells, que s'observen des de la Terra. Tots els planetes gasosos tenen anells, però els de Júpiter, Urà i Neptú són molt menys espectaculars (i difícils d'observar des de la Terra). Els anells giren en el pla equatorial del planeta mostrant la posició del seu equador. Els anells de Saturn són molt brillants perquè estan formats per pols, roques i gel, el seu diàmetre és d'uns 300.000 km i la seva vora interna dista uns 67.000 km del centre de Saturn.

Com a planeta, Saturn és similar a Júpiter, però més petit. La seva densitat mitjana és inferior a la de l'aigua. La seva rotació és ràpida, i està envoltat de molts satèl·lits: en destaca Tità, amb una atmosfera més densa que la terrestre amb llacs d'età i metà (i possiblement butà) líquids en la seva superfície.

Model de l'anell de Saturn

Fem servir un DVD i una bola de porexpan de 5 cm de diàmetre (haurien de ser 4.8 cm) per a un model a escala. Amb un ganivet separem les parts transparent i brillant del DVD. Partim la bola de porexpan per la meitat i enganxem el DVD transparent al mig. Sostenim planeta i anell brillant amb dos dits pels seus pols. Variant la posició del model s'observa l'anell més o menys inclinat (Figures 30a, b i c).



Figures 30a, b i c: Fotos del model.

Quan a principis del 1600 Galileu va observar Saturn amb el seu telescopi, el dibuixava de vegades com una esfera simple i de vegades com tres esferes pròximes (Figura 31) perquè en no tenir una imatge clara de l'anell el va interpretar erròniament.



Figura 31: Dibuixos de Galileu en una carta adreçada a Belisario Vinta amb data 30 de juliol de 1610.

Model de densitats: Saturn flota

Saturn és el planeta de menor densitat: inferior a la de l'aigua. En un estany prou gran per llançar-lo, el planeta suraria (si no tenim en compte que la seva baixa temperatura congelaria l'aigua de cop).

Els planetes del Sistema Solar es classifiquen en terrestres (Mercuri, Venus, la Terra i Mart) i gasosos (Júpiter, Saturn, Urà i Neptú). Per tal d'aconseguir un símil dels planetes ho farem amb trossos de minerals de volum semblant (és fàcil de comprovar posant-los en un got ple d'aigua, l'aigua vessada ens indica el volum). Prenem els minerals que tenen una densitat mitjana propera a la de cada planeta segons la taula adjunta. Si sospesem a la mà cada un d'ells notarem que uns són molt més lleugers que els altres.

No és fàcil aconseguir un mineral de la densitat de Saturn: per això fem servir fusta, cosa que deixa clar que aquest planeta "flota".

Si comparem la densitat de la pirita amb qualsevol pedra de la superfície terrestre veiem que la pirita és molt més densa ja que el nucli terrestre és molt més dens que l'escorça.

Planeta	Densitat	Mineral
Mercuri	5,41 g/cm ³	Pirita (5,0 – 5,2)
Venus	5,25 g/cm ³	Pirita (5,0 - 5,2)
Terra	5,52 g/cm ³	Pirita (5.0 - 5.2)
Mart	3,90 g/cm ³	Calcopirita (3,5 - 4,3)
Júpiter	1,33 g/cm ³	Atzabeja(1,2 – 1,3)
Saturn	0,71 g/cm ³	Fusta d'olivera (0,8 – 1,0)
Urà	1,30 g/cm ³	Atzabeja(1,2 – 1,3)
Neptú	1,70 g/cm ³	Òpal (1,8 - 2,3)

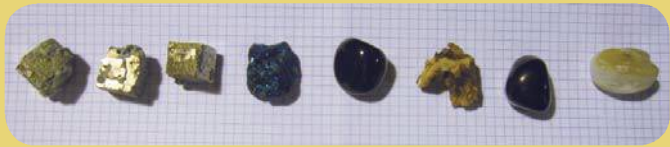


Figura 32: Minerals de diferents densitats semblants a les dels planetes del Sistema Solar.

