

Ginard, A., Pons, G.X. i Vicens, D. (eds.) (2010). Història i Ciència: commemoració dels 40 anys de l'arribada de l'home a la Lluna. Monografies de la Societat d'Història Natural de les Balears, 16; 201 pp. SHNB - OAM - UIB. ISBN 978-84-15081-49-4

Aquesta Monografia conté articles dels següents autors:

Josep BATLLÓ
Victòria ROSSELLÓ
Joan SERRA
Damià CRESPI
Gaspar JUAN
José María MADIEDO
José María SÁNCHEZ
Lluc MAS
Joan ROSSELLÓ
Miquel SERRA-RICART

Història i ciència: commemoració dels 40 anys de l'arribada de l'home a la Lluna, 16

Història i ciència: commemoració dels 40 anys de l'arribada de l'home a la Lluna



Monografies de la
SOCIETAT D'HISTÒRIA NATURAL DE LES BALEARS, 16

OBSERVATORI ASTRONÒMIC DE MALLORCA

UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

Antelm GINARD, Guillem X. PONS i Damià VICENS (eds.)





Història i ciència: commemoració dels 40 anys de l'arribada de l'home a la Lluna

Antelm GINARD, Guillem X. PONS i Damià VICENS

Editors

Palma

2010



SOCIETAT D'HISTÒRIA NATURAL
DE LES BALEARS



Universitat de les
Illes Balears

Ginard, A., Pons, G.X. i Vicens, D. (eds.) (2010). Història i Ciència: commemoració dels 40 anys de l'arribada de l'home a la Lluna. Monografies de la Societat d'Història Natural de les Balears, 16; 201 pp. SHNB - OAM - UIB. ISBN 978-84-15081-49-4.

Monografies de la Societat d'Història Natural de les Balears, 16

© del text: els autors.

© de l'edició: Societat d'Història Natural de les Balears

C/ Margarida Xirgu, 16, baixos

07011 Palma

Tel/Fax: 971.733.345

e-mail: shnb@shnb.org

www.shnb.org

A la portada, la fotografia de la Lluna és dels arxius de l'Observatori Astronòmic de Mallorca (OAM), l'autor de la qual és Juan Rodríguez.

Dipòsit Legal: PM. 0073-2011

ISBN: 978-84-15081-49-4

Impressió i enquadernació: amadip.esment

Comitè Organitzador

Sr. Antelm Ginard i Fullana, Societat d'Història Natural de les Balears (SHNB)
Dr. Guillem X. Pons i Buades, Societat d'Història Natural de les Balears (SHNB),
Universitat de les Illes Balears (UIB)
Dr. Salvador Sánchez Martínez, Observatori Astronòmic de Mallorca (OAM)
Sr. Damià Vicens i Xamena, Societat d'Història Natural de les Balears (SHNB),
Universitat de les Illes Balears (UIB)

Comitè Científic

Dr. Josep Batlló Ortiz, Universidade de Lisboa (IDL - UL)
Sr. Damià Crespí i Bestard, Museu Balear de Ciències Naturals (MBCN),
Societat d'Història Natural de les Balears (SHNB)
Sr. Antelm Ginard i Fullana, Societat d'Història Natural de les Balears (SHNB)
Sr. Francesc Gràcia i Lladó, Societat d'Història Natural de les Balears (SHNB),
Universitat de les Illes Balears (UIB)
Dr. Joan March Noguera, Grup d'Investigació d'Història de la Salut (IUNICS-UIB)
Dr. Guillem X. Pons i Buades, Societat d'Història Natural de les Balears (SHNB),
Universitat de les Illes Balears (UIB)
Dra. Victòria Rosselló Botey, Canal 9, València
Sr. Antoni Salvà i Tomàs, Conselleria d'Educació i Cultura del Govern de les Illes Balears
Dr. Salvador Sánchez Martínez, Observatori Astronòmic de Mallorca (OAM)
Sr. Damià Vicens i Xamena, Societat d'Història Natural de les Balears (SHNB),
Universitat de les Illes Balears (UIB)

Organismes Patrocinadors i Organitzadors**Govern
de les Illes Balears**

Conselleria d'Economia,
Hisenda i Innovació
Direcció General de Recerca,
Desenvolupament Tecnològic i Innovació



Unión Europea
Fondo Europeo de
Desarrollo Regional



**Societat d'Història
Natural de les Balears**



Universitat de les Illes Balears



Índex

La Lluna, 40 anys després de l'arribada de l'home: història i ciència.....	7
<i>Antelm Ginard, Guillem X. Pons i Damià Vicens</i>	
Observacions antigues de la Lluna, el problema de la posició.....	13
<i>Josep Batlló</i>	
L'impacte del telescopi en la història de les observacions astronòmiques.	27
<i>Victòria Rosselló</i>	
Del rellotge de sol a la Lluna, història dels rellotges de sol.....	43
<i>Joan Serra</i>	
Geologia de la Lluna.....	61
<i>Damià Crespí</i>	
Geografia i moviments de la Lluna.....	95
<i>Gaspar Juan</i>	
Impactos de meteoroides en la Luna.....	109
<i>José María Madiedo</i>	
La Luna, mitologia y ciencia.....	119
<i>José María Sánchez</i>	
L'astronomia en la cultura popular. El cas de la Lluna.....	133
<i>Lluc Mas</i>	
Vuelos tripulados a la Luna.....	151
<i>Joan Rosselló</i>	
Grandes espectáculos celestes.....	169
<i>Miquel Serra-Ricart</i>	
<i>Annexos</i>	
Andreu Ripoll i Muntaner.....	181
Ramon Compte i Porta.....	183
<i>Antelm Ginard</i>	
Vicenç Mut i Armengol.....	189
<i>Damià Vicens</i>	
Cronologia de l'exploració espacial, fins a la conquesta de la Lluna.....	191
<i>Antelm Ginard, Guillem X. Pons i Damià Vicens</i>	
Imatges de les Jornades.....	199
<i>Vicenç Pla</i>	
Programa de les Jornades.....	201

La Lluna, 40 anys després de l'arribada de l'home: història i ciència

L'any 2009 es varen complir quaranta anys d'aquella imatge en blanc i negre en la que dos astronautes nord-americans, Neil A. Armstrong i Edwin E. Aldrin, trepitjaven per primer cop el nostre satèl·lit, la Lluna. Per a la majoria de gent, la imatge d'Armstrong baixant del Mòdul Lunar és inesborrable, formant part de la generació en què l'home va aconseguir complir el vell somni de sortir de la Terra i arribar a un altre cos del Sistema Solar; va ser el premi a l'esforç i a la constància de molta gent.

Des de l'antiguitat, la Lluna ha atret l'atenció de l'home i en tenim mostres en la literatura; sobre la Lluna s'ha escrit poesia, novel·la, contes, assaig i prosa diversa. Però la Lluna també ha estat objecte de la recerca científica, i aquesta recerca ens ha anat canviant la visió de la Lluna al llarg de la història; l'any 1609 Galileu va dirigir el seu telescopi cap a la Lluna i ens va mostrar un rostre completament desconegut fins aleshores. Ben entrat el segle XX, el 6 d'octubre de 1959, per primera vegada, gràcies al satèl·lit artificial soviètic *Lunik 3* es va veure la cara oculta i el 20 de juliol de l'any 1969 per primer cop l'home va caminar sobre la Lluna.

Un dels somnis de l'home, viatjar a la Lluna, va començar a fer-se realitat quan a principis del segle XX un mestre d'escola Rus, Konstantin Tsiolkovski (1857-1935), exposà els fonaments teòrics per realitzar un viatge a la Lluna. Les contribucions de Tsiolkovski a la ciència espacial varen ser innumbrables; a principis del segle XX va publicar *L'exploració de l'espai còsmic per mitjà dels motors de reacció*, obra en la qual proposava els principis de l'astronàutica. Tsiolkovski plantejà els coets a reacció com a mitjà per viatjar a l'espai, proposà dividir els coets en trams, sistema que finalment s'adoptà universalment, i també el canvi de combustible sòlid per combustible líquid.

En les teories de Tsiolkovski es va basar el físic nord-americà Robert Hutchings Goddard (1882-1945), qui va aconseguir llançar el primer coet de combustible líquid, l'any 1926. Un altre pioner de l'astronàutica fou l'Alemanyan Hermann Julius Oberth (1894-1989), professor de física i matemàtiques, d'origen romanès. El 1923 va escriure *Els coets cap als espais interplanetaris* on detalla les etapes que hauria de tenir un coet per escapar de l'atracció gravitatòria terrestre. Oberth formava part d'un grup d'enginyers Alemanyan conegut amb el nom de Societat per a la Navegació Espacial i entre els anys 1930 i 1939 provaren multitud de coets de combustible líquid. Aquestes proves acabaren sent finançades per Hitler i foren dirigides per Wernher von Braun (1912-1977), fins aleshores col·laborador d'Oberth. L'any 1939 es va llançar el primer coet, model A-5, capaç d'abandonar l'atmosfera terrestre. L'èxit del coet A-5 va donar pas a un gran coet, el model A-4, i tres anys més tard, el 3 d'octubre de 1942, Wernher von Braun va exclamar "*Acaba de néixer la nau espacial*", quan aquest nou coet A-4 fou llançat amb èxit.

Després de la Segona Guerra Mundial es va iniciar un enfrontament polític entre el sistema capitalista i el sistema comunista, anomenat Guerra Freda, liderat per les dues potències mundials, els Estats Units i la Unió Soviètica, entre les quals no va haver-hi enfrontament directe. En aquest marc, la tecnologia espacial fou una part més del conflicte; les possibles aplicacions militars com ara la construcció de coets i les conseqüències psicològiques facilitaren un desenvolupament sense precedents en aquest camp.

Wernher von Braun i alguns membres de la Societat per a la Navegació Espacial es varen traslladar, en acabar la Segona Guerra Mundial, uns als Estats Units i altres a la Unió Soviètica, països fins aleshores molt endarrerits en el programa espacial però que a partir d'aquest moment avançaren considerablement en tecnologia espacial. Ambdós països estudiaren la solució del coet per etapes, en la qual l'impuls aconseguit en una etapa se sumava a la següent etapa. Però no avançaren a la mateixa velocitat, al voltant dels anys 50 la Unió Soviètica ja havia aconseguit uns coets força més eficients que els coets dels Estats Units.

Quan la Unió Soviètica va llançar a l'espai el primer satèl·lit artificial, *Sputnik 1*, el 4 d'octubre de 1957, els Estats Units van entendre perfectament aquell *bip*, un so característic i regular del satèl·lit que va arribar a fer-se conegut arreu del món; amb aquell mateix coet que

havien llançat el satèl·lit, ben aviat també podrien llançar armes nuclears. La Unió Soviètica havia demostrat que no era un país endarrerit contradient la imatge que d'ells se'n tenia als Estats Units. Havia començat la Carrera Espacial i la Unió Soviètica anava al capdavant. El 6 de desembre d'aquell mateix any, els Estats Units van intentar una resposta ràpida a l'èxit soviètic i van llançar el satèl·lit artificial Vanguard, però aquest va esclatar després d'enlairar-se uns quants metres; va ser un autèntic fracàs, el que havia de ser una resposta ràpida dels nord-americans es va convertir en un autèntic revés i fins i tot en alguns medis nord-americans el rebatejaren com a *Kaputnik*.

A partir d'aquells moments, als Estats Units la tecnologia espacial va gaudir de tots els recursos necessaris i impensables fora d'un entorn com el de la Guerra Freda, sobretot amb l'arribada de John F. Kennedy a la presidència dels Estats Units. Kennedy va recolzar totalment el programa Apol·lo, que va culminar amb l'arribada de l'home a la Lluna, el zenit d'un projecte en què participaren al voltant de 400 000 persones i amb el qual s'aconseguien uns objectius tant en ciència com en tecnologia completament avançats per l'època. Aquest va ser un dels moments clau del segle XX. Amb l'arribada a la Lluna, l'any 1969, encara que no de manera oficial, va finalitzar la Carrera Espacial.

Quaranta anys després d'aquest fet, la Societat d'Història Natural de les Balears (SHNB) i l'Observatori Astronòmic de Mallorca (OAM) consideraren oportú commemorar un dels fets més importants del segle XX i per aquesta raó varen organitzar unes jornades per parlar de la Lluna, amb la col·laboració i patrocini de la Direcció General de Recerca, Desenvolupament Tecnològic i Innovació de la Conselleria d'Economia, Hisenda i Innovació i de la Universitat de les Illes Balears (UIB). Les jornades es desenvoluparen en un marc idoni, la UNESCO havia declarat l'any 2009 com l'Any Internacional de l'Astronomia (IYA2009).

Les Jornades, el programa de les quals és a l'annex, se celebraren els dies 1 i 2 d'octubre de 2009, a la Facultat de Filosofia i Lletres de la UIB i al planetari de l'OAM, amb l'objectiu de reunir una sèrie d'especialistes perquè ens parlassin de la Lluna. Els dos dies en què van tenir lloc les Jornades, va haver-hi un èxit notable de públic que va omplir per complet les aules de la UIB i de l'OAM. Entre els assistents va haver-hi professors de primària, de secundària i d'universitat, i també estudiants universitaris de ciències, de lletres, de humanitats, etc. Tots ells amb una cosa comuna, curiositat envers l'espai proper i el nostre satèl·lit.

Les Jornades, inaugurades pel Dr. Jordi Lalucat, Vicerector d'Investigació de la UIB, el Dr. Guillem X. Pons, SHNB, i el Dr. Salvador Sánchez, OAM, es dividiren en quatre sessions de tres conferències cadascuna. Les dues primeres sessions es van celebrar a la Facultat de Filosofia i Lletres de la UIB i participaren com a conferenciants: Dr. Josep Batlló, Dra. Victòria Rosselló, Sr. Joan Serra, Dr. Patricio Domínguez, Sr. Gaspar Juan i Dr. José María Madiedo. Les altres dues sessions van tenir lloc al Mallorca Planetarium amb els següents conferenciants: Dr. Salvador Sánchez, Sr. Lluç Mas, Sr. José María Sánchez, Dr. Jaime Nomen, Sr. Joan Rosselló i Dr. Miquel Serra-Ricart; per acabar les conferències, aprofitant que la Lluna estava en quart creixent i el temps acompanyava per a l'observació astronòmica, els monitors del Mallorca Planetarium organitzaren una sessió d'observació de la Lluna a les cúpules del complex Astrosplai i Natura. Finalment, van concloure les Jornades el President de la SHNB, Sr. Antoni M. Grau, el Director del OAM, Dr. Salvador Sánchez, i el Sr. Damià Vicens, del Departament de Ciències de la Terra, de la UIB.

Fruit d'aquestes jornades n'és aquesta monografia, que conté la contribució de la majoria dels conferenciants i també alguns articles més. Aquesta monografia és la número 16 de la col·lecció de la Societat d'Història Natural i la segona relacionada amb la temàtica de l'astronomia. La monografia número 13 va tractar sobre l'Eclipsi total de Sol a la Mallorca de 1905, els articles de la qual es poden trobar a SAO/NASA Astrophysics Data System (ADS), Digital Library for Physics and Astronomy.

Obre aquesta monografia un article del Dr. Josep Batlló en el que ens descriu el coneixement científic sobre la posició del nostre satèl·lit, des de les primeres observacions prehistòriques fins ara.

A continuació, la Dra. Victòria Rosselló exposa les observacions de la Lluna en l'època pretelescòpica i també de les observacions, fetes per Galileu Galilei, amb el primer telescopi, ara fa 400 anys, fins a l'època actual.

El Sr. Joan Serra, membre de la Comissió de Relotges de Sol d'ARCA i Director i Editor de *Carpe Diem*, revista digital de gnomònica, explica en el seu article les primeres observacions astronòmiques, del naixement de la ciència astronòmica, de la manera en què l'home va relacionar l'ombra d'un pal amb el moviment del Sol i a partir d'aquí va començar a generar un coneixement que li ha permès arribar a viatjar fins a la Lluna.

Seguidament, el Sr. Damià Crespí ens fa una exhaustiva descripció de la geologia lunar. Ens parla de la morfologia i estructura de la Lluna i com l'estudi de la geologia lunar facilita l'estudi geològic d'altres cossos planetaris, com ara la Terra, Mercuri, Venus o Mart.

El Sr. Gaspar Juan, membre del Seminari Permanent d'Astronomia, Astronàutica i Satèl·lits (SPA AIS), presenta un article sobre la geografia de la Lluna i explica els seus moviments, complexos i difícils de determinar amb exactitud.

Tot seguit, el Dr. José M. Madiedo explica en el seu article els impactes que sofreix contínuament el nostre satèl·lit i també el seu treball a la Universitat de Huelva que en col·laboració amb l'Institut d'Astrofísica d'Andalusia (IAA-CSIC) realitza un monitoratge continuat de la regió no il·luminada de la Lluna amb la finalitat de detectar aquests impactes (projecte MIDAS, Moon Impacts Detection and Analysis System).

Després el Sr. José M. Sánchez ens exposa els mites i creences populars que des de l'antiguitat han envoltat el nostre satèl·lit. Ens parla de l'admiració o del temor que a l'antiguitat produïen els eclipsis; de la suposada influència de la Lluna sobre l'agricultura o de la relació entre els períodes en què succeeixen més parts i el canvi de fase lunar.

La influència que sempre ha tingut la Lluna en la nostra cultura popular i la manera en la qual es pot divulgar la ciència a partir d'aquests coneixements és el tema de l'article del Sr. Lluc Mas. En aquest article es palesa la diferència entre l'astronomia en la cultura popular i l'astronomia popular, tantes vegades fonamentada en creences falses o supersticions.

Hi ha un article, sobre vols tripulats a la Lluna, centrat en el programa Apol·lo, del Sr. Joan Rosselló, enginyer aeronàutic, que durant la seva carrera ha participat primer en el disseny de components de satèl·lits de telecomunicacions i més tard en el disseny i anàlisi estructural d'elements de vehicles espacials, en especial COLUMBUS, ARIANE 5 i el telescopi espacial XMM, per l'Agència Espacial Europea.

Finalment hi ha un article del Dr. Miquel Serra-Ricart en el que ens dóna a conèixer els grans espectacles celestes: els eclipsis de Sol i de Lluna, les aurores polars i les pluges d'estrelles. En aquest article també ens explica la tasca de l'associació Shelios, l'objectiu de la qual és l'organització d'expedicions científiques per a l'observació dels grans espectacles celestes i de la qual n'és el president.

Als annexos hi podem trobar un breu currículum d'un dels enginyers de la NASA que va formar part del programa Apol·lo, el Dr. Andreu Ripoll. També hi ha una ressenya del currículum d'una altra persona que formà part de la xarxa mundial de la NASA com observador de possibles fenòmens lunars, durant les missions Apol·lo, el Sr. Ramon Compte, un dels primers socis de la SHNB. A continuació hi ha un article sobre l'insigne astrònom mallorquí, Sr. Vicenç Mut, al qual se'n fa referència en alguns dels articles. Després podem trobar-hi la Cronologia de l'exploració espacial, fins a la conquesta de la Lluna, un recull d'imatges de les Jornades i per acabar el programa de les Jornades.

Actualment, la Lluna continua sent objecte d'especial atenció. Diverses sondes lunars segueixen explorant la Lluna i ens proporcionen valuoses novetats: en els darrers mesos s'ha sabut, gràcies a la sonda Lunar Reconnaissance Orbiter, que els espadats que hi ha sobre la superfície de la Lluna són en realitat falles d'encavalcament, semblants a les que hi ha a la Terra, com a conseqüència de l'arronsament de la Lluna; a la Terra, en canvi, les falles d'encavalcament es produeixen com a conseqüència dels xocs entre plaques tectòniques. Més

recentment, també s'ha sabut que l'aigua de la Lluna podria estar contaminada per mercuri, la qual cosa complicaria encara més una futura colonització del satèl·lit. Quaranta anys després de l'arribada de l'home a la Lluna, l'interès pel nostre satèl·lit no ha minvat en absolut.

Recentment amb la implantació en el batxillerat d'una nova matèria, ciències per al món contemporani, comuna per a l'alumnat de totes les modalitats de batxillerat, es pretén posar a l'abast dels estudiants la cultura imprescindible per tal de poder actuar de forma crítica i responsable davant temes relacionats amb els àmbits científic i tecnològic de rellevància social. És en aquesta assignatura que la monografia ofereix un ventall ampli de possibilitats, tant per a professors com per a estudiants. No hem d'oblidar que molta de la tecnologia actual deriva de l'enginyeria aeroespacial que la carrera per anar a la Lluna va estimular: les comunicacions per satèl·lit, l'estudi de nous materials i de les seves propietats, el maquinari i programari dels ordinadors, etc.

Els editors volem manifestar el nostre agraïment als autors que han participat en aquesta monografia i també als que pronunciaren les conferències durant les Jornades. A la Direcció General de Recerca, Desenvolupament Tecnològic i Innovació de la Conselleria d'Economia, Hisenda i Innovació i a la Universitat de les Illes Balears per haver patrocinat les Jornades i la monografia. De manera particular, volem agrair a Salvador Sánchez, director de l'OAM, la seva inestimable col·laboració en l'organització de les Jornades.

Els editors ens sentim en deute amb les següents persones per la tasca realitzada durant el transcurs de les Jornades i també per les aportacions a la realització d'aquesta monografia: Antoni Salvà, Gregori Puigserver, Francesc Gràcia, Vicenç Pla i Maties Vives. També volem fer públic el nostre agraïment a Vicenç Pla per la tasca de documentar fotogràficament les Jornades. El nostre agraïment també a Josep Lluís Pol, que ens va proposar alguns ponents.

Cal no oblidar el recolzament i ànim que hem rebut de la Junta Directiva de la Societat d'Història Natural de les Balears. Volem agrair també a la Junta Directiva del Col·legi Lluís Vives la informació facilitada sobre el seu observatori astronòmic, que va dirigir Ramon Compte.

Finalment, el nostre agraïment per Juan Rodríguez que ens va proporcionar algunes fotografies de la Lluna, de l'arxiu de l'OAM, una de les quals forma part de la portada d'aquesta monografia, i també als monitors de l'OAM per la seva col·laboració durant les sessions realitzades al Mallorca Planetarium.

Antelm Ginard, Guillem X. Pons i Damià Vicens
Palma, 14 de desembre de 2010

Post scriptum

Uns dies després de tancar aquesta edició, el nostre company Maties Vives (1962-2010) ens va deixar, de forma tan sobtada com inesperada, de manera colpidora, als 48 anys. Durant l'organització de les Jornades va col·laborar en les tasques informàtiques, desinteressadament com era habitual en ell i com en altres ocasions ja havia fet. Els qui vàrem gaudir de la seva amistat trobarem a faltar la seva bona disposició, humilitat i honestedat. Serveixin aquestes breus paraules en memòria de l'amic i company Maties Vives.



Una de les primeres empremtes de l'home a la Lluna. (NASA/Cortesia de nasaimages.org).

One of the earliest footprint of man on the Moon. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

Observacions antigues de la Lluna, el problema de la posició

Josep Batlló

Instituto Dom Luiz - Centro de Geofísica da Universidade de Lisboa
(IDL - CGUL)



SOCIETAT D'HISTÒRIA
NATURAL DE LES BALEARS



Universitat de les
Illes Balears

Batlló, J. (2010). Observacions antigues de la Lluna, el problema de la posició. *In*: Ginard, A., Pons, G.X. i Vicens, D. (eds.). Història i Ciència: commemoració dels 40 anys de l'arribada de l'home a la Lluna. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 16; 13-26. SHNB - OAM - UIB. ISBN 978-84-15081-49-4.

Resum: La Lluna, l'astre més proper a la Terra i el seu únic satèl·lit natural, ha estat objecte permanent de l'atenció humana, des d'uns inicis on era objecte de culte fins al moment present, en què s'estudia seriosament la possibilitat de instal·lar-hi una base permanent. En aquest treball fem un repàs dels inicis del seu coneixement científic, centrant-nos en l'estudi del coneixement de la seva posició, des dels temps prehistòrics, passant per les aportacions fonamentals de la cultura mesopotàmica i grega i seguint històricament fins al present.

Abstract: *The Moon, the Earth nearest celestial corps and its unique natural satellite, has been object of continuous attention from the human being; from initial object of religious veneration to the present, when installation of a permanent settlement on is discussed. We devote the present study to review the knowledge of the Moon position in the sky, from observational and theoretical point of view, starting with the first prehistoric attempts, following with the progresses of the Mesopotamian and Greek cultures and sketching its evolution up to the present.*

Introducció

És evident que el Sol i la Lluna són els dos astres més grans que es mouen al cel. A més, no ho fan simultàniament. Si el Sol marca el dia amb la seva presència regular, la Lluna, en canvi, varia regularment el moment de la seva aparició i el seu aspecte és canviant. No és estrany, doncs, que els humans, en els inicis del seu cavil·lar sobre el món que els envoltava, hi fixessin la seva atenció. Per tant, en aquest sentit les observacions sobre la Lluna es poden considerar tan antigues com la humanitat.

Però, molt més que confirmar que la humanitat ha observat el cel des de sempre i encara ho fa, i a més, moltes vegades, per plaer, com ho demostra el gran nombre d'associacions astronòmiques avui existents, aquí ens interessa més saber quan va començar a adquirir

coneixements sobre els moviments que hi observava. És a dir, quan va començar a ordenar les observacions, a formular teories sobre l'espectacle que s'oferia als seus ulls i a desenvolupar eines per predir part dels moviments observats que, com actualment sabem, mostren regularitats. Certament podem pensar que aquests primers intents d'explicació barrejaven conceptes de caire més aviat científic amb altres religiosos. És cert, de vell antuvi s'ha pensat que la Lluna influencia el que succeeix a la Terra, i encara ara parlem de "lunàtics".

Però centrem-nos en el coneixement de la posició de la Lluna al cel. Precisament en aquesta capacitat, primer, de descobrir les regularitats dels moviments de la Lluna, del Sol, dels planetes i, en general, de tots els astres del cel i, segon, de formular previsions sobre els seus moviments futurs estan a la base del que en diríem "astronomia clàssica", que és aquella que estudia, sobretot, la posició i moviments dels astres. De fet, actualment encara es parla de "l'astronomia de posició" com una de les branques del saber astronòmic. I com veurem, si la Lluna ha estat, per motius obvis, un dels primers astres a ser estudiat també ha estat, pel que respecte al coneixement dels seus moviments al cel, i sense entrar per res en l'estudi de la seva geografia o composició, del que es parla en altres punts d'aquest llibre, un dels que ha posat més problemes als astrònoms. Veurem perquè en els següents apartats.

Arqueoastronomia

Molt s'ha escrit sobre els inicis del saber astronòmic, el que anomenem arqueoastronomia. Era l'home prehistòric mer espectador del cel o ja acumulava coneixements sobre les variacions que hi observava? No és una pregunta fàcil de respondre i, de fet, la resposta pot presentar molts matisos depenent del que entenem per "coneixement".

Per una part, a les cultures (o precultures) antigues la Lluna no sols representa l'astre més brillant de la nit, sinó la possibilitat de veure-hi. Per tant, la possibilitat de moure's lliurement a les hores nocturnes. Aquest fet no se'ns fa gaire important a les cultures modernes, acostumades a l'energia elèctrica; però va ser fonamental fins a principis del segle XX. Per exemple, a la cultura inuit, dels esquimals del Nord de Canadà, trobem un culte a la Lluna amb representacions de la mateixa. I no és gens estrany, a les regions àrtiques o antàrtiques la Lluna ofereix l'única possibilitat de veure-hi durant les llargues nits d'hivern, en què el Sol no apareix durant mesos.

Remuntant-nos vers el passat, de fet, sabem que en el segon mil·lenni abans de Crist ja trobem cultures amb coneixements avançats sobre el moviment dels astres. De ben segur no es van generar d'un dia per l'altre. Aquests coneixements són la cristallització d'uns sabers populars anteriors. Molt s'ha especulat sobre quant profunds eren els coneixements. Potser el cas més paradigmàtic és el monument megalític d'Stonehenge, al Regne Unit. Els seus orígens es remunten a més de 4000 anys, encara que el que coneixem actualment és fruit d'una evolució al llarg de més de 1000 anys. S'ha postulat que era un gran dispositiu per calcular l'ocurrència dels eclipsis, és a dir, les conjuncions i oposicions del Sol i la Lluna. Després d'una eufòria inicial sobre el descobriment de presumptes alineaments dels megàlits que el componen, que senyalarien diversos esdeveniments al cel (primeres aparicions d'estels durant l'any, etc.), estudis posteriors han anat rebaixant l'entusiasme (vegeu, per exemple, Crowe, 2001: 197-219). El principal problema és que Stonehenge és un monument totalment singular que no es pot comparar amb res semblant arreu del món. Aquesta singularitat és el que fa difícil la seva anàlisi. És ben cert que el seu eix principal apunta a la sortida del Sol el dia del solstici d'estiu i és difícil dubtar de la seva intencionalitat; però aquest és un coneixement que podem anomenar fàcil i que trobem repetit a molts llocs. En canvi, es fa molt difícil confirmar els complexos alineaments proposats per alguns investigadors. De fet, amb els nostres coneixements actuals, ens és fàcil, a partir de programes numèrics, buscar aleatòriament totes les alineacions possibles i, ben cert, en trobem moltes. Per tant, la conclusió seria que a la prehistòria ja existien coneixements sobre l'estat del firmament, però no molt refinats.

De fet, els coneixements astronòmics no eren els mateixos en regions diferents i es relacionaven, evidentment, amb l'evolució i diferents necessitats de les cultures (és el cas ja mencionat de la importància de la Lluna per les cultures esquimals). Queda força clar, això sí, que cap a l'any 1500 aC ja existia un consens general sobre l'aspecte nocturn del cel, que es considerava format per un conjunt d'estels fixos (les posicions relatives entre ells no varien), el firmament, que girava sobre els nostres caps amb la Lluna i cinc punts més amb moviment propi, que són els cinc planetes clàssics (Mercuri, Venus, Mart, Júpiter i Saturn) compartit per diverses cultures a tot el món (Xina, pròxim orient, Amèrica, ...). De tota manera, per exemple, una lectura atenta de l'Odissea deixa entreveure que Homer no associava "l'estel del matí" i "l'estel del vespre" amb Venus, considerant-los sense relació. Encara que també és cert que el presumpte desconeixement d'Homer no vol dir que el fet no fos conegut per altres persones contemporànies més dedicades al tema astronòmic.

La Lluna i la mesura del temps

No hi ha gaire dubte que una de les primeres utilitats trobades a la regularitat del dia i la nit és establir una unitat ben clara de mesura. I també, és clar, ho és l'any per la successió de les estacions i pel cicle anual de la vegetació. Però la diferència de durada entre ambdues és molt gran (si considerem que un any són uns 365 dies podem considerar que les mesures estan separades per més de dos ordres de magnitud). Una mesura entremig era ben necessària i el cicle de les fases de la Lluna ofería la millor solució a les primeres cultures que van desenvolupar-se. Així la humanitat va començar a comptar en mesos lunars, és a dir, en períodes de temps corresponents a la duració del cicle complet de les fases de la Lluna.

Malauradament, la solució presenta problemes. Si bé el moviment de tots els planetes i també la Lluna presenta regularitats aquestes no presenten una relació en números senzills. Com bé sabem un any són 365,24 dies aproximadament, un mes lunar 29,53 dies i tampoc existeix una relació exacta entre l'any i el mes lunar (1 any són 12,37 mesos lunars). No poden representar, doncs, la relació de les seves duracions per qualsevol quocient de números sencers. És dir, la seva relació no s'estableix en termes de números racionals. Per acabar-ho d'adobar, aquests nombres no són totalment exactes, sinó que presenten oscil·lacions al voltant dels valors mitjans. Encara més, si comptem els mesos lunars des del moment que apareix la lluna nova al capvespre, és a dir, ajustant els mesos a un nombre sencer de dies, ens trobarem amb uns mesos de 29 i altres de 30 dies. El resultat és que l'ajust de les diverses unitats de temps naturals es fa difícil i d'aquí la complexitat encara present en els nostres calendaris, amb mesos de 28, 30 i 31 dies i anys regulars i de traspàs.

Però a falta de res millor totes les civilitzacions antigues van comptar, si més no al principi, amb mesos lunars. Els primers a abandonar el mes lunar van ser els egipcis. És bastant natural donat que era una civilització que depenia completament d'un fenomen de cicle anual, la crescuda del Nil que, clarament, no depenia de la Lluna.

Atès que, respecte a la duració d'un any, dotze mesos lunars queden curts i tretze llargs, quasi totes les cultures van desenvolupar calendaris amb anys variables de 12 i 13 mesos de forma que es mantingués una coincidència aproximada de les dates amb les estacions meteorològiques. Aquest tipus de calendaris són els que anomenem lunisolars, donat que es basen en mesos lunars; però estan modulats per la llargada de l'any solar. Són d'aquest tipus el calendari xinès i l'hebreu i també ho és el calendari religiós cristià. La festa de Pasqua és variable perquè la seva data es fixa en relació a un calendari lunisolar. També ho van ser el babiloni, antic grec, antic romà i, de fet, pràcticament tots els calendaris antics.

Una excepció als anys amb nombre variable de mesos lunars és el calendari musulmà, en vigor a l'Àrabia Saudita i per tot el relacionat amb les festivitats religioses musulmanes, que es ceneix estrictament a anys de 12 mesos lunars i on es produeix, per tant, un notable

desfasament entre els anys civils amb aquest calendari i el cicle solar. Així, el mes del ramadà va variant d'un any per l'altre del nostre calendari "gregorià".

Dintre d'aquest panorama, un dels grans descobriments astronòmics de l'antiguitat va ser l'anomenat cicle de Metó, que no és més que la confirmació de que la duració de 235 mesos lunars és pràcticament igual a 19 anys solars tròpics (la diferència total només és d'unes dues hores). Així, per ajustar el cicle lunar i el solar necessitarem 12 anys lunars de 12 mesos i 7 de 13 mesos. Per tant, ja sabem amb anticipació quantes intercalacions haurem de fer i, si volem, com així es va fer a l'antiguitat, programar-les anticipadament. Aquest és, doncs, un exemple de coneixement astronòmic aplicat a l'organització d'una societat i que demostra un grau ja elevat de precisió en la mesura de la posició dels astres.

Els eclipsis

Un dels grans fenòmens de la naturalesa són els eclipsis. L'ocultació de la Lluna o la espectacularíssima ocultació del Sol van impressionar a les civilitzacions antigues i a les no tan antigues. Recordem aquí el gran esdeveniment que va ser ara fa 105 anys veure's un eclipsi total de Sol des de Mallorca i que cent anys més tard, el 2005, encara ens vam reunir per commemorar-ho (Amengual *et al.*, 2005). Així, els intents de predir el moment en què es produeixen els eclipsis marquen una bona part de l'evolució de l'astronomia. Però predir els eclipsis no és fàcil. Cal un coneixement força acurat dels moviments del Sol i de la Lluna. En principi, els eclipsis de Lluna es poden produir quan aquesta està en oposició al Sol, és a dir, al voltant de les llunes plenes. Al contrari, els eclipsis de Sol només es produeixen quan la Lluna es troba en conjunció amb el Sol (llunes noves).

Però per preveure un eclipsi de Lluna no sols necessitem informació de la seva posició relativa respecte a la Terra i al Sol. També necessitem informació sobre la inclinació actual de la seva òrbita respecte al pla de l'eclíptica per saber si la seva trajectòria tallarà l'ombra de la Terra. Per tant, estem parlant una altra vegada d'uns coneixements astronòmics força acurats. Com veurem a l'apartat següent, els caldeus (o babilonis) són el primer poble del que sabem amb certesa que van disposar dels coneixements i eines per calcular-los.

La predicció dels eclipsis de Sol és encara més complicada perquè, degut a que l'ombra de la Lluna només afecta una porció petita de la superfície terrestre, la precisió amb què necessitem conèixer la posició del Sol i la Lluna respecte a la Terra ha de ser encara molt més acurada. Per tant la previsió correcta dels eclipsis de Sol és molt més tardana que la dels eclipsis de Lluna.

La descripció més antiga d'un eclipsi de Sol de què disposem ve de l'antiga Xina, normalment s'identifica com l'eclipsi ocorregut el 22 d'octubre de l'any 2134 aC, encara que no és segur i la data pot variar d'uns dos-cents anys. Sigui com sigui, fa ja 4000 anys. Però com ja hem comentat, no és el mateix una descripció (per tant, una observació) que una predicció. També disposem d'informacions confirmades d'un eclipsi observat a la ciutat caldea d'Ugarit, a l'actual Síria, el dia 3 de maig de 1375 aC.

Ja a l'època hel·lenística, als voltants de la nostra era, les observacions i els models que descrivien el moviment dels astres havien millorat de forma que podien calcular-se els eclipsis de Lluna amb una precisió de poques hores (volem dir que l'eclipsi començava, com a molt, unes poques hores abans o després del que s'havia calculat) i les zones afectades pels eclipsis de Sol amb una precisió de quasi un grau de meridià (poc més de 100 km). En aquest últim cas, encara que la millora de la precisió era espectacular respecte als primers pronòstics, que només podien dir si en aquell dia podia produir-se un eclipsi, els resultats continuaven sent decebedors, ja que els errors involucrats significaven que la predicció d'un eclipsi en un determinat lloc podia no complir-se. La predicció dels eclipsis solars amb una precisió semblant a l'actual va haver d'esperar fins als treballs de Cassini a mitjans del segle XVII (North, 1994: 113).

Les observacions de la posició de la Lluna

Com ja hem dit, la confirmació del cicle de Metó significa una observació acurada de la posició de la Lluna respecte al Sol i als altres planetes i que pot situar-se en algun moment anterior al segle V aC. Però, de fet, la mesura i posterior predicció mitjançant el càlcul de la posició de la Lluna ha estat un dels problemes principals de l'astronomia fins ben entrat el segle XX. Encara a finals del segle XIX Berry (1961: 372) afirmava que els dos problemes principals que afrontava l'astronomia de posició eren la descripció del moviment de Mercuri i el de la Lluna. Si del primer sabem ara que era un problema inabastable fins a la formulació de la teoria de la relativitat, del segon pot estranyar-nos la seva persistència, essent un problema que troba la seva solució dins de l'àmbit de la mecànica celeste clàssica. També l'enciclopèdia "Espasa", en la seva entrada "Luna", publicada a la segona dècada del segle XX, diu "la teoria matemàtica del moviment de la Lluna no forma encara un cos complet i ben definit de doctrina, sinó que consisteix en una sèrie de recerques, algunes de les quals utilitzen dades i fenòmens de fa vint segles". (vol. XXXI: 741). Com veurem, el fet que la Lluna és, amb molta diferència, el cos celest més proper a la Terra i les especials circumstàncies de les seves dimensions i proporcions respecte a la Terra i el Sol fan que la interpretació del seu moviment sigui realment complicat quan es mesura amb precisió.

Tornant als inicis de les observacions de la Lluna, i com ja hem dit, existeixen moltes hipòtesis sobre els possibles coneixements astronòmics a la prehistòria; però totes de difícil confirmació. El que sabem de cert és que les primeres observacions regulars i metòdiques i, el que és més important, els primers càlculs dels moviments dels astres que permetien predir la seva posició en el futur podem atribuir-los als caldeus. A Babilònia, des del segle VIII aC trobem taules astronòmiques que permeten calcular-los.

L'origen de la confecció d'aquestes taules són les preocupacions astrològiques. Els esdeveniments extraordinaris es consideraven "signes" o "premonicions" que s'havien d'interpretar com anuncis o advertències del futur. Els esdeveniments extraordinaris poden produir-se al cel o a la terra (inundacions, erupcions volcàniques, eclipsis, cometes, ...) i entre els primers hi trobem les conjuncions o oposicions dels diferents planetes, eclipsis, etc. Com que aquests esdeveniments astronòmics es repeteixen periòdicament s'entén la possibilitat de preveure'ls mitjançant el seu estudi.

No podem estendre'ns amb detall en la descripció d'aquests orígens (cf., per exemple, Neugebauer, 1969). El fet és que, cap al 900 aC trobem ja, a la civilització mesopotàmica, una col·lecció de textos amb forma molt definitiva coneguda com els *enumes* (perquè sempre comencen amb la forma *Enuma Anu Enlil*). Està formada per unes 70 taules de fang amb 7000 avisos o pronòstics. Els experts en la cultura babilònica, que han estudiat l'obra, ens diuen que l'astre més citat és la Lluna.

Ens queda clar també que els escribes dels *enumes* enregistraven de forma regular, des del segle VIII aC (i probablement molt abans), les posicions dels astres. Ho sabem perquè també es conserven taules amb les observacions i altres que permeten calcular les posicions dels astres en un futur (és a dir, que expliquen com realitzar els càlculs a partir de les observacions). De fet, la seva estructura és, en el fons, molt semblant als actuals almanacs astronòmics. Estan organitzades de forma que pot buscar-se cronològicament la posició futura d'un astre en determinades dates (normalment cada mes lunar) i les posicions intermèdies s'han de calcular mitjançant interpolació.

La singularitat del sistema babilònic és que es tracta d'un sistema purament aritmètic i numèric, que utilitza les sèries aritmètiques per presentar els resultats, sense cap referència geomètrica. En l'actualitat ens sobte l'absència de qualsevol recurs a la geometria. Però hem de pensar que el desenvolupament de la geometria com una eina de càlcul i de resolució de problemes és, molt principalment, una herència de la cultura grega posterior. En canvi, els caldeus van desenvolupar un sistema de numeració sexagesimal, bàsicament similar al sistema decimal que emprem actualment (les excel·lències del sistema sexagesimal queden demostrades

en la seva vigència encara avui, 3500 anys més tard de la seva aparició, en la mesura dels angles i encara en quasi tots els treballs relacionats amb l'astronomia de posició). Aquest sistema els va permetre realitzar càlculs altrament molt difícils i, entre altres coses, van aplicar-lo al càlcul de la posició dels cossos celestes sense necessitat de formular cap teoria "geomètrica" respecte a la seva disposició. Per tant representa un coneixement totalment empíric.

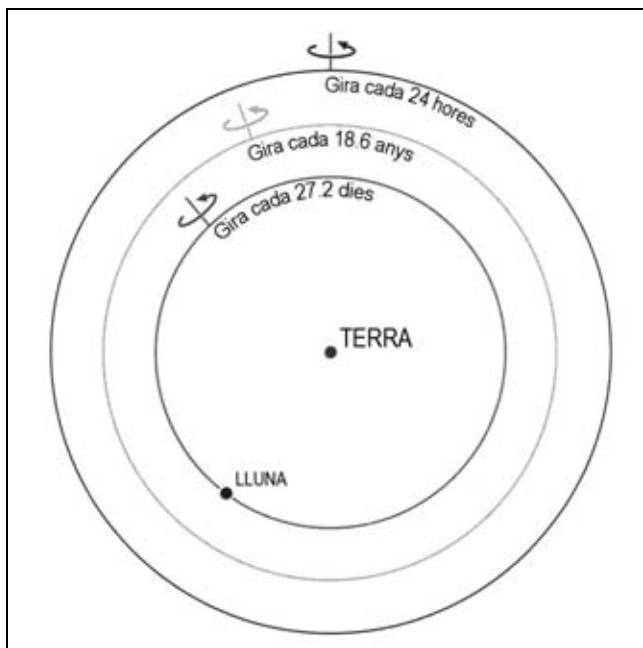


Figura 1: Model d'Eudoxe de Cnidos per descriure el moviment de Lluna. Tres esferes concèntriques giren amb diferents velocitats i orientacions i així es reproduïx aproximadament el seu moviment durant un cicle de Metó complet.

Figure 1: Model of Eudoxius of Cnidus describing Moon motion. Three concentric spheres rotating with different speeds and axis directions reproduce its motion during a complete Meton cycle.

Mitjançant tots aquests recursos els babilonis també van estar en condicions de calcular les ocurrències dels eclipsis de Lluna amb una precisió d'hores respecte a l'ocurrència real. No així els de Sol, dels que podien predir solament els dies en què podien ocórrer; però mai el lloc.

A la Grècia antiga l'astronomia va tenir un desenvolupament paral·lel i diferent al de Mesopotàmia. Les primeres aproximacions que coneixem van dedicar molts més esforços a postular models del cosmos que a calcular els seus moviments acuradament. Pel que respecte a la Lluna citarem com a figures representatives, en primer lloc a Eudoxe de Cnidos (ca 408 – 355 aC) que va ser el primer a formular un model geomètric en esferes concèntriques pel moviment dels planetes. En concret, utilitzà un model de tres esferes per la Lluna. Si be el model és coherent, només reproduïx aproximadament el moviment real de l'astre (Fig. 1). El contacte de l'astronomia grega, més teoritzant, amb la caldea, més observacional i de precisió molt més elevada va ser molt enriquidor. Els models grecs de base geomètrica, units amb les eines de càlcul i les observacions de Mesopotàmia, van perfeccionar-se i van tornar-se molt més predictius. Encara que els primers contactes són molt anteriors, queda clar que a partir de la conquesta de Babilònia per Alexandre el Gran el coneixement astronòmic de Mesopotàmia va circular lliurement en tot el món hel·lenístic.

Just abans d'aquest contacte directe entre la cultura mesopotàmica i la grega trobem la figura d'Aristòtil (384 – 322 aC). Si bé la seva obra no té una influència directa sobre el coneixement de la Lluna, el seu pensament sobre el cosmos resulta fonamental en la nostra cultura. En els seus escrits divideix l'univers en dos espais diferents, el sublunar i el supralunar. Per damunt de la Lluna (inclosa) l'espai està format per l'èter, no sofreix corrupció i és etern. Per sota el nostre món està format pels quatre elements clàssics (foc, aire, aigua i terra) i està subjecte al canvi i la corrupció. Aquest cosmos (geocèntric) va considerar-se, a l'Europa occidental, com la interpretació correcta de l'univers que habitem des dels inicis de l'edat mitjana fins al renaixement. Per tant durant un període de més de mil anys i resultant la teoria que més temps s'ha mantingut.

En aquest context el següent pensador amb importància pel que respecte als estudis sobre la Lluna és Aristarc de Samos (ca 310 – 260 aC). Va ser el primer a intentar calcular les dimensions relatives de Terra, Sol i Lluna i a calcular-ne les distàncies relatives. Va presentar els seus resultats en una obra titulada “Sobre les mides i les distàncies del Sol i la Lluna” (podeu consultar una edició en castellà, Aristarco, 2007). Si el seu càlcul de la distància Sol-Terra va distar molt de ser encertat (una apreciació correcta tardaria encara quasi dos mil anys a arribar) degut als errors de mesura, va donar una distància molt aproximada de la distància de la Terra a la Lluna. Va calcular que el radi de la Terra és quasi tres vegades el de la Lluna i que la distància Terra-Lluna és unes 60 vegades el radi de la Terra. Per tant, uns resultats acurats (trobareu una valoració de l’obra d’Aristarc a Massa, 2009).

Una altra contribució important al coneixement sobre la posició de la Lluna va ser deguda a Hiparc de Nicea (ca 190 – 120 aC). Pel poc que coneixem, Hiparc va ser un astrònom que va combinar els aspectes teoritzadors d’origen grec amb un coneixement profund dels mètodes i precisió mesopotàmics. Per això, les seves observacions encara són útils avui. Va elaborar un nou model per explicar la posició de la Lluna on es valia del recurs anomenat excèntrica (vegeu Crowe, 2001; o també Evans, 1998, per una explicació d’aquest terme). També va calcular les mesures relatives del Sol i la Lluna i les seves distàncies a partir d’observacions dels eclipsis.

Per acabar la nostra visió del món hel·lènic i la Lluna parlarem de Ptolemeu (ca 85 – 165 dC) ja a la nostra era. Ptolemeu és l’autor de l’Almagest, una obra magna que resum tot el saber astronòmic de l’època (cal dir, però, que l’Almagest és un llibre de difícil lectura i no existeix cap edició en català o castellà; els interessats podeu consultar una de les últimes edicions angleses, Ptolemy’s, 1984). La qualitat de l’obra crea un problema als historiadors perquè des del moment en què va aparèixer va eclipsar qualsevol treball anterior i, en una època en què no hi havia impremta, les obres dels seus predecessors van deixar de copiar-se i s’han perdut definitivament, fent-se difícil seguir l’evolució dels estudis astronòmics anteriors a l’Almagest. De fet, si sabem de la seva existència i dels seus autors és, en alguns casos, per les mateixes cites que Ptolemeu en fa a la seva obra. Del nostre interès és saber que dedica tot el llibre IV del seu tractat a descriure el moviment de la Lluna. Per fer-ho (dintre del sistema geocèntric), utilitza un sistema complicat (vegeu Crowe, 2001: 44-47, per una descripció acurada), compost d’epicles, deferents, equants i totes les altres eines geomètriques desenvolupades per l’astronomia grega en cinc segles. Amb totes aquestes eines pot descriure el que anomenem moviment d’evacció de Lluna, que ell mateix va descobrir, i que és degut a la posició de la Lluna i longitud respecte al Sol i que l’aparta d’un moviment circular uniforme al voltant de la Terra. El resultat final és que el seu model permet calcular la posició de la Lluna al cel en qualsevol moment i amb una precisió propera al mig grau d’arc; una precisió realment considerable i que ens mostra com havia progressat l’astronomia. Per contra, el seu model implica que la distància de la Lluna a la Terra varia entre 65 i 34 vegades el radi d’aquesta i, per tant, no s’ajusta gens a la realitat observada.

De l’època clàssica al renaixement

La fi de l’imperi romà va significar una època de poc progrés (i fins i tot retrocés) en els coneixements astronòmics. Realment, en un període de més de mil anys no hi haurà cap novetat realment important en el sistema celeste descrit per Ptolemeu, només petites millores i correccions.

En aquest període cal destacar la ciència àrab. Va ser la seva cultura la que va rescatar les obres de Ptolemeu, que havien quedat oblidades a l’occident europeu. Donat que la religió musulmana prescriu les oracions a hores ben determinades i a l’època no hi havia rellotges, la determinació de l’hora a partir de les mesures astronòmiques esdevenia fonamental. També les mesures astronòmiques ajudaven a orientar les mesquites cap a la Meca i, d’interès pel tema que tractem aquí, l’inici del mes del Ramadà coincideix amb la lluna nova. En concret, s’inicia el

capvespre en què es veu per primera vegada, a la posta del Sol, el creixent de la Lluna. Per això els astrònoms àrabs van dedicar molts esforços per identificar correctament el moment de la lluna nova i la seva visibilitat.

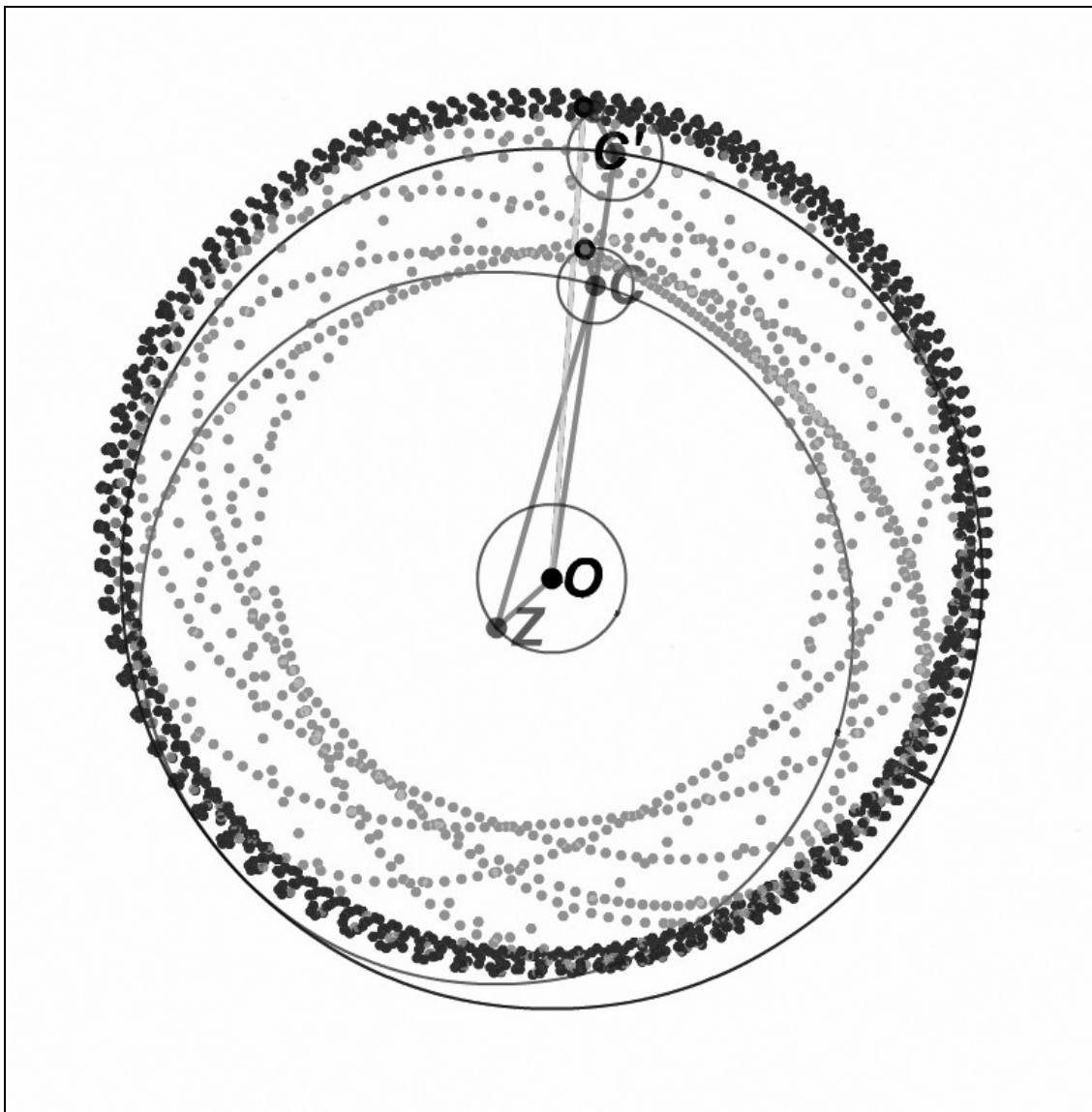


Figura 2: Comparació dels models que descriuen el moviment de la Lluna de Ptolemeu (gris clar) i d'al-Shatir (gris fosc). Per a Ptolemeu la Lluna és el petit punt que gira al voltant de C i per a al-Shatir el punt que gira al voltant de C'. Com es veu, el model d'al-Shatir ofereix un moviment més regular que s'apropa més al resultat de les observacions (generat a partir de les animacions proposades per Duke, 2004, i que poden trobar-se a <http://people.sc.fsu.edu/~dduke/models.htm>).

Figure 2: Comparison of the models that describe the motion of the Moon by of Ptolemy (light gray) and al-Shatir (dark gray). For Ptolemy the moon is the small dot that rotates around C and for al-Shatir the point rotating around C'. As seen, the model of al-Shatir offers more regular movement closer to the result of the observations (generated from the animations proposed by Duke, 2004, and which can be found at <http://people.sc.fsu.edu/~dduke/models.htm>).

Pel que respecte a les teories sobre el moviment de la Lluna ens cal mencionar als astrònoms Nàssir-ad-Din at-Tussí i Ibn al-Shatir (1304-1375). El primer va desenvolupar noves eines geomètriques que permetien eliminar l'equant en el càlcul de les òrbites dels planetes i el segon va aplicar-ho a estudiar el moviment de la Lluna. Si bé els resultats no introduïen millores respecte al sistema ptolemaic en la determinació de la posició de la Lluna al cel si ho feien

respecte a la seva distància a la Terra, millorant manifestament el sistema anterior. A la Fig. 2 podeu veure una comparació del model de Ptolemeu amb el proposat per al-Shatir on es veu clarament que en aquest últim la distància a la Terra es manté molt més estable.

Ja sabem que a partir de la traducció de les obres àrabs, realitzades principalment a la península Ibèrica, el coneixement de la cultura clàssica, enriquida amb les aportacions dels filòsofs àrabs, va retornar poc a poc a l'Europa occidental. Si bé això suposà una recuperació del sistema astronòmic ptolemaic i del coneixement més precís de la posició dels astres no aportà gairebé novetats al que ja era conegut. Un renovellat floriment de l'astrologia a la baixa edat mitjana portà a una més gran difusió de l'astronomia de posició, necessària per l'elaboració d'horòscops i a una popularització que queda reflectida amb la publicació de *Llunaris* (els reis i nobles podien permetre's el luxe de fer-se elaborar horòscops personals; però la gent menys benestant havia de conformar-se amb textos més generalistes, de forma no gaire diferent, el cap i a la fi, dels horòscops avui encara inserits als diaris i altres publicacions), que donaven indicacions sobre l'evolució de diferents aspectes al llarg de l'any, i acostumaven a lligar-les amb les fases de la Lluna (fenomen fàcilment observable per tothom) i d'aquí el seu nom. Conservem magnífics exemples d'aquest tipus de literatura escrits en català com el *Llunari* de Bernat de Granollacs (ca 1485) que va traduir-se a diferents llengües i va tenir fins a 90 edicions ja impreses (Cifuentes, 2005).

Als inicis del Renaixement trobem l'obra de Nicolau Copèrnic (1473-1543), primer postulant modern de l'heliocentrisme. Aquest dedica el llibre IV del seu *De Revolutionibus* als moviments de la Lluna (podeu llegir-lo en català, Copèrnic, 2000). La Lluna, fins llavors un planeta més, es converteix en un satèl·lit de la Terra, l'únic satèl·lit llavors conegut en tot el sistema Solar, encara que no per molt temps, perquè l'any 1609 Galileu anunciaria el seu descobriment dels satèl·lits de Júpiter. Tot i així, cal notar que en el seu moment el canvi de posició de la Lluna, de planeta a satèl·lit, encara que va passar més desapercbut, era tant radical com el del Sol. De fet, opositors al sistema heliocèntric de Copèrnic també esgrimien la singularitat de la posició de la Lluna com una raó per negar-lo.

Si el canvi conceptual de Copèrnic no va aportar gran cosa pel que respecte a la mesura de la posició de la Lluna al cel, no va haver d'esperar-se gaire perquè això es produís. Després de Copèrnic, ja en ple Renaixement, Tycho Brahe (1546-1601) millorarà molt les observacions. Per primera vegada arriba a precisions dels 10 minuts d'arc i això li permet descobrir irregularitats del moviment de la Lluna fins llavors desconegudes, l'anomenada "variació", i que s'aparten dels models establerts (cf. Berry, 1961: 143-144). Poc després, Galileu, valent-se ja d'un telescopi, postula i descobreix les anomenades libracions de la Lluna.

Els instruments d'observació

Abans de seguir endavant amb l'evolució del coneixement del moviment de la Lluna fem un parèntesi per parlar de com s'observava fins a l'aparició del telescopi. Des de l'antiguitat fins a l'aplicació del telescopi a l'observació astronòmica per Galileu la mesura de la posició dels astres es feia a ull nu. Volem dir, amb això, sense cap dispositiu que permetés millorar la visió del cel (temps d'observació, contrast, augment, etc.); però no volem dir sense cap instrument que permetés millorar la precisió de l'observació.

El primer instrument conegut va ser el gnòmon. Si bé pot ser que ja s'utilitzés per les cultures prehistòriques, el seu ús regular i documentat és de l'època caldea. El següent instrument a considerar és el "polos" i la seva evolució, l'escafè (del llatí *scaphe*), una mena de rellotge solar semiesfèric i amb el gnòmon en posició horitzontal (veure una descripció a Pedersen and Phil, 1974). Aquest és útil, sobre tot, per estudiar el moviment del Sol (Fig. 3); però també pot aplicar-se per estudiar el moviment de la Lluna, sobretot en les fases de màxima lluminositat de l'astre. El quadrant és el següent instrument que podem considerar. Permetia l'observació directa de l'alçada de qualsevol astre en qualsevol moment i direcció. Tots aquests

instruments; però, tenien una precisió que no superava el mig grau d'angle. Ja més avançat i posterior; però possiblement conegut a l'època hel·lenística, és el triquetrum.



Figura 3: Escafé trobat a les excavacions de la ciutat hel·lenística de Ai Khanoum, a l'actual Afganistan, que pot datar-se entre el segle III i II aC i avui exposat al museu Guimet de París.

Figure 3: Sun dial found in excavations of the Hellenistic city of Ai Khanoum, now in the Afghanistan, which can be dated between the third and second century BC and now exhibited at the Guimet Museum in Paris.

Des de l'antiguitat es van intentar desenvolupar instruments més grans dels habituals, amb dimensions pensades perquè els utilitzés una sola persona. La idea d'augmentar les dimensions sorgeix perquè si s'augmenten les longituds dels elements de mesura dels instruments el resultat hauria de ser una millor precisió. Però contra aquesta idea juga el fet que l'augment de les dimensions provoca esforços i deformacions dels materials de construcció que introdueixen noves perturbacions en la mesura. Per tant, problemes de caire tècnic que impedièren un augment de la precisió. Va haver d'esperar-se al progrés de certs elements tècnics (l'habilitat de fabricar instruments amb aliatges lleugeres i estables, la millora de la precisió en el gravat dels regles angulars, etc.) per augmentar la precisió d'aquests instruments. I aquest no va començar a produir-se fins ben entrat el segle XVI. De tota manera, existeixen dubtes raonables

sobre on van arribar les capacitats tècniques dels antics. Enigmes com el posat per l'anomenat enginy d'Antikitera, un possible calculador mecànic de les posicions dels astres, ens fa pensar si a l'època hel·lenística no va existir una tecnologia molt més avançada del que fins ara pensem i que, com altres elements de la cultura grecoromana, es va perdre en els segles posteriors de l'edat mitjana.

La posició després de Newton

Tornant al fil de la nostra història, el coneixement i estudi de la posició de la Lluna, arribem a una fita importantíssima que se situa al final del segle XVII. La mecànica d'Isaac Newton (1643-1727), postulada en la seva obra els *Principia* (podeu trobar-ne diverses edicions en castellà, p. e., Newton, 2002) va suposar un punt i a part en la formulació dels moviments dels astres. Si fins aquell moment tots els càlculs es basaven en principis cinemàtics i fórmules empíriques, ara existia un principi bàsic (la força de la gravitació) que permetia formular tots els problemes de la mateixa manera. Era el triomf de la dinàmica, que donava uns fonaments teòrics als moviments observats i aplicada a l'espai és el que coneixem encara ara com a mecànica celeste.

En concret, Newton va atacar el problema de la gravitació i la Lluna molt aviat, ja l'any 1665; però no era un problema gens fàcil. Així que els primers resultats no van ser molt encoratjadors i Newton va retornar a aquest problema en diverses ocasions fins que va trobar la solució encabida dintre de la mecànica general presentada als *Principia*.

El tercer llibre dels *Principia* està dedicat al sistema del món, és dir, aplica a les circumstàncies actuals del sistema solar tota la teoria desenvolupada als dos llibres anteriors. Dedicava pàgines a descriure el moviment de la Lluna segons la nova teoria gravitatòria i ja veu clarament que el moviment del sistema Terra-Lluna ve pertorbat pel Sol. La teoria de Newton explica la precessió del equinoccis i les marees. De tota manera, Newton només va explicar aquests fenòmens qualitativament. També a partir de les marees va intentar mesurar la massa de la Lluna respecte al Sol (el resultat va ser el doble del que ara sabem). I encara que mancades de precisió, l'explicació de les marees i les mesures de la massa de la Lluna i altres planetes són novetats absolutes que hem d'atribuir a Newton i valorar-les pel progrés dels coneixements que suposen i no per la qualitat absoluta dels resultats numèrics, simplement pertorbats per la manca de precisió de les mesures de que disposava.

L'estudi de les bases del moviment de la Lluna que Newton proposa en els seus *Principia* és el que des de llavors s'ha conegut com "teoria de la Lluna" i que és un problema que ha estat atacat per molts astrònoms fins ben entrat el segle XX.

Si entrem més en detall en aquest tema, el problema fonamental que presenta l'estudi del moviment de la Lluna mitjançant la mecànica clàssica és que no es pot simplificar, en primera instància, al moviment de dos cossos, un respecte a l'altre (com és el cas Sol-Terra, Sol-Venus, etc.). Per les seves distàncies respecte al Sol i la Terra i les dimensions respectives, el moviment de la Lluna es veu visiblement afectat (ja era clar per les observacions fetes a ull nu) pels moviments de Sol i Terra alhora. D'aquí tots els problemes observats pels predecessors de Newton. És el que en mecànica anomenem problema dels tres cossos. Si el plantejament de les equacions que governen el seu moviment és fàcil, no ho és, però, la seva solució. De fet, les equacions resultants no tenen solució analítica i, fins que no hem disposat d'ordinadors capaços de solucionar-les de forma numèrica, els astrònoms es van veure obligats a aplicar diverses simplificacions i suposicions, cada vegada més sofisticades, certament, per cercar solucions aproximades del problema. És a dir, per calcular cada vegada amb més precisió el seu moviment. En certa forma, des dels temps de Newton es va establir una cursa entre la precisió dels càlculs del seu moviment i el resultat de les observacions, cada vegada més precises degut als nous instruments d'observació i que posaven de manifest noves pertorbacions d'ordre cada vegada més petit.

A partir d'aquí no entrarem en detall i només donarem unes pinzellades als fets principals ocorreguts en la història de l'estudi del moviment de la Lluna. Per començar, entre els fets més destacats després de l'obra de Newton hem de mencionar, en primer lloc un resultat experimental pràcticament coetani als *Principia*. Edmond Halley (1656-1742) va proposar, el 1693, l'acceleració secular del moviment de la Lluna. És a dir, a partir de l'estudi de les dates i hores d'ocurrència dels eclipsis es va adonar que es feia necessari suposar que la Lluna havia accelerat el seu moviment al llarg dels segles. No en va donar, però, cap explicació teòrica. També a ell es deuen taules molt acurades de la Lluna (i planetes) que no van publicar-se fins l'any 1752, deu anys després de mort.

Poc després, James Bradley (1693-1762), amb les seves observacions precises de la posició de les estrelles, va confirmar la nutació (moviment circular de l'eix de rotació de la Terra al voltant de l'eix que apunta a l'estrella polar), deguda a l'atracció de la Lluna i va mesurar-la (per fer-ho va prendre 19 anys, 1727-1747, el cicle de la Lluna, per confirmar les mesures). El 1737 ja va informar de la troballa a Maupertuis, de l'acadèmia de ciències franceses; però els resultats definitius no van publicar-se fins el 1748. Després Jean d'Alembert (1717-1783) va estudiar el fenomen teòricament (*Recherches sur la précession des équinoxes et sur la nutation de l'axe de la terre*, 1749).

Un altre pas endavant va ser el fet per Tobias Mayer (1723-1762), que va fixar acuradament l'eix de rotació de la Lluna i també va publicar un mapa de la Lluna, el millor fins a aquell moment. Mayer va escriure també teoria de la Lluna. En aquella època (l'any 1713) el govern britànic va fixar un premi de 20 000 lliures per un mètode que permetés fixar la longitud al mar i Mayer s'hi va presentar. Per fer-ho va combinar mètodes teòrics d'Euler, de qui parlarem tot seguit, amb les observacions. Va publicar les taules de la Lluna i el Sol el 1753 i, en aquell moment, eren realment les més precises que existien. Amb aquestes taules podia observar-se la longitud al mar amb mig grau d'error, és a dir, només amb uns 50 km d'error, una millora molt substancial per l'època.

De tota manera no va ser Mayer qui va rebre tot el premi (sí una part). Aquest va ser compartit també per Leonhard Euler (1707-1783), que va rebre el premi pel seu treball teòric. L'altre part del premi va ser concedit a John Harrison pel seu cronòmetre.

Més o menys contemporàniament a aquest fet, Euler, Clairaut i d'Alembert, tres importantíssims matemàtics de l'època, van estudiar i publicar teories de la Lluna utilitzant mètodes analítics en lloc de geomètrics. Malgrat que suposaven avanços respecte als coneixements anteriors, cap va explicar l'acceleració secular.

En concret, Euler va publicar dues teories de la Lluna, la primera l'any 1753 (*Theoria Motuum Lunae*). El 1772 va publicar la segona, amb taules. Per la seva part, Clairaut, utilitzant teoria de perturbacions, va calcular la relació de masses Terra-Lluna-Venus amb el resultat 1:1/67:2/3.

També Joseph-Louis Lagrange (1736-1813) va guanyar el 1764 un premi de l'acadèmia de ciències francesa amb un treball sobre la libració de la Lluna (no és, però, un estudi complet). En ell calculà els efectes de la no esfericitat de Terra i Lluna. També va estudiar per separat les perturbacions periòdiques i seculars sobre el seu moviment.

El volum tercer de *Mécanique Céleste* de Pierre Simon de Laplace (1749-1827) conté un innovador tractament general de la teoria de la Lluna. Laplace integra les equacions del moviment per sèries. John Tobias Bürg (1766-1834) va calcular les seves taules de la Lluna a partir del model de Laplace i observacions de Greenwich. Van ser publicades en 1806. Poc després, John Charles Burckhardt (1773-1825) va calcular les seves taules directament a partir del model de Laplace.

Seguint endavant, l'any 1854 Hansen va calcular de forma acurada la distància de la Terra al Sol a partir de l'estudi de les irregularitats en el moviment de la Lluna degudes al Sol. Finalment, Lord Kelvin (1824-1907), 1863 i G. H. Darwin (1845-1912) són els primers a estudiar quantitativament les marees terrestres. Ja a cavall del segle XIX l'americà Newcomb publicava les millors taules del moment per al càlcul de la posició de la Lluna i Poincaré

dedicava una part important del vol. III del seu *Traité de Mécanique Céleste* a la teoria de la Lluna.

A partir de la segona meitat del segle XX els ordinadors permeten realitzar els càlculs que requerien la solució numèrica de les equacions del moviment de la Lluna i el càlcul acurat de la seva posició en qualsevol moment se simplifica en gran manera. Actualment, la distància de la Terra a la Lluna es mesura contínuament. Les missions Apol·lo i altres missions no tripulades han deixat miralls a diversos punts de la Lluna. També des de diversos punts de la Terra hi ha làsers que contínuament disparen els seus feixos de llum contra aquests miralls i en recullen el reflexos. A partir d'aquestes dades pot mesurar-se la distància de la Lluna amb una precisió que ja arriba al mil·límetre (Battat et al., 2009). Aquesta precisió permet mesurar la deformació de la Lluna per les mareas o que cada any s'allunya una mitjana de 38 mm respecte a la Terra.

Conclusió

En les pàgines precedents hem revisat el coneixement sobre la posició de la Lluna des de les primeres observacions prehistòriques, que atenyien un caire religiós, fins als problemes recents, fruit d'un desig de precisió, i que involucren llargs càlculs. Com hem vist, no ha estat un problema fàcil. Tot depèn de la precisió que es vulgui en la solució.

Certament, en aquesta revisió hem posat més èmfasi en la descripció dels orígens de l'observació i la seva evolució fins als temps de Newton que des del segle XVIII en endavant. Ens ha semblat que valia la pena deixar constància més detallada d'aquests primers esforços de la humanitat, que ens són molt més desconeguts, que dels més recents, amb una informació al respecte de molt més fàcil accés i també més propers conceptualment.

Per acabar amb una última demostració de que aquest coneixement no es debades, comentarem que fa ben poc la NASA va confirmar la presència d'aigua a la Lluna (Showstack, 2009). Per fer-ho el satèl·lit artificial LCROSS (*Lunar Crater Observation and Sensing Satellite*) havia d'impactar en una zona d'un cràter situat al pol sud de la Lluna on no hi entra mai la llum del Sol. L'impacte va produir-se a menys de 200 metres del lloc prèviament calculat i l'experiment es va realitzar correctament (a més, amb resultat positiu). Per aconseguir situar un instrument automàtic sobre la Lluna amb una precisió de 200 m cal realment, una tecnologia elaborada i un coneixement del moviment de la Lluna acurat de forma que puguin fer-se coincidir les trajectòries del satèl·lit i l'astre amb la precisió necessària. Pensem, doncs, com totes les contribucions en el seu estudi, des dels temps de Babilònia i potser abans, han anat sumant per arribar a l'estat dels coneixements actuals. A més, si per una part els problemes de l'estudi de la seva posició són ara, pràcticament, un tema històric en si mateix, per l'altre el seu coneixement segueix sent molt important perquè, donat que és l'astre més proper a la Terra, qualsevol proposta d'experiment o mètode per determinar més acuradament la posició de qualsevol altre astre té la seva primera prova en aplicar-ho a la Lluna, que ens serveix així de laboratori natural.

Bibliografia

- Amengual, A.; Pons, G. X. i March, J. (Ed.) (2005). *Conferències de les Jornades de Commemoració i Estudi de l'eclipsi total de Sol a la Mallorca de 1905*. Monografies de la Societat d'Història Natural de les Balears, Núm. 13, 228 pp.
- Aristarco de Samos (2007). *Sobre los tamaños y las distancias del Sol y la Luna*, trad. de M. R. Massa-Esteve, Cádiz, Publicaciones de la Universidad de Cádiz, 158 pp.

- Battat, J. B. R., T. W. Murphy, Jr., E. G. Adelberger, B. Gillespie, C. D. Hoyle, R. J. McMillan, E. L. Michelsen, K. Nordtvedt, A. E. Orin, C. W. Stubbs, and H. E. Swanson (2009). *The Apache Point Observatory Lunar Laser-ranging Operation (APOLLO): Two Years of Millimeter-Precision Measurements of the Earth-Moon Range*. Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 121, 29–40.
- Berry, A. (1961). *A Short History of Astronomy*, Dover Publications, Inc., New York, xxxi + 440 pp. (reedició de l'obra original publicada l'any 1898 per John Murray).
- Cifuentes, L. (2005). *Els observadors espanyols de l'eclipsi de Sol de 1905 a Mallorca*. A Amengual, A.; Pons, G. X.; March, J. (Ed.): Conferències de les Jornades de Commemoració i Estudi de l'eclipsi total de Sol a la Mallorca de 1905, Monografies de la Societat d'Història Natural de les Balears, Núm. 13, 185-206.
- Copèrnic, N. (2000). *De les revolucions dels orbes celestes / Introducció i notes de Víctor Navarro Brotons; traducció Enrique Rodríguez Galdeano, Víctor Navarro Brotons, Institut d'Estudis Catalans, Barcelona, 61 p.*
- Crowe, M. J. (2001). *Theories of the World from Antiquity to the Copernican Revolution*, Dover Publications, Inc., New York, xvii + 229 pp.
- Duke, D. (2004). *Computer Animations of Greek and Arabic Planetary Models*, Journal for the History of Astronomy, vol. 35, 225-228.
- Evans, J. (1998). *The History and Practice of Ancient Astronomy*, Oxford University Press, Oxford, 494 pp.
- Massa, M. R. (2009). *Una aproximació a l'obra d'Aristarc de Samos (ca. 310 aC – 230 aC)*, Actes d'Història de la Ciència i de la Tècnica, vol. 2 (1), 159-169.
- Neugebauer, O. (1969). *The Exact Sciences in Antiquity*, Dover Publications, Inc., New York, xvii + 240 pp.
- Newton, I. (2002). *Principios matemáticos de la filosofía natural*, RBA, Barcelona, vol. I y II.
- North, J. (1994). *The Fontana History of Astronomy and Cosmology*, Fontana Press, London, xxvii + 697 pp.
- Pedersen, O. and Pihl, M. (1974). *Early Physics and Astronomy*, McDonald and Jane's: American Elsevier, London, 413 p.
- Ptolemy's (1984). *Ptolemy's Almagest*, translated and annotated by G. J. Toomer, New York, Springer-Verlag, ix + 693 pp.
- Showstack, R. (2009). *Water on the Moon confirmed*, EOS, vol. 90, num. 47, 443.

L'impacte del telescopi en la història de les observacions astronòmiques

Victòria Rosselló

Dra. en Ciències Físiques, meteoròloga de Canal 9, València



SOCIETAT D'HISTÒRIA
NATURAL DE LES BALEARS



Rosselló, V. (2010). L'impacte del telescopi en la història de les observacions astronòmiques. *In*: Ginard, A., Pons, G.X. i Vicens, D. (eds.). *Història i Ciència: commemoració dels 40 anys de l'arribada de l'home a la Lluna*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 16; 27-41. SHNB - OAM - UIB. ISBN 978-84-15081-49-4.

Resum: “*Tranquility base here-the Eagle has landed!*”.

Milions de persones sentiren les primeres paraules emeses ara fa 40 anys des de la superfície lunar quan el mòdul d'aterratge de l'Apol·lo XI arribà a la Lluna. Què era el mar de la Tranquil·litat on deien els comentaristes que havia aterrat la nau? Les càmeres mostraven un paisatge desèrtic.

La zona d'aterratge del Mòdul lunar de l'Apol·lo XI es trobava a uns quilòmetres al nord del cràter Moltke i a uns centenars de quilòmetres al NO d'un cràter sensiblement major anomenat Delambre. Qui eren Moltke o Delambre? Per què aquests noms apareixien en un cràter lunar?

Abstract: “*Tranquility base here-the Eagle has landed!*”.

Millions of people heard the first words issued 40 years ago from the lunar surface when the landing module of Apollo XI reached the moon.

What was the Sea of Tranquillity, where commentators said that the ship had landed? The cameras showed a desert landscape.

The landing area of the lunar module of Apollo XI was a few kilometers north of the crater Moltke and a few hundred kilometers NW of crater Delambre called significantly higher. Who were Delambre or Moltke? Why these names appeared in a lunar crater?

Les observacions pretelescòpiques de la Lluna

Des de sempre, l'home ha tingut una propensió natural per a veure imatges o figures d'objectes familiars al cel i en particular a la Lluna, quan mostra la cara plena. Ha vist diverses figures animals dibuixades a la geografia lunar, també cares o figures humanes.

La diversitat d'imatges que han vist les diferent cultures és deguda en part al fet que, tot i que la Lluna ens mostra la mateixa cara a tots els habitants de la Terra, l'angle amb el qual s'orienta a la nostra vista pot variar ostensiblement a causa de factors astronòmics com la posició de la Lluna, la seva òrbita, o la latitud geogràfica de l'observador. Les cultures mesoamericanes i la xinesa han vist conills.

En la descripció de la cara visible de la Lluna, Plutarc (46-120 aC) es feu ressò de la idea grega de Tales, Demòcrit i Anaxímenes: que la Lluna era de la mateixa naturalesa que la Terra. Introduí dues denominacions que semblen haver sobreviscut des de l'Antiguitat fins al segle XVII: Caspia i Penetralia Hecates. És molt probable que la denominació de Mar Càspia fóra deguda no tant a la suposada creença que es tractava d'aigua, sinó a la similitud de la ubicació de l'accident geogràfic en la superfície de la Lluna amb la Mar Càspia en el mapa d'Europa. Sembla en qualsevol cas que és la primera vegada que una taca fosca en la superfície lunar rep el nom d'un mar de la Terra (Fig.1, Whitaker, 1999).

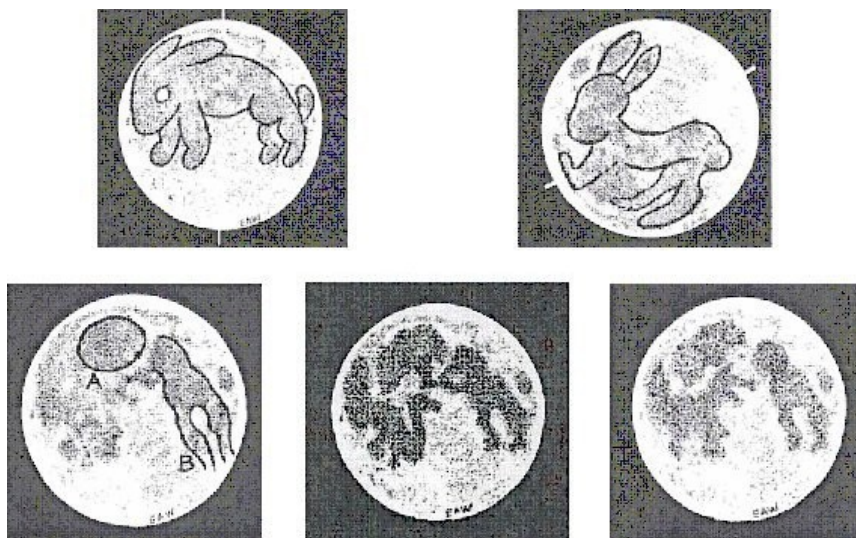


Figura 1: Figures a la Lluna (de dalt a baix i de dreta a esquerra): representació de conills a les cultures mesoamericanes i xinesa, Plutarc (a més del Santuari d' Hècate (A), situa en la superfície de la Lluna el que anomena Gran Golf (B)), Albert Magne i Shakespeare. (Reproduït de Whitaker, 1999).

Figure 1: Figures on the Moon (from top to bottom and from left to right): Representation of rabbits in Chinese and Mesoamerican cultures, Plutarch (in addition to the sanctuary of Hecate (A), located on the surface of the moon called the Great Gulf (B)), Albert the Great and Shakespeare. (Reproduced from Whitaker, 1999).

Albert Magne (1193-1280) descriu el grup d'imatges del drac, l'arbre i l'homenet, el mateix que apareixerà a Shakespeare 350 anys després lleugerament modificat: el gos, la mata i l'home (Fig. 1).

Leonardo da Vinci dibuixà la imatge de la Lluna sense fer una descripció de les taques que hi observà, però el primer mapa de la cara visible de la Lluna i l'únic que hi ha hagut abans de l'aparició del telescopi correspon a William Gilbert (1540-1603): hi va posar 13 noms, i emprà termes generals com mar, continent, regió o illa. Tot i que el devia tenir fet en el 1603, el seu mapa no es va publicar fins al 1651, quan ja havien aparegut altres esquemes de nomenclatura per als accidents lunars arran de les observacions telescòpiques.

Les primeres observacions telescòpiques: Galileu

És un lloc comú que Galileu fou el primer a examinar la Lluna a través d'un telescopi; però probablement l'astrònom Thomas Harriot (ca. 1560-1621) fou el primer a dibuixar un mapa lunar, mai no publicat, basat en les seues observacions telescòpiques. El primer esbós data del 26 de juliol de 1609, efemèride de la qual s'acaba de complir el 400 aniversari. Els següents

corresponen a diferents fases lunars i són pobres descriptivament comparats amb el mapa que en va fer de la superfície sencera. Es refereix repetidament a la Caspia (*Mare Crisium*) i també al “cos de l’home en la Lluna” (*Mare Tranquilitatis*) (Fig. 2).

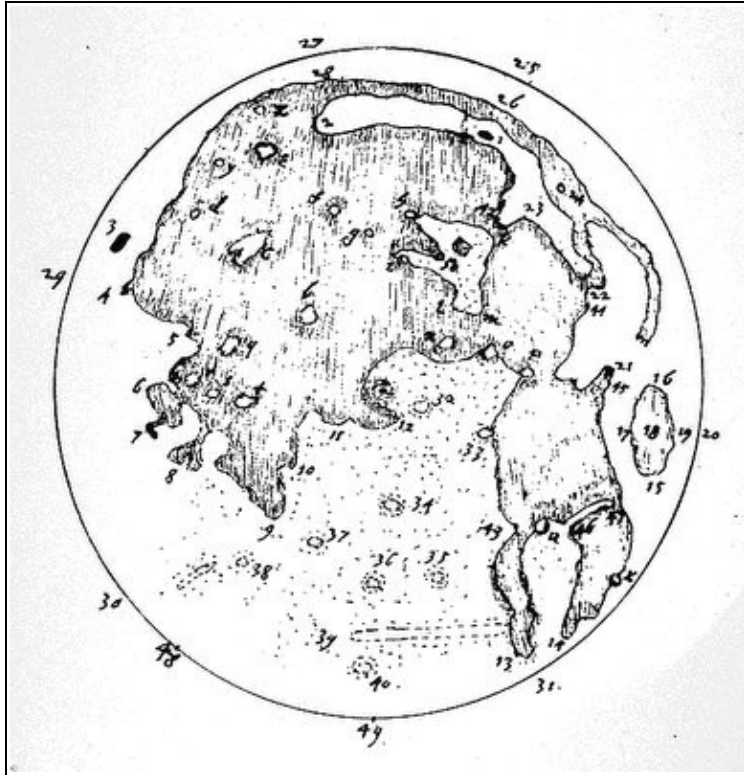


Figura 2: Mapa lunar de Thomas Harriot: la imatge representa nombrosos accidents lunars: 18, apareix citat com Mare Crisium (a la dreta) i en la part superior, cràters b i c són Copèrnic i Kepler respectivament (reproduït de Whitaker, 1999).

Figure 2: Lunar map of Thomas Harriot mole: image represented numerous lunar accidents: 18, previously cited as Mare Crisium (right) and the upper craters Copernicus and Kepler b and c are respectively (reproduced Whitaker, 1999).

Galileu sí que publicà els dibuixos de la superfície de la Lluna basats en les seves observacions telescòpiques (*Sidereus Nuncius*, -El Missatger Sideral-, 1610).

El maig del 1609 un antic alumne seu que vivia a París li havia escrit que a Holanda s’havia fabricat un instrument que servia per a observar objectes llunyans: un dels primers registres de les ulleres que s’havien emprat el 1608 a La Haia parlava de les innombrables estrelles que s’hi podien veure en comparació amb les visibles a simple vista. L’instrument havia estat patentat pel tallador de lents Hans Lippershey el mateix any.

Aquell estiu de 1609 Galileu es construí ell mateix un instrument de 8 augments amb un tub i dues lents i el provà al campanar de Sant Marc de Venècia per a divisar els vaixells i les illes de la llacuna de prop (Galilei, 1610).

I a la tardor, ja s’havia fet una altra ullera de 20 augments, amb la qual començà a explorar el cel. El primer objectiu fou la Lluna. Trobà que les regions brillants eren plenes d’irregularitats a l’estil de les valls i muntanyes de la Terra. Galileu escrigué que l’observació de la superfície lunar a través del telescopi donava la raó als interessats a fer reviure l’antiga opinió dels “pitagòrics”, segons la qual la Lluna devia ser una altra Terra, les parts brillants de la qual serien la terra i les fosques l’aigua. Galileu recordava la hipòtesi de Plutarc, però s’expressava amb cautela i evitava anomenar mars a les taques fosques. Vint-i-dos anys més tard, en el *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* va fer notar que altres factors podrien explicar les diferències de brillantor i contrast entre les diferents zones de la superfície lunar.

En qualsevol cas, la nomenclatura relativa als accidents geogràfics de la superfície de la Lluna, que incloïa mars, badies, llacs i un oceà, devia estar molt estesa a mitjan segle XVII, quan els primers selenògrafs l’adaptaren i la feren arribar fins avui.

Els dibuixos de la Lluna

Els primers dibuixos que resultaren de l'observació de la Lluna aparegueren en una carta a Antonio de Medici, el 7 de gener de 1610, en què Galileu li comunicava el que havia vist a través de l'*occhiale* que s'havia construït.

Aquests dibuixos eren il·lustracions esquemàtiques, sense detalls, de diferents fases observades de la Lluna. En la descripció assenyalava que la frontera entre la part il·luminada i la part fosca no era una línia neta, sinó aspra i confusa, de la qual sorgien nombrosos punts lluminosos “...*non una linea ovale pulitamente segnata, ma un termine molto confuso, anfrattoso et aspro, nel quale molte punto luminoso sporgono...*”

Parlava d'una taca en particular i de l'evolució de la llum al voltant d'ella en dies successius; afirmava que havia de ser una plana envoltada de muntanyes, un cràter de l'extensió de Bohèmia “...*un grandissimo anfiteatro rotondo, che faria la provincia de i Boemi...*”

Com ja hem dit, els cinc gravats de la Lluna els va publicar a Venècia al *Sidereus Nuncius* el març de 1610. Són quatre imatges (una està repetida) cinc dies després de la lluna nova i dels quarts creixent i minvant respectivament (Fig. 3).

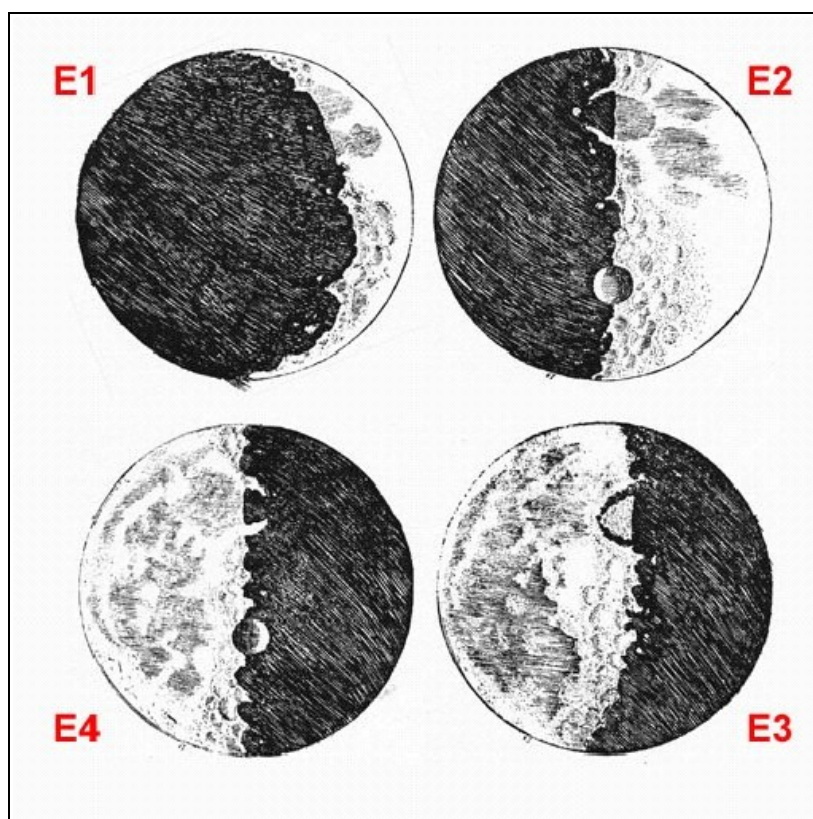


Figura 3: Gravats de l'aspecte de la Lluna a cinc dies de la lluna nova, en quart creixent i minvant respectivament, a partir de les observacions telescòpiques de Galileu (*Sidereus Nuncius*, 1610) (Adaptat d'imatges originals © IMSS Institute and Museum of the History of Science, Firenze).

Figure 3: Prints of the appearance of the moon five days of the New Moon, second quarter and fourth quarter, respectively, from telescopic observations of Galileo (*Sidereus Nuncius*, 1610) (Adapted from original images © Institute and Museum of the IMSS History of Science, Florence).

Es discuteix si cada gravat representa l'observació d'un dia concret, o bé si es tracta de representacions esquemàtiques i qualitatives resultat d'observacions realitzades en dies diferents. L'última possibilitat explicaria la dificultat d'identificar molts dels trets representats, com també d'identificar el dia particular en què foren realitzades les observacions (diferents autors adjudiquen fins a 4 dates diferents per a E1, entre el 2 d'octubre de 1609 i el 29 de gener de 1610).

El cas és que sembla provat que els dibuixos i gravats es basen en les observacions efectuades per Galileu dos mesos abans de la publicació del *Sidereus Nuncius*, des d'almenys la lluna plena precedent (gener de 1610). La identificació del gran cràter rodó que apareix als gravats, que li recorda Bohèmia, resulta confusa. No hi ha cap cràter que sembli consistent amb

la descripció de Galileu: *Albatognius* seria un candidat, però en el moment de la carta del 7 gener no podia haver vist la sortida del sol que descriu sobre els cims de la paret oest del cràter. *Deslandres* podria adaptar-se a la ubicació dels dibuixos, però no coincideix amb la descripció. *Copèrnic* coincideix amb la descripció, però no es troba al mig de la Lluna: “...*medium quasi Lunae locum a cavitate quadam occupatum esse reliquis omnibus maiori, ac digurae perfectae rotundidatis...*”. Probablement Galileu degué confondre les observacions de diferents grans cràters en diferents fases de la Lluna, prenent-los per un tot sol.

A la Biblioteca Nacional de Florència es conserva una còpia manuscrita de Galileu del *Sidereus Nuncius*, on apareixen els dibuixos de la Lluna amb aquarel·la. En un hi ha una estrella al costat de la Lluna, que podria ser una marca feta amb posterioritat, o el registre d'una ocultació lunar: les eines actuals ens han permès identificar l'observació que apareix al dibuix de Galileu amb l'ocultació d'una estrella de quarta magnitud (*Theta Librae*) per part de la Lluna el 19 de gener de 1610 a les 5:50 UT. La data del succés coincideix amb el període en què Galileu observava la Lluna (Fig.4).

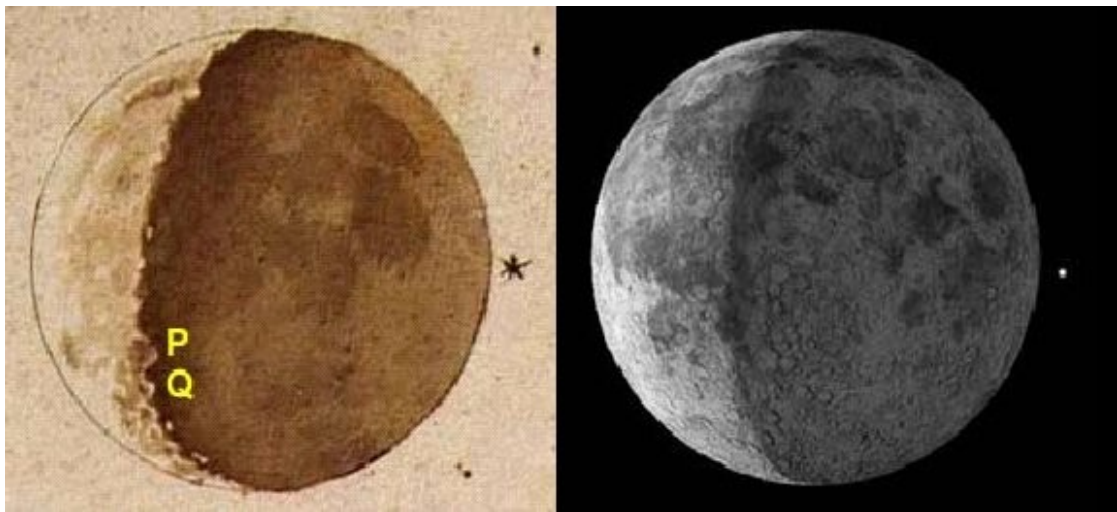


Figura 4: Ocultació lunar vista per Galileu (adaptada d'imatges originals © BNCF Biblioteca Nazionale Centrale di Firenze) i simulada per *Cartes du Ciel* de Patrick Chevalley.

Figure 4: Lunar occultation seen by Galileo (adapted from original images © BNCF Biblioteca Nazionale Centrale di Firenze) and simulated *Cartes du Ciel* by Patrick Chevalley.

Els satèl·lits de Júpiter

En la carta als Medici de gener de 1610 Galileu també informava que havia vist tres estrelles al voltant de Júpiter. Pensà primer que es tractava d'un alineament fortuït del planeta, però després d'haver-les observat consecutivament els dies següents trobà que en realitat n'hi havia quatre i que sempre es movien respecte a Júpiter. Resolgué que no es tractava d'estrelles sinó de llunes de Júpiter (Fig. 5).

Dos mesos després la seua descoberta apareixeria publicada al *Sidereus Nuncius* amb els gravats de la Lluna. Es tractava d'un llibret en llatí de tan sols 30 pàgines amb què Galileu esdevingué una celebritat entre els entesos. Per tal d'assegurar-se el patronatge del Duc de la Toscana, Cosimo II, anomenà els satèl·lits acabats de descobrir *mediceus*, un tribut amb recompensa, ja que un any després fou nomenat matemàtic i filòsof en cap de la cort dels Medici (Drake, 1983).

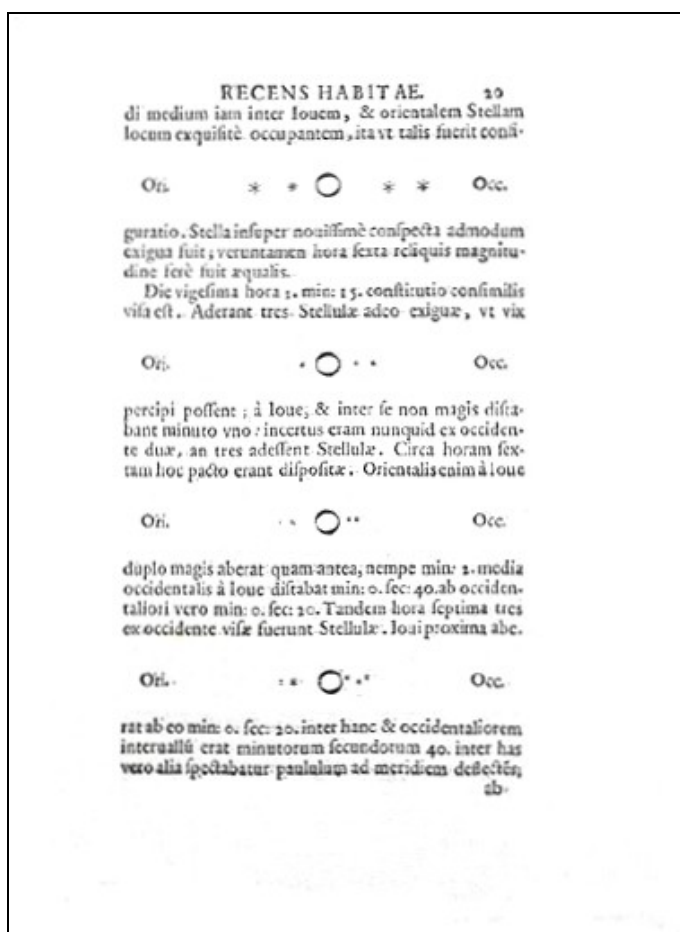


Figura 5: Observacions de les posicions dels satèl·lits de Júpiter a través del telescopi, Sidereus Nuncius, 1610, BNCF.

Figure 5: Observations of the positions of the satellites of Jupiter through the telescope, Sidereus Nuncius, 1610, BNCF.

Al *Sidereus Nuncius*, Galileu descrivia la nova ullera, que seria batejada “telescopi” un any més tard, i anunciava a més de la naturalesa irregular de la Lluna i els satèl·lits de Júpiter, dues descobertes més: la diferència entre l’aparença telescòpica dels planetes i les estrelles (els planetes es resolien en discs a diferència de les estrelles) i la multitud d’estrelles “fixes” (distingides així dels planetes, o estrelles “errants”), molt superior a les que es podrien observar a simple vista (Fig. 6). Galileu de seguida se n’adonà que els catàlegs tradicionals d’estrelles fixes només contenien una petita proporció de la multitud d’astres que ara podia veure amb el nou instrument (Galilei, 1610).

Al voltant del 1600 els filòsofs naturals i els astrònoms triaven entre el sistema tradicional de Ptolemeu (geocèntric), el sistema heliocèntric de Copèrnic, o per un compromís entre els dos: el sistema geoheliocèntric postulat per Tycho Brahe (1546-1601). Els tres explicaven *grosso modo* els moviments planetaris observats i cadascun d’ells tenia uns avantatges: el sistema geocèntric es basava en la física aristotèlica i tenia el pes de la tradició. El sistema de Copèrnic era més elegant i simple i explicava els moviments observats com el ptolemaic. El model híbrid de Tycho Brahe conservava part de la simplicitat del sistema copernicà evitant el moviment de la Terra. Amb la publicació de les descobertes de Galileu el telescopi irrompé en el debat cosmològic (Taton i Wilson, 1989).

Cap de les descobertes li llevava validesa al sistema ptolemaic, ni tampoc provava que la hipòtesi de Copèrnic fóra correcta, però algunes sí minaven la física aristotèlica. Segons Aristòtil el món terrestre (infralunar) es diferenciava essencialment del celeste (supralunar) en què en el primer tenien lloc canvis i mutacions que eren inexistents en l’esfera celeste. L’esfera celeste es caracteritzava a més per la regularitat dels moviments que experimentaven els cossos

que la poblaven i per la seva esfericitat: la Lluna, com a cos celeste, hauria de ser perfectament esfèrica i regular. Però quan dirigí el seu instrument cap a la superfície lunar, Galileu va observar que era qualsevol cosa menys regular i perfectament esfèrica.

L'existència dels satèl·lits de Júpiter mostrava l'existència de més d'un centre de moviment, cosa que no admetia el cosmos ptolemaic. Al 1610 Galileu també verificà les fases de Venus, semblants a les de la Lluna, una descoberta que fou anunciada per Johannes Kepler en el seu *Dioptrice* (1611). Amb la hipòtesi ptolemaica això no era possible, només s'explicava si Venus voltava el Sol en lloc de la Terra.

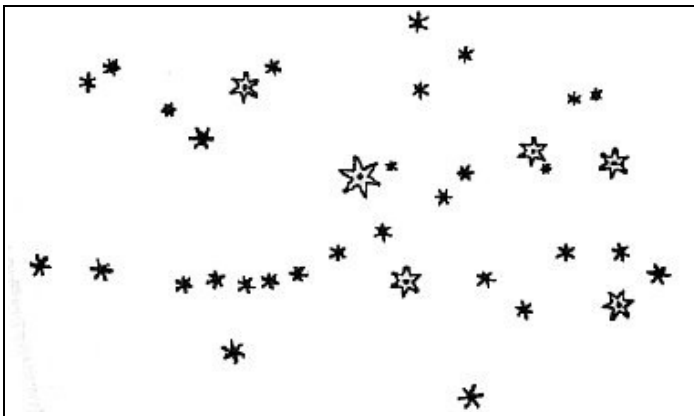


Figura 6: Grup estel·lar de les Plèiades: *Sidereus Nuncius*, 1610. BNCF.

Figure 6: Stellar Group of the Pleiades: *Sidereus Nuncius*, 1610. BNCF.

El telescopi, a més, resolva els planetes en discs, cosa que no succeïa amb les estrelles: aquesta circumstància feia pensar que haurien de ser molt més llunyanes que els planetes, just el que havia postulat Copèrnic.

Galileu encara havia estat testimoni d'una altra irregularitat que el cosmos aristotèlic no podia assumir. Les taques solars que Harriot havia vist per primera vegada a través del telescopi foren observades regularment, i Galileu n'interpretà l'evolució en dies consecutius com l'evidència de la rotació solar. En la *Istoria i dimostrazioni in torno alle macchie solari* (1613), consignà les seves observacions i escrigué que eren unes descobertes telescòpiques que *harmonitzaven admirablement amb el gran sistema copernicà*.

El problema de Saturn

Amb l'observació de Saturn, Galileu es topà amb un dels enigmes més celebrats de l'astronomia de l'època (Fig.7). El 1610 observà que Saturn mostrava tres discs en comptes d'un. N'hi havia un de gran flanquejat per altres dos de mida inferior, que no podien ser satèl·lits perquè no es movien respecte del disc central. El que era encara més desconcertant és que observà com els dos apèndixs desapareixien el 1612, tornaven a ser visibles un any més tard i s'expandien en *ansae* (anses). Huygens no publicaria la hipòtesi de l'anell que explicava l'estrany aspecte de Saturn fins a quatre dècades més tard (Taton i Wilson, 1989).

A finals del 1610 més observadors tenien instruments semblants al de Galileu i podien verificar les seues descobertes. Kepler ho havia fet, Harriot observà els satèl·lits a Londres. I a Roma, el 14 d'abril de 1611, l'astrònom Cristoph Clavius (1537-1612) i els seus deixebles jesuïtes del *Collegio Romano* es feren amb un telescopi que els permeté observar el que havia vist Galileu. Es pensa que amb aquest instrument els observadors pogueren distingir estrelles fins a la vuitena magnitud (el màxim que pot distingir l'ull nu és la sisena magnitud). També pogueren apreciar l'aspecte de la Lluna, tot i que Clavius oferí una interpretació diferent del que va veure: la superfície era perfectament esfèrica i el que s'observava era causat per les diferències en la densitat del cos.

En qualsevol cas Galileu havia guanyat el dia a Roma i els seus descobriments també foren celebrats a la Ciutat Eterna. El príncep Federico Cesi l'inicià com a membre de la seva acadèmia científica, l'*Accademia dei Lincei* i en el dinar que li oferiren quedà decidit que el nou instrument es diria telescopi. Galileu es va convertir en l'home de ciència més celebrat a Europa.

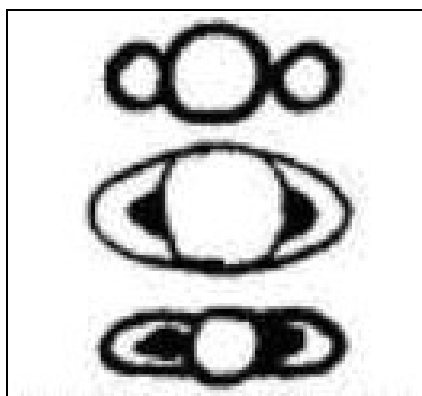


Figura 7: L'aspecte variable de Saturn: observacions fetes per Galileu el 1610 (dalt) i el 1616, quan presentaven *ansae*.

Figure 7: The variable aspect of Saturn: observations made by Galileo in 1610 (top) and 1616, when presented ansae.

El telescopi de Galileu

El telescopi refractor de Galileu constava d'una lent convexa que feia d'objectiu i d'un ocular format per una lent còncava inserit en un tub que podia ser ajustat per a enfocar. El camp de visió que s'obtenia amb aquesta composició era d'uns quinze minuts d'arc. L'instrument podia arribar a fer 20 augments, però el vidre de les lents tenia múltiples imperfeccions: estava ple de bombolles i tenyit d'un color verdós a causa del ferro que contenia. La forma de les lents era raonablement bona al centre, però el polít s'empobria cap a la perifèria. Tots aquests factors feien que només un quart de la superfície de la Lluna es pogués acomodar al camp de visió. Les tècniques de tallat i polit de lents millorarien gradualment en les dècades següents a mesura que s'especialitzaven els fabricants de telescopis.



Figura 8: Simulació d'una observació telescòpica de Venus amb l'instrument de Galileu (reproduït de www.pacifier.com/-tope/Photo_Drawing_Comparison_Page.htm). Dibuix del que observà Galileu (Saggiatore, 1623).

Figure 8: Simulation of telescopic observations of Venus with the Galileo instrument (reproduced www.pacifier.com/-tope/Photo_Drawing_Comparison_Page.htm). Drawing observed by Galileo (Saggiatore, 1623).

L'estudi dels instruments de Galileu ha permès reproduir les condicions en què va efectuar les observacions: les imatges dels planetes apareixen amb molt poca definició i sense possibilitat de contrastar els detalls de la superfície. Tot i això, a Galileu li fou possible identificar les fases de Venus (Fig. 8).

L'astronomia telescòpica després de Galileu

Els resultats de l'aplicació del telescopi a l'observació del cel foren espectaculars, però el límit útil de l'anomenat telescopi holandès o galileià era d'uns 20 augments, límit que ja havia assolit Galileu la tardor del 1610. L'instrument provocà una primera onada de descobertes, però el seu potencial es va exhaurir amb rapidesa. Amb aquest instrument no era possible obtenir majors augments per raons tècniques (Van Helden, 1985).

No obstant això, una sèrie de descobriments es registraren en les dècades posteriors. Nicolas Claude Fabri de Peiresc assenyalà el 1610 el "petit núvol il·luminat" que havia pogut distingir al cinturó d'Orió (primera observació telescòpica documentada de la Nebulosa d'Orió) i l'astrònom Simon Mayr descrigué la Nebulosa d'Andròmeda en el seu *Mundus Iovialis* el 1614.

També s'establiren programes de recerca arran de les descobertes de Galileu. Ell mateix havia reconegut la importància dels satèl·lits de Júpiter per a tractar de resoldre el vell problema de determinar la longitud a la mar; durant bona part de la seua vida observà els satèl·lits per tal de construir taules acurades dels seus moviments, però els instruments no permeteren assolir el grau d'exactitud que hauria calgut.

L'observació dels trànsits de Mercuri i Venus pel disc solar ofería un mètode per a estimar la distància del Sol a la Terra. La conveniència d'observar el trànsit de Mercuri de 1631, advertida per Kepler, fou seguida per un grapat d'observadors: el trànsit de Mercuri l'observà Pierre Gassendi el 1631 i el de Venus de 1639 Jeremiah Horrocks i William Crabtree, que projectaren la imatge del Sol en un full graduat, seguint la tècnica de Cristoph Scheiner (publicada a *Rosa Ursina* el 1630). Els astrònoms coincidien en què els diàmetres aparents dels planetes eren molt inferiors del que s'esperava, i tot i que no hi havia encara un mètode satisfactori per a calcular distàncies absolutes i la mida dels planetes, era evident que les mesures vigents des de l'Antiguitat havien subestimat enormement la mida del Sistema Solar (Taton i Wilson, 1989).

La Lluna, l'objecte de les primeres observacions telescòpiques, quedà relegada a un segon terme fins a la dècada de 1630, quan la cartografia lunar esdevingué àrea d'investigació prioritària.

Kepler havia suggerit canvis en el disseny del telescopi per tal d'eixamplar el camp visual i per a millorar la qualitat de la imatge. Substituí la lent còncava de l'ocular per una de convexa, per a guanyar camp visual. La lent de l'objectiu havia de tenir una curvatura menys pronunciada que la de l'instrument galileià, cosa que feia augmentar la distància focal i permetia imatges més nítides. La nova combinació de lents ofería la imatge invertida, circumstància per la qual Kepler introduí una tercera lent per tal d'erigir-la. La incorporació del micròmetre incrementà sensiblement la precisió de les mesures. La major distància entre les lents del disseny keplerià respecte al galileià significava en la pràctica que el telescopi havia de ser més llarg.

L'anomenat telescopi astronòmic s'imposà gradualment entre els astrònoms pels avantatges que tenia sobre el galileià. A mesura que la potència i la qualitat dels instruments s'incrementava, nous fenòmens esdevingueren visibles. A mitjan segle XVII, un grup d'astrònoms a Europa disposava d'instruments amb 50 augments o més, amb un camp de visió útil, que portarien a una segona onada de descobriments.

Francesco Fontana (1580-1656) fou el primer a publicar les observacions que li permetia el nou instrument. El 1646 publicà *Novae Coelestium terrestriumque rerum observationes*, el primer llibre "il·lustrat" d'astronomia telescòpica. Aquí hi trobem les fases de Mercuri, els cinturons de Júpiter, o els diferents aspectes de Saturn amb les seves *ansae*.

El primer gran descobriment comparable amb els que havia fet Galileu amb la generació d'instruments anteriors arribà el 1665, quan Christian Huygens trobà un satèl·lit de Saturn (Tità), fent servir un telescopi de 50 augments. Al seu *Systema Saturnium* donava els elements de l'òrbita del satèl·lit i anunciava la seva teoria de l'anell per tal d'explicar el misteriós aspecte del planeta.

A Mallorca, l'astrònom Vicenç Mut (1614-1687), utilitzà un mètode per a mesurar el diàmetre aparent del Sol inspirat en Scheiner, segons el qual la imatge del Sol es projectava en una pantalla perpendicular a l'eix del telescopi (Fig. 9). Mut mantingué correspondència amb el jesuïta Giovanni Battista Riccioli (1598-1671), autor d'una obra astronòmica de referència a Europa, l'*Almagestum Novum*, on publicà les nombroses observacions del mallorquí referides a eclipsis i a observacions planetàries fetes amb el seu telescopi keplerianà, d'uns 160 cm (deia haver provat instruments més potents però la imatge perdia massa nitidesa). El seu instrument també disposava d'un anell travessat per fils que formaven una quadrícula: l'ús del micròmetre s'estendria entre els astrònoms després de la publicació del *Systema Saturnium* de Huygens (Navarro i Rosselló, 2006).

Mut utilitzà les taules astronòmiques basades en la hipòtesi copernicana per als càlculs de les posicions planetàries (ja que eren les més precises) sense admetre la validesa de la teoria heliocèntrica de Copèrnic. La postura és anàloga a la de Riccioli i a la dels astrònoms que es veien obligats a assumir la condemna catòlica del copernicanisme: la missió de l'astronomia és la de *salvar les aparences* amb models geomètrics, tant se val els supòsits en què estiguen basats, perquè no tenen realitat física.

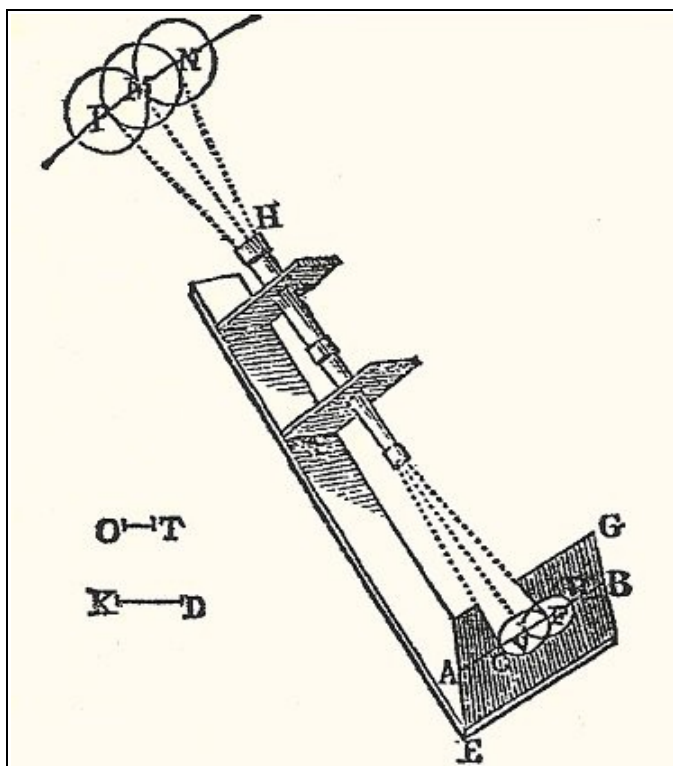


Figura 9; Dispositiu emprat per Vicenç Mut per a calcular el diàmetre aparent del Sol. (Riccioli, *Almagestum Novum*, 1651).

Figure 9: Vicenç Mut device used for to calculate the apparent diameter of the Sun. (Riccioli, *Almagestum Novum*, 1651).

Podem destacar també l'habilitat com a observador, reconeguda pels seus contemporanis, de Juan Caramuel Lobkowitz (1606-1682), nascut a Madrid però que hi va viure poc temps. Entre els seus variats interessos inclogué l'astronomia: Caramuel parà especial atenció a l'aspecte canviant de Saturn i entre les observacions telescòpiques del planeta, adjuntà la hipòtesi de l'anell de Huygens (Fig. 10) (Rosselló, 2000).

Giovanni Domenico Cassini (1625-1712), utilitzant els instruments del fabricant de telescopis romà Giuseppe Campani, descobrí accidents geogràfics a la superfície de Mart i Júpiter, i deduí els períodes de rotació d'ambdós planetes. El 1671 descobrí dos nous satèl·lits de Saturn (Rea i Jàpet), mentre transitaven l'anell. Campani ja havia observat el 1664 que la part externa de l'anell era menys brillant que la interior, però va ser Cassini qui distingí el 1676

un buit entre els dos anells, l'anomenada més tard Divisió de Cassini. El 1684 encara descobrí dues noves llunes de Saturn, Tetis i Dione, just abans que travessaren el pla de l'anell. Haurien de passar 100 anys més abans que es pogués descobrir una nova lluna de Saturn.

L'increment de la potència dels telescopis keplerians implicava augmentar la distància focal de l'objectiu. Amb l'augment de la llargària, els telescopis anaven fent-se menys pràctics: del metre i mig a dos metres que feien els telescopis galileians, a mitjan segle ja arribaven als 6 metres. El telescopi de Huygens feia 7 metres, augmentava 100 vegades i el camp visual era de 17 minuts d'arc.