Urà

Els antics grecs coneixien els cinc planetes observables a simple vista i els identificaven amb uns dels seus déus: Mercuri, Venus, Mart, Júpiter i Saturn (també consideraven la Lluna com a planeta -i, de vegades, el Sol). El primer planeta descobert en l'època moderna va ser Urà, el 1781, gràcies al telescopi que va construir William Herschel i a la seva tenacitat en l'observació del cel (i a l'ajuda de la seva germana Caroline).

Urà té l'eix de rotació pràcticament en el seu pla de translació al voltant del Sol; o sigui, el seu eix de rotació està estirat (Figura 33). Es creu que aquesta inclinació es deu a un xoc en el passat. Els seus pols estan situats on els altres planetes tenen més o menys l'equador; per tant són les zones amb més radiació solar i on les nits duren uns 42 anys (l'equivalent a mig "any d'Urà").

Planeta	Inclinació	Durada del dia	Durada de l'any
Tierra	23°	24 h	1 any
Marte	24°	24 h 39 min	1,88 anys
Urano	89°	17 h 14 min	84 anys

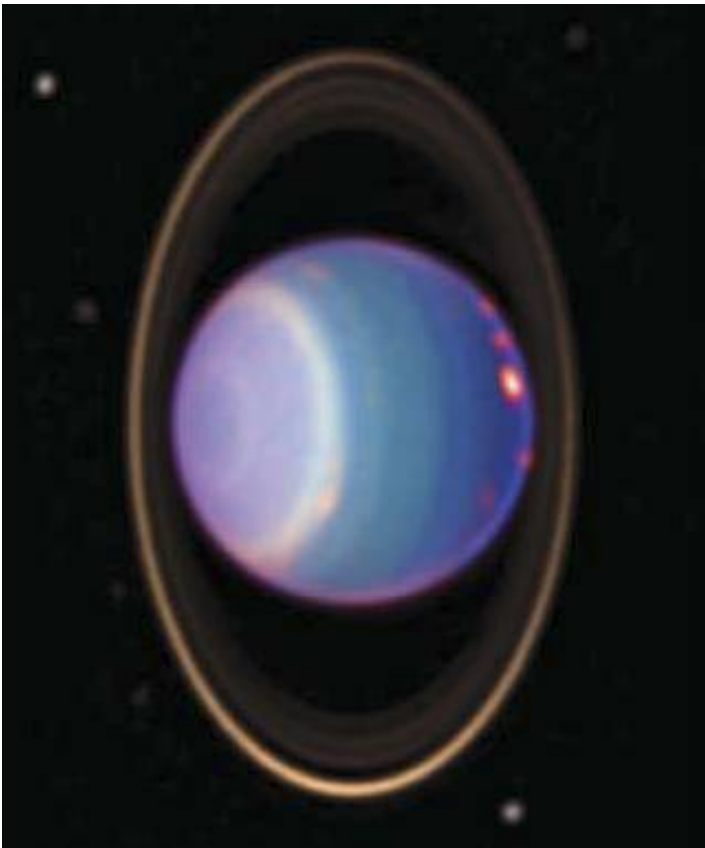


Figura 33: Urà i els seus anells equatorials. La regió il·luminada revela la seva cara cap al Sol.

Model d'estacions

La inclinació de l'eix de rotació d'un planeta causa les estacions. L'equador de la Terra forma 23° respecte al seu pla de translació, el de Mart 24° respecte al seu pla orbital; per tant la Terra i Mart tenen estacions molt similars. L'equador d'Urà forma 89° (és gairebé perpendicular) respecte al seu. Les estacions (estiu i hivern) a la Terra i Mart són molt semblants, però a Urà les estacions són molt més exagerades i en comptes de tres mesos (sis a Mart) duren 21 anys.

Muntem un model per analitzar les estacions amb quatre boles i una espelma. El pla orbital serà el de la taula, on situem una espelma que representa el Sol. L'eix de rotació ha de formar amb la taula 67° ($90^\circ - 23^\circ$) per a la Terra, 66° ($90^\circ - 24^\circ$) per Mart, i 1° ($90^\circ - 89^\circ$, gairebé 0°) per Urà. Situem les quatre boles formant una creu, recordant que els eixos de rotació de les 4 boles han de ser paral·lels. És l'altura del Sol sobre l'horitzó el que marca l'estació: en un hemisferi és estiu quan el Sol es veu més alt (hi ha més hores d'insolació i els raigs cauen verticalment); en canvi, quan l'alçada màxima del Sol sobre l'horitzó és més baixa és hivern, (el Sol està menys hores al cel que a l'estiu) ***.