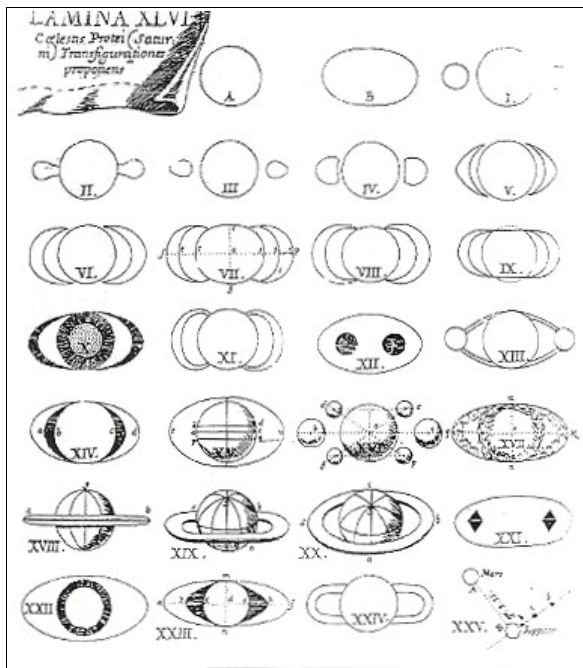


Figura 10: Aspecte canviant de Saturn, *Mathesis Biceps* de Caramuel (1667).

Figure 10: Changing appearance of Saturn, *Mathesis Biceps* de Caramuel (1667).

L'entusiasme dels dissenyadors aviat sobrepassà el sentit pràctic dels instruments i malgrat que els llargs telescopis refractors resultaven impressionants, ja havien arribat al límit de les seves possibilitats: la mida els feia inestables i resultava molt difícil mantenir les lents alineades per tal d'efectuar les observacions. Al 1670 Johannes Hevelius (1611-1687) arribà a construir un telescopi de 46 metres.

Les dimensions d'aquests instruments impossibilitaven en molts casos incloure les lents en un tub, de manera que s'havien d'alinear amb sistemes de cordes i corrioles que resultaven impracticables.

Però també els telescopis refractors havien exhaurit el seu potencial al final del segle XVII. Aquesta segona onada de descobertes tocava a la fi. S'imposava un nou disseny: les lents que refractaven la llum foren substituïdes per miralls que la reflectien. El telescopi reflector de Newton faria possible tornar a instruments de mides raonables i faria desaparèixer l'aberració cromàtica que patien les lents dels últims grans refractors. La següent onada de descobriments no arribaria sinó cent anys després dels descobriments de Cassini.

La selenografia al segle XVII

Una de les primeres temptatives de proveir noms per als accidents lunars va ser la de Pierre Gassendi. És conegut que, a l'època, el gran problema de la navegació eren les dificultats per a calcular la longitud a la mar. El problema del càlcul acurat de la longitud també afectava els mapes terrestres. El pas de l'ombra de la Terra a través de les petites taques lunars durant un

eclipsi lunar total, observat des de diferents localitats simultàniament, permetia obtenir longituds exactes d'aquestes localitats. L'ús dels eclipsis lunars com a "rellotges" per calcular longituds terrestres fou provat amb èxit per Gassendi, qui observà l'eclipsi lunar del 20 de gener de 1628 a París, i pel seu amic Peiresc, que en va fer l'observació a Aix-en-Provence. Vicenç Mut també faria servir aquest mètode més endavant. Les longituds geogràfiques que deduí a partir dels eclipsis de Lluna aparegueren publicades al seu *Observationes motuum caelestium* el 1666.

Un mapa precís de la superfície lunar era imprescindible per a les determinacions de longituds terrestres. Però el primer projecte de mapa lunar va ser abandonat per Gassendi per la sobtada mort de Peiresc.

Els mapes de l'artista Claud Mellan confeccionats entre 1635 i 1637 representaren un gran salt qualitatiu respecte dels predecessors, i són d'un gran realisme fotogràfic. Mellan es basà en les pròpies observacions de la Lluna fetes amb un instrument fabricat amb lents que li proporcionà Galileu: el telescopi tenia amb un camp de visió reduïdíssim, probablement inferior al diàmetre del disc lunar i per tant amb la Lluna sortint continuament del camp de visió, cosa que devia requerir una constant reposició de l'instrument (Whitaker, 1984).

Juan Caramuel encapçalà una altra de les temptatives de mapa lunar: tenia previst editar una *Selenographia* amb un ambiciós projecte de cartografia lunar. Encoratjat per Gassendi, li respongué que proposaria nomenar els promontoris, illes i valls amb destacats contemporanis "tots els nostres amics seran allà", escrigué "tu mateix, Peiresc, Mersenne i Naudé". Com la nomenclatura de Gassendi, la de Caramuel no anà més enllà i quedà oblidada amb la publicació en els anys posteriors de sistemes de nomenclatura més exhaustius (Rosselló, 2000).

La necessitat de confeccionar un mapa lunar acurat va ser vista també per Michiel van Langren (1600-1675), cosmògraf del rei d'Espanya a Brussel·les que aspirava al premi ofert pels reis espanyols per a qui solucionàs el problema del càlcul de la longitud a la mar. La idea era mesurar les sortides i postes d'un llistat d'accidents geogràfics de la superfície lunar que farien de rellotge com en el cas del satèl·lits galileians per tal de calcular longituds terrestres. Després d'un treball de més de deu anys, Van Langren completà el que seria el primer mapa real de la Lluna el 1645. Dels 325 noms de la nomenclatura de Van Langren, en sobreviuen 168, tots en el lloc original, llevat de 4. Van Langren utilitzà els noms de la reialesa (Mar Filípic, per Felip IV, l'actual Oceà de les Tempestes) i la noblesa europea, noms d'astrònoms, filòsofs, matemàtics, i també s'hi poden identificar noms d'exploradors, el papa Innocenci X (l'actual cràter Ptolemeu), cardenals i sants. Van Langren, aconsellat pels jesuïtes del Colegio Imperial de Madrid, assignà un promontori a Sant Vicent Ferrer (l'actual promontori Heraclides).

A mitjan segle Johannes Hevelius i Giovanni Battista Riccioli proposaren sengles esquemes de nomenclatura que competirien per ser acceptats (Vertesi, 2007).

Hevelius publicà la seva *Selenographia* el 1647, producte d'incomptables nits d'observacions al terrat de casa seva a Danzig. Els gravats continguts al llibre els havia fet ell mateix i les muntanyes i cràters apareixien dibuixats amb perspectiva, segons la pràctica geogràfica vigent. La seva nomenclatura pretenia ser neutral, útil i universalment acceptable: en lloc de noms personals, proposava incloure noms geogràfics de la Terra. Amb aquesta idea de racionalitzar la nomenclatura, introduí una profusió de nous termes que no ajudà finalment a la viabilitat de l'esquema (continent, illa, plana, font, riu, vall, túmul...). Dels seus 286 noms, en perviuen 10.

La nomenclatura del jesuïta Riccioli, que aparegué a l'*Almagestum Novum* només quatre anys després de la publicació del treball d'Hevelius, conté gran part dels noms que fem servir avui. Riccioli proposava al seu tractat d'astronomia un model geocèntric de l'univers (una versió modificada del sistema de Tycho Brahe) que feia front al copernicà. Mentre la *Selenographia* d'Hevelius estava íntegrament dedicada a la Lluna, l'*Almagestum* hi dedicava un sol capítol que contenia el mapa lunar i la nomenclatura. Riccioli utilitzà en la seva nomenclatura 147 noms de la seva llista biogràfica d'astrònoms i pensadors publicada a l'*Almagestum*, i elaborà una llista de 243 noms.

Hi ha un contrast profund entre les imatges lunars d'Hevelius i Riccioli: el mapa d'Hevelius obeeix a un programa de descripció, on es volen capturar els detalls amb la major exactitud possible (Fig. 11).

En canvi, la lluna plena de Riccioli és una imatge estilitzada, que busca semblances entre els objectes i presenta un llenguatge visual estandarditzat per a representar fenòmens similars (cràters de mides distintes representats exactament igual) (Fig. 12).

Els dos models de representació informen de dues maneres diferents d'entendre l'observació i el pensament: Hevelius s'esforça a capturar textures, llums i ombres, per a ser el més fidel possible a l'objecte observat. Riccioli, per contra, busca l'universal en la seua representació: ell mateix diu, del seu dibuix de la lluna plena, que no l'ha construït basant-se en l'observació del pleniluni, sinó a partir de múltiples fases. El seu mapa és, per tant, una compilació de diverses observacions que queden indestriables en el conjunt.

La qüestió de la nomenclatura és igualment oposada en les dues propostes: Hevelius fuig d'una Lluna "dedicada", i troba més convenient utilitzar noms geogràfics del Mediterrani o en tot cas personatges clàssics. Riccioli opina que no pot anomenar-se la Lluna com si fos una altra Terra.

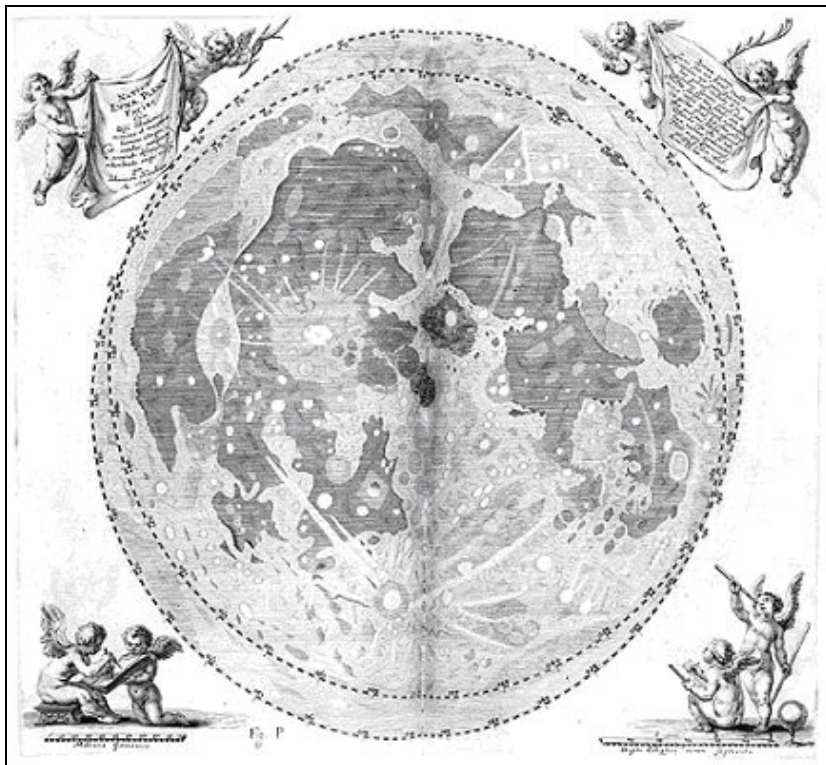


Figura 11: Mapa lunar d'Hevelius publicat a la *Selenographia* (1647).

Figure 11: Lunar map from Hevelius published in *Selenographia* (1647).

De la Lluna de Riccioli, podríem dir que és narrativa, ens conta històries: cada accident lunar pren el nom d'un astrònom o filòsof que ha contribuït al coneixement científic. Els noms dels astrònoms es concentren en octants segons relacions cosmològiques, pedagògiques o cronològiques, fins i tot ens diu l'efecte que té la Lluna sobre la Terra, inspirant tranquil·litat, portant tempestes o restaurant la salut...

Hevelius, com a prominent ciutadà de Danzig i membre de la Royal Society, i Riccioli com a jesuïta, comptaven amb patronatges i xarxes que feien circular les seves propostes, però a pesar de l'apel·lació a la neutralitat, la nomenclatura d'Hevelius fou rarament utilitzada fora de la Royal Society (que majoritàriament havia adoptat el sistema heliocèntric), mentre que la de Riccioli es difongué i s'utilitzà en tots els àmbits fins als nostres dies, malgrat que l'autor continuà mantenint la validesa del sistema geocèntric.

Com a jesuïta, Riccioli s'havia d'adherir a la doctrina oficial catòlica, que condemnava la realitat de la hipòtesi copèrnica: però curiosament assignà a Copèrnic un dels cràters més brillants de la superfície lunar: només Tycho és més gran entre els astrònoms. Copèrnic, amb els que mantenen la hipòtesi heliocèntrica, està situat a l'Oceà de les Tempestes, amb Aristarc, Kepler i Galileu, que també té una mida considerable. Es diu que, encara que no ho pogués admetre, Riccioli era secretament copèrnica i enviava a les futures generacions un clar missatge en haver escollit el nom dels tres cràters més destacables.

De la llista de 243 noms de Riccioli, només una quarantena ha deixat d'utilitzar-se als mapes moderns. La història de la nomenclatura lunar des de llavors ha estat bàsicament la d'afegir-ne de nous a mesura que la millora dels instruments d'observació anava oferint al llarg dels segles següents nous detalls de la topografia de la superfície lunar. Els cràters Dionysius i Delambre, que ens serveixen avui per a identificar la zona d'aterratge de l'Apol·lo XI al Mar de la Tranquil·litat, duen el nom de sengles astrònoms dels segles I i XVIII respectivament.

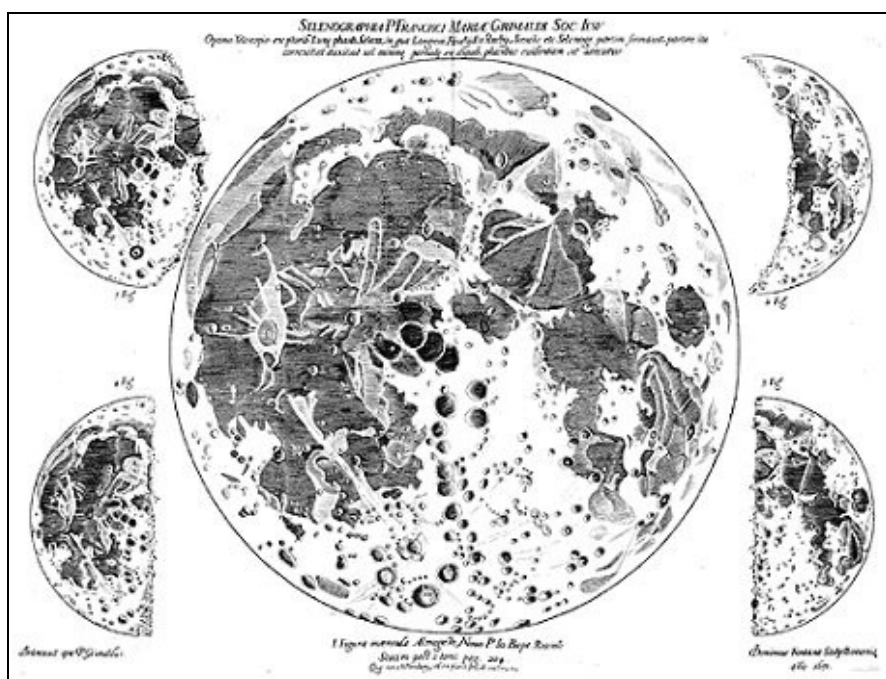


Figura 12: Mapa lunar de Riccioli (*Almagestum Novum*, 1651).

Figure 12: Lunar map from Riccioli (*Almagestum Novum*, 1651).

Actualment, la IAU (International Astronomical Union), que integra l'U.S. Geological Survey i la NASA, és l'autoritat reconeguda internacionalment per assignar els noms als accidents de les superfícies planetàries.

Al Gazetteer of Planetary Nomenclature es poden trobar els llistats exhaustius dels noms aprovats per l'IAU. A la última revisió, que data del 15 de juny de 2009, s'hi troben els 8986 noms aprovats en ús per a la Lluna.

El 18 de juny del 2009 la NASA posà en l'òrbita lunar el LRO (Lunar Reconnaissance Orbiter) com a part d'un ambiciós pla de retorn a la Lluna: entre els objectius de la missió hi ha el de trobar llocs convenients per a futurs aterratges, i el de trobar aigua o altres possibles recursos. La sonda ha estat enviant imatges de la superfície lunar d'una resolució desconeguda fins ara: s'han pogut distingir els mòduls lunars de les diferents missions del programa Apol·lo, i fins i tot les petjades que hi deixaren els astronautes. Una altra sonda, la Chandrayaan 1, posada en l'òrbita lunar el novembre de 2008 per l'ISRO (Indian Space Research Organization) i amb

la qual es perdé el contacte el passat 29 d'agost de 2009, ha estat enviant imatges de la superfície lunar amb una resolució de pocs metres. La Chandrayaan 1 portava un instrument de la NASA, el Moon Mineralogy Mapper, que ha permès detectar molècules d'aigua en les regions polars de la Lluna. S'ha calculat que es podria extraure fins a un litre d'aigua d'un metre cúbic de material de la superfície lunar. La Lluna no ha resultat ser, al capdavall, tan àrida com pensaven els astronautes de l'Apol·lo.

L'exploració de l'espai a través del telescopi començà ara fa exactament 400 anys, que són els que separen les primeres observacions telescòpiques fetes amb un parell de lents de pobra qualitat, de la inauguració del telescopi més gran del món, el GCT (Gran Telescopi de Canàries), que compta amb un mirall de 10,4 metres de diàmetre que pesa 17 tones. El mirall està format per 36 hexàgons fets de material inalterable i cada una de les peces s'ha polit amb un límit d'error de 15 nanòmetres. Compta amb una òptica activa, que permet alinear els miralls amb precisió, i una altra d'adaptativa que permetrà deformar cada mirall per tal d'evitar les aberracions que experimenta la llum en travessar l'atmosfera terrestre. La Lluna, l'objecte més proper a la Terra, va ser el primer objectiu del telescopi i ara, 400 anys més tard, serà possible rebre la llum dels objectes més llunyans, una llum que començà el viatge fa 15 000 milions d'anys.

Bibliografia

- Drake, S. (1983). *Galileo*. Madrid, Alianza.
- Galilei, G. (1610). *Sidereus Nuncius*. Venetiis, Apud Thomam Baglionum.
- Navarro, V. i Rosselló, V. (2006). *Renaixement i Revolució Científica. Les disciplines físicomatemàtiques*. A: Bonner, A. i Bujosa, F. (dirs.), *Història de la Ciència a les Illes Balears*, Vol. 2, Palma, Govern de les Illes Balears.
- Rosselló, V. (2000). *Tradicció i canvi científic en l'astronomia espanyola del s. XVII*, València, Biblioteca Nueva; Universitat de València.
- Taton, R. i Wilson, C. (eds.) (1989). *Planetary Astronomy from the Renaissance to the Rise of Astrophysics*, Part A, Tycho Brahe to Newton. Cambridge, Cambridge University Press.
- Van Helden, A. (1985). *Measuring the Universe*. Chicago, University of Chicago Press.
- Vertesi, J. (2007). *Picturing the Moon: Hevelius's and Riccioli's visual debate*, *Studies in History and Philosophy of Science*, núm. 38, 401–421.
- Whitaker, E. A. (1984). *Selenography in the Seventeenth Century*, a: Hoskin, M. (ed.): *The General History of Astronomy*, Vol. 2, Cambridge, Cambridge University Press.
- Whitaker, E. A. (1999). *Mapping and Naming the Moon*. Cambridge, Cambridge University Press.

Del rellotge de sol a la Lluna, història dels rellotges de sol

Joan Serra

Gnomonista, membre de la Comissió de Rellotges de Sol d'ARCA, Director de la revista digital de gnomònica Carpe Diem



Serra, J. (2010). Del rellotge de sol a la Lluna, història dels rellotges de sol. *In*: Ginard, A., Pons, G.X. i Vicens, D. (eds.). Història i Ciència: commemoració dels 40 anys de l'arribada de l'home a la Lluna. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 16; 43-60. SHNB - OAM - UIB. ISBN 978-84-15081-49-4.

Resum: No se sap amb exactitud el moment de l'evolució humana en què l'home començà a interessar-se pel concepte de temps però si la possible causa d'aquest interès. A diari, la sortida i la posta del Sol defineixen dos períodes de temps, el dia i la nit, la qual cosa va poder motivar l'interès de l'home pel temps. Per l'home primitiu el dia començava a la sortida del Sol i s'acabava a la posta, fins el moment en què observà que l'ombra dels objectes, com ara arbres, roques, muntanyes i fins i tot la seva pròpia ombra, es desplaçava de manera més o manco cíclica. Així quan l'ombra era més curta significava que havia arribat a la meitat del període de llum; d'una manera aproximada havia fet la primera divisió del dia: dematí i horabaixa. Per poder observar més atentament aquests moviments de l'ombra va plantar un pal a terra, moment en què va crear el primer instrument científic. Quan va ser capaç de relacionar l'ombra d'un objecte amb el moviment del Sol va fer la primera observació astronòmica i d'aquesta manera va néixer la ciència astronòmica. D'ençà que per primera vegada va observar l'ombra d'un pal, l'home ha anat assolint molts de coneixements, cada vegada amb més precisió i exactitud, la qual cosa li ha permès anar a la Lluna i tornar i també ser capaç d'enviar naus no tripulades fins a altres planetes, com ara Mart, i fins i tot més enllà del Sistema Solar.

Abstract: No one knows exactly when human evolution when man began to interest in the concept of time but if the possible cause of this interest. Daily, sunrise and sunset define two time periods, day and night, which could motivate the interest of man in time. For primitive man the day started at sunrise and ends at sunset, until the time observed that the shade of objects such as trees, rocks, mountains and even his own shadow, is moved more or less cyclic. So when the shadow was shortest meant that it had reached half the period of light had a way about the first division of the day: morning and afternoon. To observe more closely these movements of the shadow pole was planted on the ground, when he created the first scientific instrument. When he was able to relate the shadow of an object moving with the sun made the first astronomical observation and thus was born the astronomical science. Since first observed the shadow of a stick, man has gained a lot of knowledge, with increasing precision and accuracy, which has allowed him to go to the moon and back and also be able to send unmanned craft to other planets such as Mars and even beyond the solar system.

Introducció

Té sentit parlar de rellotges de sol avui en dia, uns instruments antics i anacrònics, passats de moda? I tant que sí, el rellotge de sol va ser el primer instrument científic que va inventar l'home. Es diu que l'astronomia és la mare de totes les ciències però sovint s'oblida que el rellotge de sol va ser el pare de l'astronomia.

Per començar, s'han d'introduir dos conceptes prou importants: gnomònica, és la ciència que estudia els rellotges de sol, i gnòmon, és l'element que projecta l'ombra, també anomenat, busca, estil, vareta o agulla.

No sabem amb exactitud a quin moment de l'evolució humana l'home començà a interessar-se pel temps. Per tant, la prehistòria gnomònica ha de ser inventada o suposada, ja que no tenim ni restes ni cap confirmació científica del que ara direm. La ruta aparent del Sol, amb les seves sortida i posta diàries marca dos períodes ben clars i elementals: el dia i la nit. Hem de suposar que la primera concepció del temps o de temps que tingué l'home va ser precisament la del dia i la nit. Per l'home primitiu el dia començava a la sortida del sol i s'acabava a la posta. El concepte del dia entès com la unitat de dia-nit no existia. El dia era només el temps en que hi havia llum, el temps en el que es podia caçar i dur a terme totes les activitats diàries, què per una altra banda no devien ser tantes, ara fa 20 000 anys. Ens agrada pensar que un bon dia algun d'aquells homes primitius una mica més espavilat que els demés, o que tenia poques feines, se n'adonà que l'ombra dels objectes, per exemple els arbres, les roques o les muntanyes i la seva pròpia ombra, es desplaçava de manera més o manco cíclica. Degué comprovar que quan l'ombra era més curta significava que havia arribat a la meitat del període de llum i per tant podia calcular el temps que li quedava aproximadament per continuar la cacera abans de que es fes de nit i l'agafés lluny de la seva cova. De manera aproximada ja havia dividit el dia en dues parts: dematí i horabaixa.

Però ja més tard, a l'home del neolític, aquesta simple determinació del moment del dia no li era suficient. Ja no subsistia únicament de la caça com els seus avantpassats de milers d'anys enrere. La revolució neolítica consistí en l'ús de l'agricultura i la ramaderia. Cercar noves pastures pel ramat obliga a l'home a desplaçar-se, establir contactes i relacions amb les tribus veïnes, bescanvis de productes, llavors, animals etc. Les tasques eren més nombroses que les dels seus avantpassats que es limitaven a caçar, menjar i jeure. Començà a ser hora idò de espavilar-se amb l'administració més acurada i correcta del temps. Tot i que en aquell temps les coses no venien de deu minuts sí convenia saber calcular si tenia temps d'anar i tornar de la tribu veïna si hi havia de fer cap negoci, o festejar, posem per cas. I a un altre espavilat se li va ocórrer plantar un pal davant casa seva i poder estudiar atentament els moviments de l'ombra. Acabava de crear el primer instrument científic. Com diu Miquel Palau al seu llibre *Història dels Rellotges de sol*. Art de construir-los, aquesta fou la primera observació astronòmica de l'home, la d'una ombra relacionada amb el moviment del sol. És d'admirar, com diu Palau, que aquesta simple però important observació fos l'inici de la ciència astronòmica. Des d'aquell dia tan llunyà, des de l'ombra d'un pal s'han arribat a assolir tants de coneixements, tanta precisió i exactitud que l'home ha arribat a la Lluna i envia naus a Mart i fins i tot més enllà del Sistema Solar.

Tornem enrere en el temps i anem a veure que fa el nostre amic del pal clavat a terra. Amb aquella observació de l'ombra del pal, que probablement li degué rompre el cap durant anys o segles, sense voler va inventar el temps i amb això, l'home, ja va fer el primer desbarat. Però no degué ser aquesta la única observació d'aquell científic antic. També se n'adonà que l'ombra del migdia, tot i que era el moment del dia en que era més curta presentava distintes llargàries segons l'època de l'any i això li podia servir per saber si s'acostava l'hivern o l'estiu i saber si era hora d'anar a cercar cacera o pastures a altres indrets i saber les èpoques propícies per a la sembra i la recollida. És a dir, no només podia saber si era dematí, migdia o horabaixa, sinó també l'estació o època de l'any, havia descobert el calendari. Se n'adonà que el bastó i fins i tot la seva pròpia ombra podia servir per tenir una idea aproximada del moment del dia i

que aquest coneixement li servia per administrar millor les tasques. Hem de dir que probablement aquest fenomen degué ocórrer a diverses regions del món i a diverses èpoques de manera que és difícil atribuir la invenció a un sol poble o una sola cultura. Començà a elucubrar sobre les sortides i postes del sol, cada dia per un lloc diferent, sobre el temps i el calendari, i hem de suposar que les observacions i sobre tot la presa de consciència del que significava tot allò que observava degué ser molt lent, és a dir durant segles, tot i que ara ens sembli que no hi ha per tant.

I una vegada en el Neolític, ja podem començar a situar el fets i més o manco datar-los. Comencen a aparèixer monuments megalítics que a més de tenir una funció religiosa o funerària, la seva principal missió era la de servir de calendari, com el túmul de Newgrange a Irlanda datat del 3300 al 2900 aC. Té un corredor perfectament orientat de manera que el dia del solstici d'hivern a la sortida del sol, els raigs entren pel corredor fins il·luminar les càmeres més profundes del túmul. No creiem que aquesta disposició del corredor sigui pura casualitat, ans creiem que era ben intencionada per conèixer el moment exacte en que el sol arribava a la seva màxima declinació negativa per a començar a pujar de bell nou i què, arribaria una altra primavera i un altre estiu ple d'abundàncies, en definitiva, un calendari solar. També es va descobrir una pedra amb un suposat rellotge de sol. Diem suposat perquè els arqueòlegs encara no s'han posat d'acord. Sembla ser que es tractaria d'una pedra horitzontal amb una busca vertical.

Mil anys més tard apareix un conegut conjunt megalític, el d'Stonehenge a Anglaterra datat el 2200 aC, és a dir ara fa uns 4200 anys, està disposat de tal manera que, a més de tenir un caràcter funerari i religiós, tenia també una funció astronòmica i s'utilitzava com a calendari ja que el dia del solstici d'estiu el sol surt just travessant l'eix central de la construcció, el que evidencia l'alt grau de coneixements que ja havien assolit per aquell temps. Calendaris rudimentaris per conèixer les distintes estacions tan importants per les tasques agrícoles.

Però no només els habitants d'Europa es rompien el cap per tal de conèixer el funcionament de les estacions, la durada del dia, etc. els egipcis tres segles abans de la data de Stonehenge, 2500 aC, acabaven de construir la piràmide de Keops, la més grossa de totes les piràmides, la més antiga del conjunt de les piràmides de Giza i l'única que queda de les set meravelles del món.

S'ha escrit molt sobre aquesta piràmide, s'han fet tot tipus de càlculs i s'han extret tot tipus de conclusions, algunes realment científiques i d'altres realment fantasioses però del que no hi ha cap dubta és que els egipcis tenien ja uns coneixements astronòmics i matemàtics molt avançats.

La piràmide està perfectament orientada als quatre punts cardinals i les seves cares en lloc de ser perfectament planes estan dividides en dos plans amb lleugera pendent cap al centre. Els dos plans presenten entre elles un lleu angle de 27' lo que fa que en realitat, en lloc de tenir quatre cares en tenguí vuit. Aquest petit angle fa que els dies dels equinoccis, just al moment de la sortida i de la posta s'il·luminin només la meitat de la cara nord i sud la qual cosa fa pensar que devia utilitzar-se per conèixer exactament aquests moments importants de l'any.

Aquest fenomen s'anomena efecte llamp i ens fa pensar que la piràmide podria considerar-se un gran calendari amb el qual podien preveure les crescudes anuals del Nil que era la base de tota l'economia egípcia.

A la cara S de la piràmide, l'entrada del corredor té una inclinació de 26° 18'. Aquesta inclinació no es casual, des del fons del corredor, a la mitjanit del dia del solstici d'hivern es veia passar l'estrella Sirius per davant l'entrada. Més tard descobriren que quan l'estrella Sirius apareixia per l'E just abans de que ho fes el sol venia la crescuda del Nil, data que determinaren com a començament de l'any. Aquest cicle anual començà a funcionar l'any 238 aC, en ple regnat de Ptolemeu III Evergetes. Els egipcis foren els primers en utilitzar el cicle solar com a calendari civil, encara que com a calendari religiós utilitzaven el cicle lunar com a la resta del món. També construïren obeliscs, que no eren altra cosa que un enorme pal clavat a terra, que

eren utilitzats per conèixer moments del dia mitjançant unes marques en terra. Probablement devien utilitzar-se principalment per indicar el migdia, encara que marques posteriors devien servir per conèixer l'època de l'any.

A Egipte també, i com a mostra fefaent de que utilitzaven l'ombra per mesurar el temps, es van trobar les restes més antigues d'un objecte identificat com a rellotge de sol (Fig. 1) i daten de l'any 1500 aC, de l'època de Tuthmosis III. Es conserven al museu de Berlín i se l'anomena rellotge de Tuthmosis III encara que a molts llocs el trobareu anomenat Merkhēt. Es componia de dos llistons en forma de "T", el més curt s'orientava de N a S i servia de gnòmon o indicador i l'altre rebia l'ombra que indicava l'hora sobre cinc marques gravades. El llistó llarg mirava cap a l'O el dematí i després del migdia es girava cap a l'E per indicar les hores de l'horabaixa. Les hores que marcava eren desiguals ja que depenien de l'època de l'any i, tot i que la idea era molt bona hi havia un detall que en aquell temps encara desconeixien i pel que haurien de passar molts segles fins que algú el descobrí: inclinar el rellotge amb un angle igual al de la latitud del lloc, tal com es veu a la foto (Fig. 1). D'aquesta manera aquest rellotge s'hauria convertit amb un rellotge polar i les hores haguessin estat iguals tot l'any.

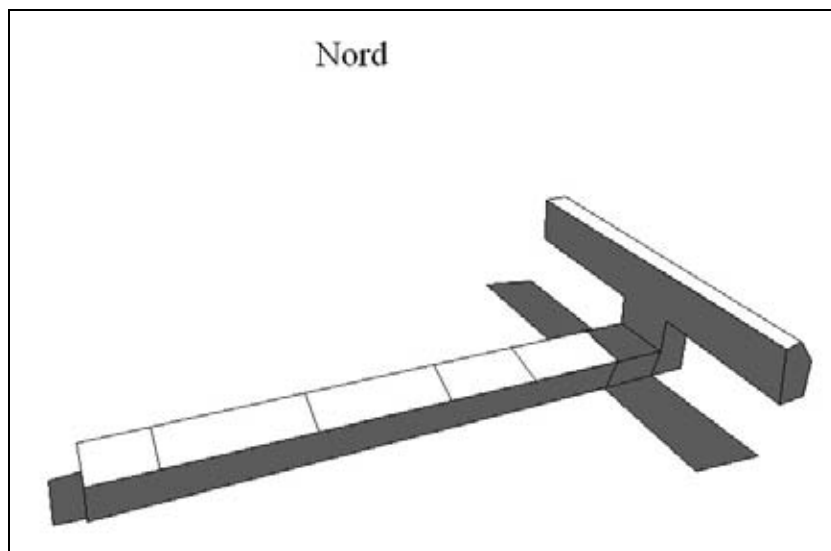


Figura 1: Les restes més antigues d'un objecte identificat com a rellotge de sol es trobaren a Egipte i daten de l'època de Tuthmosis III.

Figure 1: The oldest remains of an object identified as a sundial met in Egypt and dating from the time of Thutmose III.

Hem de recorre molts de segles i arribar als voltants de l'any 750 aC. per a trobar una altra referència a un rellotge de sol concret i la trobam a la Bíblia. Es tracta del passatge en què Ezequies, que està a punt de morir, implora a Yavé que li diu que allargarà la seva vida 15 anys més, que els alliberarà de la mà del rei d'Assíria i protegirà la ciutat, amb aquestes paraules:

“I aquest serà el senyal amb què el Senyor t'assegura que ell complirà això que ha dit: Veuràs que farà recular l'ombra els deu graus que ha baixat en l'escala d'Acáz”. I l'ombra del Sol va recular els deu graus que ja havia baixat.

No sabem exactament com era aquest rellotge però el que és cert és que no hi ha hagut gnomonista que hagi resistit la temptació de donar la seva pròpia interpretació. Han ideat distints models per tal de donar una explicació del miracle, han pensat amb graus, línies, escalons, etc. per treure en clar com podia recular l'ombra. Jo tampoc no vaig poder resistir la temptació i el juny del 2003 vaig escriure un petit article sobre aquest fenomen en el que deia que no calia rompre's el cap intentant endevinar quin rellotge podia fer que l'ombra reculés ja que si hi havia un mètode per aconseguir-ho ja no hauria estat un miracle.

A la Fig. 2 podem veure part d'un fresc de Tibaldi, pintor i arquitecte renaixentista italià del segle XVI, que es troba a la biblioteca d'El Escorial on es representa l'escena d'Ezequies malalt i un soldat, que mostra, assenyalant amb el dit sobre un rellotge de sol, com l'ombra ha reculat deu graus. No és necessari dir que aquest rellotge no pot representar el rellotge d'Acas, perquè vol representar un rellotge de sol modern i a més mal fet.



Figura 2: Una part d'un fresc de Tibaldi, on es representa l'escena d'Ezequies malalt i un soldat, que mostra, assenyalant amb el dit sobre un rellotge de sol, com l'ombra ha reculat deu graus.

Figure 2: Partial fresco of Tibaldi, depicting the scene of Hezekiah sick and a soldier; showing, pointing with his finger on a sundial, the shadow has shrunk as ten degrees.

Per tal d'intentar posar en clar aquest enigma, Georgius Hartmann va construir un rellotge còncau datat en 1547 i que es pot veure al Museu de Santa Cruz, a Toledo. Omplint-lo d'aigua, l'ombra s'escurça 10 graus gràcies al fenomen de la refracció amb la particularitat de que aquest rellotge fou construït 74 anys abans de que fos formulada la llei de refracció.

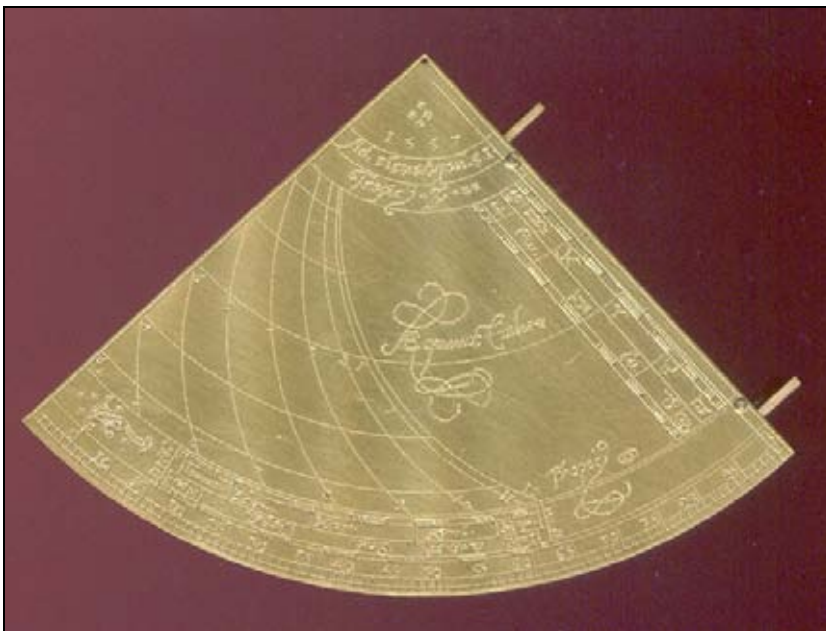


Figura 3: El quadrant solar data del segle VI aC. El d'aquesta figura és una rèplica de l'autor d'un exemplar del segle XIV.

Figure 3: The solar quadrant of the sixty century BC. This figure is a replica of the author a copy of the fourteenth century.

Diu l'historiador babilònic Berós (s. IV i III aC) que els caldeus foren els inventors dels quadrants solars i nosaltres, que no tenim prou arguments per refusar-ho, pensam que dir que foren els inventors potser sigui una mica agosarat però sí podem acceptar que ells foren els qui milloraren o feren avançar la ciència gnomònica perquè els caldeus foren un poble molt estudiós i assoliren grans coneixements astronòmics i matemàtics: confeccionaren un mapa estel·lar,

havien inventat la divisió sexagesimal, l'escriptura cuneïforme, coneixien el cicle lunar perfectament, etc. Un quadrant és un quart de cercle i a causa d'aquesta forma l'anomenaren quadrant solar, que podríem datar a prop del segle VI aC. Devia ser semblant al de la Fig. 3, rèplica de l'autor d'un exemplar del segle XIV.

Aquest instrument és un rellotge de sol d'altura perquè indica les hores segons l'altura del sol. Per fer-lo funcionar es movia la perla a la data del dia i llavors s'inclinava el quadrant fins que un raig de sol passava pels dos forats de les pínules de manera que amb la inclinació la plomada amb la perla indicava l'hora.

Els babilònics inventaren el rellotge de sol hemisfèric (hemiciclum). Es tracta d'un hemisferi còncav buidat en pedra i d'un gnòmon vertical clavat en el centre (Fig. 4). Diuen que Anaximandre (s. VI aC) perfeccionà l'hemisfèric babilònic col·locant el gnòmon inclinat segons la latitud del lloc. A en aquest tipus de rellotge l'anomenaren els grecs scaphe que vol dir bol o tassa i els romans hemisferium. També s'atribueix a Anaximandre el concepte de "hora solar" com a la dotzena part del dia. Per tant aquests rellotges tenien dotze divisions.



Figura 4: Els babilònics inventaren el rellotge de sol hemisfèric (hemiciclum), hemisferi còncav buidat en pedra amb un gnòmon vertical clavat en el centre.

Figure 4: The Babylonians was invented the sundial hemispheric (hemiciclum) concave hemisphere with a hollowed stone Gnomon vertical thrust into the center.

El fet d'inclinar el gnòmon paral·lel a l'eix de la Terra va ser una descoberta fonamental per l'avanç de la gnomònica que començà a mesurar el temps per la direcció de l'ombra en lloc de la llargària com feien els obeliscs o tots els rellotges amb gnòmon vertical que assenyalaven incorrectament les hores.

Si amb els grecs començà la vertadera ciència no podem dir el mateix dels romans que pràcticament es limitaren a copiar als grecs. Sembla ser que no tingueren molt d'interès per les ciències, però sí que divulgaren els rellotges de sol copiats dels grecs instal·lant-ne a Roma i a tot l'imperi, inclosos Catalunya, Mèrida, Cadis, etc. dels quals encara se'n conserven bastants d'exemplars.

Durant molts de segles la divisió de la jornada diürna dels romans era només de dues parts: abans del migdia i després del migdia. Molt més tard començaren a dividir la jornada amb dotze parts des de la sortida del sol fins a la posta anomenades: *prima*, *secunda*, *tertia*, fins a la dotzena. I la nit la dividien en 4 parts de tres hores cada una anomenades vigílies, nominació que podem llegir a diversos passatges de la Bíblia.

Aquestes divisions de dotze hores començant amb la sortida del Sol feia que només dues vegades a l'any les hores fossin iguals, els dies dels equinoccis de primavera i tardor en què la durada diürna és de dotze hores exactes. La resta de dies de l'any, l'hora de sortida va canviant de manera que a l'estiu les hores del dia serien més llargues, en el cas de Roma 75 minuts aproximadament, i les de la nit més curtes, 45 minuts. I a l'hivern, al revés, les de dia eren més curtes i les de la nit més llargues. Aquestes hores se les anomena hores desiguals, temporàries o planetàries (Fig. 5).

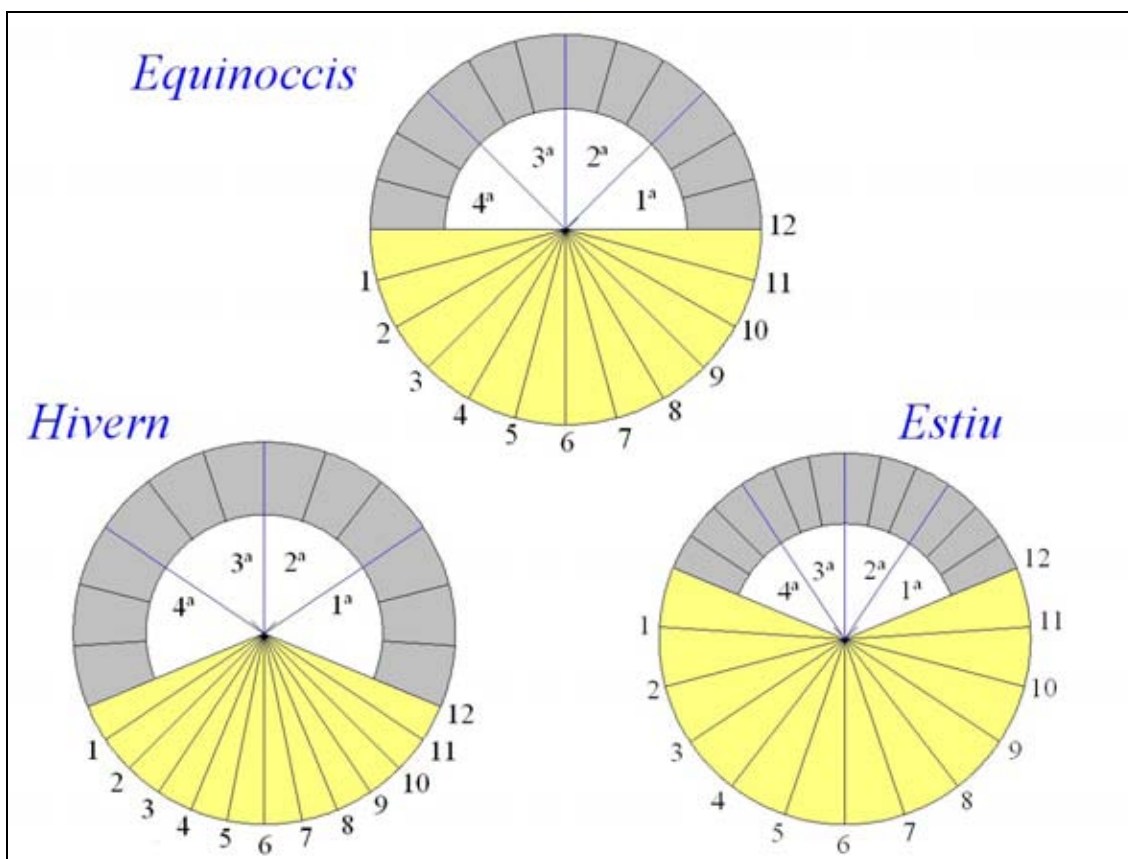


Figura 5: La divisió de la jornada en dotze parts s'anomena hores desiguals, temporàries o planetàries. Aquestes divisions de dotze hores començant amb la sortida del Sol feia que només dues vegades a l'any les hores fossin iguals, els dies dels equinoccis de primavera i de tardor, en què la durada diürna és de dotze hores exactes. La resta de dies de l'any, l'hora de sortida va canviant de manera que a l'estiu les hores del dia serien més llargues, en el cas de Roma 75 minuts aproximadament i les de la nit més curtes, 45 minuts. I a l'hivern, al revés, les de dia eren més curtes i les de la nit més llargues.

Figure 5: The division of the day into twelve parts called unequal hours, temporary or planetary. These divisions of twelve hours beginning with the sunrise was only twice a year the hours were equal, the days of spring and autumn equinoxes, when day length is exactly twelve hours. The remaining days of the year, the departure time was changed so that the summer hours would be longer in the case of Rome about 75 minutes and the shortest night, 45 minutes. And in winter, unlike the day were shorter and the longest night.

Els romans empraven les hores temporàries dites planetàries perquè cada hora del dia estava sota la protecció d'un déu. Els déus només eren set: Febo (Sol), Diana (Lluna), Mart, Mercuri, Júpiter, Venus i Saturn i com que hi havia més hores que déus, aquests havien de fer hores extres i repetir-se de tal manera que al cap de set dies es tornaven a repetir amb el mateix ordre. Aquest set dies, d'aquesta "setmana" començaren a anomenar-se pel nom del déu que encapçalava la primera hora del dia. D'aquí ve: dilluns (Lluna), dimarts (Mart), dimecres (Mercuri), dijous (Júpiter) i divendres (Venus). El dia de Saturn els cristians el convertiren en sàbbat, dissabte, i el dia del Sol o Febos el convertiren amb el dia del Senyor, domine, diumenge. Els anglesos encara conserven el Saturday pel dissabte i el Sunday pel diumenge.

A la taula de la Fig. 6, podem veure com es van repetint els déus, que s'han enumerat per més facilitat, per un període de 12 hores, encara que per 24 té el mateix resultat. Es pot comprovar com al cap de set dies es torna a repetir el mateix ordre de déus i hores que el del primer dia.

Aquest tipus d'hores planetàries perdurà durant molts segles de tal manera que no pocs rellotges de sol dels segles XV i XVI les inclouen.

Hr.	Lu	Ma	Mi	Ju	Vi	Sa	Do	Lu
1	1	6	4	2	7	5	3	1
2	2	7	5	3	1	6	4	2
3	3	1	6	4	2	7	5	3
4	4	2	7	5	3	1	6	4
5	5	3	1	6	4	2	7	5
6	6	4	2	7	5	3	1	6
7	7	5	3	1	6	4	2	7
8	1	6	4	2	7	5	3	1
9	2	7	5	3	1	6	4	2
10	3	1	6	4	2	7	5	3
11	4	2	7	5	3	1	6	4
12	5	3	1	6	4	2	7	5

Figura 6: Els romans empraven les hores temporàries dites planetàries perquè cada hora del dia estava sota la protecció d'un déu. Però els déus només eren set i hi havia 24 hores, de manera que els déus havien de repetir-se cada set dies amb el mateix ordre. A la taula podem veure com es van repetint els déus, que s'han enumerat per més facilitat, per un període de 12 hores.

Figure 6: The Romans were using the temporary hours such that each planetary hour of the day was under the protection of a god. But the gods were only seven and there was 24 hours, so that the gods had to be repeated every seven days with the same order. In the table we can see how the gods were repeated, which have been listed for more easily, for a period of 12 hours.

Es poden veure a la Fig. 7 els signes del planetes que governen cada hora, no de tot l'any perquè seria gairebé impossible incloure-les, però sí per cada dia de canvi de signe zodiacal representat per aquestes corbes hipèrboles que serveixen per dos signes exceptuant els dos més extrems dels solsticis que són úniques per ells.



Figura 7: Rellotge planetari, en el qual es poden veure els signes del planetes que governen cada hora, no de tot l'any perquè seria gairebé impossible incloure-les, però sí per cada dia de canvi de signe zodiacal representat per aquestes corbes hipèrboles que serveixen per dos signes exceptuant els dos més extrems dels solsticis que són úniques per ells.

Figure 7: Planetarium clock, where you can see the signs of the planets that govern every hour, not the entire year because it would be almost impossible to include them, but for every day of the zodiacal sign of change represented by these curves hyperbolas serving for two signs except the two extremes of the solstices which are unique to them.

Segons conta Plini el Vell, l'any 263 aC. en plena guerra púnica el cònsol Marc Valeri Messala portà de Catània com a part del botí, un scaphe. Aquest va ser el primer rellotge de sol que entrava oficialment a Roma. Tot i que el rellotge estava calculat per Catània (Sicília) i que, per tant, a Roma marcava erròniament per la diferència de latitud, als romans els hi era ben igual perquè segons diu Plini el feren servir durant 99 anys fins que a l'any 164 aC el censor Quint Marci Filipi féu construir un rellotge que marqués les hores d'acord a la latitud de Roma. Tant va ser l'èxit d'aquest rellotge que se'n feren còpies a altres indrets.

Malgrat l'èxit d'aquests rellotges, quan Egipte es va incorporar a l'imperi Romà, August portà d'Alexandria un obelisc que instal·là a la plaça de Mart com a rellotge de sol tot i sent conscient de que no marcava bé les hores. Avui es troba a Montecitorio.

A la seva obra *De architectura*, Vitruvi descriu tretze tipus de rellotges de sol coneguts i amb tanta varietat no és d'estranyar que el poble anés despistat i què Sèneca fes el comentari: "No puc dir-te l'hora exacta, és més fàcil posar d'acord els filòsofs que els rellotges de sol".

Els romans ens deixaren la representació gràfica més antiga d'un rellotge de sol en el mosaic de Trèveris, Alemanya, on es pot veure (Fig. 8) un retrat del filòsof Anaximandre que sosté un rellotge de sol. (S. III dC).

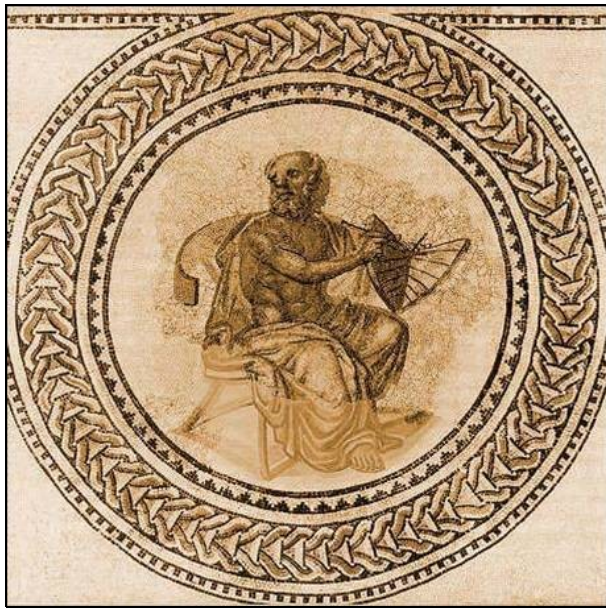


Figura 8: Els romans ens deixaren la representació gràfica més antiga d'un rellotge de sol en el mosaic de Trèveris, Alemanya, on es pot veure un retrat del filòsof Anaximandre que sosté un rellotge de sol. (S. III dC).

Figure 8: The Romans left us the oldest graphic representation of a sundial in the mosaic of Trier, Germany, where you can see a portrait of the philosopher Anaximander holding a sundial. (III century aC).

L'any 476 cau l'Imperi Romà i comença l'alta edat mitjana amb guerres per tota Europa per repartir-se els dominis romans i amb una església preocupada per frenar el progrés científic que originaren la paralització del desenvolupament de la ciència i en particular de la ciència gnomònica.

En el segle VI dC, Sant Benet va escriure la seva famosa Regla per tal de servir de guia a les ordres monàstiques. A la norma s'especifica que els monjos han de resar set vegades al dia a unes hores determinades i cada res agafa el nom de l'hora. Així eren: *Prima*, a la sortida del sol, *Tertia*, a mig dematí, *Sexta*, a migdia, *Nona*, a mig horabaixa, *Vesperes* a la posta de sol, *Completas* havent sopat, *Maitines* a mitjanit i *Laudes* a trenc d'alba que normalment ja enllaçava en la de *Prima*. Aquestes hores es diuen hores canòniques i encara avui s'utilitzen als convents i monestirs, òbviament adaptades a l'horari modern. Per a poder complir degudament la norma s'idearen uns rellotges de sol molt rudimentaris consistents amb quatre línies amb un gnòmon perpendicular a la paret, més o manco orientats al S. Com passava amb els rellotges de gnòmon vertical com els obeliscs, aquests no marcaven bé tampoc. Si estaven ben orientats només indicaven bé la sortida, la posta i el migdia. Acabava de sorgir una modalitat nova de rellotges, els verticals gravats a una paret i així es podien veure des de més lluny. El rellotge de la Fig. 9 inclou totes les hores dels resos però és evident que a les que cauen per sobre de la línia horitzontal mai no hi pegarà el sol i per tant no són funcionals.

Les hores de resos s'avisaven a la comunitat monàstica mitjançant un toc de campana i els petits nuclis de població que s'establien als voltants dels monestirs aprengueren a dividir el temps d'aquesta manera. Durant segles, tota la edat mitjana pràcticament, no trobam en els escrits cap comentari sobre la numeració de les hores. Trobam expressions en la Crònica del Rei en Jaume I que fan referències com ara, a l'alba, oïda missa, havent menjat, al vespre, etc.

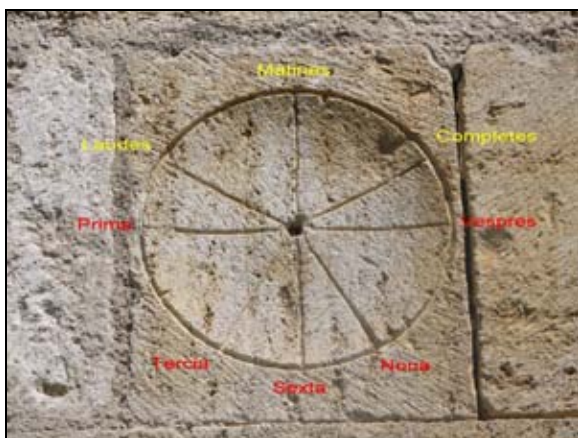


Figura 9: La Regla de Sant Benet indica que els monjos han de resar 7 vegades cada dia i cada res agafa el nom de l'hora, *Prima* a la sortida del sol, *Tertia* a mig dematí, *Sexta* a migdia, *Nona* a mig horabaixa, *Vespres* a la posta de sol, *Completes* havent sopat, *Maitines* a mitjanit i *Laudes* a trenc d'alba que normalment ja enllaçava en la de *Prima*. Per poder seguir aquesta Regla, s'idearen uns rellotges de sol, molt rudimentaris, consistents amb quatre línies amb un gnòmon perpendicular a la paret. Si estaven ben orientats al S, només indicaven bé la sortida, la posta i el migdia. Aquest rellotge inclou totes les hores dels resos.

Figure 9: The Rule of St. Benedict says that monks have to pray seven times a day and nothing takes the name of the hour, *Prima* at sunrise, *Tertia* at mid morning, *Sexta* at noon, *Nona* at mid afternoon, *Vespres* at sunset, *Completes* after dinner, *Maitines* at midnight and *Laudes* are prayed before sunrise normally bind of the *Prima*. To follow this rule, were created sundials, very rudimentary, consisting of four lines with Gnomon perpendicular to the wall. If S were well targeted to only use either exit, noon and sunset. This watch includes all hours of prayers.

Trobam rellotges canònics, també anomenats rellotges de missa o rellotges primitius, a gairebé totes les esglésies romàniques a partir del segle X. Situats vora el portal més orientat al S (normalment) i a una altura accessible (també normalment), tots tenen un forat en el qual hi devia haver un gnòmon perpendicular a la paret, encara que alguns autors creuen que no tots devien portar gnòmon i què era la mateixa gent que introduïa el dit al forat o un bastó per saber l'hora. Es curiós veure que en algunes esglésies hi ha nombrosos rellotges d'aquests, n'hi ha que en tenen 10, fins i tot una amb tretze. L'únic exemplar que tenim a Mallorca, ja tardà, el trobam a l'oratori de la Consolació a Sant Joan (Fig. 10).



Figura 10: L'únic exemplar de rellotge canònic, també anomenat rellotge de missa o rellotge primitiu, que tenim a Mallorca, el trobam a l'oratori de la Consolació a Sant Joan.

Figure 10: The only canonical sundial, also called clock or primitive clock of mass, we have in Mallorca, we find in the oratory de la Consolació Sant Joan.

El traçat (Fig. 11) de la façana del Museu Arqueològic de Manacor, descobert per l'autor ara fa dos anys, sembla un rellotge primitiu, tot i que degut a la data de construcció d'aquesta casa seria un rellotge fora d'època. No es pot descartar però que servís per saber l'hora als picapedrers que la construïen.

Com hem dit abans, la gent s'acostumà a saber l'hora mitjançant els tocs de campana dels convents, monestirs o esglésies i com que així era molt còmode i no tenien més necessitat, la gnomònica romangué estancada durant un munt de segles. Aquest tipus d'hores s'arrelaren tant que fins i tot ara encara en tenim expressions: anar a pescar de prima, fer la sesta o anar a fer nones.

Mentrestant, en el món àrab preocupats per la ciència tradueixen l'obra de Claudi Ptolemeu i la converteixen amb l'Almagest, el més Gran. Grans coneixedors de les matemàtiques i la trigonometria esfèrica aportaren grans avanços a la gnomònica. Per tant, podem dir que entre els segles VII i XIII l'astronomia i amb ella la gnomònica foren mantingudes i millorades pels àrabs de les escoles de Toledo, el Cairo i Bagdad.

Figura 11: Traçat a la façana del Museu Arqueològic de Manacor, descobert per l'autor, que sembla un rellotge primitiu, tot i que degut a la data de construcció d'aquesta casa seria un rellotge fora d'època.

Figure 11: Facade of the Archaeological Museum of Manacor, discovered for the author, that seems like a primitive clock, but due to the date of construction of this house would be a clock out time.



La vertadera revolució gnomònica, iniciada pels àrabs, fou quan es va redescobrir que el gnòmon per funcionar correctament havia de ser paral·lel a l'eix de la Terra i que per aconseguir-ho només feia falta inclinar-lo amb un angle igual al de la latitud del lloc. D'aquesta manera el Sol envoltava el gnòmon igual que envolta l'eix i les hores poden ser inscrites a qualsevol pla.