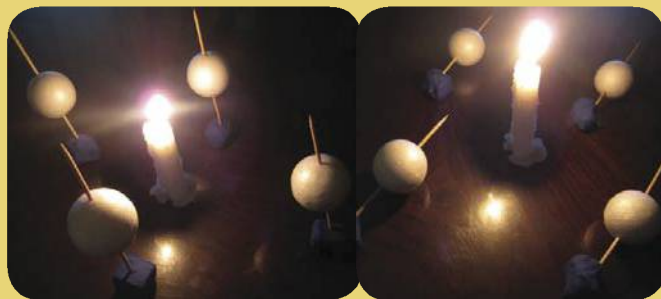


Figura 34: Estacions a la Terra.

Figura 35: Estacions en Urà.

Les inclinacions dels eixos de rotació dels altres planetes són més o menys àmplies. Mercuri té una inclinació de 0° , i per tant no hi ha estacions (si bé la seva distància al Sol varia tant que el seu efecte és gran).

D'altra banda, Venus gira al revés que els altres planetes; es creu que és degut a que un gran impacte li va fer girar el seu eix uns 180° .

***Per a més detalls consulteu el llibre "Terra Paral·lela" d'aquesta mateixa col·lecció.

Neptú

Actualment Neptú és l'últim planeta del Sistema Solar, després que Plutó fos degradat a "planeta nan". És d'un delicat color blau, causat per l'absorció de llum vermella pel metà (que reflecteix molta llum blava). Com Júpiter, posseeix una immensa tempesta en forma d'oval fosc, encara que no està clar que sigui de tan llarga durada com la gran taca vermella joviana.

El vent en les seves capes de núvols és extraordinàriament violent, amb velocitats que arriben als 2.000 km / h. Resulta sorprenent que en un planeta a una distància del Sol tan gran la temperatura de la regió que podem observar sigui terriblement baixa.

Com tots els planetes gegants, Neptú posseeix una abundant companyia de satèl·lits, el més gran dels quals és Tritó, amb els seus 2.700 quilòmetres de diàmetre. Com ja hem comentat anteriorment, Neptú està envoltat per uns anells petits i foscos en forma d'arc (no donen la volta completa al planeta).



Figura 36: Neptú (Font: NASA)

Neptú no va ser descobert, va ser calculat

Es diu que Johann Gottfried Galle va descobrir Neptú el 1847, però aquesta afirmació cal explicar-la amb més detall.

En realitat l'existència de Neptú es va deduir mitjançant càlculs matemàtics. L'astronomia és una ciència que pot predir fenòmens; per exemple, utilitzant càlculs matemàtics es prediuen els eclipsis que esdevindran en qualsevol lloc de la Terra.

Es dona la circumstància que John Couch Adams, en aquell temps estudiant de la Universitat de Cambridge, va predir l'existència de Neptú. Per poder explicar les anomalies en l'òrbita d'Urà va pensar que hi havia d'haver algun cos la presència del qual pertorbés el moviment d'Urà. Així, Adams va poder calcular la posició celeste en què havia d'estar el nou planeta. Immediatament va sol·licitar al director de l'observatori de Cambridge, James Challis, que dirigís els seus telescopis cap a aquesta posició per comprovar la presència del nou planeta, però Challis li va donar llargues.

Gairebé al mateix temps, Urbain Leverrier, astrònom professional de reconegut prestigi, va fer els mateixos càlculs que Adams i els va enviar a Galle, director de

l'observatori de Berlín, qui va comprovar immediatament l'existència del planeta prop de la posició predita.

Sens dubte, Leverrier va arribar a la mateixa predicció sense conèixer els càlculs previs d'Adams, però el fet que Adams fos un jove estudiant desconegut li va impedir, durant molts anys, que la comunitat internacional reconegués el seu mèrit.



Figura 37: John Couch Adams.
Figura 38: Urbain Leverrier.