Funcionament d'un rellotge de sol

Perquè, en realitat, què és un rellotge de sol? No és el lloc ni el moment d'impartir un curs de gnomònica però crec que no cau malament una breu explicació de què és i com funciona un rellotge de sol.

Suposem que al pol de la Terra li clavem una estaca o un pal seguint la direcció de l'eix (Fig. 12), podem veure clarament que a mesura que el Sol envolta aquest pal, projectarà una ombra sobre la superfície terrestre.

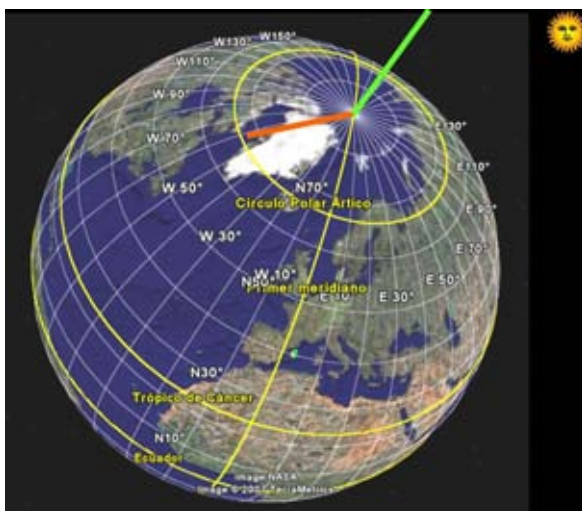


Figura 12: Si suposam una estaca clavada en el pol de la Terra, seguint la direcció de l'eix, a mesura que el Sol envolta aquest pal, projectarà una ombra sobre la superfície terrestre.

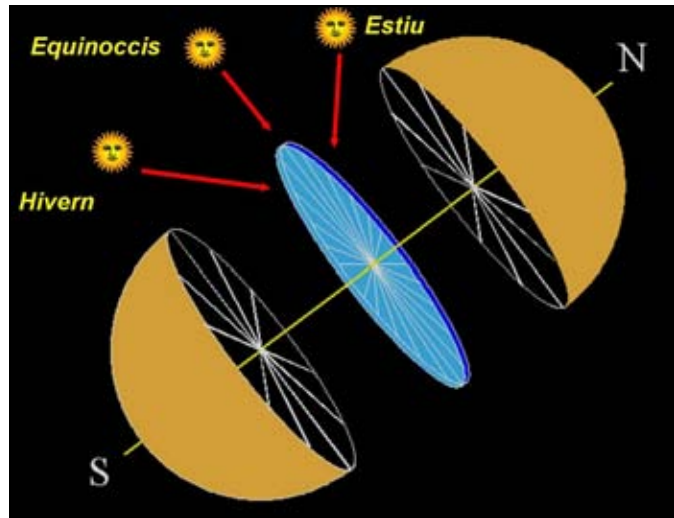
Figure 12: If you suppose a stake driven into the pole of the Earth, following the direction of the axis, as the sun around the pole, it will cast a shadow on the surface.

Suposem també la Terra transparent i que fem el mateix sobre el pla de l'equador. El resultat serà també que l'ombra de l'eix anirà recorrent aquest pla per la part oposada on es trobi el Sol. I com que és una circumferència la podem dividir en 24 parts o hores que té un dia, la qual cosa ens donarà una hora per cada 15° de la circumferència, en altres paraules, el Sol recorre 15° cada hora.

Si aïllem aquesta tallada de l'equador amb el seu eix corresponent i perpendicular al pla (Fig. 13), podem veure que a l'hivern el sol pegarà a la cara inferior o S del pla, i a l'estiu pegarà a la cara N o superior. Els dies dels equinoccis el sol no pegarà a cap de les dues cares.

Figura 13: Si suposam una estaca clavada en el pol de la Terra, seguint la direcció de l'eix, i separam el pla de l'equador, es pot observar com l'ombra de l'eix recorre aquest pla per la part oposada on es troba el Sol. Si es divideix la circumferència en 24 parts o hores que té un dia, obtenim 15° de la circumferència per cada part, és a dir, el Sol recorre 15° per cada hora del dia.

Figure 13: If you suppose a stake driven into the pole of the Earth, following the direction of the axis, and we separated the plane of the equator, the shadow can be seen as the axis runs through this plan to the opposite side where the Sun. If the circle is divided into 24 parts or hours in a day, we get 15 degrees of the circumference for each part, ie, the sun travels 15 degrees per hour of the day.



Si traiem aquesta tallada i la col·locam sobre la superfície de la Terra necessitam, perquè sigui una representació idèntica al que passa amb la Terra real, que sigui inclinada amb un angle igual al de la latitud del lloc sobre la superfície horitzontal. La meridiana és la direcció NS geogràfica. D'aquesta manera tenim una representació exacta i els angles de les línies horàries són de 15° tal com havíem dit. El Sol pegarà també a la cara inferior a l'hivern i a la superior a l'estiu.

Un rellotge equatorial, com el de la Fig. 14, és el més senzill de construir i el que serveix de base per a tots els altres. A la Fig. 15 hi ha la imatge d'un rellotge equatorial a Medina de las Torres, Badajoz, dissenyat per l'autor.

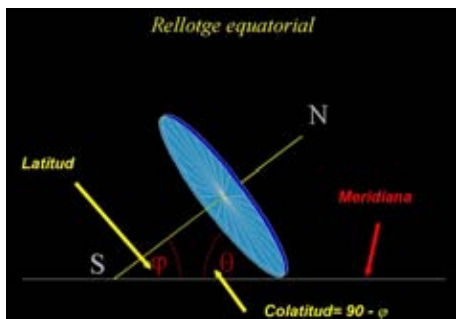


Figura 14: Un rellotge equatorial és el més senzill de construir i el que serveix de base per a tots els altres.

Figure 14: An equatorial clock is the most simple to construct and which provides the foundation for all else.



Figura 15: Rellotge equatorial a Medina de las Torres, Badajoz, dissenyat per l'autor.

Figure 15: Equatorial clock of Medina de las Torres, Badajoz, designed by the author.

Amb el rellotge equatorial podem construir els altres per projecció de les seves línies horàries i també per deducció analítica. S'ha de dir que ja en els altres models els angles de les línies no són de 15° i que aquests angles varien segons la latitud del lloc. Les hores són hores iguals tot l'any, hores astronòmiques i es diferencien de les hores desiguals que fins el moment s'havien utilitzat. No obstant aquest descobriment, aquest rellotges només foren utilitzats al món àrab. A Europa no foren d'ús habitual fins al segle XV, amb l'aparició de l'impremta que divulgà llibres i manuals de nombrosos autors i començà la gran eclosió dels rellotges de sol que omplen ràpidament tot Europa.

Les fotografies (Fig. 16) de Regensburg, Alemanya, mostren el rellotge de l'esquerra, amb gnòmon perpendicular a la paret i amb hores planetàries, datat el 1487 i 22 anys després, el de la dreta ja amb hores astronòmiques i amb el gnòmon inclinat segons la colatitud del lloc.



Figura 16: A la ciutat de Regensburg, Alemanya, el rellotge de l'esquerra, amb gnòmon perpendicular a la paret i amb hores planetàries, datat el 1487. A la dreta, 22 anys després, un altre rellotge ara ja amb hores astronòmiques i amb el gnòmon inclinat segons la colatitud del lloc.

Figure 16: In the city of Regensburg, Germany, the clock on the left, with Gnomon perpendicular to the wall and planetary hours, dated 1487. On the right, 22 years later, another clock with astronomical hours and the Gnomon inclined in function of your colatitude.

Les esglésies, catedrals i edificis públics s'omplen de rellotges de sol, senzills o esculturals, pintats, amb corbes de calendari, i rellotges d'hores babilòniques i itàliques.

Fem aquí un incís per explicar breument aquests tipus d'hores. Les hores babilòniques i itàliques són també hores astronòmiques, és a dir, hores iguals, que només es diferencien amb el moment de començar el dia. Les astronòmiques, dites franceses, europees, o espanyoles, comencen a mitjanit comptant dotze hores i a migdia torna començar el compte de dotze hores més. Aquesta manera de comptar li diem Temps Vertader i per això els rellotges de sol tenen una numeració de dotze hores, mai de 24, si són de Temps Vertader.

En canvi les babilòniques comencen el dia amb la sortida del sol que és l'hora zero. Al cap d'una hora d'haver sortit el sol és l'hora 1 o primera, al cap de dues hores, la segona etc. fins arribar altra vegada a la sortida del sol del dia següent en que marcaria l'hora 24. És a dir, aquest rellotge ens diu les hores que fa que ha sortit el sol.

Les hores itàliques pel contrari, comencen a comptar a la posta de sol de manera que la posta es l'hora 0 i, quan fa una hora que s'ha post el sol es la primera hora, quan en fa dues es la segona, etc. fins arribar a la posta del dia següent en que serà l'hora 24. És a dir, aquest rellotge ens indica les hores que fa que el sol s'ha post i en ocasions canvia el sentit de la numeració per tal que indiqui les hores que falten perquè es pongui el sol, cosa bastant més pràctica.

Un fort competidor

Curiosament al mateix temps que es divulgaven els rellotges de sol, prenia força el competidor més ferotge, els rellotges mecànics, que ja començaven a ser habituals a esglésies i edificis públics. Sortadament, els rellotges mecànics eren tan imprecisos que necessitaven el rellotge de sol per posar-los d'hora.

De fet, no pocs campanars tenien sobre el pinta d'una de les finestres un rellotge horitzontal anomenat testimoni perquè el campaner pogués ajustar el rellotge. A Mallorca, Miguel A. García Arrando (autor del catàleg de RSM) n'ha trobat un a l'arxiu de Felanitx, probablement per posar d'hora algun rellotge mecànic interior.

Es construïren nombroses meridians per assenyalar amb exactitud les dotze, l'hora del pas del sol pel meridià del lloc.



Figura 17: En il·lustració del llibre *La gnomonique pratique*, de Bedos de Celles, es pot veure una de les meridians que es popularitzaren per poder conèixer amb la màxima exactitud les 12 hora local o migdia.

Figure 17: Illustration of the book La gnomonique pratique of Bedos de Celles, you can see one of the meridians that became popular to meet the highest accuracy at 12 local time or noon.

En una il·lustració del llibre *La gnomonique pratique*, de Bedos de Celles, es pot veure (Fig. 17) una de les meridians que es popularitzaren per poder conèixer amb la màxima exactitud les 12 hora local o migdia, moment ideal per ajustar els rellotges mecànics. El Sol no s'equivoca!

Una meridiana amb línies de calendari, al palau de Versalles (Fig. 18), on es pot observar que el gnòmon és una plaqueta metàl·lica amb un petit forat que deixa passar un punt de llum per indicar l'hora amb una precisió molt millor.

Els punts de llum es dugueren al seu màxim aprofitament quan a Itàlia els astrònoms i científics calcularen meridians al trespòl de les grans catedrals i a esglésies per tal, no només de conèixer el migdia exacte, sinó també per poder calcular amb la màxima precisió el moment de l'equinocci de Primavera, necessari per determinar el dia de Pasqua. Com sabeu, el dia de Pasqua és el primer diumenge després de la primera lluna plena després de l'equinocci de Primavera. Aquestes meridians consistien amb un forat a la paret o a la cúpula que projectava un punt de llum sobre una línia, normalment de coure o de llautó, incrustada al trespòl de l'església. La constant penombra i l'altura del forat converteixen les esglésies en vertaderes càmeres obscures que permeten observar perfectament els eclipsis de sol i fins i tot és possible, diuen, veure a vegades les famoses taques solars.

Degut a la falta de rellotges públics que informessin a tot el poble o ciutat de l'hora, sobre tot la de migdia, s'ideà la solució de fer-ho saber a tothom mitjançant les conegudes campanades de les esglésies; n'hi havia però que ho feien saber amb mètodes més



Figura 18: Una meridiana amb línies de calendari, al palau de Versalles, on es pot observar que el gnòmon és una plaqueta metàl·lica amb un petit forat que deixa passar un punt de llum per indicar l'hora amb una precisió molt millor.

Figure 18: A calendar with lines of Meridiana, the palace of Versailles, where you can see that the Gnomon is a metal hanger with a small hole that lets in a ray of light to indicate when a much better precision.

escandalosos com ara una canonada. Podem veure un gravat que representa un parisien davant el popular rellotge de canó (Fig. 19) que hi havia als jardins del Palau Reial. Aquests canons que es popularitzaren i construïren en format de sobretaula tenien una lupa que, situada convenientment sobre l'arc de dates, a les 12 en punt, el punt de llum prenia una metxa que disparava el canó.

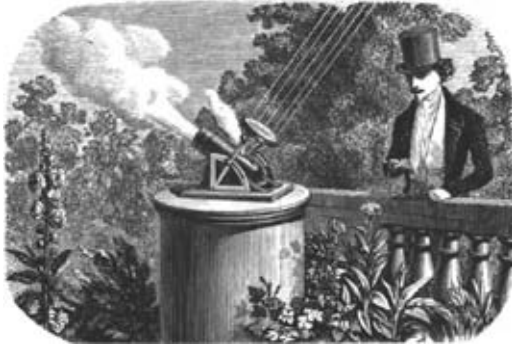


Figura 19: La falta de rellotges públics i la necessitat d'informar a tot el poble o ciutat de l'hora, sobre tot la de migdia, va fer idear solucions com les conegudes campanades de les esglésies; però també hi havia altres solucions més escandaloses, com ara amb una canonada. El gravat representa un parisien davant el popular rellotge de canó que hi havia als jardins del Palau Reial.

Figure 19: Lack of public clocks, and the need to inform the entire town or city of the time, especially the south, did devise solutions known as the bells of the churches, but there were other solutions outrageous, such as a pipe. The engraving represents a popular parisian in front of the gun clock that was in the gardens of the Royal Palace.

Reல்லotges de sol portàtils

En el segle XV, amb la invenció de la impremta, la cultura i els coneixements en general deixaren de ser de titularitat exclusiva dels religiosos i es varen començar a popularitzar. També la ciència dels rellotges va deixar de ser coneixement exclusiu dels astrònoms i va arribar a l'abast dels artesans que, una vegada dominada la tècnica, començaren a construir rellotges portàtils o de sobretaula amb tot tipus de materials fent vertaders objectes de luxe que no podia adquirir qualsevol. Potser d'aquí vengui aquella dita que trobam en alguns rellotges: “de rellotge de sol no en té qui vol”. Es crearen escoles i tallers i només l'habilitat i la imaginació posaven els límits. Així tenim rellotges portàtils de viatge com els rellotges de pastor (Fig. 20).

Els anomenen de pastor perquè diuen que els usaven els pastors dels Pirineus. N'hi havia de senzills, gravats directament damunt la fusta, o més elaborats i decorats segons qui era el destinatari. Els rellotges de pastor són també rellotges d'altura, com els quadrants solars que hem parlat abans, l'hora es determina segons l'altura del Sol.

Els anomenats díptics que es podien tancar i portar a la butxaca i per això també se'ls denomina de butxaca. També hi havia la versió senzilla o econòmica, fet amb fusta i paper, i altres versions de luxe com aquest d'ivori. Tenien un fil que actuava com a gnòmon i podien tenir un rellotge horitzontal i un vertical complementat amb algun altre d'hores itàliques i babilòniques, com podem observar en l'exemplar de la Fig. 21, rèplica del segle XVI.



Figura 20: El rellotge de pastor és un rellotge portàtil de viatge que suposadament usaven els pastors dels Pirineus. N'hi havia de senzills, gravats directament damunt la fusta, o més elaborats i decorats segons qui era el destinatari. Els rellotges de pastor són rellotges d'altura, l'hora es determina segons l'altura del Sol.

Figure 20: The shepherd's clock is a traveling laptop clock supposedly used by shepherds in the Pyrenees. There were singles, recorded directly on the wood, or more elaborate and decorated according to who was the recipient. The shepherd watches are used in mountains, the time is determined by the height of the Sun.



Figura 21: Els díptics o de butxaca es podien tancar i portar a la butxaca. Hi havia la versió senzilla o econòmica, fet amb fusta i paper, i altres versions de luxe com aquest d'ivori. Tenien un fil que actuava com a gnòmon i podien tenir un rellotge horitzontal i un vertical complementat amb algun altre d'hores itàliques i babilòniques, com aquesta rèplica del segle XVI.

Figure 21: The diptic or the pocket watch could be closed or handbag and carry in your pocket. This is a simple and economical version, made with wood and paper; and other versions of this luxury as ivory. They had a thread Gnomon acting as a watch and could have a horizontal and vertical supplemented with another italics and Babylonians hours, as this replica of the sixteenth century.

Un altre model del qual se'n construïren nombrosos exemplars era el denominat Butterfield. Consistia en una petita placa de coure o de llautó amb les línies i hores gravades d'un rellotge horitzontal i amb una brúixola i el gnòmon abatible per tal de poder-lo plegar.

Un model també molt popular va ser l'equatorial plegable i universal que permetia que fos utilitzat a qualsevol latitud contràriament als anteriors que havien de ser construïts per una latitud determinada.

Altres objectes per a dur penjats com ara creus i anells foren molt comuns, així com els gravats de rellotges sobre objectes de culte com els calzes o copons i sobre objectes d'ús diari com ara culleres o ganivets.

Els de sobretaula podien ser de qualsevol forma i material però els més usuals eren els polièdrics (Fig. 22). En definitiva, com hem dit abans, només la imaginació posava límits a la construcció de rellotges de sol sobre qualsevol objecte.

En el conegut quadre de Holbein pintat a l'any 1533 i titulat Els Ambaixadors podem veure una sèrie de rellotges de sol portàtils pintats amb una precisió espectacular, entre altres instruments científics i astronòmics, i que indica la importància que havien adquirit els rellotges de sol a tots els àmbits.



Figura 22: Els rellotges de sobretaula podien ser de qualsevol forma i material però els més usuals eren els polièdrics.

Figure 22: The desktop clocks could be of any shape and material but the most common were polyhedral.

La gnomònica a Mallorca

Podria dir-se que aquest fenomen va succeir simultàniament a tot Europa, i Espanya i Mallorca no quedaren darrera. Quan al segle XV hi hagué el boom dels rellotges de sol, ja hem dit que coincidí en que també per aquell temps ja s'havien inventat els primers grans rellotges mecànics que començaven a ocupar els primers campanars de les esglésies més importants. Curiosament a Mallorca tenim notícies de rellotges mecànics abans que de rellotges de sol ja que en el segle XIV s'instal·là el primer a Palma, concretament l'any 1386 en una torre del convent dels Dominics (torre de ses Hores) en el carrer de la Victòria, però que curiosament l'anomenaven rellotge de sol perquè tocava les hores segons la sortida i posta del sol. És a dir, de dia tocava hores babilòniques i de nit hores itàliques. Es tractava del famós rellotge anomenat en Figuera, pel nom del que va fondre la campana, la qual es troba avui a l'Ajuntament de Palma. Quan es va instal·lar el rellotge a l'Ajuntament el 1849, amb la campana en Figuera i per tal de que no hi hagués més confusions hi ha una inscripció que diu clarament que el rellotge marca hores de temps mitjà.

Trobam referències a un altre rellotge que tocava aquest tipus d'hores situat a sa Llotja. La referència diu que per tal de posar-lo en hora el rellotger encarregat se servia d'un rellotge de sol que hi havia al jardí de sa Llotja.

Autors com en Tosca i altres que escrigueren tractats sobre gnomònica asseguren que en el seu temps a Mallorca s'utilitzaven les hores babilòniques i que eren tan complicades d'entendre que quan els mallorquins trobaven algun assumpte difícil o complicat solien dir: Això es més embolicat que ses hores babilòniques.

També els autors mallorquins en els seus traçats descriuen com incloure aquestes hores als rellotges de sol, fins i tot en Berard elabora una taula per tal de saber cada dia a quina hora era el tercer toc de nit anomenat toc de queda o el seny del lladre. Malgrat els comentaris d'aquests autors no hem trobat cap evidència de que s'utilitzessin rellotges de sol d'hores babilòniques a Mallorca per la qual cosa pensam que probablement només eren aquests dos rellotges mecànics que tocaven d'aquesta manera.

A Mallorca el rellotge de sol més antic descobert recentment amb data inscrita el trobam a l'església de Santa Margalida (Fig. 23). Té la data de 1576 però encara no estam segurs de quin tipus de rellotge era perquè la disposició de les hores i la numeració no és l'ortodoxa.



Figura 23: A Mallorca, el rellotge de sol més antic amb data inscrita (1576) el trobam a l'església de Santa Margalida, encara que no se sap ben bé quin tipus de rellotge era perquè la disposició de les hores i la numeració no és l'ortodoxa.

Figure 23: In Mallorca, the oldest sundial inscribed with date (1576) find the Santa Margalida church, although nobody knows exactly what type of clock available was, because of the hours and the numbering is not orthodoxy.

Després d'aquest ja no n'hem trobat cap altre amb data inscrita fins al segle XVII i el primer que trobam més antic amb data inscrita és solament a través d'un dibuix que representa un rellotge que estava situat al frontó de l'església de Santa Eulàlia a Palma (1606) i que desaparegué amb la reforma de la façana. El que hem trobat més antic de tots, encara que restaurat, és el de Son Puig de Puigpunyent. I el que hem trobat original, sense cap restauració i amb data inscrita continua encara a la façana de la possessió de Sa Carrossa, a Artà, datat a l'any 1624.

A la península comencen a aparèixer els primers llibres d'autors espanyols, escrits en espanyol i a Mallorca també alguns gnomonistes deixaren els seus escrits, gairebé tots manuscrits i inèdits. Hem pogut trobar a les biblioteques mallorquines obres de Fra Josep Maria de Mallorca, del prevere Joan Oliver, de Gabriel Palmer amb un text sense data però idèntic al de Joan Oliver i trobat a la biblioteca Nacional de Madrid, de Fra Miquel de Petra, del qual hem trobat dues còpies més, una d'elles a la biblioteca de Tarragona, i de Jeroni de Berard i d'un anònim. També escrigueren sobre rellotges el pintor Gabriel Carbonell, l'historiador Joan Binimelis i Vicenç Mut. Aquests gnomonistes i les seves obres ajudaren a difondre aquesta ciència que permeté sembrar pràcticament Mallorca de rellotges de sol durant els segles XVIII i XIX.

M. A. García Arrando ha elaborat i editat un catàleg de Rellotges de sol de Mallorca on en té recollits més de 700 però sabem segur que n'hi ha un miler com a mínim, la qual cosa ens converteix amb la segona regió d'Europa amb més rellotges de sol per quilòmetre quadrat.

Estat actual

A la segona meitat del segle XIX els rellotges de sol començaren a decaure amb l'arribada del ferrocarril i el telègraf quan fou necessari crear un horari vàlid per a tot el món basat amb els fusos horaris i en el meridià de Greenwich en lloc del meridià local. S'inventà el Temps Mitjà i els rellotges de sol deixaren de ser funcionals per aquest nou horari. Poc a poc, en el segle XX caigueren en el desús, l'oblit i la deixadesa, fins arribar a la més total indiferència dels seus propietaris i de les autoritats pertinents sent-ne la causa principal del seu actual estat d'abandonament i degradació. No obstant això, des de fa uns anys ha ressorgit l'interès pels rellotges de sol, i gràcies a una sèrie de gnomonistes (pocs, la veritat) han començat a construir-se nous rellotges i a restaurar-ne alguns dels antics. El nostre desig és que aquestes actuacions augmentin per tal de preservar un patrimoni gnomònic que és l'enveja de moltes regions d'Europa. Hem de tenir en compte que tenim un miler de rellotges de sol i que comunitats com Madrid, Galícia o Andalusia en prou feines arriben als dos-cents. Crec que mereix l'esforç recuperar els que encara són recuperables i evitar la seva desaparició. L'associació ARCA ha constituït una Comissió de Rellotges de Sol formada per Rafel Soler, M. A. García Arrando i jo mateix amb l'objectiu precisament de salvaguardar al màxim el patrimoni gnomònic. Intentam també augmentar en la mesura de les nostres possibilitats el parc gnomònic mallorquí amb noves creacions tant en espais privats com públics. El darrer exemple de rellotge monumental és el bifilar amb doble catenària dissenyat per Rafel Soler i que es pot veure a la UIB. I aquí donam per acabat aquest breu recorregut per la història dels rellotges de sol, una ciència que com heu vist va necessitar milers d'anys per arribar a lo que avui són els rellotges de sol. Ara ens pot semblar que no hi ha per tant però heu de tenir en compte que fins que no s'assoliren els coneixements astronòmics necessaris per conèixer i entendre la realitat còsmica, i els coneixements geomètrics per poder projectar aquesta realitat sobre un pla no fou possible poder fer un rellotge ben fet.

Geologia de la Lluna

Damià Crespi

Museu Balear de Ciències Naturals (MBCN). Ctra. Palma-Port de Sóller, km 30,5.
E-07100. Sóller.

Societat d'Història Natural de les Balears (SHNB). Margarida Xirgu, 16, baixos.
E-07011. Palma.



Crespi, D. (2010). Geologia de la Lluna. In: Ginard, A., Pons, G.X. i Vicens, D. (eds.). Història i Ciència: commemoració dels 40 anys de l'arribada de l'home a la Lluna. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 16; 61-94. SHNB - OAM - UIB. ISBN 978-84-15081-49-4.

Resum: Ja des d'antic es coneix que la Lluna està formada per dos tipus de terrenys que tradicionalment s'han anomenat *maria* i *terrae*. Les mostres recollides per les missions Apol·lo, Luna i els meteorits d'origen lunar trobats a la Terra ens han permès conèixer la composició mineralògica i la petrologia de les roques lunars, així com la seva edat absoluta. Ara sabem que els *maria* estan formats per basalts (un tipus de roca volcànica), mentre que les *terrae* estan composts d'anortosita, que formà l'escorça lunar primitiva.

Un dels descobriments més importants de les sondes Clementine i Lunar Prospector, que arribaren a la Lluna a finals del segle passat, fou la trobada d'aigua gelada a les zones que romanen en l'ombra permanent dels pols.

La Lluna està dominada pels impactes que han configurat la seva morfologia i la seva estructura. A més, s'observen algunes estructures de possible origen volcànic, i d'altres relacionades amb el refredament i la subsidència de les laves.

Les mostres dutes per les diferents missions, així com les observacions dels trets superficials de la Lluna, ens han permès esbossar la seva història geològica. En primer lloc tenim la seva formació que es produí fa uns 4550 milions d'anys, sembla ser per un impacte que arrencà grans quantitats de materials de la Terra; en segon lloc va formar-se l'escorça lunar a partir d'un oceà de magma que ens deixà l'escorça anortosítica fa uns 4200 milions d'anys; en tercer lloc va venir un intens bombardeig asteroidal que formà nombrosos cràters i les conques d'impacte (abans de fa 3800 milions d'anys); després vengué l'ompliment de les conques amb les laves basàltiques dels *maria*. Una vegada s'acabà tota l'activitat volcànica (fa uns 1000 milions d'anys) la superfície de la Lluna només s'ha vista afectada per algun impacte ocasional, per l'efecte de la radiació solar i per la gravetat. Es pot dir que la Lluna és un astre geològicament mort, en què la major part dels seus materials tenen més de 3000 milions d'anys.

L'estudi de la geologia lunar ha facilitat el coneixement geològic que es té d'altres cossos planetaris. Ha estat especialment rellevant en l'estudi de la Terra, ja que la Lluna ens revela com fou la història primigènica del nostre planeta; de Mercuri, ja que la seva superfície és molt semblant a la de la Lluna; de Mart, ja que la zona meridional del planeta s'ha vist que era molt similar a la superfície lunar; i de Venus, ja que l'estudi dels impactes sobre aquest planeta, feta amb els mateixos criteris que els emprats per a la geologia lunar, ens informa sobre la seva dinàmica.

Abstract: Since ancient times it is known that the moon is made of two types of land traditionally called maria and terrae. The samples collected by the Apollo missions, Moon and meteorites of lunar origin found on Earth have allowed us to determine the mineralogical composition and petrology of lunar rocks, as well as its absolute age. Now we know that the maria are composed of basalt (a type of volcanic rock), while the terrae are composed of anorthosite, which formed the primitive lunar crust. One of the most important discoveries of the Clementine and Lunar Prospector probes that reached the moon by the end of last century, the meeting was ice water in areas that remain permanently in the shadow of dust. The Moon is dominated by impacts that have shaped the morphology and structure. In addition, there are some possible volcanic structures, and other related cooling and subsidence of the lava.

Samples for different missions, as well as observations of surface features of the moon allowed us to outline its geological history. Firstly we have the training that took place 4550 million years ago, seems to be an impact burst that large amounts of materials from Earth, and secondly to the crust formed from a lunar ocean magma that left the crust anorthositic 4200 million years ago, in third place came an intense bombardment that formed Asteroid numerous impact craters and basins (before 3800 million years ago), then followed the filling of basins with basaltic lavas of the maria. Once completed all the volcanic activity (about 1000 million years) surface of the Moon is only occasionally affected by any impact, the effect of solar radiation and gravity. You could say that the moon is geologically dead moon, where the bulk of their materials have more than 3000 million years.

The study of lunar geology has provided geological knowledge that has other planetary bodies. It was particularly important in the study of Earth as the moon was the story reveals how our primitive planet Mercury, because its surface is very similar to the Moon, Mars, since the southern part of the world has seen that was very similar to the lunar surface, and Venus, as the study of impacts on this planet, made the same criteria as those used for lunar geology, report on its dynamics.

Introducció: Generalitats sobre la geologia lunar

La Lluna és l'únic astre del qual nosaltres en podem veure detalls quan l'observam a ull nu. Això és possible per la proximitat a la que es troba, i també perquè a la Lluna hi ha dos tipus de terrenys ben diferenciats per la quantitat de llum solar que reflecteixen (Fig. 1 i 2). Seguint la terminologia establerta des del segle XVII, les zones més fosques són els *maria* (mars en llatí, en singular *mare*), encara que no tenen res a veure amb les mars terrestres i no han tengut mai ni una sola gota d'aigua; les zones relativament més clares s'anomenen *terrae* (terres en llatí, en singular *terra*) en contraposició a les mars. En realitat aquesta diferenciació correspon a diferències en la litologia. Les *terrae* es corresponen a terrenys formats en les primeres etapes evolutives de la Lluna i corresponen a una escorça lunar formada principalment per anortosita (roca plutònica constituïda principalment pel mineral anortita, que és el feldspat de calci), mentre que els *maria* en realitat són planes basàltiques. Els *maria* ocupen el 16% de la superfície de la Lluna, mentre que les *terrae* ocupen el 84% restant (Wilhelms, 1987). Lligats als *maria* trobam zones amb anomalies gravitatòries positives molt marcades, que reben el nom de mascons (paraula formada per la contracció de *mass concentrations*, concentració de massa en anglès). Aquests no tenen equivalències terrestres i s'explicaran en l'apartat dedicat als *maria*.

La primera missió russa, Luna 3, que pogué fotografiar la cara oculta, el 1959, constatà la gran diferència que hi havia entre la cara visible i l'oculta. Quasi totes les mars es troben a la cara visible, encara que a la cara oculta i al límit entre les cares visible i oculta, també existeixen depressions amb basalts recoberts de blocs ejectats pels impactes que varen generar les grans conques d'impacte. Per aquest motiu podem afirmar que aquests basalts són més antics que els

que omplen els *maria* de la cara visible. Així i tot, aquests basalts més antics es troben quasi tots a la gran depressió Aitken del Pol Sud, encara que tenen molt poca potència i no són massa extensos (Spudis, 2008). Aquesta dicotomia entre cara visible i cara oculta es pot deure al fet que l'escorça lunar no té la mateixa gruixa a les dues cares: en la visible assoleix 60 km, mentre que en l'oculta arriba als 100 km. Aquesta diferència de gruixa de l'escorça lunar encara no està ben explicada, però és probable que es degui a la diferència de grans impactes que reberen les dues cares de la Lluna (Anguita, 1988).



Figura 1: Cara visible de la Lluna, mosaic d'imatges obtingudes per la sonda Clementine. (NASA/Cortesia de nasaimages.org).

Figure 1: Near side of the moon, mosaic of images obtained by the Clementine spacecraft. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

Figura 2: Cara oculta de la Lluna, mosaic d'imatges obtingudes per la sonda Clementine. (NASA/Cortesia de nasaimages.org).

Figure 2: Far side of the moon, mosaic of images obtained by the Clementine spacecraft. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

Una altra de les característiques de la geologia de la Lluna és que la superfície d'aquesta no es troba alterada per la geodinàmica externa, ja que la Lluna no té atmosfera, ni vent, ni pluges, ni escorrentia superficial. És a dir, no actuen agents externs que modelin la superfície lunar com succeeix a la Terra. La Lluna tampoc no es veu afectada per la geodinàmica interna. Dit amb altres paraules, a la Lluna no hi ha activitat tectònica activa, ni compressiva (com la que forma serralades de muntanyes), ni extensiva (com la que forma fosses tectòniques) així com tampoc no hi ha indicis d'activitat volcànica recent. Les falles, fosses tectòniques i manifestacions volcàniques que es poden evidenciar a la superfície lunar tenen uns quants milers de milions d'anys d'antiguitat, i les úniques modificacions de la superfície lunar es deuen als impactes meteorítics, lliscaments gravitatoris del terreny i a la radiació solar.

Encara que sembla que fa milers de milions d'anys que no hi ha hagut falles actives ni vulcanisme actiu a la Lluna, sí que s'hi han detectat moviments sísmics a una fondària de 800 km. Només són de baixa intensitat (magnitud 1-2 en l'escala de Richter) i potser es deuen a les forces mareals provocades per la Terra.

Finalment cal destacar que ja que actualment la superfície lunar roman pràcticament inalterada podem concloure que els materials i les morfologies superficials que trobam a la superfície lunar són extraordinàriament antics. Aquest fet s'ha confirmat amb les datacions que s'han fetes de les roques dutes en les diverses missions. No obstant això, la Lluna sofreix

alteracions. Ja hem esmentat que la Lluna no té atmosfera, un dels efectes que se'n deriva és que la superfície lunar pateix els efectes de variacions tèrmiques molt acusades, que varien entre un màxim diürn de 107°C i un mínim nocturn de -173°C (Anguita, 1988).

Es pot concloure que la geologia de la Lluna és senzilla quant a les seves característiques generals però complexa en detall (Wilhelms, 1987), ja que la seva superfície és el resultat de l'acumulació d'efectes produïts a la Lluna durant milers de milions d'anys.

Origen de la Lluna

Per explicar les teories que es tenen sobre l'origen de la Lluna s'han de tenir en compte les peculiaritats del nostre satèl·lit (Anguita, 1988):

- La Lluna és l'únic satèl·lit d'un planeta terrestre, exceptuant els petits satèl·lits de Mart, que probablement són asteroides capturats.
- En primer lloc s'ha de tenir en compte que la Lluna és el satèl·lit més gros en relació amb el planeta sobre el qual orbita (s'exclou Plutó, ja que aquest es classifica actualment en la categoria de planeta nan). La relació de masses entre la Lluna i la Terra (1/81) és molt alta, superant de molt la de Ganimedes/Júpiter ($1/1,3 \cdot 10^4$) i la de Tritó/Neptú ($1/1,8 \cdot 10^3$).
- El sistema Terra-Lluna té un elevat moment angular (que correspon a la suma de les masses d'un sistema per la seva velocitat i pel radi amb què giren), i que es deu a l'elevada velocitat de translació de la Lluna al voltant de la Terra.
- La Lluna té una densitat baixa ($3,3 \text{ g/cm}^3$) respecte a la Terra ($5,5 \text{ g/cm}^3$), cosa que indica que el seu nucli ha de ser molt reduït ($< 4\%$ de la massa lunar) i que la seva densitat s'aproxima a la del mantell terrestre.
- L'òrbita de la Lluna no es troba al pla equatorial terrestre, però tampoc en el pla de l'eclíptica, sinó en un pla entremig entre els dos, amb 5° d'inclinació respecte aquesta.
- La Lluna no té més d'un 10% del ferro i d'elements afins (sideròfils), mentre que la Terra en té un 30%.
- Té unes cent vegades menys elements i composts volàtils (Na, K, C, Pb i H_2O) que la Terra.
- Té fins al doble d'elements refractaris (Ti, Ba, Ca o U) que la Terra.

Existeixen quatre teories principals per explicar l'origen del nostre satèl·lit, que es poden trobar explicades a Brush (1986), Wood (1986) i Anguita (1988):

- **Teoria de la formació comuna:** formulada per Roche (1873). Segons aquesta, la Lluna s'hauria format a partir del mateix núvol de pols que la Terra. Aquesta teoria no explica les diferències de composició de la Terra i la Lluna ni el moment angular del sistema Terra-Lluna, anormalment alt.
- **Teoria de l'expulsió:** deguda a George Darwin (1878 i 1879). La Lluna s'hauria format per la separació a partir d'una Terra encara fluïda, degut a que aquesta girava a una velocitat molt elevada en el seu origen. Aquesta teoria explicaria que la composició mitjana de la Lluna s'assembla a la del mantell terrestre, encara que no explica la presència d'elements estranys al satèl·lit ni com ha pogut disminuir de forma tan accentuada la velocitat de rotació de la Terra. A més a més, l'òrbita lunar hauria de ser equatorial i la fissió hauria donat dos cossos més semblants quan a la massa.
- **Teoria de la captura:** formulada per See (1909a, b). La Lluna s'hauria format a una zona allunyada de l'òrbita terrestre del Sistema Solar, i hauria estat capturada per la Terra quan aquesta s'hi hagués apropiat. Hi ha tres mecanismes que fan possible la captura (Jewitt *et al.*, 2008): La primera és que la Terra es veiés envoltada per un núvol de gas i pols que frenàs

el cos planetari quan aquest entra a la zona de possible captura, anomenada esfera de Hill, aquest és un mecanisme anàleg al que realitzen alguns satèl·lits llençats per l'home i que s'han posat en òrbita al voltant d'alguns planetes; el segon mecanisme és que la Terra incrementà la seva massa quan la Lluna es trobà a l'esfera de Hill; i la tercera és per la interacció amb un altre cos planetari (conegut com el problema de la interacció entre tres cossos), un d'ells s'accelera i l'altre es frena i entra en òrbita terrestre. El primer cas implicaria que el núvol de gas i pols hauria d'haver estat molt dens, cosa poc probable pel cas del sistema Terra-Lluna, ja que no es creu que la Terra tengués aquest embolcall de gasos en el seu inici i la Lluna és un cos massa gros per ser frenada fàcilment, encara que es creu probable per explicar la captura d'alguns satèl·lits irregulars dels planetes gegants gasosos. En el segon cas no s'explicaria un creixement tan sobtat de la massa terrestre. El tercer cas és tan poc probable mecànicament que un cos de les dimensions de la Lluna quedi en una òrbita estable al voltant de la Terra que avui en dia aquesta teoria s'ha descartat quasi completament. Finalment la composició química de la Lluna, i especialment la seva composició isotòpica, no és la que tendria un cos format enfora de la Terra.

- **Teoria del despreniment:** segons Hartmann i Davis (1974) la Lluna s'hauria format com a resultat de la col·lisió d'un cos planetari de la mida de Mart contra la Terra (teoria de la fissió induïda o hipòtesi del gran impacte). Aquest impacte, que va tenir lloc farà més de 4500 milions d'anys abans del present, hauria després part del mantell terrestre, que junt amb fragments del cos impactant, hauria format un disc de material al voltant de la Terra que s'hauria anat ajuntant fins a formar la Lluna. Els petits cossos que s'uniren per formar la Lluna s'acumularen tan de pressa que la calor generada en liquà les capes externes i formà un oceà de magma. L'escorça lunar es formà pels minerals de baixa densitat que suraren per sobre d'aquest oceà magmàtic. Aquesta teoria és la que té més seguidors actualment, ja que explica alguns dels problemes clàssics sobre l'origen lunar: la menor densitat i quantitat d'elements sideròfils són lògics, així com el petit nucli lunar, ja que la matèria que formà la Lluna prové del mantell terrestre amb part del cos impactant; a la col·lisió es generà una gran quantitat de calor que eliminà els elements volàtils, i enriquí el núvol protolunar en elements refractaris; la gran mida de la Lluna és explicable pel fet que un cos impactant gros podia haver vaporitzat i posat en òrbita vàries masses lunars. El principal inconvenient d'aquesta teoria és que no explica perquè no hi ha més satèl·lits com la Lluna envoltant altres planetes terrestres, si se suposa que aquests impactes gegants foren freqüents en els inicis del Sistema Solar.

Materials de la Lluna

Mostres recollides

Actualment, disposam de mostres de roques i de regolita lunars de tres fonts diferents:

Les obtingudes pel programa Apol·lo nord-americà, des de l'Apol·lo XI (1969) fins a l'Apol·lo XVII (1972), que en total sumen 2415 mostres. Les expedicions que retornaren més mostres foren els Apol·lo XV, XVI i XVII, i en total s'obtingueren aproximadament 382 kg de mostres de diverses parts de la Lluna.

Les obtingudes pel programa Luna soviètic, amb les sondes no tripulades Luna 16 (1970), Luna 20 (1972) i Luna 24 (1976), que aportaren en conjunt 326 g de sòl lunar.

Des de l'any 1980 es disposa de meteorits originats per impactes a la Lluna, que han aportat mostres representatives de la superfície del nostre satèl·lit. En total es tenen 120 meteorits lunars que corresponen a 60 caigudes sobre la Terra, que sumen una massa total de 48

kg. Molts d'ells han caigut sobre l'Antàrtida i han estat recollits per missions nord-americanes i japoneses, la major part de la resta de mostres han estat recollides per recol·lectors anònims a zones desèrtiques del nord d'Àfrica i d'Oman.

La Lluna és l'únic cos del Sistema Solar, deixant de banda la Terra, del que es tenen mostres geològiques recollides en el seu context geològic.

La regolita

La regolita també s'anomena sòl lunar, està formada per roca fragmentada que varia entre la mida argila i blocs de diversos metres de diàmetre, produïda pels continus impactes meteorítics que rep la superfície de la Lluna. Els centímetres superiors estan formats per una substància pulverulenta, cohesiva, de color marró o grisa, de mida de gra entre el llim i l'arena fina (Strahler, 1992). La regolita té una potència mitjana de 5 a 6 m en els *maria* i de fins a 10 m a les *terrae*. Aquest material solt és fàcil de penetrar, però quan està compactat és capaç de suportar el pes dels astronautes i del seu equip.

La regolita lunar ha resultat ser un conjunt de minúsculs fragments rocosos de basalts i d'anortosites, materials que seran explicats a continuació, així com també es troben nombroses bolletes vítries anomenades esfèrules (Strahler, 1992). Es considera que les esfèrules es formen com a "esquitxos", resultants del refredament sobtat de la roca fusa per l'impacte. Seria com un raig atomitzat de gotetes. Durant els darrers 1000 milions d'anys la regolita s'ha anat formant a raó d'1 mm cada milió d'anys (Wilhelms, 1987).

Una altra característica interessant de les roques trobades a la superfície lunar és la presència de foradets de menys d'1 mm de diàmetre, envoltats de vidre (Strahler, 1992). Aquests forats s'anomenen *zap pits* en anglès i es formen per microimpactes. Això suposa una mena de procés erosiu que funciona sobre la superfície actual de la Lluna.

Finalment cal destacar la importància que ha tengut sobre la regolita el bombardeig continuat del vent solar format bàsicament per protons i electrons, que durant milers de milions d'anys, ha afectat profundament la superfície lunar (Smoluchowski, 1986). Com a resultat d'aquest bombardeig la superfície s'ha anat obscurint i fa que les partícules fines, que queden ionitzades, es vagin adherint entre elles, cosa que fa que els impactes meteorítics i els materials que mobilitzen es vegin blancs, ja que exposen materials que no han sofert aquesta acció d'enfosquiment.

Bretxes

Les bretxes estan formades per fragments de roques lunars soldades entre elles per una matriu vítria. Es formen per l'efecte dels impactes sobre la superfície lunar i són les roques més freqüents sobre la seva superfície. Els clastes que constitueixen les bretxes poden provenir d'altres bretxes anteriors, així com de les roques que formaren la Lluna primitiva. Així, un sol tros de bretxa lunar pot contenir representants de roques ígnies de fonts molt diverses. S'ha comprovat que quasi tot el material suficientment dur per ser anomenat roca consisteix tan sols en fragments de roques o fragments cohesionats de roques (Strahler, 1992). Tot el que sabem de la petrologia lunar prové dels fragments de roques que constitueixen les bretxes, que representen les litologies que tenen per davall.

Com ja hem dit, l'origen de les bretxes es troba en els impactes que rep sobre la seva superfície. Aquests impactes cimenten partícules que prèviament s'havien fragmentat pel xoc, segons un procés anomenat metamorfisme d'impacte (Strahler, 1992). Les bretxes constitueixen una potent capa que en les *terrae* pot arribar a tenir una potència mitjana de 2 km, de vegades anomenada megaregolita.

Basalts dels maria

Els basalts són les roques volcàniques que han omplert les conques d'impacte sobre les que es localitzen els maria (a la fig. 3, el Mare Imbrium). Els basalts tenen equivalents terrestres ben coneguts, com a la roca volcànica més comuna al nostre planeta, i està formada pel feldspat plagiòclasi càlcic (anortita), piroxè i comunament també olivina. El basalt lunar és molt semblant, llevat que els basalts dels maria són més rics en ferro i més pobres en sílice que els terrestres (Strahler, 1992). Els basalts dels maria arriben a tenir colades de fins a 1000 km de longitud (Anguita, 1988), cosa que ens indica que la Lluna ha passat per etapes de temperatura elevada, en què les laves arribaven a assolir temperatures de 1200 a 1400°C (quan les temperatures terrestres típiques d'una lava basàltica són de 1000°C). Aquestes laves tenien una viscositat semblant a la de l'oli de motor (Anguita, 1988). L'etapa principal de formació dels basalts se situa entre els 3900 i els 3200 milions d'anys abans del present, encara que va existir un vulcanisme residual fins fa 1000 milions d'anys.



Figura 3: Vista del Mare Imbrium mirant cap al sud. Devora l'horitzó es veu el cràter Copèrnic, més a prop es veuen alineacions de cràters secundaris i cràters allargats deguts a l'impacte del cràter Copèrnic. Al centre de la imatge es troba el cràter Pytheas i a l'extrem superior del Mare Imbrium hi ha els Montes Carpatius.
(NASA/Cortesia de nasaimages.org).

Figure 3: View of Mare Imbrium looking south. Along the horizon is the Copernicus crater, closer alignment of craters are secondary craters and elongated craters due to the impact of Copernicus crater. The center image is the Pytheas crater and the upper end of Mare Imbrium is the Montes Carpatius.
(NASA/Courtesy of nasaimages.org).

Segons la seva composició, des dels dies de les primeres missions Apol·lo, s'han diferenciat en basalts rics en titani, pobres en titani i molt pobres en titani, segons el contingut en aquest element químic. Això fou degut a que els primers astronautes que arribaren a la Lluna amb la missió Apol·lo XI recolliren mostres lunars que resultaren ser basalts anormalment rics en titani. Aquest fet suposà un dels problemes més intrigants de les missions Apol·lo, els geòlegs lunars trobaren moltes dificultats per explicar com els magmes d'alta densitat i elevat contingut en titani pogueren ascendir per sobre de l'escorça anortosítica, menys densa. Les missions Clementine i Lunar Prospector, que la NASA dugué a terme als anys noranta del segle XX, demostraren que les grans quantitats de titani trobades per l'Apol·lo XI són molt rares a la Lluna. Encara que els basalts dels maria lunars presenten diverses concentracions en titani, només una petita fracció contenen les quantitats extremes observades al Mare Tranquillitatis. Així es tanca un dels problemes més inexplicables de la geologia lunar (Spudis, 2008).

La nau Galileo, en el seu viatge cap a Júpiter, va realitzar dos vols sobre el sistema Terra-Lluna, va observar els maria per mitjà de filtres espectrals que facilitaren informació sobre la seva composició superficial; els resultats provaren que la teledetecció pot establir la successió de fluxos de lava dels maria (Spudis, 2008). L'edat de cada colada es determina mesurant la densitat de cràters d'impacte. Com ja s'explicarà més endavant, els maria més primitius han estat exposats a un intens bombardeig durant més temps que els maria més recents, per la qual

cosa presenten una major densitat de cràters. S'ha calculat l'edat dels *maria* en els llocs on allunitzaren les missions Apol·lo per mitjà dels radioisòtops, les dels altres *maria* s'ha calculat comparant les densitats de cràters entre ells (Spudis, 2008).

Encara que els *maria* destaquen pel seu color fosc, també hi ha regions de les *terrae* amb una reflectància intermèdia entre els *maria* i les *terrae*, i amb un elevat contingut en ferro, Fe. Algunes d'aquestes són dipòsits de *maria* coberts per blocs de les terres altes ejectats pels impactes que generaren les depressions. Així doncs són *maria* que es formaren abans de l'acabament de la formació de les conques d'impacte, fa 3800 milions d'anys (Spudis, 2008); és a dir el vulcanisme es va iniciar a una etapa anterior a la de formació dels grans *maria* de la cara visible. Aquest fet ja se sospitava amb anterioritat (Wilhelms, 1987), però ha estat confirmat per les dades de les sondes Clementine i Lunar Prospector. Aquestes colades antigues es troben sobretot a la cara oculta i al límit entre les cares visible i oculta. L'acumulació més important de basalts de *maria* de la cara oculta es troba a la gran depressió Aitken del Pol Sud (Spudis, 2008).

Unes altres roques relacionades amb els basalts dels *maria* són els KREEP. Aquestes són roques volcàniques enriquides en potassi (símbol químic K), terres rares (*Rare Earth Elements*, en anglès) i fòsfor (símbol químic P). Aquestes roques es coneixen per les mostres recollides a l'*Oceanus Procellarum* per les missions Apol·lo XII i Apol·lo XIV. Aquests elements són incompatibles: no encaixen bé en els minerals que trobam normalment a les roques comunes. L'existència de roques riques en KREEP indiquen que la Lluna sofrí intensos processos de fusió i diferenciació magmàtica, durant els quals els elements incompatibles s'anaven concentrant en la part fusa, que acabà donant magmes rics en KREEP. La nau Lunar Prospector a finals dels anys noranta del segle passat va descobrir que les majors concentracions en KREEP es donen a l'*Oceanus Procellarum* encara que es desconeix el motiu d'aquesta distribució (Spudis, 2008).

Com ja hem comentat abans, associats als *maria* hi ha grans anomalies positives de gravetat (els mascons). Aquestes es coneixen des dels primers temps de l'exploració espacial, i són tan intenses que alteren de manera significativa les trajectòries de les naus en òrbita. Inicialment es pensava que podien correspondre a la gran potència que podien assolir els basalts dels *maria*, que no es veuria compensada isostàticament degut a la rigidesa de l'escorça lunar. Anguita (1988) arriba a afirmar que els basalts probablement assoleixin els 8 km de gruix en alguns punts. La sonda Lunar Prospector va obtenir dades de gravimetria més precises, i es va veure que la gravetat era encara més alta del que s'esperava quan sobrevolava algunes de les conques més recents. Segons Spudis (2008) els basalts no semblen ser els culpables de les anomalies ja que les acumulacions totals no semblen ser superiors als 200 m. La causa més probable de les anomalies serien les intrusions de roques denses procedents del mantell lunar a l'escorça davall de les depressions en què es localitzen els *maria*.

Anortosites

Són roques plutòniques formades bàsicament pel feldspat del grup de les plagiòclasis anomenat anortita (feldspat de calci, $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$). Alguns autors prefereixen referir-se a aquestes com a anortosita gàbrica o gabre anortosític, ja que la seva composició és intermèdia entre la dels gabres i la de les anortosites. Algunes mostres tenen una composició més semblant a la de les norites i de les troctolites. Les anortosites tenen el seu equivalent terrestre, encara que a la Terra són un tipus de roca molt infreqüent. Es creu que es varen formar quan es fongué l'escorça de la Lluna i aquesta va quedar coberta per un oceà de magma. Quan aquest començà a refredar-se cristal·litzaren les anortites, que en ser menys denses que el magma suraren per sobre i formaren l'escorça anortosítica. Sembla que l'escorça lunar quedà consolidada fa aproximadament 4200 milions d'anys. Aquests descobriments, que daten de l'època en què s'analitzaren les mostres obtingudes per les missions Apol·lo, varen ser confirmats amb les dades de les missions Clementine i Lunar Prospector, que establiren la distribució global i la gran quantitat d'anortosita present a la Lluna (Spudis, 2008). Actualment es pensa que l'única

font de calor que pogué liquar la Lluna sencera fou l'acumulació molt ràpida de cossos petits. És a dir que la presència d'anortosita dona suport a la teoria de la formació de la Lluna per un gran impacte (Spudis, 2008).

Aigua

A l'any 1994, el Departament de Defensa dels Estats Units llençà la sonda Clementine. Mentre envoltava la Lluna en òrbita polar havia de provar uns sensors contramíssils. Aquesta sonda va orbitar la Lluna durant 71 dies. El més important és que va obtenir proves, mitjançant un experiment improvisat amb un radar, de l'existència d'aigua gelada a les regions del Pol Sud que sempre estan a l'ombra (Fig. 4). Les superfícies rocalloses dispersen les ones de ràdio de forma aleatòria; en canvi el gel les reflecteix de forma coherent. Quan Clementine dirigí les ones cap al Pol Sud en ombra permanent, les senyals reflectides correspongueren a les d'una superfície gelada. Posteriorment, la NASA va situar en òrbita lunar el Lunar Prospector a l'any 1998, que en cartografià la superfície per mitjà d'espectroscòpia de rajos gamma i neutrons. Aquestes permeteren observar grans quantitats d'hidrogen a las regions obscures dels dos pols, per la qual cosa la hipòtesi més versemblant és que correspongués a l'hidrogen de l'aigua gelada. Es confirmà així l'existència de gel en el Pol Sud i es descobriren nous dipòsits en el Pol Nord. Les estimacions actuals apunten que existeixen més de deu mil milions de tones de gel, amb una gruixa de 30 cm, a la superfície dels dos pols. Finalment la nau xocà contra el nostre satèl·lit, ja que s'esperava que sorgís un raig de vapor d'aigua, però no s'observà res (Spudis, 2008).

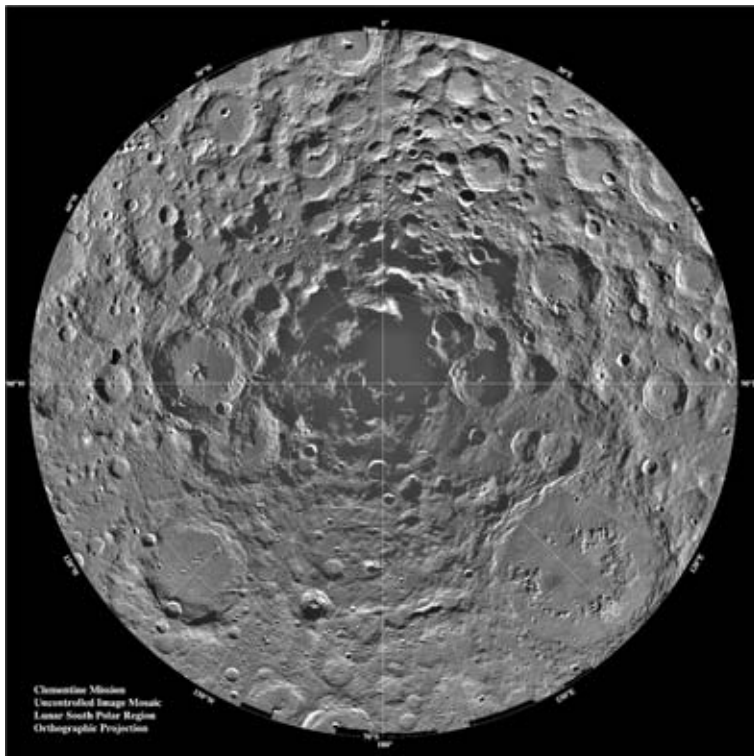


Figura 4: Pol Sud de la Lluna. A les zones a l'ombra s'hi han descobert dipòsits d'aigua. Mosaic aproximadament de 1500 imatges obtingudes per la sonda Clementine. (NASA/Cortesia de nasaimages.org).

Figure 4: South Pole of the Moon. In the shadow areas have been uncovered water deposits. Mosaic of approximately 1500 images obtained by the Clementine spacecraft. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

El dia 9 d'octubre de 2009 la NASA deixà caure la sonda LCROSS (*Lunar Crater Remote Observation and Sensing Satellite*) dins del cràter Cabeus, a la zona d'ombra permanent de la Lluna propera al Pol Sud. Primer impactà la carcassa buida del coet Centaur que havia transportat la sonda. Aquesta pogué observar el plomall de roques, pols i vapor que es desprendgué amb l'impacte, poc abans d'impactar ella mateixa contra la Lluna. Les observacions

preliminars ja detectaven la presència d'aigua, però els resultats més sorprenents s'obtingueren després d'analitzar les dades obtingudes, que han estat publicades recentment (Colaprete *et al.*, 2010; Schultz *et al.*, 2010; Gladstone *et al.*, 2010).

Colaprete *et al.* (2010) se centren en l'estudi de les dades dels espectròmetres de l'infraroig proper i de l'ultraviolat-visible de la sonda LCROSS. Segons els seus càlculs el primer impacte va projectar uns 155 kg de vapor i gel d'aigua. Això els permet avaluar que un 5,6% de la massa de l'interior del cràter Cabeus podria estar format per gel d'aigua. També detectaren la presència d'altres composts volàtils com els hidrocarburs lleugers, composts de sofre i diòxid de carboni. Fins i tot hi podria haver plata.

Schultz *et al.* (2010) estudiaren l'efecte del primer impacte tal com es pogué observar des de la sonda LCROSS, i supervisaren les nombroses etapes de l'impacte i de la formació del plomall dels materials expulsats. El coet formà un cràter d'impacte d'entre 25 i 30 m de diàmetre i projectà una massa total de entre 4000 i 6000 kg de roques, pols i vapor, des del cràter fins al camp de visió de la LCROSS il·luminat per la llum solar.

Gladstone *et al.* (2010) centren el seu estudi en l'efecte que produí l'impacte de la sonda, uns 90 segons més tard, sobre la superfície lunar, i que fou registrada per l'orbitador LRO (*Lunar Reconnaissance Orbiter*). Aquest està dotat d'instruments sofisticats, com el LAMP (*Lyman Alpha Mapping Project*). Aquest instrument està dissenyat per estudiar les zones fosques de la Lluna a l'ombra permanent. L'espectrògraf ultraviolat observa la zona de la superfície lunar a les fosques utilitzant la llum de l'espai circumdant (i de les estrelles). Aquesta llum (línies d'absorció Lyman-alfa) és invisible per a l'ull humà, però el LAMP en capta el reflex a la superfície lunar, la qual cosa en permet determinar les seves propietats. Gràcies al LAMP situat al LRO s'ha pogut confirmar la presència de diversos gasos al plomall generat per l'impacte de la LCROSS com l'hidrogen molecular, el monòxid de carboni i el mercuri atòmic, així com petites quantitats de calci i magnesi gasosos.

Així com la presència d'aigua és un motiu d'alegria entre els investigadors, ja que facilita la instal·lació de bases lunars robòtiques i tripulades, la presència de mercuri pot ser un greu inconvenient, degut a l'elevadíssima toxicitat d'aquest element. Les dades ofertes per Gladstone *et al.* (2010) indiquen que se'n podria haver volatilitzat més de 100 kg amb l'impacte, cosa que indicaria que el mercuri és quasi tan abundant com l'aigua al cràter Cabeus. La possible presència de mercuri en les mateixes trampes en les que hi hauria l'aigua ja havia estat predita amb anterioritat per Reed (1999). La presència de mercuri s'havia detectar amb certa abundància a les roques lunars i, segons Reed (1999), podria acumular-se a les zones fredes de la Lluna, amb un mecanisme anàleg al que acumularia l'aigua, que potser un procés molt lent, de milions d'anys, en què s'acumulen els elements i els composts volàtils, de vegades partícula a partícula. Reed ja titulava el seu article d'una manera molt encertada “*don't drink the water*” (no begueu l'aigua) fent referència a l'elevada toxicitat del mercuri que faria que l'aigua fos un autèntic verí pels futurs habitants de les bases lunars.

Per explicar la presència d'aigua gelada a la superfície lunar s'ha de tenir en compte que l'eix de rotació lunar es troba inclinat només 1,5 graus; és a dir, és quasi perpendicular al pla orbital del sistema Terra-Sol. El Sol il·luminarà sempre qualsevol lloc proper al pol lunar elevat per sobre dels 600 m per damunt de la superfície mitjana, així existeixen regions properes als pols que sempre reben la il·luminació del Sol. En canvi si un punt es troba deprimat per davall dels 600 m d'alçada romandrà a l'ombra perpètua. El més sorprenent és que aquesta ombra perpètua dura des de fa 2000 o 3000 milions d'anys. Així es creen trampes gèlides amb temperatures entre 223 i 203 graus sota zero, que poden acumular aigua dels cometes i meteorits que xoquen contra la Lluna, ja que mai s'evapora l'aigua per la calor del Sol.

L'existència d'aigua a la Lluna és una bona notícia a l'hora de pretendre establir colònies permanents al satèl·lit ja que facilita la supervivència dels seus habitants i pot usar-se per obtenir oxigen i hidrogen, com a combustible. Encara que la recent descoberta de mercuri associat a les trampes on es troba l'aigua pot dificultar, o impedir, el seu ús pels humans. Abans de conèixer-se

l'existència d'aigua a la Lluna l'única possibilitat d'obtenir l'oxigen era a través dels òxids que es troben a les roques lunars, i l'hidrogen procedent del vent solar atrapat a la regolita (Romero i Crespi, 1992).

Estructures

Conques d'impacte

Són depressions de més de 300 km de diàmetre, formades per grans impactes, que poden arribar a fer milers de quilòmetres de diàmetre, foren formades en les primeres etapes de l'evolució lunar (Wilhelms, 1987). La nau Clementine als anys noranta del segle passat en va trobar algunes que es desconeixien. Es calcula que a la Lluna n'hi pot haver més de 45 (Spudis, 2008).

Només es coneixen les edats absolutes de les conques que varen ser visitades per les missions Luna i Apol·lo. La datació radioisotòpica de les mostres de roques que es fongueren quan un asteroide o cometa xocà contra la Lluna, i que ens senyalen l'edat de formació de la conca, ens indiquen que es formaren en un període molt breu. Això ha donat peu a la teoria del "gran cataclisme" segons la qual les conques d'impacte es formaren entre fa 3900 i 3800 milions d'anys. Amb això es presenta una gran incògnita: com va poder donar-se aquest diluvi d'asteroides i cometes? Els primers models de les primeres etapes de la història del Sistema Solar predeien una disminució en la freqüència de formació d'impactes fa més de 4000 milions d'anys, ja que la majoria dels planetesimals foren expulsats del Sistema Solar o absorbits pels planetes exteriors. Si es datassin més conques d'impacte i es confirmàs que el cataclisme va succeir realment, les conseqüències serien profundes per a la història dels planetes interiors (Spudis, 2008). Una explicació seria que fa uns 3900 milions d'anys es trencàs un objecte molt gros del cinturó d'asteroides, i les seves restes arribassin al sistema Terra-Lluna. Si succeí així, la història dels cràters lunars no s'hauria repetit a altres bandes del Sistema Solar, llevat de a la Terra, i no valdria com a guia per a la datació per cràters.

Per confirmar-se la realitat del cataclisme s'hauria de mesurar l'edat absoluta de la depressió Aitken del Pol Sud, ja que és la més antiga. Si la seva edat resulta ser més propera a la de la solidificació de l'escorça lunar (fa una 4200 milions d'anys) no faria falta mantenir la teoria del "gran cataclisme terminal" mentre que si la seva edat és més propera a la única conca que s'ha datat absolutament amb mostres fuses d'impactes (*Serenitatis* amb una edat calculada de 3870 milions d'anys) es reforçaria aquesta teoria (Spudis, 2008).

Moltes conques estan cobertes per les laves dels *maria*. Encara que les de la cara oculta contenen molt menys basalts que els de la cara visible. La morfologia quasi circular de moltes mars com la del *Mare Crisium* i la del *Mare Nectaris* permet que aquestes puguin reconèixer-se fàcilment com a conques d'impactes. Les conques circulars solen estar envoltades d'alineacions muntanyoses (*montes* en la terminologia usada habitualment) com els *Montes Alpes* i els *Montes Apenninus*, que envolten la gran conca *Imbrium*. De vegades aquests *montes* no es troben només a les vores dels *maria* sinó que es poden trobar al seu interior formant anells muntanyosos. L'exemple més clar és el del *Mare Orientalis*, que per constituir la conca d'impacte més jove és la més ben preservada i conserva molt bé aquesta característica. Altres muntanyes dels anells interiors es poden veure com a "illes" dins de les planes basàltiques dels *maria*, uns exemples serien els *Montes Teneriffe* o els *Montes Spitzberger* de la mateixa conca *Imbrium*. Segons sembla els anells es formen pel rebot de la superfície experimentada just després de l'impacte.

Algunes morfologies es poden relacionar amb l'origen de les conques d'impacte. Un exemple el trobam a la cara visible central i septentrional que està caracteritzada per l'existència de relleus ondulats i canals radials a la conca *Imbrium*, que corresponen a materials llençats per l'impacte que l'originà (Wilhelms, 1987). La *terra* situada a l'est de la conca circular *Serenitatis* també es troba envoltada d'un relleu retallat d'elevacions i depressions menys regulars que la *Imbrium*. Al voltant de les grans conques d'impacte també són freqüents els cràters secundaris, formats per l'impacte generat pels materials llençats en la formació de la conca. Aquests són diferenciables per les seves formes que poden ser menys circulars que la dels cràters primaris i per trobar-se agrupats formant carenes de cràters.

La conca més antiga és l'Aitken del Pol Sud, que també és la més grossa de totes. Aquesta es pot veure en la Fig. 2 a l'extrem sud com una zona més fosca que les *terrae*, però no tant com ho seria un *mare*. El mapa topogràfic generat per la sonda Clementine va mostrar que aquesta depressió tenia unes dimensions extraordinàries, amb un diàmetre de 2600 km, no hi ha cap impacte major en tot el Sistema Solar (Spudis, 2008). No es coneix la seva edat absoluta però podria haver estat generada poc després de la solidificació de l'escorça lunar, fa 4200 milions d'anys. Encara que també podria haver-se generat més a prop del "cataclisme meteorític terminal" del Nectarià, en tot cas aquesta qüestió no es resoldrà definitivament fins que se n'estableixi l'edat, amb mètodes de datació absoluta. La més moderna de les conques d'impacte és la *Orientalis*, que és la més ben preservada i la que ens aporta més informació sobre la gènesi i l'estructura de les conques d'impacte, sobretot perquè és la que té els anells més clarament visibles. La conca *Orientalis* es formà a l'acabament de l'Imbrià inferior, fa uns 3.800 milions d'anys i suposa el final de l'etapa de formació de les grans conques d'impacte, i un canvi radical en l'evolució geològica del nostre satèl·lit, a partir de llavors més dominada pel vulcanisme i els petits impactes (Wilhelms, 1987).

Una de les coses que sorprèn és la diferència en la densitat de les conques d'impacte entre la cara visible i l'oculta (Fig. 1 i 2). A la cara visible les conques d'impacte són molt més abundants i estan sempre cobertes per basalts dels *maria*, mentre que a la cara oculta les conques d'impacte són menys abundants i n'hi ha que no estan totalment cobertes pels basalts. A més a més, com ja hem comentat, hi ha una notable diferència entre la gruixa de l'escorça lunar a la cara visible (60 km) i a la cara oculta (100 km). Aquesta diferència de gruixa pot deure's a l'erosió soferta a la cara visible pels grans impactes (Anguita, 1988). Una possible explicació per a aquesta asimetria seria que la gravetat terrestre ha desviat els cossos que han provocat els impactes cap a la cara lunar que mira cap a la Terra (Anguita, 1988).

Cràters

Els cràters són estructures d'impacte amb un diàmetre inferior a 300 km. Abasten des de grans cràters que podem veure amb facilitat des de la Terra amb uns binoculars fins a microforats observats en les mostres dutes a la Terra (Wilhelms, 1987). Els cràters són a tot arreu a la superfície lunar, no hi ha pràcticament cap terreny d'una certa superfície que no n'estigui afectat. A grans escales són més nombrosos als *terrae* que als *maria*, de fet l'abundància de cràters és un bon criteri per fer datacions a la Lluna. No sols serveix per fer datacions relatives (els terrenys més crateritzats són els més antics) sinó que fins i tot poden servir per fer datacions absolutes amb una certa precisió, si prèviament comptam amb mostres datades absolutament que poden correlacionar-se amb terrenys que presenten una densitat concreta d'impactes.

La major part dels cràters selenites tenen les vores elevades i el fons enfonsat respecte el terreny que els envolta. Els cràters menors de 16 a 21 km de diàmetre tenen poques morfologies interiors (Fig. 5). Els cràters majors són més complexos (Fig. 6 i 7), tenen un pic central, terrasses interiors en forma d'arc i altres morfologies interiors. L'exterior de certs cràters s'assembla als materials que tenen al seu voltant excepte per tenir una vora poc marcada; altres tenen una estructura gruixada concèntrica prop de la cresta de la vora, canals als flancs i

nombrosos cràters satèl·lits (Fig. 3), que es formen per ejecció i posterior impacte de materials llençats per l'impacte principal (Wilhelms, 1987). Els cràters satèl·lits són més nombrosos a una distància d'entre un i tres radis del cràter. Els rajos de colors clars poden irradiar centenars o milers de quilòmetres d'alguns cràters recents (aquí recent ens referim a escala lunar).

A la superfície de la Lluna podem trobar algunes cadenes de cràters. El més probable és que s'hagin format durant el mateix episodi, es creu que es creen quan un meteor es fragmenta en diversos trossos abans d'assolir la superfície de la Lluna.

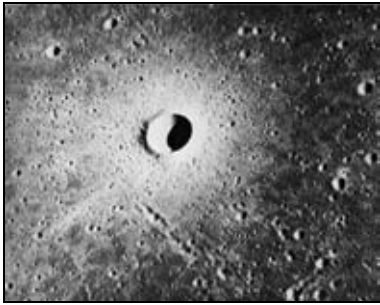


Figura 5: Cràter Linné, situat a la part occidental del *Mare Serenitatis*. És un exemple de cràter simple de 4 km de diàmetre, format per un impacte recent. En aquesta foto obtinguda per l'Apol·lo XV s'aprecia un cràter que té totes les característiques d'un cràter jove; els pendents de la vora del cràter s'aixequen sobre la plana del *mare*; la vora de la cresta és aguda i ben visible, s'observen abundants ondulacions devora la cresta; la part interna dels ejecta està formada per morfologies amb forma de duna disposades de forma concèntrica; a mesura que ens anam allunyant del cràter anam trobant cràters satèl·lits; els rajos dels ejecta són visibles. (NASA/Cortesia de nasaimages.org).

Figure 5: Linné Crater, located in the western part of *Mare Serenitatis*. It is an example of simple crater of 4 km in diameter, made an impact recently. In this photo from the Apollo XV observed a crater that has all the features of a young crater; the slopes of the rising edge of the crater on top of the mare; the edge of the crest is sharp and well visible ripples observed abundant beside the ridge, the inner part of the ejecta consists of a shaped concentric morphologies, if we go away from the crater we found the satellite craters; and we can see ejecta rays. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

La formació dels cràters segueix una sèrie d'etapes (Strahler, 1992). L'elevada energia cinètica del cos impactant es transfereix instantàniament al terra. Es fon el sòl en la zona d'impacte i es genera una ona de xoc, que fractura intensament la roca al voltant del punt d'impacte. Als impactes terrestres, on moltes roques contenen quars es formen els minerals coesita i stishovita que són polimorfs d'alta pressió de la sílice (SiO_2). Una ona de xoc semblant es transfereix al meteorit, el fragmenta en milers de fragments i en part el volatiliza. Per aquest efecte surt llençada una gran quantitat de fragments. La roca del terra es volta cap amunt i cap a fora, i forma la vora del cràter. Grans volums de material rocallós tornen caure en el cràter i omplen el fons, on pot quedar enterrada la roca fusa. En els impactes de majors dimensions apareix un pic central al cràter (Fig. 6 i 7), produït pel rebot del fons.

Figura 6: Cràter *Daedalus*. Localitzat al centre de la cara oculta de la Lluna, és un exemple de cràter complex de 93 km de diàmetre, amb l'interior aterrat i amb pic central. Imatge presa per l'Apollo XI. (NASA/Cortesia de nasaimages.org).

Figure 6: Daedalus crater. Located in the center of the dark side of the moon is an example of complex crater of 93 km in diameter; inside the central peak and terraced. Image by Apollo XI. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).



En els impactes selenites més recents es poden veure els rajos d'ejecta (Fig. 3 i 5), que irradien a partir del cràter. Aquests indiquen que l'impacte es recent sobre la superfície lunar, un exemple seria el del cràter Tycho, amb ejecta radials. Els fets que estiguin tan ben desenvolupats

a la Lluna es deu a la manca d'una atmosfera que freni els fragments de roca expulsats, i posi en suspensió material, i a la baixa gravetat de la Lluna. El cràter Copèrnic també presenta rajos d'ejecta però aquests tenen un aspecte bastant diferent, ja que els ejecta tenen més aspecte de teranyina que radial. Això pot ser degut al fet que es produeixen en dues zones ben diferenciades des del punt de vista geològic. El cràter Copèrnic es produí en materials dels *maria*, mentre que Tycho s'originà en materials dels *terrae*, probablement originalment més fragmentats per l'efecte d'impactes antics.



Figura 7: Cràter Timocharis. La foto s'ha obtingut a partir d'una seqüència d'imatges cartogràfiques de l'Apollo XV. Està situat al *Mare Imbrium* i té 24 km de diàmetre i 3,1 km de fondària. L'interior està aterratat i esllavissat. Aquest cràter té un sistema de rajos que assoleixen els 130 km. El desgast dels rajos ens indica que la seva edat és de 1000 milions d'anys o més. (NASA/Cortesia de nasaimages.org).

Figure 7: Timocharis crater. The photo was obtained from an image sequence map of Apollo XV. It is situated in the *Mare Imbrium* and is 24 km in diameter and 3.1 km deep. The interior is terraced and slipped. This crater has a system of rays that reach the 130 km. The wear-ray shows that his age is 1000 million years or more. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

Rimae i rupes

Les *rimae* (en singular *rima*) en realitat són fosses, de les quals en podem diferenciar dos tipus que presenten gènesis molt diferents (Fig. 8 i 9). En els treballs escrits en anglès les *rimae* també s'anomenen *rilles*. En primer lloc tenim les *rimae* rectes (Fig. 9), que es troben en els *maria* però també en algunes *terrae*. Les dels *maria* es formarien pel refredament de les grans masses de basalts que els omplen, mentre que les *rimae* localitzades en *terrae* es relacionarien més bé amb els episodis de grans impactes que generaren les conques. Aquestes fosses es veuen com a depressions estretes i de traça rectilínia (Wilhelms, 1987).

Un altre tipus de *rimae* són les sinuoses (Wilhelms, 1987; Fig. 8). Vistes des de dalt semblen lleres de rius secs. Poden estar ramificades i de vegades recorren centenars de quilòmetres. Per comparació amb altres estructures terrestres sembla que corresponen a tubs subterranis per on fluïa la lava i que s'han enfonsat.

En altres indrets es veuen *rupes*, visibles amb llum rasant com a esglaons a la superfície lunar. Poden tenir uns quants centenars de metres d'alçada i una longitud de més de 100 km. El pendent mai és vertical i generalment és inferior a 45°. Les *rupes* corresponen a falles (Wilhelms, 1987) que poden tenir una gènesis semblant a la de les *rimae*.



Figura 8: *Rimae* Prinz, *rimae* sinuoses. El cràter mig enterrat per les laves del *mare* és el cràter Prinz, el cràter prominent de la dreta de la imatge és el cràter *Aristarchus*, i l'enterrat de darrera a la vora dreta de la imatge és el cràter *Herodotus*. Les *rimae* de l'esquerra de la imatge són les *Rimae* Prinz, les de la dreta les *Rimae* *Aristarchus*. Aquesta imatge fou presa per l'Apollo XV. (NASA/Cortesia de nasaimages.org).

Figure 8: *Rimae* Prinz, *rimae* winding. The crater half buried by lava from the *crater* Prinz *mare* is the prominent crater on the right image is the crater *Aristarchus*, and buried behind the right side of the image is the crater *Herodotus*. The *rimae* the left of the image are *Rimae* Prinz, the right of the *Aristarchus* *Rimae*. This image was taken by Apollo XV. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

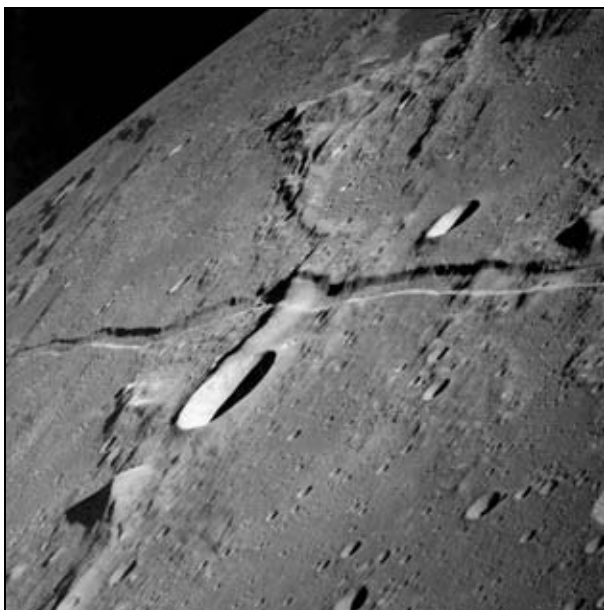


Figura 9: Rima Ariadaeus, rimae lineals. Al centre de la imatge veim la Rima Ariadaeus, un exemple de rima lineal. El cràter al sud de la rima a l'esquerra de la imatge és el cràter Silberschlag. A dalt a la dreta de la imatge és veu una taca negra que és el fons del cràter Boscovitch. La foto fou presa per l'Apol·lo X. (NASA/Cortesia de nasaimages.org).

Figure 9: Rima Ariadaeus, rimae linear: In the center of the image we see the Ariadaeus Rima, an example of linear rima. The crater south of the rima in the left image is the crater Silberschlag. Top right image voice is a black spot that is the bottom of the crater Boscovitch. The photo was taken by Apollo X. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

Doms

Estan formats per turons arrodonits, de vegades amb un cràter al cim (Fig. 10). Poden tenir un diàmetre de devers 10 km i una alçada inferior als 1000 m. Es creu que poden correspondre a volcans extingits (Wilhelms, 1987), o bé altiplans volcànics. No es veuen traces de colades de lava, segurament degut a la seva antiguitat.



Figura 10: Mons Rümker, dom. El Mons Rümker és un exemple de dom que s'aixeca sobre l'Oceanus Procellarum. Imatge presa per l'Apol·lo XV en òrbita lunar. (NASA/Cortesia de nasaimages.org).

Figure 10: Rümker Mons, dome. The Mons Rümker is an example of dome that rises above the Oceanus Procellarum. Image taken by Apollo XV in lunar orbit. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

Dorsa

Els basalts dels *maria*, de vegades, es troben recorreguts per unes estructures formades per relleus suaus i molt allargats anomenats *dorsa* (en singular *dorsum*; Fig. 11), que ocasionalment formen sistemes ramificats. En la literatura anglosaxona les *dorsa* també s'anomenen *mare ridges*. La seva alçada pot arribar a fer un centenar de metres, mentre que la longitud pot arribar a uns quants milers de quilòmetres. Es creu que es deuen a la subsidència experimentada al terreny a causa del refredament de les laves dels *maria* (Wilhelms, 1987).

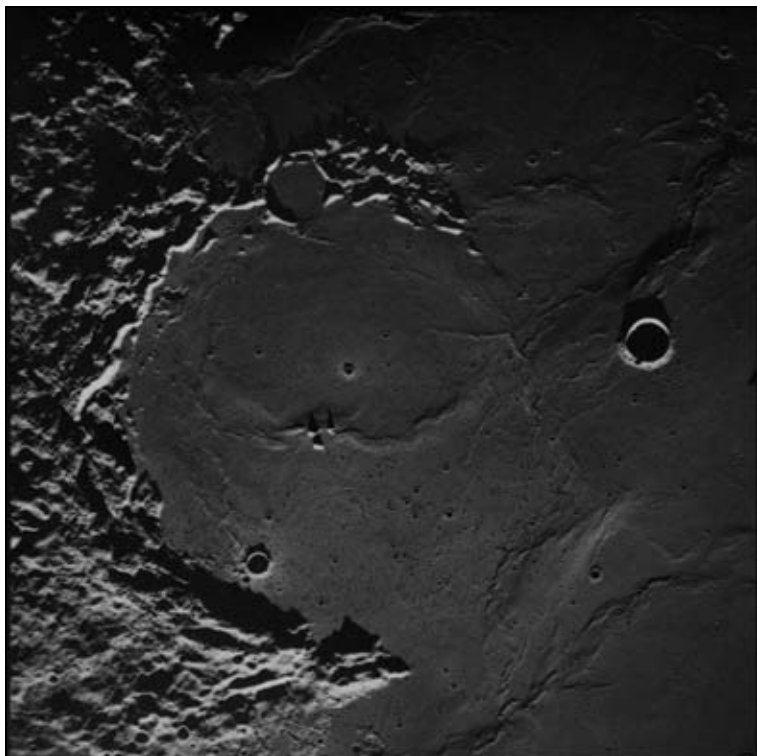


Figura 11: *Dorsa* dins del cràter Letronne. La foto fou creada a partir d'imatges cartogràfiques de l'Apol·lo XVI en òrbita lunar. (NASA/Cortesía de nasaimages.org).

Figure 11: *Dorsa* into the Letronne crater. The photo was created from images of cartographic Apollo XVI in lunar orbit. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

Història geològica de la Lluna

Datacions relatives i absolutes: peculiaritats de la Lluna

Per datació relativa entenem situar cronològicament un esdeveniment en relació a altres esdeveniments. En geologia els esdeveniments als que ens referim són aquells que han deixat algun rastre, que pot ser material (cos de roques sedimentàries o ígnies), estructural (plecs, falles, esquistositat, etc.), geomorfològic (diverses formes d'erosió o d'acumulació) o bé transformacions químiques o minerals (diagènesi o metamorfisme). En l'estudi de la Lluna els esdeveniments observables seran normalment aquells que han deixat alguna morfologia observable sobre la superfície lunar (cràters, materials expulsats per l'impacte, cossos de roques volcàniques).

També existeixen maneres de datar un determinat fet, expressat en anys que han transcorregut entre aquest fet i el present, en aquest cas parlem de datació absoluta. Encara que hi ha molts mètodes per datar absolutament, els més utilitzats són aquells que es basen en

mesurar la disminució d'un determinat isòtop radioactiu en una roca o un mineral, i l'augment de l'isòtop en el qual es transforma. Aquesta és la tècnica de datació amb radioisòtops. Els més usats per a la datació de mostres lunars són els de rubidi-estronci, argó-argó i samari-neodimi. S'ha de tenir en compte que, de vegades, diversos mètodes de datació amb radioisòtops poden donar edats diferents, això succeeix perquè quan la roca o el mineral s'escalfen es pot posar a zero el comptador d'edats, però cada mètode té la seva temperatura de posada a zero. Així una roca que s'ha escalfat, per un metamorfisme per exemple, pot donar l'edat del metamorfisme amb un mètode de datació i una més antiga, la de formació de la roca original abans del metamorfisme.

Per a la geologia lunar es tenen en compte els principis de datació relativa, especialment el principi de superposició d'Steno, que diu que en cas que observem diversos cossos de roques sedimentàries superposats un amb l'altre, el que se situa per sobre estratigràficament és el més modern i el de davall és el més antic, sempre i quan no hi hagi inversions de la sèrie estratigràfica per deformació tectònica. Com que a la Lluna no hi ha hagut una tectònica activa des de que es té registre geològic, el principi de superposició és pot aplicar pràcticament sempre. Els cossos sedimentaris que trobam a la Lluna quasi sempre estan produïts per l'emplaçament de materials expulsats pels impactes meteorítics. Aquests són identificables per mètodes fotogeològics i pot veure's quin se situa per sobre i quin per davall (Wilhelms, 1987).

Un altre principi per a la datació relativa és veure quines estructures tallen a les altres. Evidentment les estructures tallades són les més antigues i les que tallen són les més modernes. Referint-nos als cràters que són les estructures més omnipresents a la Lluna: els cràters que tenen altres cràters més petits als seu interior són més antics que en els cràters interiors; el cràter que talla és més modern que el que és tallat; el material ejectat per un cràter que s'emplaça per sobre d'un l'altre material ejectat per un segon cràter, indica que el primer cràter és el més modern (principi d'estratigrafia lunar, Wilhelms, 1987); el cràter més modern és el que té l'aspecte més "fresc" (fons més clar, rajos clars ben visibles, vores sense erosionar, fons sense cobrir per altres materials).

Els mètodes de datació relativa ens diuen quins cossos o estructures són els més moderns i quins els més antics, però no diu res sobre la separació temporal entre els esdeveniments, però a la geologia lunar s'han pogut datar roques amb radioisòtops, cosa que ha permès calibrar altres mètodes que s'han pogut usar per fer datacions absolutes. El més utilitzat és la datació per la densitat de cràters. El principi és senzill, les zones més densament cobertes de cràters són les més antigues i les menys cobertes les més modernes. Se suposa que els cràters s'han anat formant per igual a tota la superfície lunar i que la densitat de cràters que presenta una zona només depèn de la seva edat. En principi sembla un mètode per datar relativament una superfície però si tens terrenys que han pogut ser datats amb mètodes de datació absoluta es converteix en un mètode de datació absoluta, ja que totes les superfícies que tinguin la mateixa densitat de cràters tendran la mateixa edat. Per poder-se aplicar s'ha de tenir en compte que hi ha una edat a partir de la qual ja s'haurà donat la saturació i no s'obtiniran edats superiors a mida que passi el temps perquè el nombre de cràters que es crei serà igual al que es destrueixi. El principi de datació pel nombre de cràters es troba més explicat a Wilhelms (1987) i a Anguita i de la Casa (1995), on ho expliquen amb exemples pràctics.

Taula dels temps geològics de la Lluna

Basant-se en la formació de les grans estructures lunars i en la datació de les mostres dutes a la Terra s'ha dividit l'edat de la Lluna en cinc períodes: Prenectarià, Nectarià, Imbrià, Eratostenià i Copernicà (Wilhelms, 1987). Al seu torn l'Imbrià (el tercer període) s'ha dividit en dues èpoques (Fig. 12).

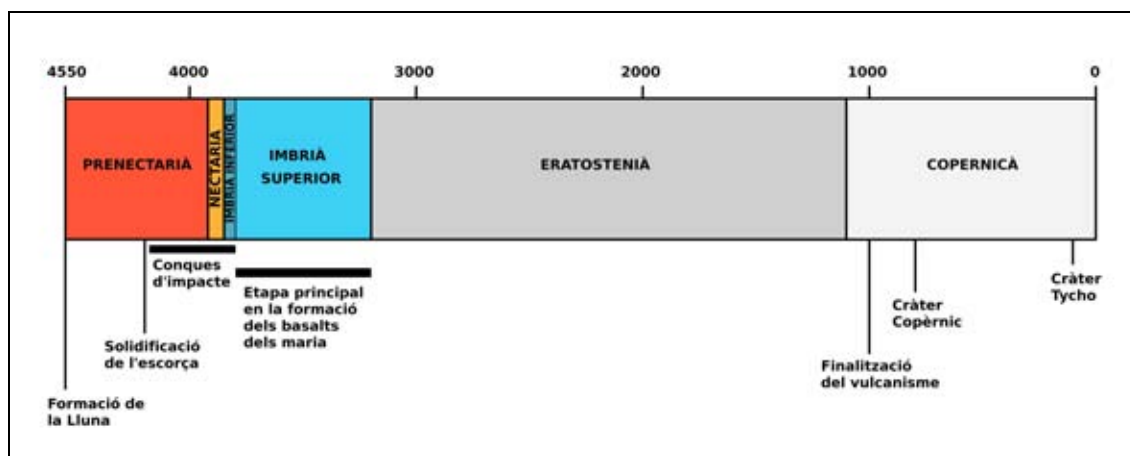


Figura 12: Taula dels temps geològics de la Lluna, basat en Wilhelms (1987).

Figure 12: Geologic time scale of the Moon, based on Wilhelm (1987).

El Preneectarià

La història de la Lluna comença en el Preneectarià amb la formació d'aquest astre fa 4550 milions d'anys (Wilhelms, 1987). Durant aquest període es formà l'escorça lunar, amb una composició en la qual predominava el feldspat càlcic (anortita), amb un gruix mitjà de 75 km, diferenciada del mantell lunar de composició ultramàfica. Es creu que es formà un oceà global de magma a la Lluna a partir del qual cristal·litza l'escorça feldspàtica formada per la diferenciació magmàtica, com ja s'ha explicat abans. Aquesta diferenciació acabà entre fa 4400 i 4200 milions d'anys, potser no per tot al mateix temps. El període finalitzà amb la formació de la conca del *Mare Nectaris*, amb una edat estimada de 3920 milions d'anys, durant doncs 630 milions d'anys.

Aquest període està marcat pels impactes meteorítics que modelaren profundament la superfície lunar. Generaren una bretxa, amb mostres d'haver sofert una fusió parcial, rica en elements sideròfils que constitueixen els dipòsits d'aquesta edat. S'han recopilat mostres d'aquest període, encara que s'ha estudiat més intensament pels estudis fotogeològics. Els grans impactes generaren trenta conques d'impacte, de les quals les *Procellarum* i Aitken del Pol Sud són les més grans. Entre els dos excavaren material del 40% de l'àrea de la Lluna (Wilhelms, 1987). Pot veure's l'edat relativa de les conques d'impacte per la densitat de cràters i per la seva superposició. Els materials ejectats de les conques més antigues són obscurs, mentre que els de les més joves presenten estructures i cràters secundaris com les conques del Nectarià i de l'Imbria. La seva distribució espacial sembla ser a l'atzar. L'estructura cortical que deixaren els grans impactes condicionaren l'aparició del vulcanisme lligat als *maria* i la tectònica, ja que variaren el gruix de l'escorça i les fondàries a les que es trobaven les fonts del magma mantèlic.

Sobre l'edat absoluta d'aquestes conques d'impacte es tenen dubtes ja que hi ha poques datacions. També perquè hi ha ambigüitat sobre l'extrapolació de les freqüències dels cràters, ja que hi pot haver saturació i els diàmetres dels grans cràters són incerts.

En el Preneectarià també es formaren roques volcàniques (Wilhelms, 1987), probablement moltes estan interstratificades amb els dipòsits dels impactes. El vulcanisme preneectarià és molt més difícil de veure per l'espectacular deposició de les bretxes d'impacte. No s'han observat estructures tectòniques d'aquest període. La litosfera probablement es va anant engruixint.

El Nectarià

El Nectarià començà amb la formació de la conca d'impacte Nectaris, i del material expulsat per l'impacte que la generà que constitueix la formació Janssen, amb una edat estimada de 3920 milions d'anys, i acabà amb la formació de la conca d'impacte *Imbrium*, amb una edat de 3850 milions d'anys, i durà 70 milions d'anys (Wilhelms, 1987). Durant aquest període es formaren entre 10 i 12 conques d'impacte, entre les quals destaquen la conca *Crisium*, la *Serenitatis* i la *Nectaris*. Les conques dubtoses són la conca Mendel-Rydberg, que pot ser prenectariana i la de Sikorsky-Rittenhouse que potser no sigui una conca d'impacte. Assumint que hi ha 11 conques d'impacte d'aquest període i que durà 70 milions d'anys implicaria una relació de formació de conques de 0,157 per milió d'anys, extrapolat al nombre de cràters per a tota la Lluna implicaria que existeixen uns 1330 d'entre 30 i 300 km de diàmetre, això són 19 cràters per milió d'anys. Tot això ha donat força a la teoria del *cataclisme meteorític terminal*. Segons aquesta teoria al Nectarià la Lluna rebé molts impactes, concentrats en un període de temps molt curt, en relació amb les etapes finals del Prenectarià. De totes formes, segons Wilhelms (1987), les conques d'impacte es podien haver format en grups per l'efecte d'un projectil que es desfà en diversos trossos (Wetherill, 1981) i mantenir òrbites temporals abans d'impactar.

Es tenen dades aïllades sobre clastes volcànics que podrien ser nectarians o prenectarians, però encara no es tenen dades concloents sobre el vulcanisme d'aquesta edat.

L'Imbrià inferior

El període Imbrià, començà amb la formació de la conca d'impacte *Imbrium*, i amb el material expulsat per l'impacte que constitueix la formació Fra Mauro, amb una edat de 3850 milions d'any, datats amb mostres obtingudes per les missions espacials Apol·lo XIV i Apol·lo XV, i finalitzà fa 3200 milions d'anys (l'edat entremig de les mostres més antigues recollides per l'Apol·lo XV i les més modernes recollides per l'Apol·lo XII). El període Imbrià es divideix en dues èpoques, amb característiques geològiques ben diferenciades: l'Imbrià inferior, que durà uns 50 milions d'anys i finalitzà fa 3800, i l'Imbrià superior que durà 600 milions d'anys i finalitzà fa 3200 milions d'anys (Wilhelms, 1987).

L'Imbrià inferior fou una època marcada pels grans impactes que deixaren grans conques d'impacte. La primera que és formà (conca *Imbrium*) és la més grossa del període i la tercera més grossa de la Lluna després de la *Procellarum* i l'Aitken del pol Sud. La conca *Imbrium* va aixecar anells muntanyosos que són els més alts de la Lluna, llevat dels de la conca Aitken del pol Sud. Els materials llençats per l'impacte arribaren a quasi tota la cara visible i part de la cara oculta de la Lluna. L'ejecta primari gruixat d'aquest impacte es va dipositar a uns quants centenars de quilòmetres de la conca i alguns arribaren a més de 1000 km de la vora. Moltes zones planes cobertes amb materials de colors clars, corresponen a ejecta primari i secundari. Els cràters secundaris possiblement arribaren fins a les antípodes de l'impacte. Aquest impacte ha pogut ser datat absolutament per les mostres recollides per l'Apol·lo XIV que consistien en bretxes riques en KREEP cobertes per la formació Fra Mauro, relacionada amb la formació del *Mare Imbrium*, i per les mostres de l'Apol·lo XV que consistien en bretxes dels *Montes Apenninus*. Les dues coincideixen en donar una edat de 3850 milions d'anys. La conca *Imbrium* és el lloc on es troba el major volum preservat de basalts dels *maria*.

L'altra gran conca d'impacte de l'Imbrià inferior és la *Orientalis*, que es formà 50 milions d'anys posteriorment a la *Imbrium*, i tanca aquesta època així com l'era dels grans impactes. De fet la conca *Orientalis* és la més moderna i la més ben preservada de les conques d'impacte, cosa que fa que es pugui utilitzar com a model per interpretar les altres conques d'impacte. Relacionada amb l'impacte que generà la conca *Orientalis* es troba la formació *Hevelius*.

Quan al vulcanisme, degut a la curta durada d'aquesta època no se'n tenen molts de registres. La mostra més antiga rica en potassi i titani recollida al subsòl per la missió de l'Apol·lo XI pot ser d'aquesta edat.

L'Imbrià superior

La segona època del període Imbrià començà fa 3800 milions d'anys i acabà fa 3200 milions d'anys i marcà un canvi de tendència en la història de la Lluna (Wilhelms, 1987). Passam d'una història geològica marcada pels grans impactes i per la creació de les grans conques d'impacte a una altra marcada pel vulcanisme. Aquest vulcanisme, amb tota probabilitat ja havia començat abans de l'Imbrià superior, però serà en aquesta època on assoleix el seu màxim protagonisme en la formació geològica del nostre satèl·lit. La major part de les unitats visibles dels basalts dels *maria* tenen aquesta edat (Wilhelms, 1987). A més, basalts d'aquesta edat constitueixen part de tots els *maria* més extensos. Els basalts de l'Imbrià superior són els materials més mostrejats per les diverses missions lunars. Les erupcions que donaren lloc als basalts són freqüents durant tot l'Imbrià superior encara que van disminuint en volum al llarg de l'època. Cap al final d'aquesta també s'han datat erupcions que produïren material piroclàstic.

Quant a la formació de cràters, durant l'Imbrià superior la relació de formació de cràters majors de 30 km de diàmetre amb el temps fou de 0,28/milió d'anys, cosa que suposa només un 1,5% de la velocitat de formació de cràters del Nectarià, la de l'Imbrià inferior seria intermèdia entre els dos valors, suportant la idea que es va produir una disminució progressiva de la velocitat de formació de cràters (Wilhelms, 1987).

L'Eratostenià

El període Eratostenià agafa el nom del cràter Eratòstenes que es pren com a model de cràter d'aquesta edat. Com ja hem dit abans, l'Eratostenià no comença amb un impacte que afecti tot el globus lunar. S'agafa convencionalment l'edat de 3200 milions d'anys (intermèdia entre la de les mostres més antigues recollides per l'Apol·lo XV i la de les mostres més modernes recollides per l'Apol·lo XII). En general els períodes Eratostenià i Copernicà es basen més en criteris observacionals. Aquests dos extensos períodes es caracteritzen per la poca abundància de laves basàltiques i per mostrar una modificació de la superfície lunar basada quasi únicament en els impactes meteorítics. Els cràters eratostenians serien els que tenen aspecte recent però menys que els copernicans. Un dels criteris és que els cràters formats durant l'Eratostenià tenen els rajos d'ejecta i el fons poc brillants i pocs marcats degut a l'enfosquiment per radiacions i pluja meteorítica. Un altre criteri es dona fotografiant els cràters en infrarojos durant els eclipsis de Lluna, els cràters eratostenians apareixen "freds" mentre que els copernicans apareixen com a "calents" (Wilhelms, 1987). Seguint el criteri de Wilhelms (1987) de considerar que els impactes meteorítics s'han mantingut constants des de fa 3200 milions d'anys, el període Eratostenià arriba fins fa 1100 milions d'anys. Duraria així 2100 milions d'anys, seria el període més extens de la història lunar i abastaria quasi la meitat de la seva existència.

El vulcanisme continuà durant l'Eratostenià, generant fluxos extensius a l'*Oceanus Procellarum* i al *Mare Imbrium*, i de forma menys extensa a altres mars. Aquest vulcanisme generà basalts que s'han datat absolutament amb mostres de quatre tipus composicionals que representen almanco tres colades diferents, i que foren recollides per l'Apol·lo XII, donaren edats de 3160 milions d'anys.

Segons sembla al final de l'Imbrià quedaren escombrats la majoria de cossos capaços de produir grans cràters i conques d'impacte, i només quedaren cossos com els que encara resten en el Sistema Solar.

El Copernicà

El període Copernicà pren el nom del cràter Copèrnic que és el que s'agafa com a model dels cràters d'aquesta edat. Com ja hem explicat abans, no està clara la divisió entre l'Eratostenià i el Copernicà, encara que es pot prendre l'edat de 1100 milions d'anys com a l'inici d'aquest període (Wilhelms, 1987). El Copernicà acaba en l'actualitat. És en el que es troben les estructures més ben preservades i que serveixen de model per interpretar les estructures antigues. Els processos que s'originaren durant el Copernicà serien "recents" per a la història de la Lluna, sempre que puguem considerar que un fet que tengué lloc fa més de 1000 milions d'anys sigui recent.

Només es coneixen unes poques zones cobertes amb laves d'aquesta edat. Aquestes són alguns punts al solc entremig de l'*Oceanus Procellarum*, que també són zones d'aparició preferencial de laves de l'Eratostenià (Wilhelms, 1987). El vulcanisme copernià és, doncs, un vulcanisme residual que acaba just al començament del període. La desaparició del vulcanisme estaria relacionada amb el refredament de la Lluna i amb l'engruiximent de l'escorça lunar. Les úniques parts de la Lluna que encara poden estar fuses són les que donen terratrèmols profunds (aproximadament entre els 1000 i els 800 km de fondària). Els cràters més representatius d'aquest període són Copèrnic que té una edat discutida de 800 milions d'anys, i Tycho amb una edat segurament acurada de 100 milions d'anys. És a dir Tycho, que és un dels cràters més recents que es poden veure amb tota facilitat pels afeccionats a l'astronomia es va originar quan els dinosaures encara es passejaven per sobre de la Terra.

Activitat geològica actual a la Lluna

Actualment la Lluna es considera un astre pràcticament mort des del punt de vista geològic. No obstant això, els sismòmetres col·locats per les missions Apol·lo han detectat "tremolors de Lluna" que no superen el grau 2 de l'escala de Richter. L'escorça lunar sòlida supera els 60 km de gruix i el mantell arriba fins als 800 km de fondària. Tots aquests sismes només s'han detectat en l'hemisferi proper a la Terra. Aquesta asimetria pot deure's al fet que es trobin lligats a les marees internes produïdes per la Terra. També hi ha la possibilitat que aquesta asimetria sigui només aparent i que es donin sismes a la cara oculta de la Lluna que no es detectin degut a la presència d'un nucli fus que impedeixi el pas de les ones (Anguita, 1988). Aquesta qüestió només es podrà resoldre instal·lant sismòmetres a la cara oculta, ja que els que es posaren sobre el nostre satèl·lit per les missions Apol·lo només es localitzen a la cara visible.

L'activitat volcànica selenita té, en la major part, més de 3000 milions d'anys. Durant el període Eratostenià va perdurar una certa activitat volcànica que s'aturà definitivament fa 1000 milions d'anys. Això ens du a afirmar que la Lluna és un astre fred sense restes d'activitat interna, però sorprenentment en les missions lunars es va mesurar un flux tèrmic apreciable, del mateix ordre que el registrat als continents terrestres (Anguita, 1988). Ja que les anortosites i els gabres contenen menys elements radioactius productors de calor que els granits que formen l'escorça terrestre, a la Lluna han d'existir més fonts de calor en fondària, cosa que dona suport a la idea d'un nucli intern fus.

Una cosa que no sorprengué els geofísics que prengueren mesures a la Lluna fou que el camp magnètic lunar era pràcticament inexistent, tal com va detectar la sonda espacial Surveyor. La inexistència d'un camp magnètic és consistent amb una Lluna geològicament morta. El que sí fou sorprenent va ser trobar un registre paleomagnètic a les roques dutes a la Terra per les missions Apol·lo. A l'època en què es produïa la major part de l'activitat volcànica que cobrí els *maria* la Lluna va tenir un camp magnètic d'una intensitat quasi un deu per cent de l'actual camp terrestre (Anguita, 1988). La presència d'un camp magnètic d'aquesta època no és difícil d'explicar, ja que la Lluna es fongué al moment de la seva acreció i hi podia haver un nucli originat en aquella època que generàs un efecte dinamo productor d'un camp magnètic.

Com ja hem apuntat anteriorment, les diferències sobtades i extremes de temperatures poden tenir efectes sobre la superfície lunar. Com que la Lluna no té atmosfera que intercepti la radiació solar, l'energia irradiada pel Sol arriba amb tota la seva intensitat. A més com que la Lluna té un albedo baix, absorbeix la major part d'aquesta energia. L'efecte és un escalfament elevat durant el dia i un refredament durant la nit. Les temperatures superficials diürnes poden arribar a 100°C, mentre que les nocturnes poden assolir els -173°C (Strahler, 1992). Per l'efecte d'un eclipsi de Lluna s'han mesurat davallades de temperatura des de 71°C fins a -79°C en tan sols una hora (Strahler, 1992). Aquesta reducció de 150°C és molt major que la que es pot trobar a la superfície terrestre en un temps comparable. Aquestes variacions tèrmiques poden tenir efectes significatius sobre els materials selenites. L'expansió i la contracció experimentades poden ocasionar la ruptura de roques sòlides en partícules petites. Els canvis volumètrics també poden provocar que les partícules soltes reptin gradualment a nivells inferiors de la superfície inclinada. Aquests efectes poden ser molt importants en la superfície lunar, ja que els agents meteòrics no produeixen efectes de meteorització, erosió ni transport. Evidentment els canvis experimentats a la Lluna són molt més lents que els terrestres.

Evidentment un dels agents que encara afecten la superfície lunar són els impactes meteorítics. Segons Ruíz (2001) els primers esclats de llum produïts per impactes meteorítics a la Lluna detectats sense ambigüitats es detectaren el 18 de novembre de 1999. Aquests impactes es coneixien pels innombrables cràters que cobreixen el nostre satèl·lit, i se sabia segur que se seguien produint. També hi havia constància que ocasionalment s'havien detectat lluïssors a la Lluna però mai s'havia pogut confirmar que es devien a impactes meteorítics. Frederick W. Herschel en podria haver observat algun. Així com també els sismòmetres instal·lats a la Lluna havien detectat moviments sísmics que quasi amb total certesa es devien als impactes, però no es comptava amb cap registre òptic. Aquests impactes podrien haver estat produïts per fragments del cometa 55P/Tempel-Tuttle (Ruíz, 2001), que a la Terra produeixen pluges de meteors anomenades Leónides.

També cal mencionar els *zap pits*, que com ja hem explicat abans són foradets de menys d'1 mm de diàmetre, envoltats per vidre i formats per microimpactes. Això suposa una mena de procés erosiu que funciona sobre la superfície actual de la Lluna (Strahler, 1992).

Com ja s'ha mencionat anteriorment, el bombardeig continuat del vent solar format bàsicament per protons i electrons, durant milers de milions d'anys, ha afectat profundament la regolita lunar (Smoluchowski, 1986). Aquest bombardeig ha anat obscurint la superfície del nostre satèl·lit, i això produeix un albedo molt baix, amb una reflectivitat comparable a la del carbó. També fa que les partícules fines, que queden ionitzades, es vagin adherint entre elles, cosa que donà molts problemes als astronautes i als equips tecnològics que s'emplaçaren sobre la superfície lunar. Una conseqüència d'això és que els impactes meteorítics i els materials que mobilitzen es vegin blancs, ja que exposen materials que no han sofert aquesta acció d'enfosquiment. També cal destacar que les partícules del vent solar, poden ser valuoses per elles mateixes ja que poden ser aprofitables com a recurs mineral per a l'obtenció d'hidrogen, que abans de la trobada d'aigua a la Lluna es veien com a l'única font explotable d'aquest element (Romero i Crespí, 1992).

La Lluna i altres cossos planetaris

La Lluna i la Terra

L'estudi de la Lluna ha permès conèixer millor la història geològica dels planetes de tipus terrestre. En concret els estudis lunars ens han possibilitat de saber que va passar als primers temps de la història terrestre. S'ha de tenir en compte que les formacions rocalloses més

antigues de la Terra tenen una edat aproximada de 3800 milions d'anys (tot i que hi ha minerals que ens indiquen que anteriorment a aquesta edat hi hagué una escorça sòlida envoltant la Terra). Quasi tots els indicis del que succeí a la Terra abans dels 3800 milions d'anys es deu a l'estudi de la Lluna. Com ja hem vist abans, la Lluna compta amb una gran quantitat de registres litològics i estructurals anteriors als 3800 milions d'anys (períodes Prenectarià, Nectarià i època Imbrià inferior). Aquesta època es va caracteritzar pels grans impactes, per aquest motiu a la Terra l'era equivalent que correspondria a aquests períodes s'ha anomenat Hadeà, derivat d'Hades que significa infern en grec, degut a que la Terra, com la Lluna, es degué veure afectada per grans impactes com els que canviaren la superfície del nostre satèl·lit.

Gràcies al coneixements que tenim sobre la història geològica de la Lluna hi ha tres grans fets dels quals en tenim evidències. El primer és la formació de la mateixa Lluna. Avui en dia sembla que la teoria més probable sobre els seu origen és la del gran impacte que volatilitzà una part del mantell terrestre i que donà lloc a la matèria que envoltaria la Terra i que s'acabaria ajuntant per formar el satèl·lit. L'única prova que tenim d'aquest impacte és l'existència de la mateixa Lluna, que ens informa de com hagueren de ser de catastròfics i caòtics els primers temps del Sistema Solar. L'altre gran fet testimonià per la Lluna és l'existència d'un oceà de magma que cobrí tota la seva superfície, aquest fet es coneix des dels temps de les missions Apol·lo però s'ha vist confirmat per la missió Lunar Prospector de finals dels anys noranta (Spudis, 2008). Probablement l'oceà de magma s'originà per la ràpida acumulació de fragments arrencats a la Terra en el gran impacte, i desconeixem si també es donà a la Terra un oceà de magma equivalent al de la Lluna, ja que no en tenim proves directes. El tercer fet són els grans impactes que afectaren a la Lluna entre el moment de la solidificació de la seva escorça fa uns 4200 milions d'anys i l'acabament de l'Imbrià inferior fa 3800 milions d'anys, que sens dubte també es donaren a la Terra. Si es confirmàs la teoria del "gran cataclisme terminal" de la Lluna fa uns 4000 milions d'anys hauríem de pensar que aquest també pogué afectar el nostre planeta.

La Lluna i Mercuri

L'estudi de la geologia lunar també ens ha permès interpretar millor la superfície del planeta Mercuri. No es coneixia molt de la superfície d'aquest planeta abans de l'era espacial, ja que no es donen mai bones condicions d'observació des de la Terra. Mercuri sempre es veu a prop del Sol i molt proper a l'horitzó quan es fa de nit. La nau Mariner 10 fou la primera que permeté obtenir imatges detallades de la seva superfície (Murray, 1975), que ens mostraren que el planeta més proper al Sol tenia una superfície molt similar a la de la Lluna (Fig. 13). La superfície de Mercuri està coberta de cràters com la Lluna, i també hi podem veure grans conques d'impacte com les lunars, la més grossa és la conca *Caloris*. Es pensa que l'edat dels grans cràters de Mercuri podria ser la mateixa que els lunars, amb una etapa de formació principal entre els 4000 i els 3000 milions d'anys d'antiguitat. Els cràters més moderns tenen rajos com els de la Lluna. En alguns terrenys es troben planes de relleus suaus que poden comparar-se als *maria* lunars, com les que omplen la conca *Caloris*, que formen el *Mare Caloris*. A diferència del que passa a la Lluna que els *maria* són molt més foscs que les terres circumdants, les planes de Mercuri tenen una foscor molt semblant al seu entorn. Aquest fet podria ser explicat si les laves que omplen les grans conques de Mercuri contenen laves amb menys ferro que les lunars (Murray, 1975).

De totes formes també hi ha diferències entre les característiques de Mercuri i les de la Lluna. Mercuri té un camp magnètic apreciable, inferior al terrestre (1% del camp magnètic de la Terra en superfície), però molt superior als de Venus, Mart i la Lluna. Aquest fet fou molt sorprenent ja que se suposava que els planetes i satèl·lits geològicament morts tampoc tendrien una dinàmica al nucli que permetés l'existència d'un camp magnètic. A més a més la rotació de Mercuri és molt lenta per poder explicar la presència d'aquest camp magnètic, per la teoria que

s'utilitza per explicar el terrestre. Encara no es té una teoria satisfactòria per explicar el camp magnètic de Mercuri, però la majoria dels autors consideren que Mercuri ha de tenir un nucli fus.



Figura 13: Foto de Mercuri en fals color, obtinguda per la sonda Messenger. (Foto de la NASA, Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory, Carnegie Institution of Washington).

Figure 13: Photograph of Mercury in false color, obtained by the Messenger probe. (Photo from NASA, Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory, Carnegie Institution of Washington).

El que sembla clar és que Mercuri té un gran nucli metàl·lic. Ja que a més de camp magnètic la densitat del planeta és molt superior a la de la Lluna, amb un valor de 5,5 g/cm³. Es creu que el nucli de Mercuri té un radi de $\frac{3}{4}$ del radi planetari.

A les antípodes de les grans conques d'impacte de Mercuri, com la conca *Caloris*, es troben terrenys muntanyosos amb solcs que es pensa que poden estar formats per la focalització dels efectes sísmics provocats per l'impacte que originà la conca. Aquests terrenys no s'han observat a la Lluna.

Una altra característica de Mercuri que no s'observa a la Lluna són els "declivis lobulats" que corresponen a alineacions de relleus retallats i poc profunds que s'estenen per centenars de quilòmetres en longitud. Aquests relleus s'interpreten com a produïts en un episodi primerenc de contracció de l'escorça a escala global. El fet que no es produeixin ni a la Lluna ni a Mart fa pensar que hi hagué un episodi de refredament lent i posterior contracció de l'escorça lligada al refredament del nucli.

És d'esperar que la nova missió Messenger, que arribà a Mercuri el 2008 i que es posarà en òrbita del planeta al 2011 per cartografiar-lo completament, canviarà el nostre coneixement sobre la geologia mercuriana.

Comparant les característiques geològiques de Mercuri amb les de la Lluna se'ns presenten una sèrie de qüestions encara no resoltes (Murray, 1975):

- Pertanyen els objectes causants d'impactes de la superfície de Mercuri a la mateixa família que els que bombardejaren la Lluna?
- Passà cada un dels planetes interiors (Mercuri, Venus, la Terra i Mart) i la Lluna per períodes distints de bombardejos que se superposaren, o bé no coincideixen en absolut acabant cada un de manera brusca i independent?

- Va veure's Mercuri afectat per un "cataclisme meteorític terminal" com el que es pensa que pogué donar-se a la Lluna?

Totes aquestes qüestions que es plantegen sobre el planeta més proper al Sol només podrien resoldre's realitzant anàlisis i datacions absolutes dels terrenys de Mercuri.

La Lluna i Mart

Abans de l'era espacial Mart era vist com un planeta en el qual les característiques superficials eren molt semblants a la Terra. Les observacions que s'havien fet des del nostre planeta semblaven confirmar-ho ja que té estacions, els dies marcians tenen una durada similar als terrestres, té atmosfera i posseeix casquets polars que canvien amb les estacions, cosa que feia suposar que durant el desgel hi hauria aigua líquida sobre la superfície del planeta roig.

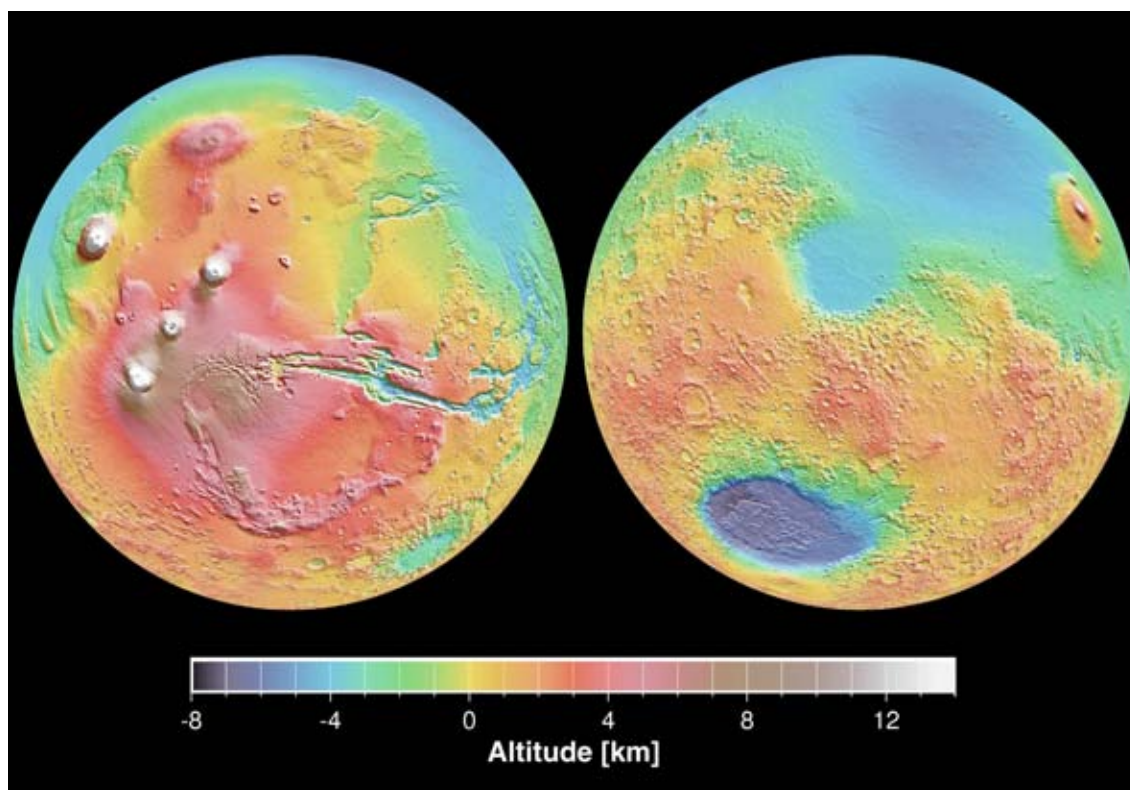


Figura 14: Imatge de Mart obtinguda per la Mars Orbital Laser Altimeter (MOLA) en què el color indica l'alçada del terreny als hemisferis occidental i oriental. A l'imatge de l'esquerra es veu l'hemisferi occidental dominat per la regió de Tharsis (vermell i marró), els volcans més alts apareixen en blanc, el *Valles Marineris* és la fossa que apareix a la dreta. A l'imatge de la dreta es veu l'hemisferi oriental, dominada per les terres altres fortament crateritzades (del groc al vermell) amb la conca Hellas (blau fosc/púrpura) a l'esquerra abaix. La província d'Elysium es troba a l'extrem superior dret. Les àrees situades al nord de la dicotomia apareixen de color blau als dos mapes. (Foto de la NASA/JPL).