Cinturó de Kuiper i núvol d'Oort

El Cinturó de Kuiper està constituït per objectes que orbiten al voltant del Sol més enllà de l'òrbita de Neptú; per aquest motiu també se'ls anomena "objectes transneptunians". Estan formats principalment per gel brut, és a dir, gel amb pols i roques (Figura 39).

El més conegut és Plutó, descobert el 1930, el qual va ser considerat un planeta durant molts anys. El 2006 va ser classificat com a planeta nan perquè les seves característiques eren clarament diferents a les dels altres planetes.

Per exemple, la seva òrbita és molt més allargada que la dels planetes, que són gairebé circulars, i arriba a estar més a prop del Sol que Neptú; a més, la seva òrbita està inclinada 17° respecte a les òrbites de tots els altres planetes (Figura 39) que es troben essencialment en un únic pla (amb l'excepció de Mercuri, l'òrbita del qual està inclinada 7°). Com que a més s'han trobat diversos objectes que haurien de ser planetes si Plutó ho fos, es va definir un nou concepte, el planeta nan, que és un objecte amb forma esfèrica, però que no ha alliberat d'altres objectes a l'entorn de la seva òrbita.

Més enllà del cinturó de Kuiper, estenent-se fins gairebé la meitat de la distància a l'estrella més propera, trobem el núvol d'Oort, compost per milers de milions d'estels. A diferència del

cinturó de Kuiper, que té forma d'anell, el núvol d'Oort té forma esfèrica. La seva existència encara no s'ha comprovat perquè la immensa majoria d'objectes que l'han de formar estan tan lluny i són tan petits que no es poden observar amb els nostres instruments, però s'ha deduït la seva existència per les observacions de cometes.

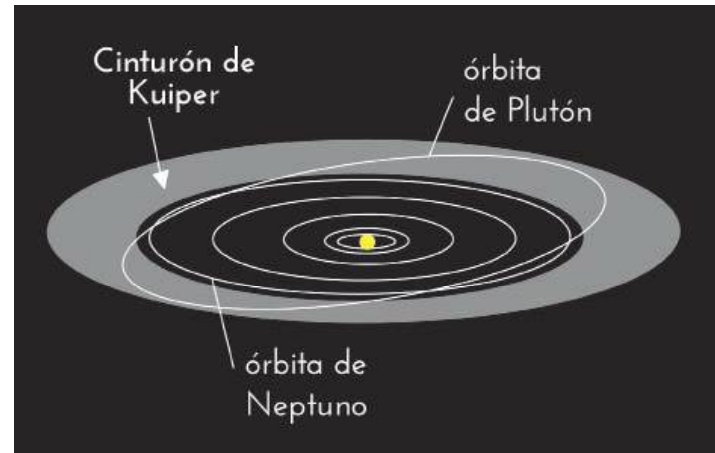


Figura 39: Cinturó de Kuiper format pels objectes que giren al voltant del Sol més enllà de l'òrbita de Neptú.

Mètode de detecció de Plutó

El 1930 Clyde Tombaugh estava analitzant les fotografies preses des de l'Observatori Lowell, a Arizona, quan es va adonar que tenia fotografiat un objecte que es desplaçava en passar d'una placa a l'altra. Per reproduir aquesta experiència imprimim les fotografies 41 i 42, se situen una a sobre de l'altra i passem el full ràpidament. Fa l'efecte que un punt blanc (Plutó) sembla saltar d'una posició a l'altra (Figura 43).

De fet va ser així com es va detectar, emprant les imatges reproduïdes en les Figures 41 i 42. Aquest procediment es fa servir encara per descobrir objectes del Sistema Solar, perquè en estar pròxims es pot veure el seu desplaçament respecte el fons d'estrelles.



Figura 40: Plutó i la seva lluna Caront formen un sistema que gira respecte al centre de gravetat del sistema. (Font: NASA).



Figures 41 i 42: Fons de cel amb Plutó en dues posicions diferents.



Figura 43: Tot fent l'experiment.

Cometes

Els cometes són petits cossos d'uns pocs quilòmetres de diàmetre, fets de gel brut (gel barrejat amb roques i pols), que quan s'acosten al Sol es sublimen (és a dir, passen directament de sòlid a gas). Els estels es mouen en òrbites el·líptiques (molt allargades) que els mantenen la major part del temps a gran distància del Sol, on pràcticament no es poden observar. Durant els seus períodes de màxima brillantor, els cometes es caracteritzen per la presència d'una cua de gas i una altra de pols.