Figure 14: Image of Mars from the Mars Orbital Laser Altimeter (MOLA) in which the color indicates the height of the terrain in eastern and western hemispheres. The image on the left is the Western Hemisphere dominated by the Tharsis region (red and brown), the highest volcano blank, Valles Marineris is the pit that appears to the right. The right image shows the eastern hemisphere, dominated by heavily cratered other lands (from yellow to red) with the Hellas basin (dark blue / purple) on the left below. The province of Elysium is located in the upper right. The areas in the north of the dichotomy appear blue to the two maps. (Photo from NASA / JPL).

La possible existència d'aigua líquida al planeta Mart fou i encara ho és un tema de profund debat ja que fa possible la presència de vida marciana. No coneixem totes les condicions en què es pot donar la vida, però una condició ineludible sembla ser l'existència d'aigua líquida.

La primera nau espacial que arribà a Mart i pogué enviar imatges fou la Mariner 4, que s'aproximà al planeta els dies 14 i 15 de juliol de 1965. Les imatges que envià causaren una decepció total entre els científics responsables de la missió, ja que s'esperava trobar un paisatge semblant al terrestre i el que es veié fou una superfície pareguda a la de la Lluna, totalment coberta de cràters d'impacte, alguns de centenars de quilòmetres de diàmetre. A més, com la Lluna, Mart no té camp magnètic, cosa que es relaciona amb l'absència d'un nucli metàl·lic fus. La pressió atmosfèrica no arriba a l'1% de la terrestre, i l'aire que envolta Mart està quasi exclusivament format per diòxid de carboni (no hi ha oxigen, el nitrogen és escàs i el vapor d'aigua es troba en quantitats ínfimes).

Missions posteriors demostraren que la zona retratada per la Mariner 4, encara que eren representatives d'una gran part de Mart no ens mostraven tota la complexitat geològica del planeta. A l'any 1971 la missió de la NASA Mariner 9 arribà al planeta roig enmig d'una forta tempesta. Fou la primera nau que l'orbità. Un mes després de l'arribada la tempesta es calmà i pogué enviar imatges de la seva superfície. Durant la tempesta es veieren quatre taques, que després es pogué veure que corresponien a quatre cràters de 70 a 80 km de diàmetre situats al cim de grans muntanyes (Raeburn i Golombek, 1998), s'havien descobert els primers volcans que es veren de Mart, i els primers en trobar-se al Sistema Solar fora de la Terra. Aquests volcans són l'*Olympus Mons* i els *Montes Tharsis*. L'*Olympus Mons* s'havia observat abans des de la Terra però es desconeixia que era un volcà, és el més gros que s'ha pogut veure en tot el Sistema Solar. A més a més, també va descobrir el gran canyó *Valles Marineris* i canals entrelaçats que podien haver estat formats per l'acció de l'aigua. Aquesta missió va tornar fer de Mart un planeta amb unes condicions més similars a les terrestres, en el qual hi podia haver existit aigua en el passat i on hagués estat possible l'existència de vida, almenys en el passat.

L'ambiciós projecte Viking de la NASA, que arribà a Mart al juliol de 1976 constava de dues naus, cadascuna amb un mòdul de descens i un orbital. El mòdul de descens va obtenir les primeres imatges preses des de la superfície planetària, molt semblants a les dels deserts més àrids de la Terra, la seva missió era investigar la possibilitat d'existència de vida marciana, amb resultats negatius, encara que algun dels experiments realitzats han obert debats que encara no s'han tancat. Mentrestant els mòduls orbitals prengueren les imatges més detallades de la superfície marciana obtingudes fins llavors.

Per a la pròxima missió que es realitzà a Mart es va haver d'esperar vint-i-un anys. Al juliol de 1997 arribà a Mart la Pathfinder, que obrí una nova era en la investigació del planeta roig. Ara l'objectiu no era tant veure les possibilitats d'existència de vida sinó investigar la geologia i la presència d'aigua, en tots els seus estats. La nau Pathfinder transportava un robot equipat per investigar la geologia marciana anomenat Sojourner. Segons Matt Golombek, el responsable científic de la missió, el Sojourner era un petit geòleg de 30 centímetres (Raeburn i Golombek, 1998). Al mateix temps que la missió de la Pathfinder arribà a Mart, al 1997 la nau Mars Global Surveyor, que funcionà durant quasi 10 anys, i que anava equipada amb un espectròmetre d'emissió tèrmica per tal de poder analitzar la composició mineralògica del planeta. Al 2001 arribà la Mars Odyssey equipada amb una càmera infraroja per observar la composició variable de les roques ígnies. Al 2004 arribà la Mars Express de l'ESA, equipada amb un espectròmetre infraroig per comprovar la composició mineral de les altres missions. A més, al 2004 arribaren a Mart dos robots, l'Spirit, al cràter Gusev, al final d'un sistema de canals, i l'Opportunity, al *Meridinani Planum*, en un punt triat per la gran concentració d'hematites detectada per la nau Mars Global Surveyor.

Les conclusions d'aquests programes d'exploració apunten al fet que Mart és un planeta amb característiques intermèdies entre la Terra i la Lluna. En general els planetes terrestres i la Lluna es poden agrupar en tres categories que depenen de la seva massa (Raeburn i Golombek, 1998). En primer lloc tenim Mercuri i la Lluna, que són cossos planetaris de mida i massa

petita, que han estat inactius durant milers de milions d'anys i la seva superfície està dominada per terrenys molt crateritzats, formats per impactes que tengueren lloc principalment durant els primers mil milions d'anys d'història del Sistema Solar. La Lluna conserva l'escorça original que es formà per la solidificació d'un oceà de magma, encara que hagi sofert modificacions. En segon lloc tenim els planetes terrestres grossos, que són la Terra i Venus. Aquests segueixen actius geològicament i han renovat continuament la seva superfície. Quasi totes les seves roques antigues han estat destruïdes per la seva dinàmica cortical. En canvi, Mart no encaixa en cap de les dues categories de cossos planetaris terrestres, és massa petit per ser com la Terra però massa gros per ser com la Lluna. Per a Mart s'ha de crear una categoria intermèdia. Té la mida justa per haver estat actiu durant tota la història del Sistema Solar, però no tant per haver esborrat el registre de la seva història antiga. S'han produït roques a Mart que contenen un registre complet de la història del Sistema Solar.

A Mart es poden diferenciar dos tipus de terreny (Raeburn i Golombek, 1998; Anguita, 1998). Els dos terços del sud del planeta està format per un terreny molt crateritzat, que és el que recorda més la superfície lunar i el que retrataren les primeres missions marcianes (Fig. 14). Aquest terreny es pot datar de manera aproximada amb el mètode de comptar cràters, utilitzat per a la datació de terrenys lunars. La densitat de cràters d'aquesta zona es troba entre la de les *terrae* i la dels *maria* lunars (Anguita, 1998). La seva edat se situa entre els 4000 i els 3500 milions d'anys. Aquest mètode de datació s'ha d'utilitzar amb més precaucions que per a la Lluna, ja que al nostre satèl·lit s'ha pogut ajustar amb datacions absolutes realitzades a les mostres retornades per les missions Apol·lo i Luna. Això no s'ha fet a Mart i l'única eina que tenim per datar és comparar amb la densitat de cràters lunars. Evidentment la certesa de datació a Mart no existeix ja que pot haver tengut una història d'impactes un poc diferent que la de la Lluna, a més l'activitat geològica als primers temps de la història del planeta roig pot haver esborrat cràters d'impacte. La missió Mars Global Surveyor va descobrir que aquests terrenys, com tot el planeta, estaven formats quasi totalment per feldspats, piroxens i olivina, que a la Terra i a la Lluna són minerals que constitueixen les roques volcàniques. Posteriorment la missió Mars Express de l'ESA confirmà que la composició de les roques antigues de les terres altes era la típica dels basalts, roca molt freqüent a la Terra i a la Lluna on forma les planes dels *maria*. En aquesta zona també es troben conques d'impacte, la més important és la Hellas de 2000 km de diàmetre, la segona de tot el Sistema Solar després de l'Aitken del Pol Sud de la Lluna.

El terç septentrional del planeta roig té pocs cràters d'impacte, cosa que, com ja sabem, ens informa de la seva joventut relativa (Fig. 14). En general aquest terreny es troba deprimat dos quilòmetres en relació a les zones antigues i crateritzades de Mart. El límit entre les dues zones segueix aproximament un cercle de 30 graus d'inclinació. En aquesta zona són freqüents els volcans, i també es troben planes formades pel rebliment amb roques volcàniques. L'edat dels volcans i de les planes volcàniques, obtinguda pel mètode del comptatge de cràters, és molt variable. La majoria daten de la primera meitat de la història del planeta (Christensen, 2008), encara que cap es remunta a l'edat de formació del planeta (Sagan, 1994). L'*Olympus Mons* té sols uns pocs centenars de milions d'anys i alguns relleus volcànics, com per exemple Cerberus, és formaren fa sols 200 milions d'anys (Sagan, 1994). Algunes regions com Athabasca no tenen cràters d'impacte, cosa que ens indica que són molt joves (Christensen, 2008). Les seves erupcions poden haver sorgit durant els darrers milions d'anys. No s'han observat signes de vulcanisme actiu ni punts calents geotèrmics amb les imatges infraroges nocturnes, el que s'ha pres com a una indicació que l'escorça marciana es troba refredada (Christensen, 2008).

La diferència d'alçada entre les dues regions i que la frontera entre elles sigui abrupte i amb morfologia més o menys circular fa pensar que els seu origen pugui estar relacionat amb un impacte, de manera anàloga a les conques circulars on s'ubiquen els *maria* lunars. Si fos així es tractaria d'una conca d'impacte de 7700 km de diàmetre. Però aquesta teoria es topa amb diversos problemes, el primer és que la vora de la zona nord no té una morfologia perfectament circular sinó que és bastant irregular. Com que el seu origen no està clar la majoria d'autors prefereixen anomenar-la dicotomia. Encara que les irregularitats en la forma de la vora podrien

relacionar-se amb l'erosió que ha sofert (Anguita, 1998), una altra possibilitat és que Mart experimentà una etapa (curta i antiga) de tectònica de plaques (Sleep, 1994). La dicotomia s'explicaria com a la vora d'una antiga placa litosfèrica antiga i la zona nord correspondria a una antiga zona d'escorça oceànica, equivalent a les que es troben a la Terra. Segons Sleep (1994), aquesta tectònica de plaques es donà fa 4000 milions d'anys i durà, tan sols, entre 100 i 200 milions d'anys. Aquesta teoria, òbviament, no està exempta de problemes. En primer lloc les profundes diferències que existirien entre la tectònica terrestre i la marciana, i en segon lloc la problemàtica que presenta el fet que s'iniciï una tectònica de plaques de manera tan brusca, i deixi de funcionar després d'un temps tan breu, són els principals inconvenients que es troben en aquesta teoria.

Quant a la composició mineralògica de la zona septentrional, tal com s'ha pogut observar amb la sonda Mars Express de l'ESA, s'observen zones amb composicions que s'assemblen més a les de l'andesita. Aquesta roca rep el nom de la serralada dels Andes a Sud-Amèrica. A la Terra, els basalts, que es formen pel magma que prové del mantell a les dorsals oceàniques, es transformen en roques formades per minerals més hidratats degut a que s'enriqueixen en aigua, per un procés anomenat metamorfisme de fons oceànic. Aquests basalts enriquits en aigua formen l'escorça oceànica que s'enfonsa al mantell a les zones de subsidència. L'escorça que subdueix aporta aigua al mantell i genera un tipus de magma característic que genera la lava andesítica. No coneixem perquè a Mart es donen andesites, potser provenen d'un mantell més humit, tal volta es deguin a unes condicions de pressió i temperatura diferents a les que originen els basalts, o potser les andesites que s'han observat a Mart en realitat són basalts alterats que donen l'aparença de ser andesites (Christensen, 2008). En altres zones com a *Syrtis Major* s'ha observat que la part central de les laves que formen els volcans tenen una composició basàltica mentre que les parts més laterals tenen una composició dacítica, cosa que suggereix una certa diferenciació magmàtica.

En general, des del punt de vista mineralògic i petrològic es pot dir que la superfície de Mart està governada pel vulcanisme i que, a diferència de la Lluna, és un planeta que està geològicament viu.

Una diferència destacable entre la geologia del planeta roig i la lunar és l'absència de cràters amb diàmetres inferiors als 50 m (Arvidson *et al.*, 1978) degut a l'existència d'una atmosfera, que encara que sia dèbil pot evitar els impactes petits.

Un dels punts més controvertits de la geodinàmica externa del planeta roig és la presència d'aigua. A Mart es troben moltes morfologies superficials que denoten la presència d'aigua: valls semblants a les fluvials, xarxes de drenatge i rambles. Moltes d'aquestes, quan s'observen detingudament es pot constatar que no tenen les mateixes propietats que les valls terrestres. Tal volta només es deuen a l'acció de corrents subterranis i a l'acció del sol, és a dir, que es podrien haver format més per soccavament que per l'acció de l'aigua d'escorrentia (Bell, 2008). Sembla que en alguns moments de la història de Mart l'aigua líquida ha estat estable sobre el planeta, però no està resolta la incògnita de si aquests períodes humits foren curts i esporàdics com defensa Christensen (2008), basant-se en el fet que s'hagi conservat una superfície marciana vella i l'extensa presència de minerals poc compatibles amb un ambient humit (com l'olivina i els piroxens); o bé que fou un període extens i prolongat entre els 4200 i els 3500 milions d'anys, com defensa Bell (2008) basant-se en la presència de possibles roques evaporítiques com les trobades pels robots Spirit i Opportunity, en l'existència de roques sedimentàries localitzades per l'Opportunity i ja suggerides pel Sojourner, en la localització de dipòsits d'argiles de les terres altes, en la gran erosió que experimenten certes àrees, i en morfologies que suggereixen l'existència de deltes com el trobat a Eberswalde per la nau Mars Global Surveyor.

En tot cas la presència de reserves enormes d'aigua gelada als pols i al subsòl (com demostrà la missió Mars Odyssey gràcies a l'espectròmetre de rajos gamma i al detector de neutrons d'alta energia) és un fet que ha sorprès a la comunitat científica i possibilita l'existència de dipòsits d'aigua líquida en profunditat. En aquest aspecte Mart s'allunya de la seca i totalment deshidratada Lluna per acostar-se un poc més a les condicions terrestres.

La Lluna i Venus

Els coneixements que tenim sobre la geologia lunar també ens han ajudat a conèixer un poc millor el planeta Venus. Fins als anys seixanta del segle passat no es coneixia pràcticament res de la superfície del planeta germà de la Terra. Se sabia que aquest planeta estava completament cobert de núvols, cosa que despertà la imaginació de molts estudiosos de la planetologia, pensant en un planeta pantanós i humit, que podria estar habitat per criatures diverses. De totes formes la proximitat al Sol feia probable que la temperatura fos massa elevada per a la vida.

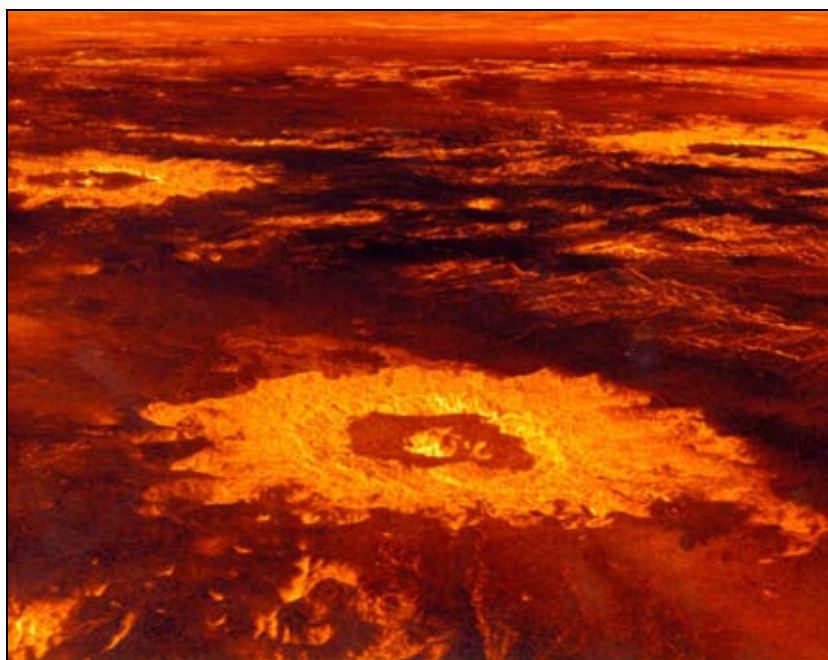


Figura 15: Imatge tridimensional de la superfície de Venus generada per ordinador. En aquesta es poden veure una agrupació de cràters d'impacte: Saskia de 37,3 km de diàmetre en primer pla, Danilova de 47,6 km de diàmetre a l'esquerra i Aglaonice de 62,7 km de diàmetre a la dreta. Aquesta imatge fou creada superposant les imatges de la sonda Magellan per a la topografia, i la coloració basada en les sondes d'aterratge Venera 13 i 14 (NASA/Cortesia de nasaimages.org).

Figure 15: Three-dimensional image of the surface of Venus, generated by computer. This can be seen a cluster of impact craters: Saskia 37.3 km in diameter in the foreground, Danilova of 47.6 km in diameter on the left and Aglaonice of 62.7 km in diameter on the right. This image was created by superimposing images from the Magellan probe to the topography, and color based on the lander Venera 13 and 14 (NASA/courtesy of nasaimages.org).

Des de l'any 1965 es ve estudiant la superfície de Venus amb radars des de la Terra, concretament des de Goldstone, al desert de Mojave i des de l'observatori Arecibo a Puerto Rico. Així es varen poder obtenir imatges d'aquest planeta. Les ones de radar es reflecteixen a la superfície del planeta i són detectades a la Terra. Quan la superfície és llisa per a les ones de ràdio s'observen zones "fosques" si la incidència de les ones no és ben perpendicular (si incidissin perpendicularment es veurien "lluents"), mentre que les superfícies es veuen "lluents" si són rugoses per a les ones de ràdio (si incidissin perpendicularment es veurien "fosques"). Així s'ha pogut treure una imatge general de la seva superfície. També des de l'any 1970 s'han fet observacions amb infrarojos des de la Terra, a través de les clarianes entre els núvols.

Els principals avanços en l'estudi de les característiques superficials de Venus es feren emperò amb les dades obtingudes amb la nau Pioneer Venus 1, a l'any 1978, que tenia com a missió principal l'estudi de l'atmosfera però també tenia un altímetre de radar que mesurava la distància de la superfície planetària mentre orbitava. Així es pogué descobrir per primera vegada la topografia de Venus.

A l'any 1983, les naus soviètiques Venera 15 i 16 també obtingueren imatges amb radar de la superfície de Venus i a l'any 1990, la sonda Galileo en el seu viatge ple de volteres cap a Júpiter també observà amb infrarojos la superfície del planeta a través de les clarianes que li deixaven els núvols. Es pogueren veure les serralades de Venus que ja es coneixien per les observacions amb radar.

L'avenç més important fins ara és deu a la nau Magellan, que entre els anys 1990 i 1993 es dedicà a l'observació amb radar de la superfície de Venus. Va realitzar mapes molt detallats amb una resolució de 100 m de quasi tot el planeta.

La superfície del planeta és bastant llisa, coberta de planes volcàniques i altiplans. Està dominada pel vulcanisme i, en menor grau, pel vent. L'accident més destacat de la superfície venusiana és un relleu d'11 km d'alçada, anomenat Maxwell. Els estudis atmosfèrics també descobriren que Venus no té pràcticament aigua, la seva atmosfera està formada per diòxid de carboni i els núvols són d'àcid sulfúric, amb una pressió superficial de 90 vegades la terrestre i una temperatura de 470°C, amb la qual cosa s'esvaeix la vella teoria d'un planeta humit i habitable.

Com ja hem dit, el vulcanisme domina la geologia de Venus. Les principals construccions volcàniques són: cons volcànics, probables escuts volcànics i calderes (Sagan, 1994). En certs llocs es veu com la lava ha cobert vastes extensions. Les planes volcàniques, que poden tenir més de 200 km de diàmetre, presenten formes peculiars. Entre elles hi ha els "àcars" o "aràcnids" (Sagan, 1994), que són depressions circulars envoltades d'anells concèntrics des de les que parteixen esquerdes superficials. També s'observen les que s'anomenen "coques bombades", que poden correspondre a algun tipus de vulcanisme en forma de dom. També tenim les "corones" que són estructures anulars curioses, alineades al llarg d'extensions de fins a 2000 km.

Una altra estructura que podria tenir equivalent al que s'ha observat a la Lluna són els canals sinuosos, que poden presentar meandres i voltes. Podrien ser equivalents a les *rimae* sinuoses lunars o bé poden ser produïts per lava molt lleugera, aquosa i poc viscosa (Sagan, 1994).

Les imatges de radar obtingudes des de la Terra varen detectar la presència d'estructures circulars similars als cràters d'impacte, a les hores observats sobretot a la Lluna (Pettengill *et al.*, 1980). La presència de cràters d'impacte fou confirmada per la missió Magellan (Fig. 15). La superfície de Venus està crateritzada però molt menys que la de la Lluna o Mart. No existeixen cràters inferiors a uns quants quilòmetres de diàmetre, ja que els asteroides i cometes petits que impacten sobre Venus es desintegren a la densa atmosfera (Sagan, 1994). També s'observen alguns cràters amb morfologies de taques irregulars, que s'atribueixen a restes de cossos impactats fragmentats a causa de la densitat de l'aire. Es veuen molts cràters ben conservats, i un reduït percentatge que estan inundats o coberts de lava.

L'estudi comparatiu de les superfícies crateritzades de Venus amb les de la Lluna i Mart, tal com s'ha observat amb la nau Magellan, han permès deduir que és molt jove (Sagan, 1994). Les zones més antigues tenen una edat de 500 milions d'anys com a molt. Les superfícies més antigues han estat esborrades pel vulcanisme.

Encara hi pot haver vulcanisme actiu a Venus, malgrat no se'n tinguin proves irrefutables. El Maat Mons podria ser un volcà actiu (Sagan, 1994).

De totes formes hi ha diferències entre els cràters d'impacte observats a Venus i els de la Lluna i altres planetes. Les morfologies dels cràters no són exactament les observades a la Lluna, Mercuri i Mart, potser la superfície calenta de Venus fa que es pugui donar una deformació plàstica, que no es dona en els altres cossos (Pettengill *et al.*, 1980).

Conclusions

Fent una síntesi de les principals característiques geològiques del nostre satèl·lit podem dir que aquest està format per dos tipus de terrenys que corresponen a dues litologies diferents, de diferents edats i generats en condicions diferents. Tenim els terrenys que constitueixen les *terrae* constituïts principalment per anortosita, per acumulació sobre la superfície lunar d'anortita que surava sobre l'oceà de magma just després de l'acumulació dels cossos protoplanetaris que formaren la Lluna. Actualment aquests terrenys es troben molt alterats pels impactes posteriors. Els segons terrenys són els *maria* formats per planes basàltiques que omplen les grans depressions de les conques d'impacte.

Els recents descobriments de les sondes Clementine, Lunar Prospector i Galileo ens han permès veure amb major claredat la distribució dels diferents materials a la Lluna, i resoldre problemes sobre la constitució i origen d'aquesta. El descobriment més important dels realitzats a finals del segle passat fou la presència d'aigua gelada a la Lluna, realitzada per la sonda Clementine i confirmada per la Lunar Prospector. Més recent és el descobriment duit a terme per la sonda LCROSS que estudià els materials ejectats per l'impacte de la carcassa del coet Centaur que la transportà, poc abans d'impactar ella mateixa al fons del cràter *Cabeus*, a la zona d'ombra permanent a prop del Pol Sud lunar. Aquesta confirmà la presència d'aigua i descobrí altres volàtils, entre ells grans quantitats de mercuri, que deguts a la seva toxicitat podria suposar un greu inconvenient per a la utilització de l'aigua atrapada als cràters lunars.

Quant a les estructures que es troben al nostre satèl·lit aquestes corresponen a impactes (conques d'impacte i cràters), al vulcanisme (doms i *rimae* sinuoses), al refredament de les laves (*rimae* rectes dels *maria* i *rupes*) o a la subsidència d'aquestes (*dorsa*). No s'observen signes de tectònica global com els que afecten a la Terra.

De les diferents teories formulades per explicar l'origen de la Lluna, la majoria dels científics actuals defensen la que diu que la Lluna es formà per l'impacte d'un gran cos de mida planetària que col·lisionà contra la Terra. Els materials arrencats per l'impacte, junt amb part del cos impactant, restaren donant voltes a la Terra i s'agruparen per formar la Lluna. Aquesta teoria s'ha vista reforçada per les observacions recents fetes per les sondes Clementine i Lunar Prospector.

En la història de la Lluna podem destacar una sèrie d'esdeveniments:

- En primer lloc, la seva formació que degué produir-se fa uns 4550 milions d'anys.
- En segon lloc, la formació de l'escorça lunar, a partir de l'acumulació d'anortita que surava sobre l'oceà de magma. La solidificació de l'escorça es degué produir fa uns 4200 milions d'anys.
- Després, se seguiren produint impactes que generarien les grans conques. La més antiga és l'Aitken del Pol Sud i la més recent la *Orientale*. Juntament a la formació de les conques, també es produïren nombrosos cràters d'impacte. Aquesta època va durar entre els 4200 milions d'anys i els 3800 milions d'anys. Alguns autors defensen que entre els 3900 i els 3800 milions d'anys es formaren la major part de les conques d'impacte, corresponent al que s'ha anomenat el "gran cataclisme terminal".
- Entre els 3800 i els 3200 milions d'anys va tenir lloc el vulcanisme que omplí la major part de les conques d'impacte, generant els *maria* lunars. Se seguiren produint impactes però amb una intensitat decreixent de forma exponencial.
- Entre els 3200 i els 1000 milions d'anys encara es produïren erupcions volcàniques a certes parts dels *maria*, encara que cada vegada de manera més esporàdica. La freqüència d'impactes es va reduir a l'actual, degut a que ja havien estat escombrats la majoria dels cossos que originaren els grans impactes, i l'activitat d'impactes es degué exclusivament als tipus de cossos que actualment existeixen al Sistema Solar.

- Des de fa 1000 milions d'anys la Lluna només s'ha vista alterada per alguns impactes ocasionals, per l'acció de la radiació solar i per petits moviments de terra deguts a la gravetat lunar.

En conclusió és pot dir que la Lluna és un satèl·lit en què quasi tots els seus materials superficials s'han format fa més de 3000 milions d'anys. Actualment es pot considerar geològicament mort. La seva morfologia superficial es deguda principalment a l'acció dels impactes meteorítics.

Les mostres recollides a la Lluna per les missions Apol·lo nord-americanes i les Luna soviètiques, juntament amb els meteorits d'origen lunar trobats a l'Antàrtida i a zones desèrtiques del nord d'Àfrica i d'Oman, ens han pogut permetre tenir un coneixement amb cert grau de detall sobre la geologia lunar, especialment sobre la mineralogia, petrologia i edats absolutes de formació de determinats terrenys.

L'estudi comparat de la Lluna amb altres cossos planetaris del Sistema Solar ens ha pogut fer veure com degué ser la història antiga de la Terra, abans que es generassin les formacions rocalloses més antigues terrestres que es conserven i que tenen uns 3800 milions d'anys. Per comparació amb la Lluna i altres planetes podem concloure que la Terra es degué veure afectada per nombrosíssims impactes com els que afectaren el nostre satèl·lit. Les sondes que arribaren al planeta Mercuri ens mostraren que aquest té una superfície molt semblant a la lunar, cosa que ens indica que la seva activitat geològica s'aturà a una època molt primerenca, com a la Lluna. També hem pogut observar les semblances dels dos terços meridionals de Mart amb les *terrae* lunars, podent-se estimar que l'edat de la major part del planeta roig correspon als primers 1000 milions d'anys després de la seva formació. Finalment també hem pogut observar cràters d'impacte a Venus, i comparant-lo amb la Lluna podem estimar que les zones més antigues d'aquest planeta no sobrepassen els 500 milions d'anys.

Per acabar farem menció d'aquelles qüestions que encara no tenim resoltes:

- Tengué lloc a la Lluna el “gran cataclisme terminal” que postulen algunes teories? En cas afirmatiu, afectà només al sistema Terra-Lluna o fou generalitzat per a tot el Sistema Solar?
- A què es deuen les diferències entre la cara visible i l'oculta de la Lluna?
- Hi ha terratrèmols a la cara oculta de la Lluna?
- L'oceà de magma que es formà a l'inici de la formació de la Lluna és donà exclusivament a aquesta o també es donà a altres cossos?

Bibliografia

- Anguita, J. i de la Casa, M.A. (1995). *Contando cráteres: un método para datar superficies planetarias*. Enseñanza de la Ciencias de la Tierra (3.2): 106-110.
- Anguita, F. (1988). *Origen e historia de la Tierra*. Editorial Rueda. Madrid. 525 pp.
- Anguita, F. (1998). *Historia de Marte: Mito, exploración, futuro*. Editorial Planeta. Barcelona. 314 pp.
- Arvidson, R.E., Binder, A.B. i Jones, K.L. (1978). *La superficie de Marte*. Investigación y Ciencia, 20: 26-39.
- Bell, J. (2008). *Agua en Marte*. Investigación y Ciencia. Temas 53, Planetas, 66-72.
- Brush, S.G. (1986). *Early History of Selenology*. In: W.K. Hartmann, R.J. Phillips i G.J. Taylor (eds.). Origin of the moon, Proceedings of the conference, Kona, Hawaii, October 13-16. Lunar and Planetary Institute, Houston, Texas. 3-15.

- Christensen, P.R. (2008). *Estratigrafía y relieve de Marte*. Investigación y Ciencia. Temas 53, Planetas, 50-57.
- Colaprete, A., Schultz, P., Heldmann, J., Wooden, D., Shirley, M., Ennico, K., Hermalyn, B., Marshall, W., Ricco, A., Elphic, R.C., Goldstein, D., Summy, D., Bart, G.D., Asphaug, E., Korycansky, D., Landis, D. i Sollitt, L. (2010). *Detection of water in the LCROSS ejecta plume*. Science, 330(6003): 463-468.
- Darwin, G. (1878). *On the precession of a viscous spheroid*. Nature, 18: 580-582.
- Darwin, G. (1879). *On the precession of a viscous spheroid and on the remote history of the Earth*. Phil. Trans. Roy. Soc. London, 170: 447-538.
- Gladstone, R.G., Hurley, D.M., Retherford, K.D., Feldman, P.D., Pryor, W.R., Chaufray, J.-Y., Versteeg, M., Greathouse, T.K., Steffl, A.J., Throop, H., Parker, J.W., Kaufmann, D.E., Egan, A.F., Davis, M.W., Slater, D.C., Mukherjee, J., Miles, P.F., Hendrix, A.R., Colaprete, A. i Stern, A.S. (2010). *LRO-LAMP observations of the LCROSS impact plume*. Science, 330(6003): 472-476.
- Hartmann, W.K. i Davis, D.R. (1974). *Satellite-sized planetesimals and lunar origin*. (International Astronomical Union, Colloquium on Planetary Satellites, Cornell University, Ithaca, N.Y. 18-21 august 1974). Icarus, 14: 504-515.
- Jewitt, D.C., Sheppard, S.S. i Kleyna, J. (2008). *Satélites irregulares*. Investigación y Ciencia. Temas 53, Planetas, 74-81.
- Murray, B.C. (1975). *Mercury*. Scientific American, 233(3): 58-69.
- Pettengill, G.H., Campbell, D.B. i Masursky, H. (1980). *La superficie de Venus*. Investigación y Ciencia, 49.
- Ortiz, J.L. (2001). *Secretos lunares. Detección de destellos ocasionales*. Investigación y Ciencia, 301: 40-41.
- Roche, E. (1873). *Essai sur la constitution et l'origine du système solaire*. Mem. Acad. Sci. Lett. Montpellier, Sec. Sci., 8: 235-324.
- Raeburn, P. i Golombek, M. (1998). *Marte: descubriendo los secretos del planeta rojo*. National Geographic Society. RBA publicaciones. Barcelona. 232 pp.
- Reed, G.W. (1999). *Don't drink the water*. Meteoritics & Planetary Science, 34(5): 809-811.
- Romero, J. i Crespí, D. (1992). *Recursos minerales para el emplazamiento de una base lunar*. III Congreso Geológico de España y VIII Congreso Latinoamericano de Geología. Actas tomo 2: 567-571.
- Sagan, C. (1994). *Un punto azul pálido*. Editorial Planeta. Barcelona. 429 pp.
- Schultz, P.H., Hermalyn, B., Colaprete, A., Ennico, K., Shirley, M. i Marshall, W.S. (2010). *The LCROSS cratering experiment*. Science, 330(6003): 468-472.
- See, T.J.J. (1909a). *Dynamic theory of the capture of satellites and of the division of nebulae under the secular action of a resisting medium*. Astr. Nachr., 181: 333-350.
- See, T.J.J. (1909b). *Origin of the lunar terrestrial systems by capture with further consideration on the theory of satellites and on the physical cause which has determined the directions of rotations of the planets about their axes*. Astr. Nachr., 181: 365-386.
- Sleep, N.H. (1994). *Martian plate tectonics*. Journal of Geophysical Research, 99-E3: 5639-5655.
- Smoluchowski, R. (1986). *El sistema solar*. Biblioteca Scientific American, Prensa Científica, Editorial Labor. Barcelona. 179 pp.
- Spudis, P.D. (2008). *La nueva luna*. Investigación y Ciencia. Temas 53, Planetas, 90-96.
- Strahler, A.N. (1992). *Geología física*. Ediciones Omega. Barcelona. 629 pp.
- Wetherill, G.W. (1981). *Nature and origin of basin-forming projectiles*. In Multi-ring basin: Lunar and Planetary Science Conference Proceedings 12, pt. A. 1-18.

Wilhelms, D.E. (1987). *Geologic History of the Moon*. U. S. Geological Survey Professional Paper 1348. Denver. 314 pp.

Wood, J.A. (1986). *Moon over Mauna-Loa - A review of hypotheses of formation of Earth's moon*. In: W.K. Hartmann, R.J. Phillips i G.J. Taylor (eds.). *Origin of the moon*, Proceedings of the conference, Kona, Hawaii, October 13-16. Lunar and Planetary Institute, Houston, Texas. 17-35.

Geografia i moviments de la Lluna

Gaspar Juan

Seminari Permanent d'Astronomia, Astronàutica i Satèl·lits (SPA AIS)



Juan, G. (2010). Geografia i moviments de la Lluna. *In*: Ginard, A., Pons, G.X. i Vicens, D. (eds.). Història i Ciència: commemoració dels 40 anys de l'arribada de l'home a la Lluna. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 16; 95-107. SHNB - OAM - UIB. ISBN 978-84-15081-49-4.

Resum: L'estudi de la Terra i la Lluna s'ha de fer des d'una perspectiva d'un sistema doble; quan la Terra descriu una el·lipse en el seu moviment al voltant del Sol, en realitat és el centre del sistema Terra-Lluna qui la descriu. Els moviments de la Lluna són força complexos i per determinar-los amb exactitud s'han de tenir en compte al voltant de 1475 irregularitats. En el seu moviment al voltant de la Terra, la Lluna, varia el seu aspecte exterior i passa per diferents fases, encara que des de la Terra es vegi sempre la mateixa cara. Les forces de marea de la Terra actuen sobre la Lluna, en una fase primigènia, frenant la seva rotació fins que s'igualaren el període de rotació amb el de revolució; aquesta rotació sincrona provoca que des de la Terra es vegi sempre la mateixa cara de la Lluna; de fet no es veu només una cara, sinó que es veu un poc més, gairebé un 60%, a causa d'uns fenòmens òptics anomenats libracions.

Una de les característiques més destacables de la Lluna és la diferència que hi ha entre les dues cares, la visible i la oculta, com ara el nombre de mars, n'hi ha molts més a la cara visible que a la cara oculta. Una altra característica de la Lluna és el contrast entre les zones clares (terres altes, anomenades *terrae*) i les obscures (planures, anomenades *maria*). La freqüència de cràters en els planures és clarament menor que en les terres altes. Les terres altes, l'origen de les quals és troba en els impactes a què va ser sotmesa la Lluna durant milions d'anys, no varen ser envaïdes pels corrents de lava que sí inundaren els mars.

Abstract: *The study of the Earth and Moon should be done from the perspective of a dual system, when Earth describes an ellipse in its motion around the Sun, is actually the center of the Earth - Moon system, who describes it. The movements of the moon are quite complex and to determine them accurately be taken into account irregularities around 1475. In its motion around the Earth, Moon, his outward appearance changes and goes through different phases, but since the Earth always see the same face. The tidal forces act on the Earth's moon, in a primitive stage, slowing down the rotation until it catches up with the rotation period of revolution, this causes synchronous rotation from the Earth always see the same face the moon in fact is not only a face, but looks a little more, almost 60% due to a phenomena called optical librations.*

*One of the most important features of the Moon is the difference between the two sides, the visible and hidden, such as the number of seas, there are many more in the face visible to the dark side. Another feature of the Moon is the contrast between light areas (uplands, called *terrae*) and dark (plains, called *maria*). The*

frequency of craters on the plains is clearly lower than in the highlands. The highlands, the source of which is located on the impacts which underwent the Moon for millions of years, were not invaded by lava flows poured into the seas.

Planeta doble?

La relació entre els radis de la Terra i el seu satèl·lit natural (Taula 1) és molt petita si la comparem amb la relació que existeix entre els radis d'altres planetes, com ara, Mart, Júpiter o Saturn i els seus satèl·lits majors, i només és comparable a la relació que existeix entre Plutó i Caronte (aprox. 2/1). Així trobam que la relació de radis entre la Terra i la Lluna és 3,6/1; entre Saturn i Tità 23/1; entre Júpiter i Ganimedes 27/1 i entre Mart i Deimos 566/1. Això vol dir que l'estudi dels dos astres s'ha de fer des d'una perspectiva d'un sistema doble i que quan es diu que la Terra descriu una el·lipse al voltant del Sol, en realitat és el centre del sistema Terra-Lluna que descriu l'el·lipse al voltant del Sol. Aquest centre (baricentre) està situat dintre del globus terrestre a uns 4683 km del seu centre.

Els moviments de la Lluna són molt complexos, essent necessari, per determinar amb exactitud els moviments reals, tenir en compte 1475 irregularitats diferents i aquests inclouen les perturbacions de la seva òrbita deguts a l'atracció que sobre ella exerceixen els altres astres del Sistema Solar, especialment Venus i Júpiter.

		Comparació amb la Terra
Distància mitjana a la Terra	384 403 km	
Radi	1738 km	(1/3,66)
Volum	$2,19 \cdot 10^{10} \text{ km}^3$	(1/49,37)
Superfície	$3,8 \cdot 10^7 \text{ km}^2$	(1/13,4)
Massa	$7,349 \cdot 10^{22} \text{ kg}$	(1/81,3)
Densitat	$3,34 \text{ g/cm}^3$	(1/1,65)
Velocitat d'escapament	2,38 km/s	(1/4,71)
Gravetat	$1,62 \text{ m/s}^2$	(1/6,02)
Magnitud estel·lar aparent	-12,74	
Albedo	0,12	
Inclinació de l'òrbita	$5^\circ 8' 43,4''$	
Excentricitat de l'òrbita	0,05	
Temperatura (regions no exposades al Sol):	de -170° a -185°C	
Temperatura (regions exposades al Sol):	$+130^\circ\text{C}$	

Taula 1: Elements generals de la Lluna.

Table 1: General elements of the Moon.

L'òrbita de la Lluna

A pesar de la seva llunyania, el Sol exerceix una atracció sobre la Lluna molt més forta que la Terra (més de dues vegades).

La influència pertorbadora del Sol es pot analitzar en sis efectes principals:

- a) Variacions periòdiques en l'excentricitat (evecció), poden oscil·lar entre 0,044-0,067.
- b) La inclinació de l'òrbita varia entre $4^{\circ} 58'$ i $5^{\circ} 19'$.
- c) El perigeu (punt més proper al nostre planeta) avança en la mateixa direcció que la rotació de la Terra donant una revolució completa en 8,85 anys.
- d) La línia que uneix els nodus de la Lluna (punts en els que l'òrbita lunar talla el pla de l'eclíptica) té un moviment retrògrad al llarg de l'eclíptica: període de nutació de 18,61 anys.
- e) L'atracció del Sol sobre la Lluna és menor quan la Lluna està més llunyana, efecte conegut com a variació.
- f) També es produeixen variacions a mesura que hi ha canvis en la distància Terra-Sol durant l'any (equació ànnua).

La translació de la Lluna: el mes

Podem considerar diferents tipus de mesos segons el diferent punt de referència que es pren:

- Mes sideri: és el temps transcorregut entre dues passades consecutives de la Lluna pel cercle horari d'una estrella. La seva durada mitjana és de 27 dies, 7 hores i 43 minuts.
- Mes sinòdic: és el temps transcorregut entre dues fases lunars iguals. Té una durada mitjana de 29 dies, 12 hores i 44 minuts, també es coneix com a llunació.
- Mes tròpic: és el temps transcorregut entre dues passades consecutives de la Lluna pel cercle horari del punt Àries. La seva durada mitjana és de 27 dies, 7 hores i 43 minuts.
- Mes anomalístic: és el temps transcorregut entre dues passades consecutives de la Lluna pel perigeu. Té una durada mitjana de 27 dies, 13 hores i 18 minuts.
- Mes draconític: és el temps transcorregut entre dues passades consecutives de la Lluna pel nodus ascendent de la seva òrbita. La seva durada mitjana és de 27 dies, 5 hores i 5 minuts.

Fases de la Lluna

La Lluna en el transcurs d'un mes es mou sempre entre els estels en una mateixa direcció: d'oest a est. Aquest moviment aparent va acompanyat d'una variació constant al seu aspecte exterior, que es caracteritza per la fase de la Lluna (Fig. 1). Les fases lunars s'expliquen pel fet que la Lluna, com la Terra, és un cos opac, de forma esfèrica i, durant el seu moviment al voltant de la Terra, ocupa diferents posicions respecte del Sol. Degut a l'allunyament del Sol els raigs solars, que incideixen sobre la Lluna són quasi paral·lels i sempre il·luminen la meitat de l'esfera lunar; l'altra meitat sempre és fosca. Però, ja que cap a la Terra generalment estan dirigides una part de l'hemisferi clar i una part del fosc, la Lluna ens sembla un cercle incomplet. La línia que divideix les parts fosca i clara del disc de la Lluna s'anomena terminator i és sempre una el·lipse. L'angle ψ entre les direccions del Sol a la Lluna i de la Lluna a la Terra s'anomena angle de fase.

Es distingeixen quatre fases fonamentals de la Lluna que, en la següent successió, passen gradualment d'una a altra.

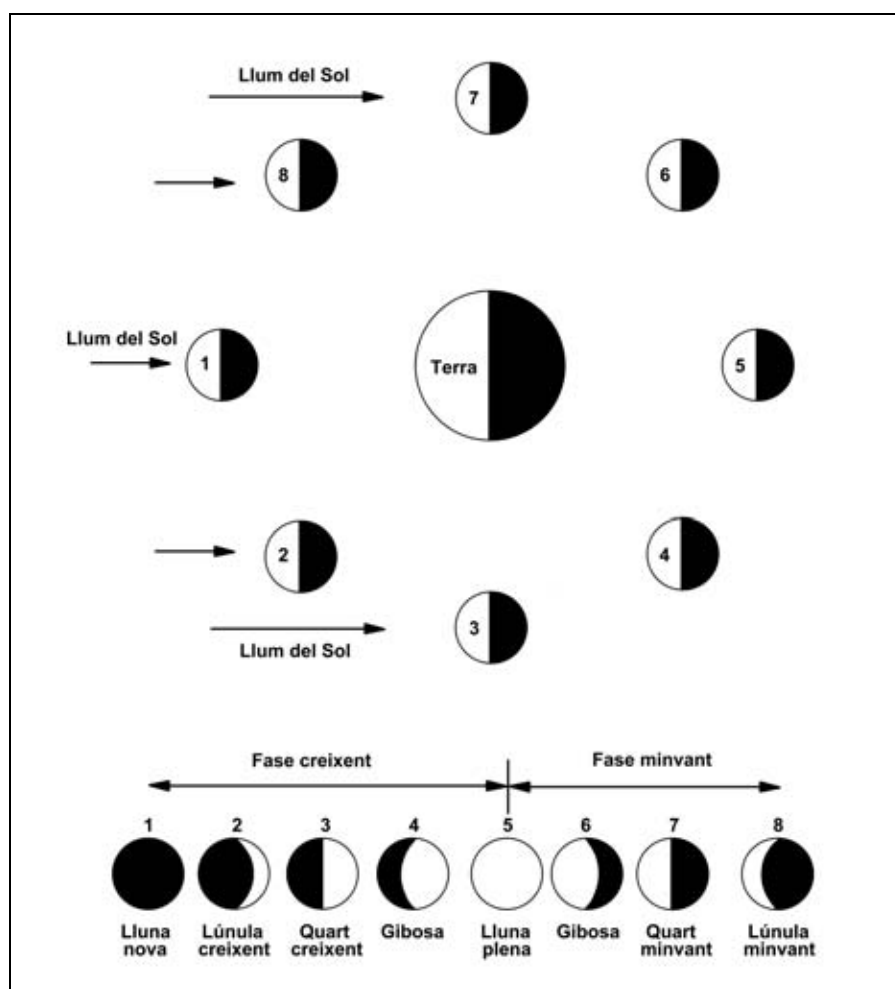


Figura 1: Les fases de la Lluna. A partir de North (2008).

Figure 1: The phases of the moon. Extracted of North (2008).

Lluna nova: La Lluna passa entre el Sol i la Terra, és a dir $\psi = 180^\circ$. La cara fosca de la Lluna està dirigida cap a la Terra i la Lluna no es veu en el cel. Comença la llunació. Edat de la Lluna = 0 dies.

Quart creixent: En aquest moment la Lluna es troba en la seva quadratura oriental i $\psi = 90^\circ$. Edat de la Lluna = 7 dies, 9 hores i 11 minuts. En aquesta fase la Lluna es veu en la primera meitat de la nit.

Lluna plena: Té l'aspecte d'un cercle complet, la Lluna es troba en oposició al Sol i $\psi = 0^\circ$. Es veu en el cel tot el vespre: surt a l'ocàs del Sol i es posa a l'ortiu d'aquest. Edat de la Lluna = 14 dies, 18 hores i 22 minuts. Després del pleniluni, la Lluna comença a "minvar", per la part occidental del seu disc, apareix una "gepa", fins que arriba a la quadratura occidental i $\psi = 90^\circ$.

Quart minvant: La Lluna es veu en la segona meitat de la nit fins a la sortida del Sol. Edat = 22 dies, 3 hores i 33 minuts. Dia a dia, la Lluna va minvant fins que arriba a veure's com una falç prima que es veu a l'orient, poc abans de l'ortiu del Sol; passats dos o tres dies desapareix.

La rotació de la Lluna (rotació síncrona)

La Lluna sempre està dirigida cap a la Terra amb una mateixa cara, amb un mateix hemisferi, ja que gira al voltant del seu eix amb el mateix període (i la mateixa direcció) que es mou al voltant de la Terra, és a dir, el “dia sideri” a la Lluna és de 27,32 dies terrestres.

Les forces de marea de la Terra actuaren sobre la Lluna frenant la seva rotació fins que s’igualaren el període de rotació amb el de revolució. Sembla que aquesta “rotació síncrona” es va dur a terme en uns 10 milions d’anys, a una fase primigènia de la Lluna.

L’eix de rotació de la Lluna està inclinat respecte al pla de l’òrbita lunar en un angle de $83^{\circ} 20'$. En cada moment des de la Terra es veu exactament la meitat de la superfície de la Lluna, però amb observacions constants es pot arribar fins quasi el 60% de la seva superfície. Això és possible gràcies a un fenomen òptic anomenat libració (balanceig) de la Lluna.

Libració

La libració òptica o aparent, en realitat la Lluna no efectua cap “oscil·lació”, és conseqüència de tres efectes:

- Libració en longitud
- Libració en latitud
- Libració diürna o paral·làctica

Libració en longitud

La libració en longitud (Fig. 2) apareix perquè l’òrbita de la Lluna al voltant de la Terra és una mica excèntrica. A mesura que la Lluna s’aproxima al perigeu accelera la velocitat i quan s’aproxima a l’apogeu la desaccelera. En canvi la velocitat de rotació és constant. Com a conseqüència, durant una llunació, la Lluna oscil·la respecte a nosaltres en la direcció EO, amb una amplitud màxima de $7^{\circ}54'$.

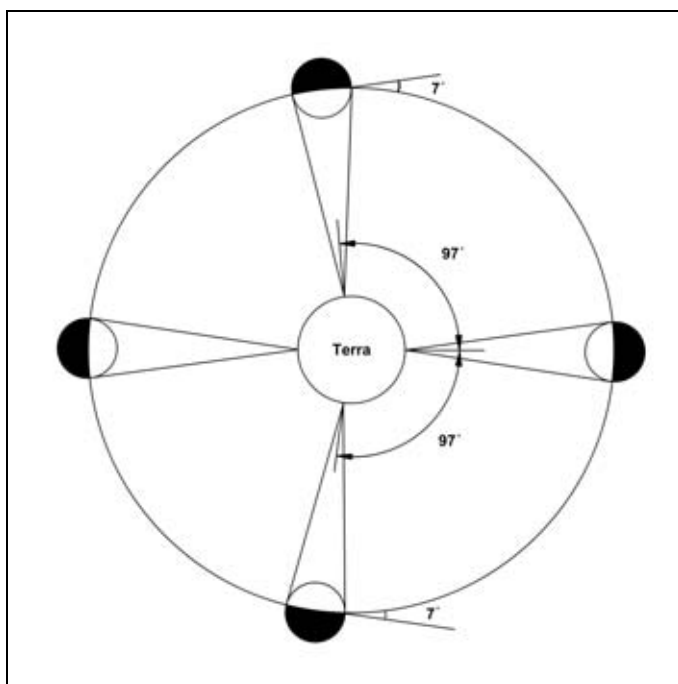


Figura 2: Libració en longitud. A partir de North (2008).

Figure 2: Libration in longitude. Extracted of North (2008).

Libració en latitud

La libració en latitud (Fig. 3) és conseqüència de la petita inclinació d' $1,5^\circ$ de l'eix de rotació de la Lluna respecte a la normal al pla de la seva òrbita al voltant de la Terra; de la mateixa forma com es produeixen les estacions a la Terra degudes a la rotació al voltant del Sol (la inclinació de l'eix de rotació de la Terra és de $23,5^\circ$). A més, si tenim en compte que el pla de l'òrbita que segueix la Lluna al voltant de la Terra està inclinat uns 5° respecte al pla de l'òrbita que segueix la Terra al voltant del Sol, això fa que la Lluna oscil·li en la direcció NS uns $6,5^\circ$.

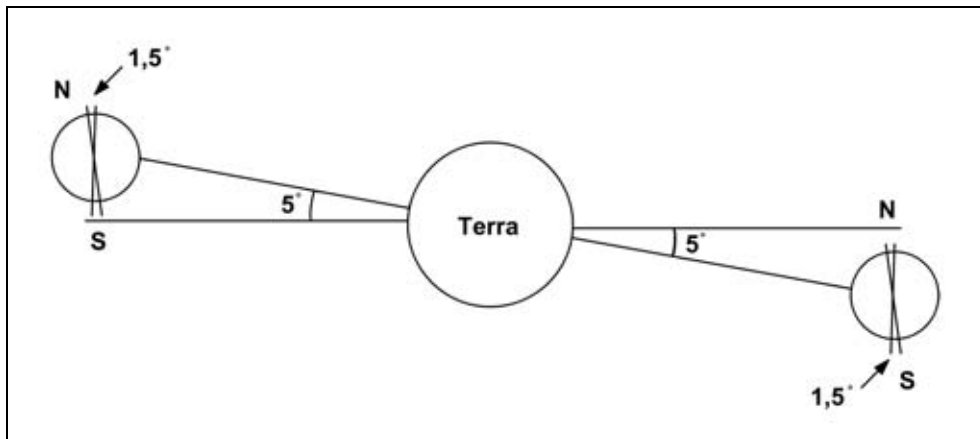


Figura 3: Libració en latitud. A partir de North (2008).

Figure 3: Libration in latitude. Extracted of North (2008).

Libració diürna o paral·làctica

La libració diürna o paral·làctica (Fig. 4) depèn del lloc d'observació en la superfície de la Terra: dos observadors que es troben en dos punts diferents de la superfície terrestre veuen en un mateix moment regions una mica diferents de la superfície lunar. Val aproximadament 1° .

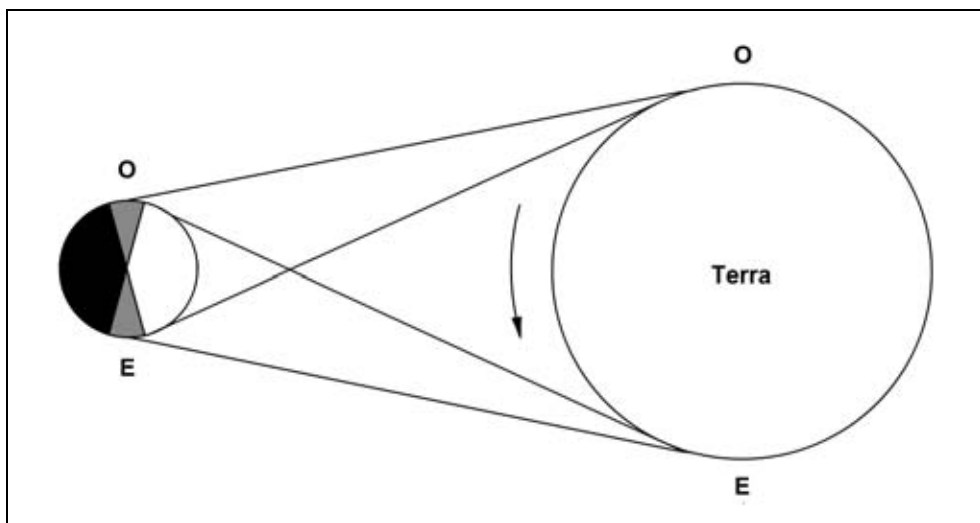


Figura 4: Libració diürna o paral·làctica. A partir de North (2008).

Figure 4: Diurnal or parallactic libration. Extracted of North (2008).

Les dues cares de la Lluna. Asimetries entre la cara propera i la llunyana

A la cara llunyana hi ha molts pocs mars: la proporció respecte a la superfície global entre una cara i l'altra varia des del 31,2% de la cara visible al 2,6% de la cara llunyana

L'escorça lunar (entre 35 i 65 km) és, de mitjana, més gruixuda en la cara llunyana que en la cara visible. També s'ha trobat que les concentracions de ferro, Fe, són molt més importants en la cara visible (els impactes que crearen les conques d'aquesta cara excavaren fins a una escorça inferior rica en ferro) i que l'element radioactiu tori, Th, tan sols es troba en l'*Oceanus Procellarum*.

Paisatges lunars

L'aspecte més distintiu de la Lluna és el contrast de zones clares i fosques. Les zones clares són les terres altes i reben el nom de *terrae* (del llatí *terra*, forma singular: *terra*) i les planures més fosques anomenades *maria* (del llatí *mares*, forma singular: *mare*), noms proposats per Johannes Kepler.

Les zones altes estan formades per roques de color clar -anortosites- compostes, principalment, per un feldspat ric en calci, denominat plagiòclasi.

En canvi, el component més abundant dels mars és el basalt fosc. Aquestes roques se solidificaren a partir de laves expel·lides i es varen estancar en enormes conques d'impacte, creant-se d'aquesta forma els mars de la Lluna.

Altres característiques del paisatge lunar són la presència de cràters d'impacte, el material ejectat per aquests (sistemes radials), alguns volcans, depressions omplides per l'oceà de magma, pujols, doms i les marques deixades pels fluxos de lava (rieres).

Mars lunars

Els mars lunars són els accidents més distingibles i són fàcilment visibles a ull nu. Podem considerar-ne bàsicament de dos tipus: regulars i irregulars.

Mars regulars: són bàsicament depressions circulars amb voreres muntanyoses, freqüentment incompletes. El més notable és *Mare Imbrium*, envoltat per *Appenninus*, *Alpes*, *Jura* i *Carpatius*, i el *Mare Serenitatis* envoltat per *Montes Haemus* i *Caucasus*. Altres mars menys regulars són *Nubium*, *Tranquillitatis*, *Fecunditatis* i *Oceanus Procellarum*.

Mars irregulars: *Frigoris*, *Australe*.