Un cometa pot xocar amb un planeta i produir una catàstrofe global. Si bé es tracta d'un fenomen molt poc freqüent, sembla que dóna certa raó als antics quan consideraven que els cometes eren astres de mal averany. El 1994, vam veure com xocava el cometa Shoemaker-Levy 9 amb Júpiter, i el 2013 un objecte d'uns 30 metres de diàmetre (potser un fragment de cometa) es va desintegrar sobre el nord de Rússia.

Ttots els cometes que coneixem pertanyen al Sistema Solar, i es classifiquen en cometes de període curt (retornen abans de 200 anys, com el cometa Halley, el període és de 76 anys) i cometes de període llarg (sovint de milers d'anys o més). Sembla ser que alguns cometes de període curt provenen del Cinturó de Kuiper, mentre que altres de període més llarg poden

venir directament del Núvol d'Oort. En tot cas, les interaccions amb els planetes sovint canvien les seves òrbites.



Figura 44: El cometa Shoemaker-Levy 9 es fragmentà a causa de l'intens camp gravitatori de Júpiter i finalment impactà sobre la seva superfície (Font: NASA).

Model de cometa amb una pilota, tires de cinta i un assecador

Podem fer un model molt senzill per simular la cua d'un cometa usant una pilota i enganxant-hi cintes d'1 cm d'ample (o una mica menys) de dos tipus de teixit: de niló i de setí (és millor que siguin de colors diferents).

Amb un assecador de cabell simulem l'efecte del camp magnètic arrossegat pel vent solar que actua sobre la cabellera del cometa. Les cintes es posicionen respecte a l'assecador en sentit oposat al vent. Amb això es simula la cua d'un cometa en posició no oposada al Sol.



Figura 45: Cometa Hale Bopp amb la doble cua: iònica en la direcció oposada al Sol i la cua de pols una mica corbada (Font: Observatoire de Haute, Provence, France).



Figura 46: Cometa amb l'assecador.

Bibliografía

Anguita, F., Historia de Marte: Mito, exploración, futuro, Editorial Planeta, 1998

Light, M., Luna, Mondadori, 1999

Llorca, J., Trigo, J. M., El Sistema Solar. Nuestro Pequeño Rincón en la Vía Láctea, Ed. Universitat Jaume I, 2004

Llorca, J., Meteoritos y cráteres: fragmentos de otros mundos que caen en la Tierra, Milenio Publicaciones, 2004

Moore, P., La Luna, Hemann Blume (1986)

Ros, R.M., Capell, A., Colom, J., Sistema Solar. Actividades para el aula, Antares, Barcelona, 2005.

Sparrow, G., Guía Turística del Sistema Solar, Ediciones Akal (2007)

Stavinschi, M. El Sistema Solar, 14 pasos hacia el Universo, Network for Astronomy School Education, NASE, Ed. Rosa M Ros & Beatriz García, Antares, Barcelona, 2010.

Trigo, J. M., Meteoritos, Los Libros de la Catarata 2012

Enllaços web:

<http://es.unawe.org>

<http://unawe.org>

<http://sac.csic.es/unawe>

<http://naseprogram.org>

<http://apod.nasa.gov>

<http://pds.jpl.nasa.gov/planets/welcome.htm>

<http://photojournal.jpl.nasa.gov>

<http://alpo-astronomy.org>

UNawe , Universe Awareness , és una iniciativa internacional per despertar en els nens i nenes l'interès per la ciència a través de l'observació de l'univers . És bo que prenguin consciència que formen part del cosmos i que tenen tot un món per explorar.

Ciència en Acció (CEA) promou , des dels seus inicis l'any 2000 , la difusió de la ciència , la innovació educativa i el foment de vocacions científiques . CEA està oberta a tots els països de parla hispana i portuguesa i , coordinada amb Science on Stage - Europe , actua com a plataforma internacional.

El "Consejo Superior de Investigaciones Científicas" (CSIC) és una institució compromesa amb "Ciència en Acció " i amb UNawe i recolza ambdós encoratjant les relacions entre el conjunt dels països hispanos.