La major part estan connectats, excepte *Crisium*, *Orientale*, *Humboldtianum* i *Smythii*. A vegades es fa difícil distingir un mar d'una gran planura envoltada per parets, com és el cas de Grimaldi (222 km), la meitat de *mare Crisium*, amb un fons fosc del mateix tipus dels *maria*.

A la cara llunyana hi ha dos accidents: *Moscoviense* i *Ingenii*, però cap dels dos es pot qualificar com a tal: *Mare Moscoviense* té un fons fosc però és més petit que altres conques com ara *Apollo* o *Hertzprung* i *Mare Ingenii* és una regió fosca irregular.

La freqüència de cràters en els mars és clarament menor que en les zones muntanyoses i se suposa que són força joves.

Hi ha cràters, de l'època de formació de les conques, amb parets fregant algun mar: *Sinus Iridum*, *Fracastorius* (*Mare Nectaris*).

Característiques típiques dels mars:

- 1) Són plans.
- 2) Fons fosc.
- 3) Poden tenir gran varietat d'accidents: esclatxes sinuoses (canals de lava), serralades arrugades (resultat de plegaments en les capes superficials), etc.

Tipus de cràters

Segons la seva mida i morfologia, es poden classificar en tres tipus:

a) Cràters senzills: són aquells que tenen menys de 15 km de diàmetre, forma cònca, interior net i parets interiors suaument inclinades.

Entre 15 i 25 km es produeix una transició cap als cràters complexos, ja que aquí és possible trobar restes de pics centrals, terrasses perimetrals o dipòsits en els fons.

b) Cràters complexos: tenen un diàmetre entre 25 i 300 km, el seu fons està format per sòls plans i poc profunds. Tenen pics centrals (indiquen el punt d'impacte que va suportar major pressió) i terrasses en les parets internes, com ara el cràter *Alphonsus* (Fig. 5), de 118 km de diàmetre.

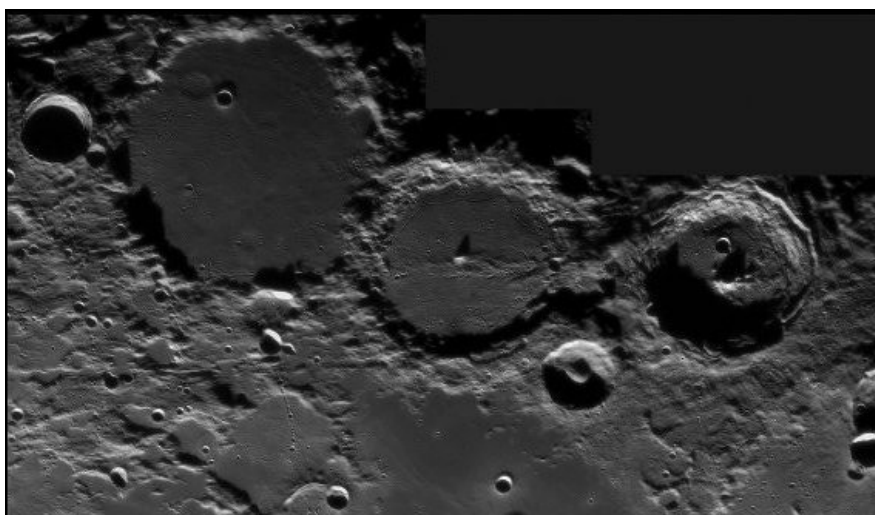


Figura 5: En el centre dels tres cràters més grans de la imatge es pot observar el cràter *Alphonsus*, d'uns 118 km de diàmetre amb el seu pic central d'uns 1000 m aproximadament. El cràter de l'esquerra és *Ptolemaeus* i el de la dreta *Arzachel*. (NASA/Cortesia de nasaimages.org).

Figure 5: In the center of these three craters we can be observed the crater Alphonsus, about 118 km in diameter with the central peak of about 1000 meters approximately. The crater on the left is Ptolemaeus and the right Arzachel. (NASA/courtesy of nasaimages.org).

c) Conques d'impacte: Aquí trobam les majors estructures de col·lisió presents a la superfície lunar, amb els mars circulars inclosos, per suposat. Moltes d'aquestes conques d'impacte tenen pics i anells centrals. Les grans conques d'impacte tenen uns quants sistemes d'anells concèntrics (fins a 6), alguns dels quals poden estar parcialment inundats per laves, com ara el Mar Oriental (Fig. 6).

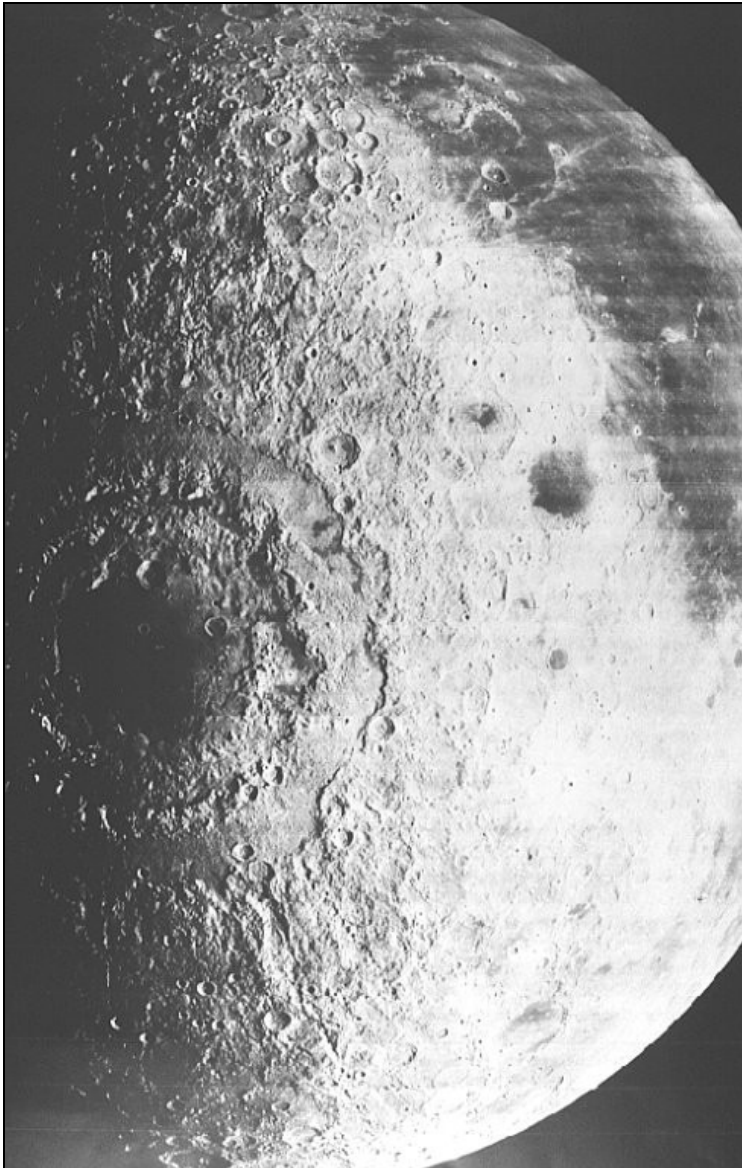


Figura 6: El *Mare Orientale* amb l'estructura de múltiples anells de la seva conca d'impacte, la part interna de la qual, inundada de lava, té un diàmetre aproximat de 320 km. L'anell més extern s'estén uns 930 km. aproximadament. A dalt, a la dreta de la fotografia es pot observar una part de l'*Oceanus Procellarum* i més cap al centre el cràter Grimaldi. (NASA/Cortesia de nasaimages.org).

Figure 6: Mare Orientale structure with multiple rings of the impact basin, the inner part of which was inundated by lava, has a diameter of approximately 320 km. The outer ring extends about 930 km. Top on the right of the photo can be seen part of the Oceanus Procellarum toward the center and the crater Grimaldi. (NASA / courtesy of nasaimages.org).

Zones muntanyoses

Les zones altes, anomenades *terrae*, són les regions més velles de la superfície lunar. Varen ser les primeres en solidificar-se i no varen ser envaïdes pels corrents de lava que inundaren els mars. Les serralades i muntanyes lunars tenen el seu origen en els impactes a que va ser sotmesa la Lluna durant milions d'anys.

Els grans impactes generaren grans cràters amb parets molt altes a les seves voreres. Posteriors impactes han anat deformant i transformant l'aspecte dels impactes més antics aconseguint que, en alguns casos, les sèries de muntanyes semblin realment serralades terrestres o muntanyes aïllades. Les cadenes més grans es troben, com és lògic, envoltant als impactes més grans i les muntanyes aïllades es troben dins de regions inundades per les colades volcàniques que han format els mars lunars.

En total, les zones altes ocupen un 85% de la superfície de la Lluna. En la cara visible es troben principalment als pols i als quadrants SE i SO. En canvi, la cara llunyana està formada quasi exclusivament per *terrae*. La seva elevació mitjana és de 5 km sobre el radi mitjà. En lloc de *maria* hi ha depressions circulars com ara *Korolev*, *Apollo*, *Hertzprung*, que tenen la mida de mars, però no contenen basalt. Aquests es varen originar en un procés de "diferenciació

magmàtica” en el qual els materials dins una mescla fosa ígnia es diferencien d’acord amb les seves densitats; a mesura que els més lleugers cristal·litzaren suraren cap a dalt, formant regions de densitat més baixa.

La densitat de les zones muntanyoses varia entre 2,7-3 g/cm³ mentre que la densitat dels mars oscil·la entre 3,3 – 3,4 g/cm³. Una característica important és que no s’han conservat indemnes. És clar que han sofert un gran bombardeig.

També s’han format escletxes de forma que les restes de l’escorça primitiva es poden trobar en aquestes mostres (Apol·lo XVI – Formació Cayley – regió de Descartes).

Serralada dels Apenins

A la vora SE del *Mare Imbrium*, es troba la serralada dels Apenins, té una longitud de 600 km i els seus cims més alts superen els 5000 m. Podem trobar-hi el *Mons Wolff* de 3800 m d’alçada i 35 km de diàmetre; el *Mons Ampère* de 3300 m d’alçada i 30 km de diàmetre; el *Mons Huygens*, la major altura de la cara visible lunar, arriba fins als 5400 m i té un diàmetre de 40 km o el *Mons Bradley* que té 4300 m d’alçada i 30 km de diàmetre.

Molt conegut és el *Mons Hadley*, de 4500 m d’altura i 25 km de diàmetre, que juntament amb els *Mons Hadley Delta* formen una vall dins la qual es troba la *Rima Hadley* que va ser visitada pels astronautes de l’Apol·lo XV (Fig. 7).

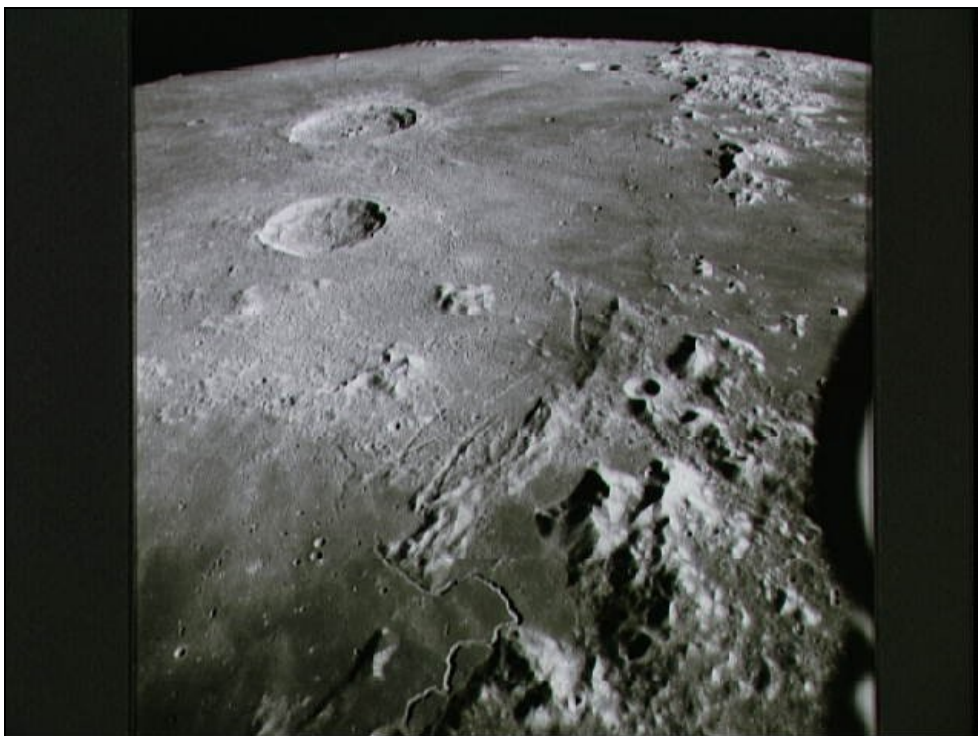


Figura 7: El *Mons Hadley* de 4500 m d’altura i 25 km de diàmetre juntament amb el *Mons Hadley Delta* formen una vall dins la qual es troba la *Rima Hadley* que va ser visitada pels astronautes de l’Apol·lo XV. (NASA/Cortesia de nasaimages.org).

Figure 7: The *Mons Hadley* 4500 meters high and 25 km in diameter with the *Mons Hadley Delta* are within a valley which is the *Rima Hadley* that was visited by the *Apollo XV* astronauts. (NASA/courtesy of nasaimages.org).

Doms lunars

Els doms lunars, són petites formacions amb forma de cúpula o de pujol amb pendents molt suaus i origen suposadament volcànic. Solen ser formacions aïllades, petites i difícils de veure ja que el moment d'observació ha de ser escollit de forma molt precisa, amb el terminador a prop.

La localització d'aquestes formacions és important ja que es consideren indicadors precisos de l'origen basàltic (volcànic) de la regió on es troben. Existeixen molts doms a les regions clarament basàltiques (mars) però també se n'han localitzat en regions, com ara les terres altes, l'origen de les quals és més difícil de precisar.

Avui en dia estan localitzats al voltant de 500 doms lunars, no tots confirmats, la qual cosa suposa un camp de treball molt indicat pels astrònoms aficionats.

Sistemes radials

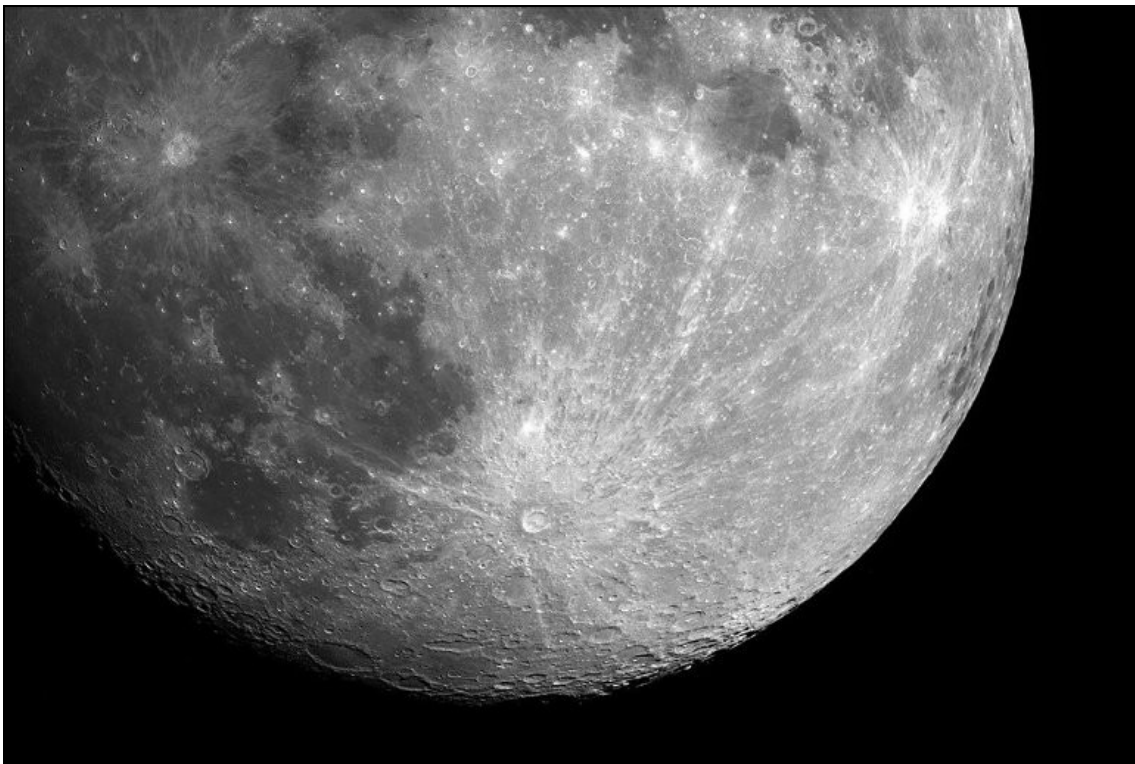


Figura 8: Els sistemes de raigs brillants normalment associats a un cràter s'anomenen sistemes radials. A la figura es poden observar els cràters Tycho i Copernicus. (NASA/Cortesia de nasaimages.org).

Figure 8: The bright ray systems normally associated with a crater called radial systems. In this image we can see the craters Tycho and Copernicus. (NASA/courtesy of nasaimages.org).

Els sistemes de raigs brillants normalment associats a un cràter s'anomenen sistemes radials (Fig. 8). Aquests raigs són dipòsits molt brillants deguts als materials fosos, llançats en totes direccions, després de l'impacte d'un meteorit (o cometa) sobre la superfície lunar. Aquest material fos se solidifica ràpidament formant un compost cristal·lí amb un albedo molt alt.

Aproximadament una cinquena part dels cràters visibles des de la Terra tenen alguna classe de sistema radial o halo brillant al seu voltant. El diàmetre mitjà dels sistemes radials és unes 12 vegades el diàmetre del cràter del qual provenen.

Hi ha una gran varietat i complexitat d'aquests sistemes: n'hi ha de llargs i fins, altres són gruixuts i curts; uns altres s'han desplaçat més en una direcció que en una altra, deixant, fins i tot, buits sense cobrir; n'hi ha amb una traça contínua mentre que d'altres presenten interrupcions, amb girs impossibles d'explicar.

La relació entre el cràter generador i les mides del sistema radial no és constant en la majoria de casos.

Bibliografia

North, G. (2008). *Guía para observar la Luna*. Ediciones Omega. Barcelona. 420 pp.

Annex 1. Nomenclatura de les formacions lunars segons la Unió Astronòmica Internacional (IAU)

- Catena (Catenae): Defineix una cadena de cràters.
- Crater: Cràter.
- Chasma (Chasmata): Vall profunda amb costats empinats.
- Domus: Dom.
- Dorsum (Dorsa): Cadena muntanyosa lineal de poca altura (uns centenars de metres) i pendents suaus, serpentejant en els mars lunars.
- Fossa (Fossae): Depressió poc profunda i estreta.
- Lacus (Lacus): Llac, extensió petita i fosca.
- Mare (Maria): Mar, extensió gran, fosca i llisa.
- Mons (Montes): Muntanya o serralada.
- Palus (Paludes): Maresma, àrea fosca quasi llisa.
- Patera (Paterae): Cràter irregular de voreres ondulades.
- Planitia (Planitiae): Plana.
- Planum (Plana): Formació crateriforme de gran diàmetre (a priori més de 100 km) que presenta un fons pla molt extens.
- Promontorium (Promontoria): Cap, promontori.
- Regio (Regiones): Àrees extenses de diferent color.
- Rima (Rimae): Ranura (xarxa de rieres).
- Rupes: Penya-segat més o menys abrupte, falla.
- Sinus (Sinus): Golf de mar lunar.
- Tholus (Tholi): Vessant.
- Vallis (Valle): Vall.

Alguns autors distingeixen entre circs i cràters, de forma que els primers serien aquells que tenen un pis pla i els segons els que tenen un pic central i la seva part interior en pendent. Altres autors els utilitzen com a sinònims.

Annex 2. Atles lunars

- Antonin Rükl. Atlas de la Lune. Gründ. 1990
- Patrick Moore. La Luna. Hermann Blume. Progenza. 1981
- José C. Violat y Purificación Sánchez. La Luna. Estudio básico. Equipo Sirius. Madrid 1996
- Julio César Monje. La Luna. Selenografía para telescopios de aficionados. Equipo Sirius. Madrid 1991.
- Apollo Imatge Atlas. www.lpi.usra.edu/resources/apollo/
- Fournier Lunar Atlas. [/www.arksky.org/LunarAtlas.htm](http://www.arksky.org/LunarAtlas.htm)
- Consolidated Lunar Atlas. www.lpi.usra.edu/resources/cla/
- Digital Lunar Orbiter Photographic Atlas of the Moon
www.lpi.usra.edu/resources/lunar_orbiter/
- Photographic Moon Book. www.alanchuhk.com/

Impactos de meteoroides en la Luna

José María Madiedo

Facultad de Ciencias Experimentales, Universidad de Huelva, 21071, Huelva,
España
Email: madiedo@uhu.es
Web: <http://www.meteoroides.net>



Madiedo, J.M. (2010). Impactos de meteoroides en la Luna. *In*: Ginard, A., Pons, G.X. i Vicens, D. (eds.). *Història i Ciència: commemoració dels 40 anys de l'arribada de l'home a la Lluna*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 16; 109-118. SHNB - OAM - UIB. ISBN 978-84-15081-49-4.

Resumen: Cada año, millones de partículas sólidas, llamadas meteoroides, impactan con la atmósfera de la Tierra; algunas se desintegran con el impacto, en cambio otras llegan a chocar contra la Tierra. En el año 2006, la Universidad de Huelva (UHU) implantó los primeros equipos de detección de meteoroides en la atmósfera terrestre y más tarde, también implantó un sistema automático para llevar a cabo la detección de impactos de meteoroides en la superficie de la Luna. Los meteoroides, como en la Tierra, impactan continuamente sobre la Luna, pero a diferencia de la Tierra, al carecer de atmósfera, hasta las partículas más pequeñas logran llegar a su superficie. La detección de meteoroides que impactan sobre la Luna permite obtener información adicional sobre el flujo de materia interplanetaria que impacta con nuestro planeta. Además, desde la Tierra es posible monitorizar una región mucho mayor (la superficie lunar) que la que se puede abarcar con los sistemas que se basan en la detección de meteoroides en la atmósfera terrestre. La UHU y el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) colaboran en el proyecto MIDAS (*Moon Impacts Detection and Analysis System* - Sistema de Detección y Análisis de Impactos Lunares) para llevar a cabo una monitorización continua de la región no iluminada de la Luna con el fin de detectar estos impactos.

Abstract: *Each year, millions of solid particles, called meteoroids, strike the Earth's atmosphere, some disintegrate on impact, however others arrive to crash into Earth. In 2006, the University of Huelva (UHU) introduced the first teams to detect meteoroids in Earth's atmosphere and later also implemented a system to perform automatic detection of meteoroid impacts on the surface of the moon. Meteoroids, as on Earth, continuously impacting on the Moon, but unlike Earth, lacking atmosphere, until the smallest particles make it to the surface. The detection of meteoroids impacting the Moon allows additional information on the flow of interplanetary matter that impacts on our planet. In addition, since the Earth is possible to monitor a much larger region (the lunar surface) than can be accommodated with systems based on the detection of meteoroids in the atmosphere. The UHU and the Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) are collaborated on the project MIDAS (Moon Impacts Detection and Analysis*

System) to carry out continuous monitoring of the illuminated region Moon in order to detect these impacts.

Resum: Cada any, milions de partícules sòlides, anomenades meteoroides, impacten amb l'atmosfera de la Terra; algunes es desintegren amb l'impacte, però en canvi altres arriben a xocar contra la Terra. A l'any 2006, la Universitat de Huelva (UHU) va implantar els primers equips de detecció de meteoroides en l'atmosfera terrestre i més endavant, també va implantar un sistema automàtic per a la detecció d'impactes de meteoroides en la superfície de la Lluna. Els meteoroides, com a la Terra, impacten contínuament sobre la Lluna, però a diferència de la Terra, la manca d'atmosfera permet fins i tot a les partícules més petites poder arribar a la superfície. La detecció de meteoroides que impacten sobre la Lluna permet obtenir informació addicional sobre el flux de matèria interplanetària que impacta amb el nostre planeta. A més, des de la Terra es possible monitoritzar una regió molt més gran (la superfície lunar) que la que es pot abraçar amb els sistemes basats en la detecció de meteoroides en l'atmosfera terrestre. La UHU i l'Institut d'Astrofísica d'Andalusia (IAA-CSIC) col·laboren en el projecte MIDAS (*Moon Impacts Detection and Analysis System* - Sistema de Detecció i Anàlisi d'Impactes Lunars) per a realitzar una monitorització contínua de la regió no il·luminada de la Lluna amb la finalitat de detectar aquests impactes.

Introducción

Se estima que cada año llegan a nuestro planeta entre 40 000 y 80 000 toneladas de partículas sólidas. Éstas, que reciben el nombre de meteoroides, son en su mayoría fragmentos desprendidos de asteroides y cometas que orbitan alrededor del Sol y que, al cruzarse con la órbita de la Tierra, impactan con nuestra atmósfera a velocidades comprendidas entre 20 y 72 km/s. En estas condiciones el rozamiento que se produce con el aire eleva bruscamente la temperatura del meteoroides, de forma que tanto las moléculas que forman parte del sólido como las moléculas del aire que chocan contra él emiten energía, observándose entonces una estela luminosa que recibe el nombre de meteoro. En ocasiones, si el meteoroides es lo suficientemente grande y consigue sobrevivir a su paso por la atmósfera, éste impacta con la Tierra en forma de meteorito.

En torno al 20% de estos meteoroides tienen masas que oscilan entre los 10^{-5} y 10^{-6} gramos, mientras que el 80% restante se encuentra entre los 10^{-6} y 10^{-15} gramos. No obstante, incluso en el caso de las partículas más pequeñas, las elevadas velocidades de entrada hacen que sus impactos con la atmósfera sean muy violentos, de manera que la fricción con el aire provoca que se alcancen temperaturas de varios miles de grados centígrados. Esto desencadena toda una serie de procesos físicos y químicos en las capas más externas de la atmósfera, generalmente entre los 80 y los 100 km de altura. El análisis y estudio multidisciplinar de estos procesos tiene una gran importancia tanto a nivel tecnológico como desde el punto de vista científico, constituyendo un área muy activa dentro de las Ciencias del Espacio. Así, por ejemplo, estas partículas juegan un papel fundamental de cara a la seguridad de las misiones espaciales y de la operatividad de los satélites artificiales. También proporcionan valiosas claves sobre los mecanismos químicos que pudieron conducir a la aparición de la vida en nuestro planeta, dado que se piensa que los meteoroides pudieron aportar algunas de las moléculas necesarias para que ésta pudiese surgir. De hecho, en algunos meteoritos (en condritas carbonáceas concretamente) se han encontrado multitud de moléculas orgánicas. Entre ellas se encuentran incluso aminoácidos. Por otra parte, el análisis de los meteoroides también permite establecer qué condiciones fisicoquímicas existían en la nube de material (la denominada nebulosa primitiva) a partir de la cual se formó nuestro Sistema Solar, facilitando así la comprensión de los procesos que tuvieron lugar en las primeras fases de su evolución. Además, otra razón

importante para el estudio de los meteoroides es que estas partículas proporcionan información directa sobre la composición y naturaleza de los cuerpos de los que proceden. En muchos casos estos análisis pueden efectuarse mediante sistemas situados en tierra, sin necesidad de emplear, por tanto, equipos mucho más costosos a bordo de sondas espaciales.



Figura 1: Principales estaciones de la Red Española de Investigación sobre Bólidos y Meteoritos (SPMN). Desde ellas se detecta de forma automática cómo los meteoroides interactúan con la atmósfera terrestre. Los círculos dan una idea aproximada del radio de detección de algunas de estas estaciones.

Figure 1: Main stations of the Spanish Network for Research on Meteor and Fireball (MPS). Since the automatically detects how meteoroids interact with the atmosphere. The circles give a rough idea of radio detection of some of these stations.

Los sistemas que opera la UHU para llevar a cabo el estudio de meteoroides, meteoros y meteoritos se centran principalmente en los siguientes objetivos:

- Detectar los meteoroides que impactan con la atmósfera terrestre, determinando su trayectoria, su órbita y de qué cuerpos de nuestro Sistema Solar proceden estas partículas de materia interplanetaria.
- Determinar la composición química y diversos parámetros físicos de los meteoroides.
- Obtener información acerca de cómo se difunden en la atmósfera terrestre las especies químicas que componen los meteoroides una vez que éstos se desintegran a su paso por la misma.

- En el caso de que estos objetos sobrevivan a su brusco paso por la atmósfera y lleguen al suelo en forma de meteoritos, recuperar esos meteoritos y proceder a su análisis.
- Extender estos sistemas de detección a lo largo de varios puntos de la geografía andaluza, de manera que el radio de acción de los mismos sea lo más amplio posible y, por tanto, se aumente su capacidad de detección y análisis.
- Automatizar los distintos equipos y sistemas, de forma que éstos puedan llevar a cabo por sí mismos tareas como el arranque, la parada y la adquisición de datos.

La implantación de los primeros equipos de detección operados por la UHU tuvo lugar en el año 2006. La UHU es, de hecho, pionera en la implantación y desarrollo de sistemas de videodetección de meteoroides en España. Desde entonces se han conseguido grandes progresos que han permitido ir abarcando estos objetivos, estableciéndose contactos y colaboraciones con diversas universidades y centros de investigación.

En estos momentos la UHU dispone de sistemas automáticos que operan desde varios puntos de Andalucía Occidental y que permiten monitorizar el espacio aéreo en un radio de unos 400 a 600 kilómetros, dependiendo del estado de la atmósfera. Gracias a esto y al trabajo llevado a cabo de forma coordinada con otros dispositivos situados en otros lugares de España (Fig. 1), se han podido obtener resultados de gran relevancia científica en el marco de la Red Española de Investigación sobre Bóolidos y Meteoritos (SPMN).



Figura 2: Imágenes de la sala de control y de algunas de las cámaras CCD de vídeo de alta sensibilidad operadas por la UHU desde el Parque Natural de Doñana para llevar a cabo la detección de meteoros en la atmósfera terrestre.

Figure 2: Images of the control room and some of CCD high sensitivity video cameras operated by UHU from Doñana National Park to carry out the detection of meteors in the atmosphere.

La última estación de detección de meteoros operada por la UHU entró en funcionamiento en abril de 2009 en el Parque Natural de Doñana (Fig. 2). Al igual que el resto de estaciones de este tipo, los detectores registran la energía emitida por los meteoroides cuando

éstos colisionan con las moléculas de aire y se desintegran en la atmósfera terrestre. Por otra parte, también se ha ubicado en este lugar en colaboración con el IAA-CSIC un sistema automático para llevar a cabo la detección de impactos de meteoroides en la superficie de la Luna. Se espera obtener una importante sinergia con la operación conjunta de ambos sistemas. Asimismo, se ha habilitado recientemente la página web www.meteoroides.net, en la que se puede encontrar información sobre los proyectos que se desarrollan en la UHU en este campo (Fig. 3).

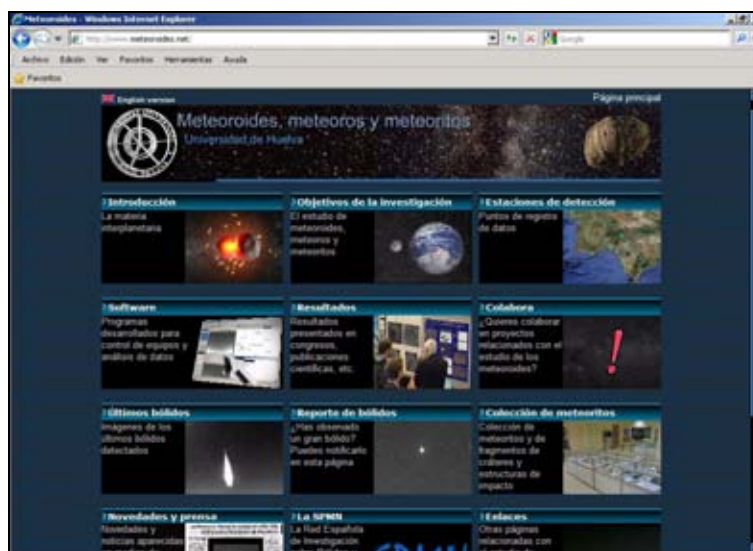


Figura 3: La web www.meteoroides.net muestra amplia información sobre los proyectos que lleva a cabo la UHU relacionados con el estudio de los meteoroides.

Figure 3: The web www.meteoroides.net shows extensive information on projects undertaken by the UHU related to the study of meteoroids.

Detección de impactos en la Luna

La Luna, al igual que la Tierra, recibe continuamente el impacto de objetos de distintos tamaños a gran velocidad (varias decenas de miles de kilómetros por hora). Se trata de fragmentos que proceden fundamentalmente de asteroides o cometas y que reciben el nombre de meteoroides. No obstante, al carecer de atmósfera, la Luna no dispone del escudo protector que tiene nuestro planeta y que hace que gran parte de estos objetos se desintegren antes de llegar al suelo. Por este motivo, en el caso de la Luna hasta las partículas más pequeñas de materia interplanetaria consiguen impactar contra su superficie. De hecho, nuestro satélite natural se encuentra cubierto por millones de cráteres que se han producido por el impacto de rocas a lo largo de varios miles de millones de años. Estos impactos también se han producido en la Tierra, si bien distintos procesos han ido borrando la huella de la inmensa mayoría de ellos (procesos tectónicos, erosión, etc.).

La detección de impactos de meteoroides en la Luna permite obtener información adicional sobre el flujo de materia interplanetaria que impacta con nuestro planeta. Esta técnica tiene la ventaja de permitir monitorizar una región mucho mayor (la superficie lunar) que la que se puede abarcar con los sistemas que se basan en la detección de meteoroides en la atmósfera terrestre.

El IAA-CSIC y la UHU colaboran para llevar a cabo una monitorización continua de la región no iluminada de la Luna con el fin de detectar estos impactos. Esta es la finalidad del proyecto MIDAS (*Moon Impacts Detection and Analysis System* - Sistema de Detección y

Análisis de Impactos Lunares). El equipamiento para llevar a cabo este proyecto se ha instalado tanto en el Parque Dunar (Parque Natural de Doñana, Huelva) como en la provincia de Sevilla (Fig. 4).



Figura 4: Ubicación de los telescopios utilizados en el proyecto MIDAS (UHU-IAA) para llevar a cabo la detección de impactos de meteoroides en la Luna.

Figure 4: Location of the telescopes used in the project MIDAS (UHU-IAA) to carry out the detection of meteoroid impacts on the Moon.

Objetivos del proyecto MIDAS

Los objetivos principales del proyecto MIDAS son los siguientes:

- Desarrollar un sistema robotizado de detección de impactos de meteoroides en la Luna basado en varios telescopios coordinados entre sí y conectados a sistemas de adquisición de imágenes de alta sensibilidad.
- Monitorizar de manera automática con estos telescopios la superficie no iluminada de la Luna para detectar dichos impactos.
- Determinar el valor de parámetros fundamentales para modelos teóricos de impactos: eficiencia lumínica, distribución de masa de las rocas que impactan con la Luna, flujo de material que llega a la superficie lunar, etc.
- Coordinar estas observaciones con los resultados que proporcionan los sistemas utilizados para detectar meteoroides en la atmósfera terrestre. Estos resultados permitirán conocer también con mayor precisión el flujo de material que impacta contra nuestro propio planeta.

Descripción del sistema de detección de impactos en la Luna

En el Parque Dunar (Huelva) se han instalado dos telescopios SC de 14 pulgadas a los que se han acoplado cámaras CCD de vídeo de alta sensibilidad (Fig. 5). Estas operan a 25 cuadros por segundo con una resolución espacial de 720x576 píxeles. En Sevilla se han instalado otros dos telescopios que operan siguiendo el mismo esquema. Estos telescopios monitorizan la misma porción de la superficie no iluminada de la Luna, pudiéndose llevar a cabo la detección de impactos cuando la fracción iluminada de nuestro satélite natural varía

entre el 0 y el 60%. El hecho de utilizar varios telescopios simultáneamente permite descartar falsos positivos producidos, por ejemplo, por rayos cósmicos o interferencias en el dispositivo de adquisición de imágenes. Estos sistemas pueden controlarse tanto in situ como de manera remota mediante una conexión a Internet.



Figura 5: Imagen de uno de los telescopios SC de 14 pulgadas que operan desde el Parque Dunar (Huelva) para detectar impactos de meteoroides contra la superficie de la Luna.

Figure 5: Picture of one of the SC 14-inch telescopes operating from Dune Park (Huelva) to detect impacts of meteoroids on the surface of the moon.

La detección de impactos de meteoroides en la Luna es una tarea que en la práctica debe llevarse a cabo de manera automática. Esto ha hecho necesario desarrollar un software (denominado también MIDAS) que permita procesar en tiempo real las imágenes registradas por los telescopios robóticos que monitorizan la superficie lunar en busca de los destellos producidos por esos impactos (Fig. 6).

El software MIDAS permite realizar, entre otras, las siguientes tareas:

- Captura de imágenes y análisis en tiempo real de las mismas.
- Detección automática de impactos de meteoroides en la Luna.
- Confirmación de impactos.
- Cálculo de coordenadas de impactos.
- Asociación de impactos con enjambres de meteoroides.
- Fotometría de impactos.

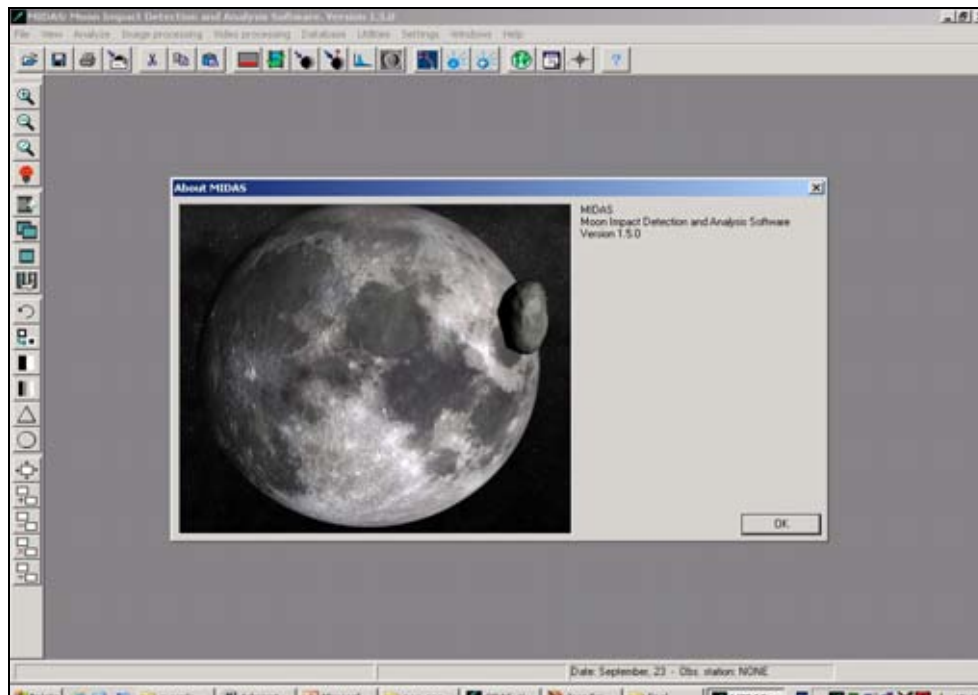


Figura 6: El software MIDAS ha sido desarrollado para identificar de manera automática los impactos que se producen contra la Luna.

Figure 6: The MIDAS software has been developed to automatically identify the impacts that occur on the Moon.

El programa también detecta de manera automática si un destello ha sido producido por el impacto de un meteoróide contra la superficie de la Luna y, por tanto, debe ser analizado o si, por el contrario, el destello lo ha generado algún tipo de interferencia sobre el sensor CCD de la cámara. Para ello el programa comprueba si el destello ha sido o no registrado de forma simultánea por al menos dos telescopios. La identificación del posible enjambre de meteoroides del que procede el objeto que ha impactado se hace mediante una base de datos interactiva de radiantes que se ha incorporado al software (Fig. 7).

Code	Name	Activity period	Max. date	Sol.long(d...)	ZHR	r	Met. vel.(km/s)	Radiant position (deg.)	
ACG	Alpha-Cygnids	July, 1 - September, 30	July, 15	112,70	???	???	???	RA: 315.00	DEC: 48.00
AND	Andromedids (Annual)	September, 25 - Nove...	October, 3	190,70	???	???	18	RA: 28.74	DEC: 49.18
BCR	Beta-Gruids	September, 22 - Octo...	October, 8	195,70	???	???	???	RA: 338.00	DEC: -48.00
BPH	Beta-Phoenicids	September, 23 - Octo...	October, 3	189,70	???	???	???	RA: 15.00	DEC: -45.00
DAU	Delta-Aurigids	September, 5 - Octob...	September, 9	166,00	7	3.0	64	RA: 111.70	DEC: 51.70
KAQ	Kappa-Aquarids	September, 8 - Septe...	September, ...	178,70	3	3.0	16	RA: 367.80	DEC: 12.40
NPI	Piscids N	September, 25 - Octo...	October, 12	199,70	???	???	29	RA: 26.00	DEC: 14.00
OCG	Omicron-Cygnids	September, 20 - Octo...	October, 3	188,70	???	???	15	RA: 333.30	DEC: 5.10

Buttons: Show all radiants, Edit radiant data, Remove radiant, Add new radiant, Reset database, Open star chart and display selected radiant, Radiant drift, OK, Cancel, Help.

Figura 7: El software MIDAS utiliza una base de datos de radiantes que permite identificar el origen de un determinado impacto.

Figure 7: The MIDAS software uses a database radiant identifying the origin of a particular impact.

El programa determina, para cada uno de los radiantes que se encuentran activos durante el período de observación, cuál es la zona de la Luna en la que impactarían los meteoroides correspondientes. De esta forma, comparando estas zonas con las coordenadas del impacto detectado, se puede establecer si dicho impacto puede o no estar asociado con un determinado enjambre de meteoroides (Fig. 8).

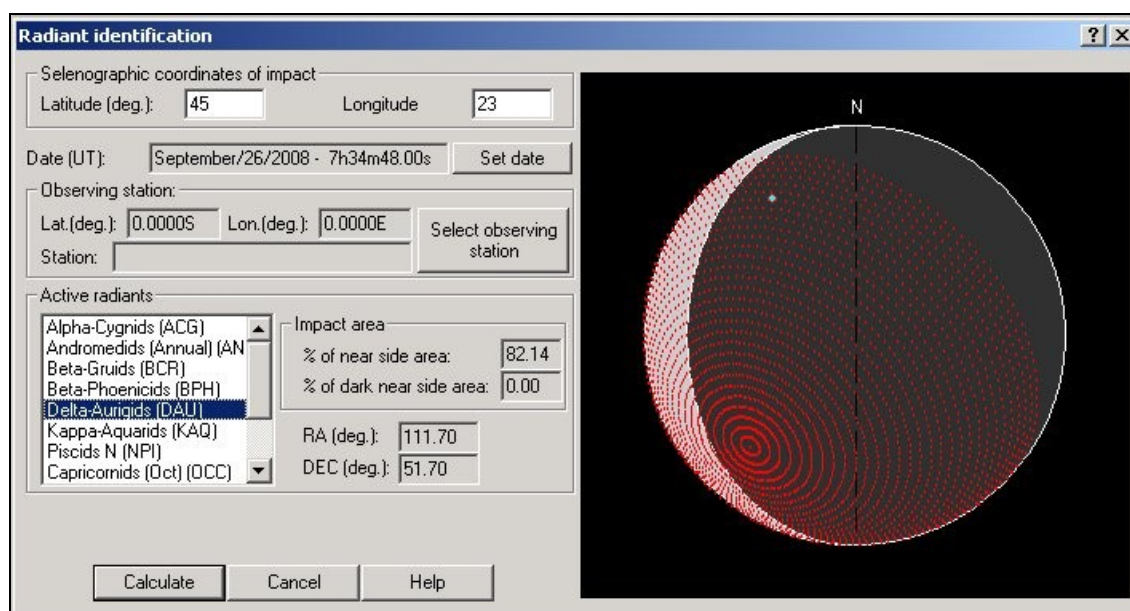
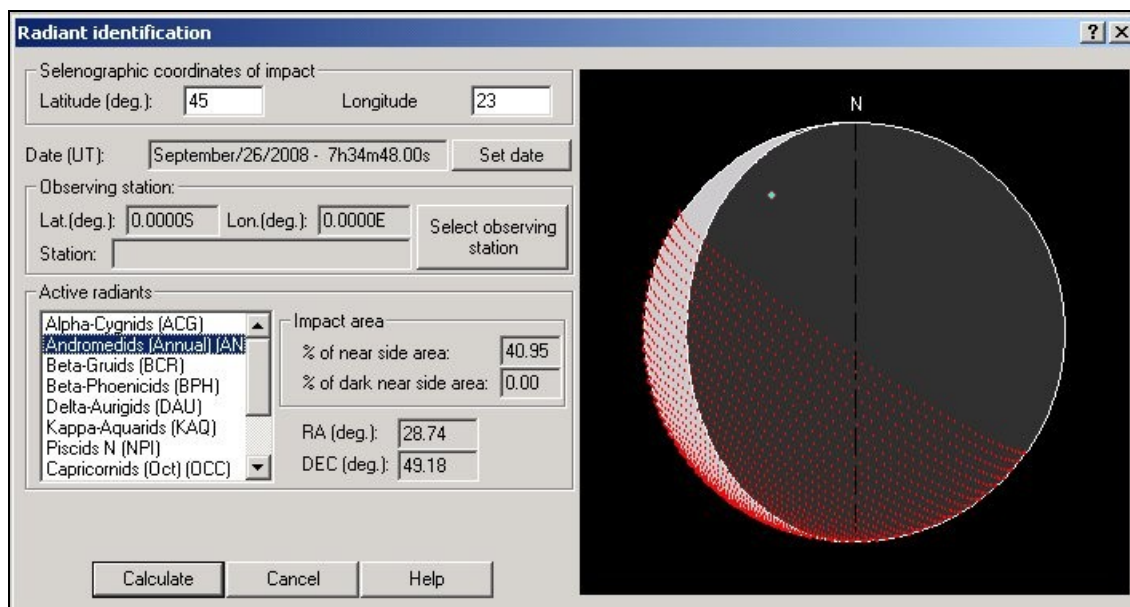


Figura 8: Comparando las coordenadas del impacto con las zonas en las que el software calcula que pueden impactar los meteoroides asociados a cada radiante activo (zonas punteadas en color rojo), MIDAS puede establecer la posibilidad de que el impacto haya sido producido por una partícula procedente de un determinado enjambre.

Figure 8: Comparing the coordinates of the impact with the areas in which the software calculates that may impact meteoroids associated with each active radiant (red stippled areas), MIDAS can be possible that the impact has been produced by a particle from a given swarm.

Conclusiones

La Red Española de Investigación sobre Bólidos y Meteoritos está llevando a cabo un intenso esfuerzo para analizar enjambres de meteoroides. Para ello se han implantado en distintos puntos del país estaciones de detección que registran cómo estas partículas interactúan con la atmósfera terrestre. También la UHU y el IAA CSIC han implantado un sistema automático para detectar impactos de meteoroides contra la superficie de la Luna. Este sistema, que se basa en una red de telescopios automáticos controlados mediante un software de desarrollo propio, permite establecer con mayor precisión cuál es el flujo de material que impacta contra la Luna y, por tanto, también cuál es el flujo de materia interplanetaria que llega a la Tierra.

Agradecimientos

El autor agradece el apoyo prestado por el IAA-CSIC para llevar a cabo la implantación de los sistemas de detección de meteoroides en la Luna.

La Luna, mitología y ciencia

José María Sánchez

Área de Astronomía del Museo de las Ciencias de Castilla-La Mancha



Sánchez J.M. (2010). La Luna, mitología y ciencia. *In*: Ginard, A., Pons, G.X. i Vicens, D. (eds.). *Història i Ciència: commemoració dels 40 anys de l'arribada de l'home a la Lluna*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 16; 119-132. SHNB - OAM - UIB. ISBN 978-84-15081-49-4.

Resumen: Muchas civilizaciones han considerado a la Luna como la dueña del tiempo, del devenir y del destino. Algunas historias y leyendas la muestran como dominadora de las aguas y señora de la vegetación. Hay muchas creencias populares alrededor de la Luna; de su supuesta relación con la agricultura proviene la creencia en la influencia de la Luna para conseguir más frutos, tierras más productivas o conocer la mejor época para la siembra o la siega. Según otras creencias populares, muchas mujeres se ponen de parto en los días que se produce un cambio de fase lunar. También existe una creencia popular según la cual antiguamente los periodos menstruales de las mujeres iban a la par con el ciclo lunar, ovulando el día de luna llena y menstruando el día de luna nueva.

En la antigüedad, los eclipses eran motivo de admiración o temor y su periodicidad ya fue estudiada y conocida por culturas muy antiguas y su conocimiento fue una tarea de observación minuciosa. También en la antigüedad, se observaron las mareas y desde entonces se tenía la percepción de alguna relación con la posición de la Luna, aunque no se pudieron explicar hasta que Newton enunció su teoría de la gravedad.

Abstract: *Many civilizations have considered the moon as the mistress of time, evolution and destiny. Some stories and legends show her as mistress of the water and lady of the vegetation. There are many popular beliefs about the moon, for his alleged involvement with agriculture stems from the belief in the influence of the moon to get more fruit, more productive land or know the best time to plant or harvest. According to other popular beliefs, many women are put in childbirth in the days that there is a change of moon phase. There is also a popular belief according to which formerly the women's menstrual periods were on par with the lunar cycle, ovulation on the day of full moon and menstruate new moon day.*

In ancient times, eclipses were a source of admiration or fear, and their frequency was discussed and known to ancient cultures and their knowledge was a task close observation. Also in ancient times, tides and since then there was the perception of some relation to the position of the moon, but could not be explained until Newton enunciated his theory of gravity.

Resum: Moltes civilitzacions han considerat a la Lluna com la propietària del temps, de l'esdevenir i del destí. Algunes històries i llegendes la mostren com la dominadora de les aigües i senyora de la vegetació. Hi ha moltes creences populars al voltant de la Lluna; de la seva suposada relació amb l'agricultura prové la creença en la influència de la Lluna per aconseguir més fruits, terres més productives o conèixer la millor època per a la sembra o la sega. Segons altres

creences populars, moltes dones es posen de part en els dies que es produeix un canvi de fase lunar. També hi ha una creença popular segons la qual antigament els períodes mensuals de les dones anaven a la par amb el cicle lunar, ovulant el dia de lluna plena i menstruant el dia de lluna nova.

En l'antiguitat, els eclipsis eren motiu d'admiració o temor i la seva periodicitat ja va ser estudiada i coneguda per cultures molt antigues i el seu coneixement va ser una tasca d'observació minuciosa. També en l'antiguitat, es van observar les mareas i des de llavors es tenia la percepció d'alguna relació amb la posició de la Lluna, encara que no es van poder explicar fins que Newton va enunciar la seva teoria de la gravetat.

Mitología

Antes de entrar de lleno a conocer algo más sobre nuestro satélite, deberíamos conocer el origen de su nombre. Procede del romano *Lunae*, que lo habían cogido de la cultura griega, para la cual se llamaba *Selene* o *Artemis*, era la hermana de *Helios* (el Sol). Protectora de los niños pequeños, de las mujeres y su fertilidad. Formaba parte de una tríada, representando tres papeles: en el cielo como *Selene* o *Artemis*, diosa de la Luna; en la Tierra como *Diana*, diosa de la caza; y en el infierno como *Hécate*, diosa de los hechizos y apariciones nocturnas. En el arte, es representada usando un vestido corto de caza, arco y flechas, y con una luna creciente en la frente o usando una diadema de plata.

Muchas civilizaciones la han considerado como la dueña del tiempo, del devenir y del destino. Todos sabemos que la Luna desaparece, aparece, crece y decrece, en el transcurso de los meses del año. La Luna “muere” y “renace” perpetuamente (Arranz y Mendiolagoitia, 2003).

Algunas historias y leyendas muestran a la Luna como dominadora de las aguas y señora de la vegetación. Esto es debido a que desde muy antiguo los hombres advirtieron que el mar subía y bajaba con el ritmo de la Luna. Incluso para algunas culturas las plantas crecen gracias al calor lunar y las hierbas lo hacen en dirección a la Luna (Arranz y Mendiolagoitia, 2003).

En África, hay religiones que tienen a la Luna como la “madre de la vegetación y de las cosas vivas”, un ejemplo de ello lo encontramos en las creencias de los pigmeos. Y dentro de los ritos en honor a la Luna está la fiesta a la luna nueva (exclusiva para las mujeres) que tiene lugar antes de la época de lluvias, en la que las mujeres se untan con jugos vegetales y con arcilla, para tornarse blancas como la luz lunar. Luego, beben alcohol y bailan hasta la extenuación, invocando y suplicando a la Luna que aleje los espíritus de los muertos y proporcione a la tribu niños, caza, pescado y frutos en abundancia (Arranz y Mendiolagoitia, 2003).

Mitos: la agricultura y la Luna

Cuando hablamos de la Luna, no podemos dejar de mencionar su supuesta relación con la agricultura y su influencia en mayor o menor medida para conseguir más frutos, tierras más productivas, época para la siembra, siega u otros.

Tan sólo enumeremos algunas de estas:

- Evite sembrar o trasplantar con la Luna en Leo, Virgo y Géminis. En cambio aprovéchela cuando pasa por Cáncer, Escorpio, Piscis, Tauro, Capricornio y Libra.
- Si siembra cereales y las condiciones de suelos, agua, etc. son buenas, hágalo en los últimos días del menguante. Si no son muy buenas, proceda en creciente.
- La siembra de los ajos ha de hacerse en la luna menguante de enero.

- Si siembra frutales recuerde que las operaciones realizadas en luna menguante favorecen el desarrollo de las frutas y las realizadas en luna creciente favorecen el desarrollo vegetativo.
 - Si desea lograr bellas flores, plante las semillas con Luna en Libra en los días que van de la luna nueva al cuarto creciente.
 - Abonar el campo y la poda de las viñas debe hacerse en cuarto menguante. Sin embargo en cuarto creciente hay que sembrar el trigo y realizar injertos.
 - Por otro lado la tradición popular también hace eco de estas creencias diciendo que la luna llena es el mejor momento para cosechar y para sembrar plantas con fruto.
 - En cambio la luna nueva es la más propicia para plantar aquellas que no dan fruto prematuramente como es el caso de las lechugas. Estas suelen plantar en cuarto menguante.

Como podemos ver, nuestros agricultores no tendrían nada que envidiar a los astrónomos en su conocimiento de los cielos, sobre todo en cuanto a la posición de nuestro satélite. Pero ¿qué tienen de cierto estas afirmaciones? En realidad, los estudios realizados con el debido rigor científico no han sacado ninguna conclusión a favor de que cualquiera de los anteriores supuestos mejorara el resultado final en la producción. Lo único que podríamos concluir es que, además del ancestral y reminiscente detalle de seguir considerando a la Luna como diosa de la fertilidad y señora de la vegetación, el agricultor, de los elementos que puede controlar en las distintas labores agrícolas, uno de ellos sería el estado y posición de la Luna, ya que si lloverá más o menos, en el momento adecuado, si los hielos serán dañinos, si se producen cambios bruscos de temperaturas adelantando la floración u otros, quedan fuera de su alcance. Estas creencias tienen en muchos casos una relación más de herencia costumbrista que de observación con un rigor científico.

No podemos negar la influencia de la Luna en la agricultura, tanto por su gran atracción gravitacional, como por la luz y calor que es capaz de reflejar, lo cual tiene un efecto directo e indiscutible sobre la vegetación en momentos importantes y puntuales de las distintas labores agrícolas, pero en muchos de los casos, la herencia cultural de estos se ha desdibujado de su realidad, y la causa efecto Luna-Vegetación no está totalmente clara, siendo otros elementos mucho más importantes que estas creencias heredadas.

Mitos: la Luna y los partos

La creencia popular dice que muchas mujeres se ponen de parto en los días que se produce un cambio de fase lunar. Pero esta coincidencia parece ser poca. Si hacemos una toma de datos aleatoria de la fecha de nacimiento de un amplio grupo de personas y ayudándonos con un software astronómico para saber la fase de la Luna en cada una de las fechas, veremos que no hay un momento de la fase lunar en que los partos tengan una gran predilección (Fig. 1).

La creencia dice que la Luna afecta a las embarazadas de la misma manera que afecta al mar, haciendo que la marea suba por el efecto gravitatorio de la Luna. Según la creencia, esto es debido a que los humanos somos en nuestra mayoría agua y los bebés además habitan en un medio acuoso llamado líquido amniótico. Se supone que con los cambios gravitatorios que produce la Luna en cada cambio de fase lunar (y sobre todo con la luna llena) las probabilidades de parir aumentan. A este respecto hay estudios que concluyen que no hay diferencia con los cambios de fase y por supuesto ningún dato que avale el aumento de partos con luna llena.

Se dice que antiguamente los periodos menstruales iban a la par con el ciclo lunar, ovulando el día de luna llena y menstruando el día de luna nueva. De esta manera los partos eran en luna llena, y de ahí que hoy en día se hable del día de luna llena como el de máxima probabilidad. Las mujeres que tenían los ciclos “cambiados” menstruando en luna llena, eran consideradas brujas. Al parecer con el tiempo las mujeres (y los hombres) nos hemos ido

separando de la naturaleza y de la tierra. El uso de la píldora anticonceptiva, la contaminación, la alimentación llena de química, la desconexión de la mujer con su cuerpo y con su sexualidad, etc. han hecho que la Luna haya dejado de influir como lo hacía antes, o lo que es lo mismo, la mujer ha dejado de verse afectada por el influjo de la Luna.

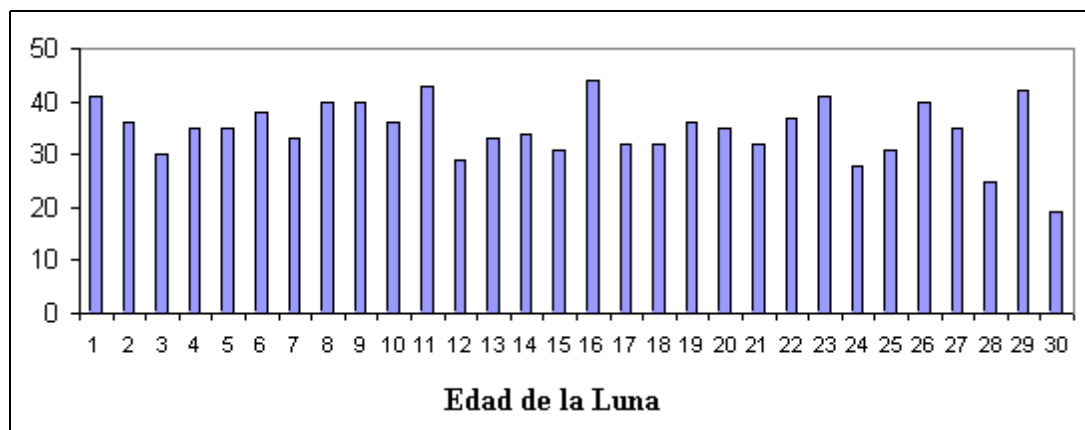


Figura 1: Número de nacimientos según la edad de la Luna. Datos proporcionados por la Asociación Leonesa de Astronomía y el Hospital de León (sobre 13 000 nacimientos durante 6 años).

Figure 1: Number of births by age of the moon. Data provided by the Leon Association of Astronomy and the Hospital de León (over 13 000 births in six years).

Lo curioso es que al preguntar a la gente de a pie, se observa que dos tercios de la población sigue pensando que la Luna sí afecta y existen libros y publicaciones que explican cosas realmente curiosas.

Ciclos cronológicos

El ser humano se rige por una escala temporal relacionada con ciclos, los más importantes están unidos a eventos astronómicos.

El día, está asociado al ciclo de luz y oscuridad, debido a la rotación de la Tierra sobre su eje. Aquí tenemos que distinguir entre día solar (de 24 horas), y sidéreo (tiempo que transcurre entre dos ortos de una estrella, que ocurre cada 23 horas y 54 minutos) (Belmonte, 1994).

La semana de siete días, directamente relacionada con las cuatro fases de siete días de la Luna (Belmonte, 1999).

El mes lunar, considerando como tal al mes sinódico (es decir de una fase lunar a su siguiente repetición) que ocurre cada 29,5306 días, y que redondeando serían meses de 29 ó 30 días (Belmonte, 1999).

El año solar, producido por el movimiento orbital de la Tierra alrededor del Sol, y que se puede medir por una posición determinada del Sol (como por ejemplo en los solsticios), por su paso cenital (en los trópicos el día en que el Sol no da sombra al mediodía), y en menor medida por lo equinoccios. Es el llamado año trópico de 365,2422 días (Belmonte, 1999).

El calendario lunar

Los babilonios desde el año 4000 a. C. tenían un calendario lunar. Sus meses eran de 28, 29 y 30 días. Su año era de 354 días, intercalando en determinados intervalos un mes de más.

Los egipcios, ya en 4000 a. C. habían elaborado un complejo calendario de 12 meses de 30 días, más cinco días adicionales. Este calendario egipcio estaba basado en el orto heliaco de estrellas muy brillantes, una de ellas fue Sirio (la estrella más brillante que ellos podían observar en los cielos).

El punto de partida de la cronología hebrea es el año 3761 a. C., la fecha de la creación del mundo según se describe en el Antiguo Testamento. El calendario judío es lunisolar, basado en meses lunares de 29 y 30 días alternativamente. Se intercala un mes extra cada tres años, de acuerdo con un ciclo de 19 años. En septiembre de 2009 comenzó su año 5770.

En el 432 a. C. los babilonios descubrieron el ciclo metónico, en honor del astrónomo Metón, de 19 años (Belmonte 1999). Que corresponde exactamente a 235 meses lunares. El calendario lunar es usado actualmente en el mundo del Islam, en estricta obediencia al profeta Mahoma y al dictado del Corán.

Podríamos mencionar más ejemplos de estos calendarios, que incluso en la actualidad se siguen usando, pero por norma general, en los lugares en que se mantiene este tipo de calendario, paralelamente se utiliza el más conocido por nosotros que es el calendario gregoriano y se rige por el año trópico.

La órbita de la Luna

Como todos sabemos, el único satélite natural de la Tierra es la Luna. Lo que es menos conocido es la complejidad de su órbita, que habitualmente la describimos por una elipse, pero en realidad la Luna no tiene una órbita fija, ya que está influenciada gravitatoriamente por el Sol, el resto de planetas y la no esfericidad de la Tierra. Todo esto, en suma, hace que la determinación precisa de la órbita lunar sea uno de los problemas más complejos dentro de la mecánica celeste.

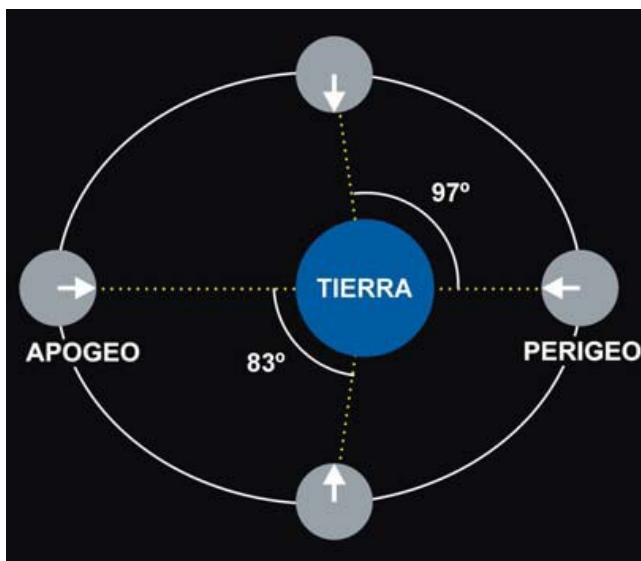


Figura 2: Movimiento de libración en longitud. Cortesía de PROCIVEL.

Figure 2: Movement of libration in longitude. Courtesy of PROCIVEL.

Es conocido que vemos siempre la misma cara de la Luna, pero en realidad ¿sólo vemos el 50% de la Luna? Esto no es exactamente así, llegamos a observar un 59 % de la superficie lunar. En primer lugar, sólo vemos una cara de la Luna porque ésta está en resonancia 1:1 con la Tierra, es decir, la Luna completa una órbita alrededor de la Tierra en el mismo tiempo que lo hace sobre su propio eje. Por otro lado, la Luna describe, aproximadamente, una órbita elíptica, con lo que su velocidad orbital no es constante (recordemos las leyes de Kepler), esto produce el fenómeno conocido como libración en longitud (Fig. 2), por lo que vemos hasta 8° más, tanto del borde oriental como del occidental. Además, el eje de la Luna está inclinado unos $6,7^\circ$ por lo que se produce una libración en latitud (Fig. 3). La suma de todo esto hace que veamos ese 59% de la superficie lunar (Lacroux y Legrand, 2004).

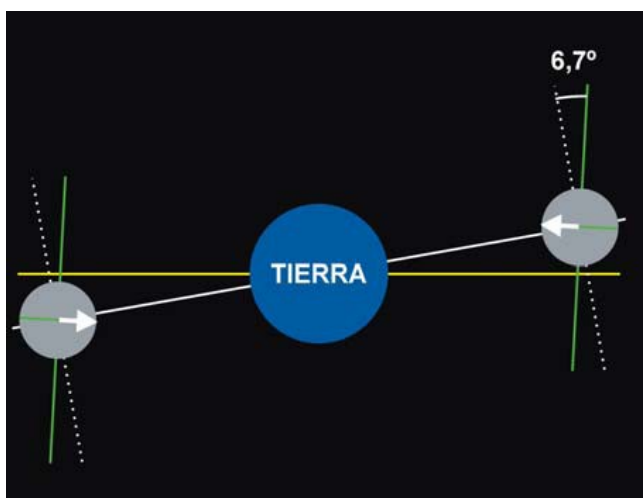


Figura 3: Movimiento de libración en latitud. Cortesía de PROCIVEL.

Figure 3: Movement of libration in latitude. Courtesy of PROCIVEL.

Su tamaño aparente, tampoco es el mismo, al describir una órbita elíptica, en el momento en el que se encuentra más cerca de la Tierra (perigeo) la vemos más grande y cuando se encuentra más alejada (apogeo) la vemos más pequeña (Fig. 4). Como veremos, esto es muy importante para los tipos de eclipses solares que se pueden producir.



Figura 4: Tamaño aparente de la Luna, cuando ésta se encuentra en el perigeo o en el apogeo. © José María Sánchez.

Figure 4: Moon's apparent size when it is in the perigee or apogee. © José María Sánchez.

Los eclipses

Estamos ante uno de los fenómenos de la naturaleza más hermosos. Sol, Tierra y Luna están unidos en un baile cósmico que en ciertos momentos en que están alineados producen los eclipses. Ya en la antigüedad eran motivo de admiración o temor. Su periodicidad fue estudiada y conocida por culturas muy antiguas y su conocimiento fue una tarea de observación minuciosa.

Los eclipses son fenómenos relativamente poco frecuentes, pero de indudable interés para el observador del cielo. Un eclipse de Sol puede describirse como la ocultación gradual del disco solar por la oscura silueta de la Luna cuando ésta, en su movimiento mensual a lo largo del zodiaco, da alcance al Sol cubriéndolo total o parcialmente. En el caso de un eclipse parcial el efecto en la Tierra es casi imperceptible a lo largo de las varias horas de duración, y sólo el uso de filtros especiales que nos permitan mirar al Sol sin riesgo para la vista puede mostrarnos lo que está sucediendo. Únicamente en el caso excepcional de tratarse de un eclipse total el panorama cambia drásticamente en los escasos minutos en que la Luna mantiene completamente tapado al Sol, pues la claridad del día deja paso a un breve crepúsculo en el que incluso aparecen las estrellas más brillantes y los planetas observables a simple vista.

Por su parte, en un eclipse de Luna se observa un gradual oscurecimiento de la luna llena a lo largo de varias horas, iniciándose por un extremo y pudiendo afectar al disco completo (eclipse total) o sólo a una parte (eclipse parcial). Los eclipses de Luna, a diferencia de los de Sol, son fácilmente observables; a simple vista se puede seguir el proceso y apreciar las distintas tonalidades que va adquiriendo nuestro satélite a medida que penetra en la sombra que la propia Tierra proyecta en dirección opuesta al Sol. Esa sombra tiene, a la distancia de la Luna, un diámetro unas tres veces superior al lunar. Debido a la refracción de la luz solar en la atmósfera terrestre, la Luna rara vez llega a oscurecerse por completo, tornándose a menudo a un color rojo mortecino (Fig. 5).



Figura 5: En un eclipse de Luna, ésta rara vez llega a oscurecerse por completo, debido a la refracción de la luz solar en la atmósfera terrestre. © José María Sánchez.

Figure 5: In an eclipse of the moon, this is seldom completely dark due to the refraction of sunlight in the atmosphere. © José María Sánchez.

Otra ventaja de los eclipses de Luna frente a los de Sol es que los primeros pueden observarse desde todo un hemisferio terrestre (aquél desde el que se divisa la Luna en el momento del eclipse), en tanto que los de Sol afectan a regiones más limitadas. De hecho un eclipse total de Sol sólo puede contemplarse desde una franja de varios miles de kilómetros de

longitud, pero con una anchura a lo sumo de unos pocos cientos de kilómetros. Esto explica que para un determinado observador situado en un punto concreto de la superficie terrestre la visión de un eclipse total de Sol sea un acontecimiento verdaderamente extraordinario.

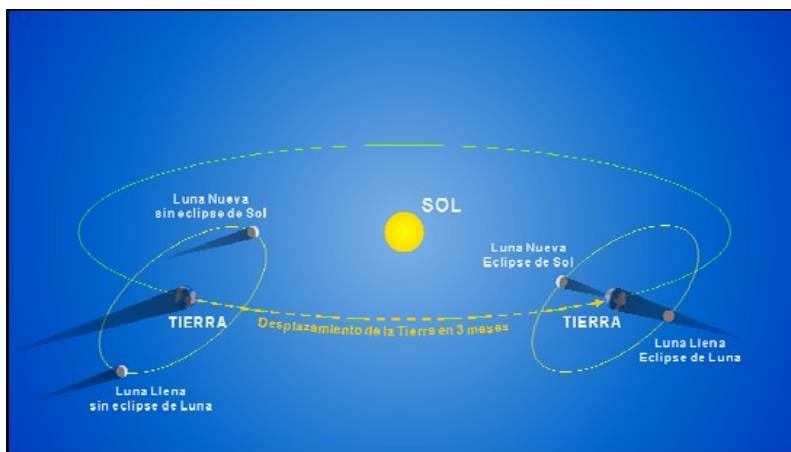


Figura 6: Alineación del Sol, la Tierra y la Luna durante los eclipses de Sol y de Luna. Cortesía de PROCIVEL.

Figure 6: Alignment of Sun, Earth and Moon during eclipses of the sun and moon. Courtesy of PROCIVEL.

Como ya hemos apuntado, los eclipses de Luna suceden cuando ésta se encuentra en fase de luna llena (Fig. 6), mientras que los eclipses de Sol coinciden con la luna nueva. Pero naturalmente no se producen eclipses en cada lunación, puesto que se requiere que los tres astros implicados, Sol, Tierra y Luna logren una alineación perfecta en el espacio, y esto sólo se da unas pocas veces al año. Si la órbita lunar no estuviese inclinada con respecto a la eclíptica, en cada luna llena nuestro satélite quedaría inmerso en la sombra terrestre, y se produciría un eclipse de luna. Del mismo modo, la Luna se interpondría exactamente entre la Tierra y el Sol en cada luna nueva, provocando un eclipse de Sol. Hay que hacer notar además que en ese supuesto todos los eclipses de Sol ocurrirían en las regiones tropicales y ecuatoriales de la Tierra. Sin embargo, la pequeña inclinación de la órbita lunar, de unos 5° con respecto a la eclíptica, es suficiente para que la mayor parte de las veces la Luna pase al norte o al sur del Sol, y al norte o al sur de la sombra terrestre. Sólo si la luna nueva y la luna llena tienen lugar cuando está situada en la misma eclíptica, en los puntos de intersección de ambos planos, que se conoce con el nombre de “nodos”, sucederán, respectivamente, un eclipse total de sol o de luna.

Debido a las irregularidades de la órbita de la Luna, los nodos varían de posición, con lo que el Sol no tarda un año exacto en pasar por el mismo nodo, en realidad lo hace cada 346,6



Figura 7: Los eclipses de Sol pueden ser anulares, totales o parciales. © José María Sánchez.

Figure 7: Eclipses of the Sun may be annular, total or partial. © José María Sánchez.

días, en el llamado año de eclipses o año eclíptico. El ciclo Saros, ya descubierto en la antigüedad por los caldeos, comprende 223 lunaciones (meses sinódicos), trascurridas estas se repiten los eclipses, en el orden del período anterior.

Hay que destacar el hecho fortuito de la semejanza de los tamaños aparentes que presentan el Sol y la Luna para un observador terrestre (alrededor de medio grado). Si la Luna se encontrase más alejada de la Tierra presentaría un diámetro aparente menor, no pudiéndose producir entonces eclipses totales de Sol. En realidad la órbita lunar alrededor de la Tierra es elíptica, por lo que cuando se desplaza por su parte más próxima a nosotros la vemos ligeramente mayor que cuando lo hace por el extremo más alejado. Así, cabe distinguir entre dos modalidades de eclipses de Sol (Fig. 7): eclipses totales, que suceden cuando vemos el disco lunar suficientemente grande como para que pueda cubrir por completo al Sol, y eclipses anulares, cuando el menor tamaño aparente de la Luna no es suficiente como para ocultar enteramente al astro rey; en este caso la Luna queda en el interior del disco solar, permitiendo ver un brillante anillo a su alrededor.

En un eclipse anular de Sol nunca llega a oscurecerse tanto el cielo como en uno total. Incluso durante el momento de máxima ocultación, el estrecho anillo de Sol que permanece visible no lo permite. De hecho, al observar un eclipse anular no se puede prescindir en ningún momento del filtro, como si de un simple eclipse parcial se tratara.

Las mareas

Desde la antigüedad se tuvo la percepción que las mareas estaban relacionadas con la posición de la Luna, pero no fue hasta que Newton enunció su teoría de la gravedad que se pudo explicar de una forma satisfactoria dicho efecto (Galadí-Enríquez y Gutiérrez, 2001).



Figura 8: Cuando la Luna y el Sol están alineados, se produce una marea viva. © José María Sánchez.

Figure 8: When the Moon and Sun are aligned, there is a spring tide. © José María Sánchez.

Sabemos que en un día, las mareas suben y bajan dos veces, siendo el efecto de éstas más apreciable en mares abiertos que en cerrados. Pero ¿cómo se producen las mareas?, la respuesta es bien sencilla: la atracción gravitatoria lunar hace que el agua del hemisferio cercano a la Luna sea atraída hacia ella, lo que produce un abultamiento (marea alta). En el hemisferio opuesto el agua se ve menos atraída que el resto con lo que se produce otro abultamiento, es decir, otra marea alta en las antípodas. Estos dos abultamientos dan una vuelta completa a la Tierra cada 12 horas y media. La fricción del agua con la corteza sólida de la Tierra entorpece el movimiento de giro de la Tierra, alargando los días y como reacción la Luna se va alejando de la Tierra. A muchos les deja sorprendidos este descubrimiento: la Luna se está alejando de nosotros, aproximadamente unos 38 milímetros cada año. La energía transferida en las mareas produce una fuerza de fricción que frena la rotación terrestre unos 17 microsegundos por año (hace 350 millones de años el día duraba 21 horas) y este frenado tiene el efecto sobre la Luna de acelerar su movimiento orbital y hacer que se aleje (hace 350 millones de años la Luna estaba 15 000 km más cerca de la Tierra).

Pero no debemos olvidar que el Sol tiene un efecto gravitatorio también muy importante, debido a su gran masa. Este efecto hace que cuando la Luna y el Sol se encuentran alineados (esto se da en las fases de luna llena y luna nueva), la amplitud de las mareas es mayor y es lo que denominamos marea viva (Monje, 1991) (Fig. 8).

En las fases de cuarto creciente y cuarto menguante, la atracción del Sol y la Luna son perpendiculares (Fig. 9), haciendo que las mareas sean mínimas denominándose marea muerta (Monje, 1991).

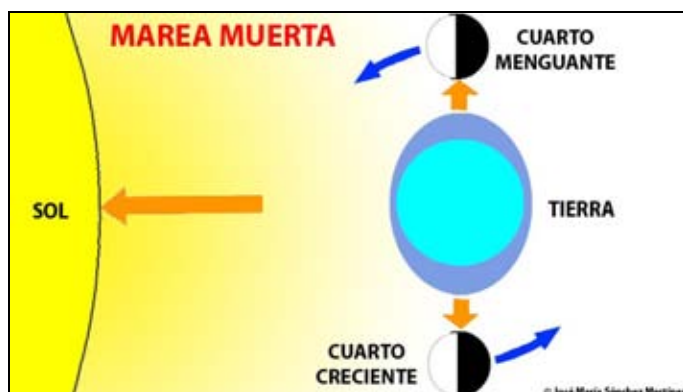


Figura 9: Si la atracción de la Luna y la del Sol son perpendiculares, se produce una marea muerta. © José María Sánchez.

Figure 9: If the pull of the Moon and the Sun are perpendicular, there is a neap tide. © José María Sánchez.

Viaje a la Luna, pero ¿por qué se fue a la Luna?

La llegada a la Luna, en este 2009, en que estamos celebrando su 40 aniversario, fue un acontecimiento que se adelantó probablemente medio siglo a lo que hubiera sido normal dentro del curso de la historia. Entonces nos deberíamos preguntar ¿Por qué se hizo este viaje en aquel momento de la historia? Veamos que acontecimientos precipitaron el desenlace de aquel primer viaje que llevó a los primeros seres humanos a la Luna en 1969.

En 1945 se produjo el lanzamiento de las bombas atómicas de Hiroshima y Nagasaki, terminando así la Segunda Guerra Mundial. Las dos grandes potencias que hasta entonces habían sido aliadas (URSS y EEUU) empezaron a separarse, cada una tratando de mostrar al mundo que su sistema político era mejor que el de su antagonico. Por un lado el socialismo soviético y por otro el capitalismo americano. Esto dio lugar a la conocida guerra fría que con enfrentamientos indirectos trataron de mostrar la superioridad de sus diferentes sistemas políticos. Fue una guerra sin enfrentamiento bélico directo pero sí llena de muestras de espectaculares éxitos, que aprovechando la incipiente era espacial, mostraban las hazañas espaciales al mundo entero.

Pero detrás de todo esto no había un interés científico, más bien se llevó a cabo la carrera espacial por las posibilidades bélicas que podrían suponer. Tanto los EEUU como la URSS no repararon en gastos.

El comienzo de la llamada carrera espacial tuvo su primer hito el 4 de octubre de 1957. La antigua Unión Soviética puso en órbita el primer satélite artificial, el Sputnik I (Fig. 10), utilizando un cohete Tipo A, el Vostok R-7, que era capaz de poner en órbita terrestre de baja altitud (200 km) cargas útiles de hasta 5 toneladas, desarrollado por Sergéi Pávlovich Korolev (1907-1966).

Pero este no sería el primer éxito de la URSS, un mes después pusieron en órbita terrestre al primer ser vivo, la perra Laika (3 de noviembre de 1957).

Como réplica, el 1 de febrero de 1958, los estadounidenses lograron poner en órbita el satélite Explorer I dentro del proyecto Vanguard, lanzado por el cohete Juno I. Este cohete se desarrolló bajo la dirección de William H. Pickering, James A. Van Allen y Wernher von Braun. Aunque las comparaciones hicieron sonrojar a más de uno, el Sputnik pesaba 83,6 kg y el

Vanguard 1,47 kg. Y tuvieron que pasar cuatro años para que el 31 enero de 1961 los EEUU enviaran un animal en órbita, el chimpancé Ham en el Mercury Redstone 2.



Figura 10: El satélite artificial Sputnik I. (NASA/Cortesía de nasaimages.org).

Figure 10: The artificial satellite, Sputnik I. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

Ante la supremacía de la URSS, los EEUU crearon el 29 de julio de 1958 la NASA (National Aeronautics and Space Administration), comenzando con 8000 científicos y técnicos, siendo, textualmente, sus prioridades:

- El impulso irresistible del hombre para explorar y descubrir, que induce a tratar de llegar donde nadie ha llegado antes.
- La posibilidad del uso militar del espacio, lo que obliga a desarrollar la tecnología militar adecuada, para poder preparar la defensa correspondiente.
- El prestigio nacional, función de la fuerza y el atrevimiento de la tecnología espacial.
- Las nuevas posibilidades de observación que brinda la tecnología espacial, para ampliar los conocimientos sobre la Tierra, el sistema solar y el Universo.

Pero la carrera espacial siguió su rumbo y en 1959 los soviéticos lanzaron las primeras sondas no tripuladas a la Luna. El primero, el Lunik 1 (2 enero 1959) que falló y pasó de largo sin alcanzar su objetivo. El Lunik 2 (14 septiembre 1959) impactó en la Luna, los americanos no lo conseguirían hasta 1964 con la sonda Ranger 6. El Lunik 3 (4 octubre 1959) fotografió la cara oculta de la Luna.



Figura 11: El cosmonauta Yuri Gagarin. (NASA/Cortesía de nasaimages.org).

Figure 11: Cosmonaut Yuri Gagarin. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

Fue el 12 de abril de 1961 cuando se puede decir que se dio el gran paso en la incipiente carrera espacial. Los soviéticos sorprendieron al mundo poniendo en órbita al primer ser humano, Yuri Gagarin (Fig. 11), a bordo de la nave Vostok impulsada por un cohete A-1.

Las hazañas espaciales eran una clara propaganda política y el campo de batalla más inesperado que nunca antes se había utilizado. Este y no otro, fue el motivo que hizo que el 25 de mayo de 1961, y por indicación de sus consejeros políticos, militares y espaciales, el presidente de los EEUU J. F. Kennedy dirigiéndose al Congreso de la Nación lanzó su reto:

“Considero que este país debe fijarse el objetivo de poner un hombre en la Luna y lograr que vuelva sano y salvo a la Tierra para antes de que termine esta década”.

La carrera había tomado un nuevo cariz, con un solo objetivo, poner un hombre en la Luna.

Varios fueron los programas de sondas no tripuladas que llevaron al éxito final de los EEUU:

- La serie Ranger (1961-1965): de nueve lanzamientos, seis ni tan siquiera alcanzaron la Luna, aunque los tres últimos impactaron en ella, haciendo fotografías momentos antes de estrellarse, mostrando detalles 2000 veces más pequeños que los obtenidos hasta la época.
- La serie Orbitador Lunar (1966-1967): de cinco sondas que realizaron mapas detallados, sobre todo de la zona en la que se quería alunizar.
- La serie Surveyor (1966-1968): de siete sondas, cinco de las cuales alunizaron suavemente sobre la superficie lunar y dos se estrellaron, realizando también fotografías de la zona en la que se alunizaría.

Dentro de los programas cuyo objetivo era enviar seres vivos al espacio, y que puso al primer estadounidense orbitando la Tierra, hemos de referirnos al programa Mercury (1958-1963) cuyos puntos clave fueron:

- 31 de enero de 1961, primer vuelo suborbital estadounidense con un ser vivo, el chimpancé Ham.
- 5 de mayo de 1961, primer estadounidense en vuelo suborbital, Alan B. Shepard (1923-1998).
- 20 de febrero de 1962, primer estadounidense en órbita, John Herschel Glenn Jr. (1921-).

Paralelamente se desarrollaba un cohete gigante capaz de llevar con éxito la función encomendada, bajo la supervisión de Wernher Magnus Maximilian Freiherr von Braun (1912-1977). De los modelos de cohetes que se barajaban en el momento, se optó por el Saturno V (Fig. 12), un cohete de tres etapas y que se adaptaba a otra decisión importante, la del tipo de viaje. Había tres opciones posibles, viaje directo (Tierra-Luna y Luna-Tierra), viaje con ensamblaje en órbita terrestre y viaje con ensamblaje en órbita lunar. Aunque el más sencillo es el directo, haría falta un cohete mucho más potente y de desarrollo problemático a corto plazo. Y de los otros dos, la maniobra más sencilla era la de acoplamiento en órbita lunar, que aunque más arriesgado hacía que los vehículos a utilizar fueran más ligeros. Esta decisión hizo que el Saturno V fuera el cohete elegido a desarrollar.

Esto dio lugar al programa Gemini (1965-1966), y su equivalente en la URSS Soyuz, cuyo propósito era aprender a realizar acoplamientos entre naves espaciales. Gemini contó con 10 vuelos tripulados y fue un éxito total.

A continuación llegó el programa Apolo (1967-1972) cuyo gran éxito fue poner al primer hombre en la Luna, para lo cual se produjeron algunos sucesos clave:

- Apolo I: 27 enero 1967, fallecen el comandante Virgil Grissom (apodado Gus), y los pilotos Edward White y Roger Chaffee.
- Apolo II al VI: Pruebas de los sistemas de vuelo en varios lanzamientos automáticos.



Figura 12: El cohete Saturno V, desarrollado en EEUU. (NASA/Cortesía de nasaimages.org).

Figure 12: The Saturn V rocket, developed in the USA. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

- Apolo VII y IX: Pruebas tripuladas en órbita terrestre.
- Apolo VIII: 21 de diciembre de 1968, primeros seres humanos que orbitan alrededor de la Luna. Borman, Lovell y Anders, son considerados los primeros seres humanos en salir de la órbita terrestre, alcanzar la órbita de otro mundo (la Luna) y regresar a salvo a la Tierra.
 - Apolo X: 18 de mayo de 1969, ensayos de separación y acoplamiento (en órbita lunar) entre el Módulo de Comando y el Módulo Lunar. El Módulo Lunar logró descender hasta una altura aproximada de 15 km sobre la superficie lunar y regresó con éxito a la órbita para acoplarse nuevamente con el Módulo de Comando. Se tomaron fotografías de posibles lugares de alunizaje.
 - Apolo XI: 21 de julio de 1969, llegada del primer hombre a la Luna (Fig. 13). Armstrong y Aldrin alunizaron en el Mar de la Tranquilidad. Despegue 16 de julio de 1969 a las 13:32 UT. Alunizaje 20 de julio 20:18 UT. Primer pie en la Luna 21 de julio 02:56 UT. Regreso y llegada a la Tierra 24 de julio 14:51 UT. (Total 8 días).



Figura 13: La misión Apolo XI llevó el primer hombre a la Luna. (NASA/Cortesía de nasaimages.org).

Figure 13: Apollo XI mission was the first man to the Moon. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

- Apolo XII: 14 de noviembre de 1969, segundo descenso lunar.
- Apolo XIII: 11 de abril de 1970, misión fallida. Lovell, Swigert y Haise, se vieron obligados a retornar a la Tierra sin poder alunizar, debido a la explosión de uno de los tanques de oxígeno del Módulo de Comando.
 - Apolo XIV: 31 de enero de 1971, tercer descenso lunar exitoso y realización de algunos experimentos científicos.
 - Apolo XV: 26 de julio de 1971, cuarto descenso lunar exitoso. Primera misión que utiliza el rover lunar (Fig. 14).
 - Apolo XVI: 16 abril de 1972, quinto descenso lunar exitoso y actividades con el rover.
 - Apolo XVII: 7 diciembre de 1972, sexto descenso lunar exitoso y actividades con el rover. Última misión tripulada a la Luna.

El gran reto de la carrera espacial se había conseguido. La llegada a la Luna se adelantó medio siglo a lo que hubiera sido normal y no se ha vuelto desde entonces, y nos podríamos preguntar el porqué. La respuesta es muy sencilla, el tremendo esfuerzo económico de aquellos vertiginosos años no podía continuar, las guerras en las que estaban embarcadas las dos potencias y la pérdida de interés mediático hicieron el resto.



Figura 14: El rover lunar, utilizado en el programa Apolo, a partir de la misión Apolo XV. (NASA/Cortesía de nasaimages.org).

Figure 14: The lunar rover used in the Apollo program, from the Apollo XV mission. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

También podríamos preguntarnos si valió la pena, teniendo en cuenta que supuso la puesta sobre la Luna de 12 astronautas americanos, recorrer 110 km sobre un desolador paisaje y traer 400 kg de rocas lunares desde unos 380 000 km de distancia. Si lo vemos así no valió la pena, ya que con un presupuesto muchísimo inferior se hubiera conseguido hacer la misma ciencia que se hizo con esas muestras. Pero hemos que tener un punto de vista más global. Desde un punto de vista científico, sondas no tripuladas hubieran conseguido objetivos similares. Tecnológicamente hizo que la industria tuviera un tiro nunca antes alcanzado, tanto en computadoras, como nuevos materiales, aeronáutica, comunicaciones y un largo etcétera que pusieron a EEUU a la cabeza mundial, lo que a corto plazo se extendió a nivel internacional. Y desde un punto de vista histórico, marcó un hito sin precedentes, se demostró la posibilidad de que los seres humanos podían realizar viajes interplanetarios, abriendo un horizonte infinito para la humanidad, más allá de este pequeño planeta de nuestro Sistema Solar, la Tierra (Ruiz de Gopegui, 1996).

Bibliografía

- Arranz, P. y Mendiola, A. (2003). *Conocer y observar el sistema solar*. Ariel, Madrid.
- Belmonte, J. A. (1994). *Arqueoastronomía Hispánica*. Equipo Sirius, S.A., Madrid.
- Belmonte, J. A. (1999). *Las leyes del cielo*. Ediciones Temas de Hoy S.A., Madrid.
- Galadí-Enríquez, D. y Gutiérrez, J. (2001). *Astronomía general. Teórica y práctica*. Ediciones Omega, S.A., Barcelona.
- Lacroux, J. y Legrand, C. (2004). *Descubrir la Luna*. Larousse (Barcelona).
- Monje, J. C. (1991). *La Luna. Selenografía para telescopios de aficionados*. Equipo Sirius, S.A., Madrid.
- Ruiz de Gopegui, L. (1996). *Hombres en el espacio. Pasado, presente y futuro*. McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A., Aravaca (Madrid).
- Velasco, E. y Velasco, P. (2005). *Guía del cielo*. PROCIVEL, S.L., Madrid.

L'astronomia en la cultura popular. El cas de la Lluna

Lluc Mas

Observatori Astronòmic de Mallorca



Mas, Ll. (2010). L'astronomia en la cultura popular. El cas de la Lluna. *In*: Ginard, A., Pons, G.X. i Vicens, D. (eds.). *Història i Ciència: commemoració dels 40 anys de l'arribada de l'home a la Lluna*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 16; 133-149. SHNB - OAM - UIB. ISBN 978-84-15081-49-4.

Resum: És important deixar ben clara la diferència entre l'astronomia en la cultura popular (ciència) i l'anomenada astronomia popular, fonamentada en molts de casos en l'observació directa dels fenòmens naturals però també en creences falses i en supersticions.

En aquest article i des d'un punt de vista científic, intentarem explicar el perquè d'un refrany o creença, o al menys proposarem una possible explicació. Per la seva part, quan es parla d'astronomia popular, els documents i publicacions consultats s'interessen, sobretot, a fer-ne un recull i, com a molt, hi trobam una breu explicació del seu significat o conseqüències.

Abstract: *It is important to make clear the difference between astronomy in popular culture (science) and the call popular astronomy, in many cases based on direct observation of natural phenomena but also in false beliefs and superstitions. In this article, and from a scientific point of view, we try to explain why a proverb or belief, or at least suggest a possible explanation. For his part, when speaking of popular astronomy, documents and publications consulted are concerned above all to make a compilation and as much, we find a brief explanation of its meaning or consequences.*

Introducció

Quan es parla d'algun tema que inclou la cultura popular, és molt freqüent creure que la temàtica de l'estudi, recerca, publicació o conferència, se centrarà exclusivament en aquest àmbit. Conscient d'això, del mateix títol volem mostrar que el motiu del nostre treball no se centra en els refranys, costums o creences dels nostres avis. Tampoc no es tracta d'un estudi folklòric al voltant del cel, sinó que a partir dels estudis paremiològics existents, contribuir a mostrar el que en ells hi ha (o no) astronòmicament correcte. Per aquest motiu cal deixar ben clara la diferència entre l'astronomia en la cultura popular (ciència) i l'anomenada astronomia popular, fonamentada en molts de casos en l'observació directa dels fenòmens naturals però també en creences falses i en supersticions. Per això, cal posar cada cosa al seu lloc.

Així doncs, des de la ciència, intentarem explicar el perquè d'un refrany o creença, o al menys proposarem una possible explicació. Per la seva part, quan es parla d'astronomia popular, els documents i publicacions consultats s'interessen, sobre tot, a fer-ne un recull i, com a molt, hi trobam una breu explicació del seu significat o conseqüències, però no del perquè ... o del perquè no.

Però quin interès pot tenir fer un estudi vinculant l'astronomia amb la cultura popular? En termes generals, ens dedicam a fer allò que més ens agrada, i ens agrada més, perquè ens costa menys i evidentment, perquè ens interessa, o al menys perquè l'interès compensa el sacrifici. El cert és que darrera la dicotomia ciències o lletres, en molts de casos s'amaga un cert rebuig de l'una envers l'altra. Normalment ens trobam còmodes dintre de la nostra bombolla de coneixements, però cal tenir present que en més d'una ocasió, aquesta està immersa en un oceà de desconeixement, o el que és pitjor: d'ignorància disfressada de desinterès, pretesament justificada per una injustificable incapacitat. Cercar relacions entre les diferents àrees del coneixement és una activitat intel·lectualment sana i per tant recomanable. Per això fer-ho entre l'astronomia i la cultura popular, no té perquè ser cap excepció. Un bon començament és partint de la pròpia especialitat. En aquest cas, des de l'astronomia en vers la cultura popular i a l'inrevés. No es tracta tant de crear ponts entre disciplines com d'establir-ne vincles, mostrant el que tenen en comú, parlant en aquest cas, d'astronomia com àmbit del coneixement que inclou tant la vessant científica, com la que s'hi fa referència des de la saviesa dels nostres avantpassats i que ens ha arribat fins a nosaltres gràcies a la cultura popular. Així doncs, en aquesta recerca, hem de parlar del coneixement astronòmic en sentit ampli, vinculant ciència amb saviesa i fent-ne ús de la primera per esbrinar i explicar el que hi ha de cert, o de fals, en la segona. D'aquesta manera contribuïrem a difondre la ciència i també a valorar i recuperar una part de l'herència del nostres avis, pels qui els fenòmens astronòmics han estat uns dels més observats, sobretot per una qüestió de supervivència. Per això, l'idea de fer una recerca a l'àmbit del coneixement astronòmic en la que hi tingui cabuda la seva vessant popular no deixa de ser un repte i també un deure.

Metodologia de treball

Tot i que inicialment l'interès per l'astronomia i per la cultura popular va ser un dels fonaments d'aquesta recerca, no és menys cert que va ser l'astronomia que ens va guiar cap aquest vessant de la cultura popular. És a dir, l'interès per entendre l'origen de la ciència més antiga, no es pot separar de la seva vessant popular i, precisament aquest vincle, va ser i és el fil conductor de tot el treball, part del qual es presenta en aquest article.

Nivells de coneixement popular

En ciència, cal qüestionar-ho tot i aquesta és la principal diferència entre l'astronomia en la cultura popular i l'astronomia popular. Una cosa és saber el refrany i creure les conseqüències tant si són certes com si no ho són i l'altra és voler saber el perquè de les conseqüències i la seva causa, si n'és el cas. La causa, potser només es pugui atribuir parcialment i, si és així, esbrinar a què més és deguda, de quina manera i amb quina proporció.

Contextualització

Malgrat parlar de la nostra cultura popular, s'ha de tenir present que aquesta no es pot limitar al nostre àmbit geogràfic, ni tant sols cultural, ja que molts dels refranys i creences, també els podem trobar en altres indrets, alguns d'ells ben llunyans. Per això, en aquest estudi no ens interessa tant el lloc on es va recollir un determinat refrany, com el refrany en sí mateix i, sobretot, si té o no un fonament des del punt de vista de l'astronomia.

Primer es creia que en el món només hi havia Mallorca i la mar, malgrat que no hi havia un acord unànime en aquest punt. Després es va dividir el món en Mallorca i fora Mallorca. Fins i tot, algú (boig, evidentment) va dir que Mallorca, potser no arribava a ser tan gran com fora Mallorca.

La cosa rigorosament certa, és que per aquella gent, que només podien anar a peu o amb carro, Mallorca era molt més gran del que ho és ara. Mirau si era gran, que molts de Mallorquins no arribaren a veure mai la mar. De fet, massa feien intentant sobreviure. La majoria no es movien del seu redol, del seu entorn més immediat i per això, encara podem trobar diferències significatives entre la parla de diferents indrets que ara ens pareixen molt propers i que es manifesten, per exemple, en els noms que es donen al mateix objecte, animal o planta, o fins i tot, a un mateix accident geogràfic com pot ser un puig o un torrent. En un àmbit geogràfic més ampli, un refrany pot tenir un cert sentit en un hemisferi (per exemple en el nostre), però no en l'altre. Pertot plegat, sempre cal contextualitzar-los i des d'aquest punt de vista s'ha d'esbrinar a quin àmbit geogràfic i, fins i tot cronològic, fan referència: No té perquè ser el mateix (en referència a una determinada feina) el que afirma un refrany de muntanya que un altre del pla. Ambdós poden semblar contradictoris o, fins i tot, erronis si no tenim en compte aquest fet.

Fonts

Les fonts vives, al menys les que hem localitzat fins ara, són molt escasses i amb un saber molt limitat en aquest camp. A més, les repeticions pel que fa als termes i els refranys que hem pogut recollir, fan que aquestes aportacions es limitin a una mostra testimonial del que va ser un coneixement molt valuós pels nostres avantpassats. No només pel que significava de millorar la rendibilitat dels treballs del camp, sinó com a font de relació social pel que fa a la transmissió de tot aquell coneixement.

Un altre aspecte a considerar, és el fet que gairebé totes les dades recollides a partir de testimonis directes, ja les havíem obtingut de fonts documentals. Per altra part, el recull fet a partir d'aquelles fonts, s'ha limitat a la simple recitació del refrany, però en cap cas es relacionava el que deien amb la identificació real dels estels, constel·lacions o planetes als quals es referien.

Classificació

- Tipus: Refranys, dites, cançons... que es poden agrupar en creences i aquestes en pronòstics, influències i d'altres.
- Referències astronòmiques: La lluna, el Sol, el Sol i la Lluna, durada del temps de claror, etc.
- El calendari: El transcurs de l'any, temps de Pasqua, Nadal, etc.
- Influències: El camp, la mar, el temps, el cos, el comportament, etc.

Relacions casuals i causals

Tot plegat ha facilitat que s'establiessin relacions entre les diferents llunes i determinades feines de la terra, de la mar o del comportament, per posar-ne tres àmbits prou populars, en referència a aquestes relacions, que poden ser:

Causals, és a dir que existeix una clara relació causa efecte, com ara

*Per Sant Sebastià,
mitja hora més si fa no fa*

en referència a l'augment de la durada del temps de claror.

Casuals, com és la relació que hi ha entre la durada del cicle menstrual de la dona i la durada d'una llunació.

També cal analitzar la proporció de dites que afirmen, neguen o relacionen de diferent manera, la influència, causa o efectes deguts a algun cos celeste, per establir-ne una relació més o manco fiable en funció de la seva varietat. Probablement lligada, però no necessàriament, a una major popularitat.

Refranys

Un refrany és una frase expressada en forma de sentència, que conté una conclusió, ensenyament o norma de conducta. La rima permet memoritzar-lo amb més facilitat pel fet que a vegades conté metàfores.

El refranys es poden classificar de moltes maneres però aquí, centrant-nos amb la Lluna, ho farem d'acord a dos criteris:

Segons les causes

- La fase: Nova, minvant, creixent o es ple.
- Els canvis: El girant, quan tomba, que muda, fa volta, etc.
- L'aspecte: Clara, tapada, brillant, blanca, etc.
- Al llarg de l'any: De mes en mes, entre mesos, en cada estació, etc.
- El calendari: Carnestoltes, Quaresma, Pasqua, Pentecosta, Advent, Nadal, etc.

Segons els efectes en la meteorologia

A la mar:

*El bon mariner,
mirant la lluna ja sap son quefer.*

*Lluna ajaguda,
mar remoguda.*

*Lluna plena,
la mar remena.*

- En el camp:** *En minvant de lluna,
no sembris cosa ninguna.*
- Plantar en lluna creixent
i sembrar en lluna minvant.*
- El vent:** *Lluna voltada,
pluja assegurada.*
- Lluna lluent,
fred i vent.*
- La pluja:** *Lluna plena,
aigua mena.*
- Lluna amb rotllo de colors,
senyal de temps xubascós.*

Creences

Hi ha molts de refranys que són conseqüència d'algunes creences, com ara:

*Lluna creixent,
muda la gent.*

També n'hi ha com aquest:

*Cabells tallats de lluna nova,
es tornen blancs aviat.*

que mostren una acció (tallar els cabells) prèvia a la causa (en lluna nova) i a l'efecte corresponent (tornar blancs).

De tot el recull de refranys, cançons i creences, ens centrarem en els que tinguin un mínim d'interès astronòmicament parlant i això ho farem estudiant-los:

Un per un: Rigorosament certs, parcialment certs (una part certa i l'altra no), aproximats (bastant o només un poc) i erronis.

En relació a altres: Confirmatius, contradictoris (lluna nova – lluna vella), negant qualsevol influència (*Si vols prunes, no miris llunes*), fent referència a causes diferents (Plantar en lluna creixent, plantar en lluna minvant).

En tenim alguns exemples:

*Vent de fora i sense lluna,
fuig de la costa tot d'una.*

Vegem a continuació algunes creences i algun refrany sorgit d'aquestes:

Antigament es creia que per determinar amb exactitud el moment del girant, calia que una hora abans d'estar anunciat, s'omplís una tassa de plata amb aigua de mar i li tiraven cendra d'olivó, que se n'anava al fons en el precís moment del girant.

No convé fer les matances el dia del girant, perquè si es produeix mentre es couen els botifarrons o la varia negra, tots s'esclaten i es desfan.

Els mariners tenien molt present el primer ortiu de la lluna nova del mes d'octubre perquè es tenia per una bona indicadora de les previsions meteorològiques a llarg termini. Així doncs, si sortia ajaguda, el mal temps seria present durant tot l'hivern i si sortia dreta, malgrat que també faria mal temps, aquest duraria poc perquè el bon temps dominaria durant aquella estació.

D'aquesta creença ve el refrany:

*Lluna ajaguda,
mariner dret.*

Dites

Locució o frase que es diu comunament; frase feta, sentència d'ús general. Vegem-ne alguns exemples que fan referència al comportament:

Ésser blat de bona lluna.

Estar de bona/mala lluna.

Anar a llunes.

Haver caigut de la lluna.

La lluna és el sol dels lladres.

Tirar pedrades a la lluna.

El girant

Una atenció especial es mereix el girant, que és el moment que la Lluna passa de nova a vella o també de vella a nova (Fig. 1).

Tot i que estrictament parlant hi ha dos girants, que es donen durant el ple i en la lluna nova, generalment es coneix amb aquest nom al moment del canvi de lluna vella a lluna nova. Un exemple d'això el trobam en aquest refrany:

*Girant clar,
aigua prop.*

La qüestió és, a quin dels dos girants es refereix el refrany, perquè la seva interpretació serà completament diferent si al qualificatiu clar el referim a la Lluna o al cel.

En el primer cas, parlariem del girant durant el ple i per tant d'una lluna clara, a la qual també es refereixen alguns dels refranys que apareixen a l'apartat *La més clara de l'any*, un poc més endavant. Però en el segon cas, malgrat semblar una contradicció, la referència a un cel clar implica una nit fosca i per tant, sense Lluna. En aquest cas, parlariem del girant produït durant la lluna nova.

Si tenim en compte que la majoria dels refranys que hem trobat fan referència a la claredat de la Lluna, com a senyals de bon temps

*Lluna brillant,
bon temps per endavant.*

*Lluna blanca,
bon temps canta.*

o al menys no parlen de pluja:

*Lluna lluent,
fred i vent.*

Per tot plegat, el girant del primer exemple té moltes probabilitats de ser el de la lluna nova i per això podríem entendre que aquell refrany ens diu:

Si durant el girant de la lluna el cel està clar, voldrà dir que plourà prest.

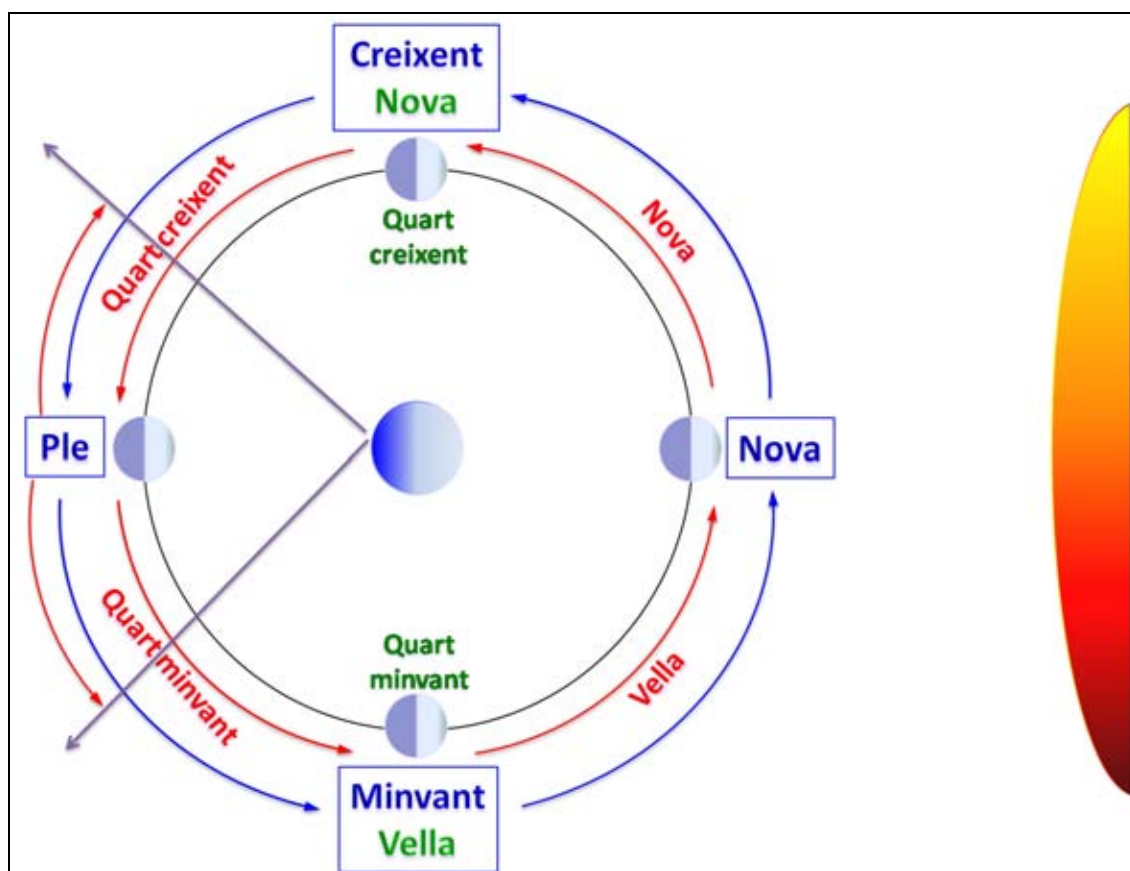


Figura 1: Fases de la Lluna.

Figure 1: Phases of the Moon.

Influència de la Lluna, sí però... i que hi ha de la del Sol?

Malgrat que la Lluna és el tema central d'aquest article, no volem deixar passar l'ocasió de fer una breu referència al Sol. Certament la proporció de dites, refranys i creences es decanta de forma molt significativa en vers la Lluna, fet que s'explica per alguna de les circumstàncies següents:

- La facilitat d'observació a ull nuu.
- La quotidianitat. Que ens fa pensar que hi ha lluna fins i tot quan no és visible i a l'inrevés, que no n'hi ha quan en realitat és visible. Per exemple durant el minvant, que es pot observar també durant el matí.
- La seqüència regular del seu cicle i la seva relació causal amb el calendari i casual amb altres cicles, com és el cas del cicle menstrual.
- La creença en la seva influència en determinades activitats i comportaments.

Tot i així, bona part de les dites que fan referència al Sol, ho fan, en bona part compartint el protagonisme amb la Lluna.

Aquests en són dos bons exemples:

*Per gener mana la Lluna,
i pel juliol mana el Sol.*

*La Lluna de gener,
i el Sol d'agost,
són els millors de tots.*

Recordem però, que cal contextualitzar els refranys tenint en compte diferents aspectes: socials, culturals, geogràfics i cronològics per citar-ne alguns. Això ens pot servir per a introduir que els refranys anteriors tot i ser certs en el nostre hemisferi, no ho són a l'hemisferi Austral, excepte si prescindim del mes i ens centram amb l'estació:

*A l'hivern mana la Lluna,
i a l'estiu mana el Sol.*

La Lluna és mentidera

Aquesta dita, quan es refereix al que ens diu el refrany:

*Si la Lluna mira endavant,
quart minvant,
i si mira a Ponent,
quart creixent.*

No hi hauria cap excepció, perquè a l'hemisferi Austral, la Lluna sempre és vertadera. Es veu just a l'inrevés de nosaltres.

Per això, en aquelles terres, el refrany hauria de dir:

*La Lluna, quan és creixent,
té les puntes cap a ponent.
Quan la Lluna és minvant,
té les puntes cap a llevant.*

Tornant al nostre hemisferi, és interessant estudiar els següents refranys:

*Quan la Lluna mira a llevant,
quart minvant;
quan mira a ponent,
quart creixent.*

*Si la Lluna mira a llevant,
quart minvant,
si a ponent,
quart creixent.*

Aquí, el verb mirar, és poc rigorós, malgrat que popularment, quan la lluna està en quart, se sol representar com a la Fig.2.



Figura 2: Representació de la Lluna en la nostra tradició popular.

Figure 2: Representation of the Moon in our popular tradition.

I per tant, podem relacionar la representació d'aquestes figures amb la que hi fan referència els refranys anteriors. Tot i que és una representació arbitrària, és la més comuna en la nostra tradició popular.

Cal destacar la precisió a la primera part d'aquest altre perquè fa referència a aspectes físics, fàcilment observables:

*La Lluna, quan és creixent,
té puntes a sol ixent.
Quan la Lluna és minvant,
té les puntes al davant.*

Com es pot comprovar, en la segona part, tot i fer referència a les puntes, parla del davant, per tant, si no fos pel referent de la primera part del refrany, ens trobaríem en el mateix cas dels anteriors que utilitzen el verb mira.

El refrany que ve a continuació és un magnífic exemple, no només de precisió, sinó d'utilització dels conceptes vespre i matí:

*Lluna, el vespre a ponent,
quart creixent;
Lluna, el matí a llevant,
quart minvant.*

Entenent ambdós termes com a les primeres hores de la nit i del dia respectivament. Relacionant la identificació de la fase amb el moment de la seva observació.

Per acabar amb aquests exemples d'identificació de fases, volem mostrar-vos-en un de molt interessant:

*Si vols sebre quan serà es ple, i no t'erraràs,
quan es Sol pondre veuràs, que sa Lluna sortirà.*

Efectivament, com es pot apreciar a la Fig. 1 per haver-hi lluna plena, la Terra ha d'estar entre la Lluna i el Sol, de manera que la Lluna, la Terra i el Sol estan alineats. Per això, quan el Sol es pon, es veu aparèixer el ple per Llevant i podem comprovar que el refrany és del tot cert.

Lluna vella, lluna nova

Cal aclarir que volen dir alguns refranys quan parlen de una determinada fase. Què s'entén per lluna vella, nova, creixent o minvant?

A la Fig.1 podem veure diferents maneres d'anomenar les fases lunars i també es pot apreciar com el mateix nom correspon a períodes diferents:

Quart creixent: Tant pot ser el dia en què es produeix el quart com el període que va des del quart fins al ple.

Quart minvant: El podem trobar fent referència tant al Quart com al temps que transcorre entre aquest i la lluna nova.

Lluna nova: Es pot referir a un sol dia (el de la lluna nova) o bé al temps que hi ha entre aquest i el quart creixent o fins i tot, com en el cas de la lluna plena, també comprèn el temps entre el dia anterior i posterior al de la lluna nova pròpiament dita.

Lluna vella: Es pot referir a un sol dia (el de la lluna vella) o també al temps que hi ha entre aquest i el quart creixent.

Denominacions semblants a les anteriors, fan referència a períodes de temps diferents

Nova i creixent: Període comprès entre la lluna nova i el ple.

Vella i minvant: Període comprès entre el ple i la lluna nova.

Lluna plena: Com en els casos anteriors, fins i tot el ple té almenys dues versions, malgrat que en aquest cas la segona no es refereix a un període entre dues fases sinó gairebé al comprès entre els dos dies, tot just abans i després del moment del ple, període durant el qual la Lluna sembla que encara està en aquesta fase. Per això es poden entendre petites imprecisions d'alguns refranys que relacionen determinada fase amb algunes celebracions les festes de Pasqua (veure l'apartat *El calendari i la Pasqua*).

La més clara de l'any

Pel que fa a la Lluna, només pel nombre de refranys que fan referència a la seva claredat, sobretot durant el més de gener, ja mereix dedicar-li la nostra atenció.

*La lluna del gener,
la més clara de l'any!*

*La lluna de gener,
fa sortir la formiga del formiguer.*

*La lluna del gener
és la més clara de l'any,
i mirar-la no fa dany.*

*Dels amors sempre el primer,
i de llunes, la del gener.*

Altres refranys coincideixen amb la importància que s'atribueix a la lluna de gener, però també en podem trobar que fan referència a altres mesos. Vegem-ne alguns exemples:

*De llunes, la de gener,
i la d'octubre també.*

*De llunes, la de gener,
i la d'agost també.*

*La lluna d'agost, clareja quan és
fa fosc, vol ser com la de gener,
però no ho arriba a ser.*

*La lluna d'agost fóra la millor,
si la de gener la deixava fer.*

*Lluna setembrat,
la més clara de l'any.*

Però es la Lluna del gener la més brillant? I si és així, perquè?

Normalment, sempre es parla de l'altura sobre l'horitzó a la qual es troba el Sol a cada canvi d'estació o el que és el mateix, durant els solsticis i els equinoccis. Però que hi ha de la Lluna? Aquí resulta interessant fer notar que el nostre satèl·lit, durant els solsticis, es localitza a una altura, que podríem anomenar complementària a la del Sol. Es a dir, que en les dates properes al solstici d'hivern (quan el Sol està més baix) és quan la Lluna està més alta sobre l'horitzó i mig any després, durant el solstici d'estiu, que és quan el Sol està més baix, la Lluna està més alta. Això succeeix perquè ambdós cossos es desplacen, al llarg de l'Eclíptica, que és el camí aparent que segueix el Sol, la Lluna i els planetes sobre el fons estrellat al llarg de les constel·lacions zodiacals.

Recordant la posició relativa de l'Eclíptica respecte de l'horitzó celeste veurem que durant els equinoccis ambdues circumferències es creuen, mentre que en els solsticis l'Eclíptica s'arriba a separar de l'Equador $\pm 23,5^\circ$ ($-23,5^\circ$ durant el solstici d'hivern i $+23,5^\circ$ durant el de l'estiu). D'aquesta manera, si tenim en compte que a la nostra latitud, l'Equador celeste es

localitza a 50° sobre l'horitzó Sud local, podem concloure que quan comença l'estiu, al migdia, el Sol està a uns 75° per sobre del nostre horitzó, i que és precisament on es troba la Lluna a mitjanit, mig any després.

Per acabar d'embullar-ho ens podem ajudar de la Fig. 3 que representa la posició del Sol i de la Lluna en el solstici d'hivern. Com es pot apreciar l'altitud del Sol durant la seva culminació (al migdia, quan passa pel meridià del lloc, en el punt cardinal Sud) està a $23^\circ 45'$ per davall de l'equador celeste, o el que és el mateix, $26^\circ 15'$ per sobre de l'horitzó sud.

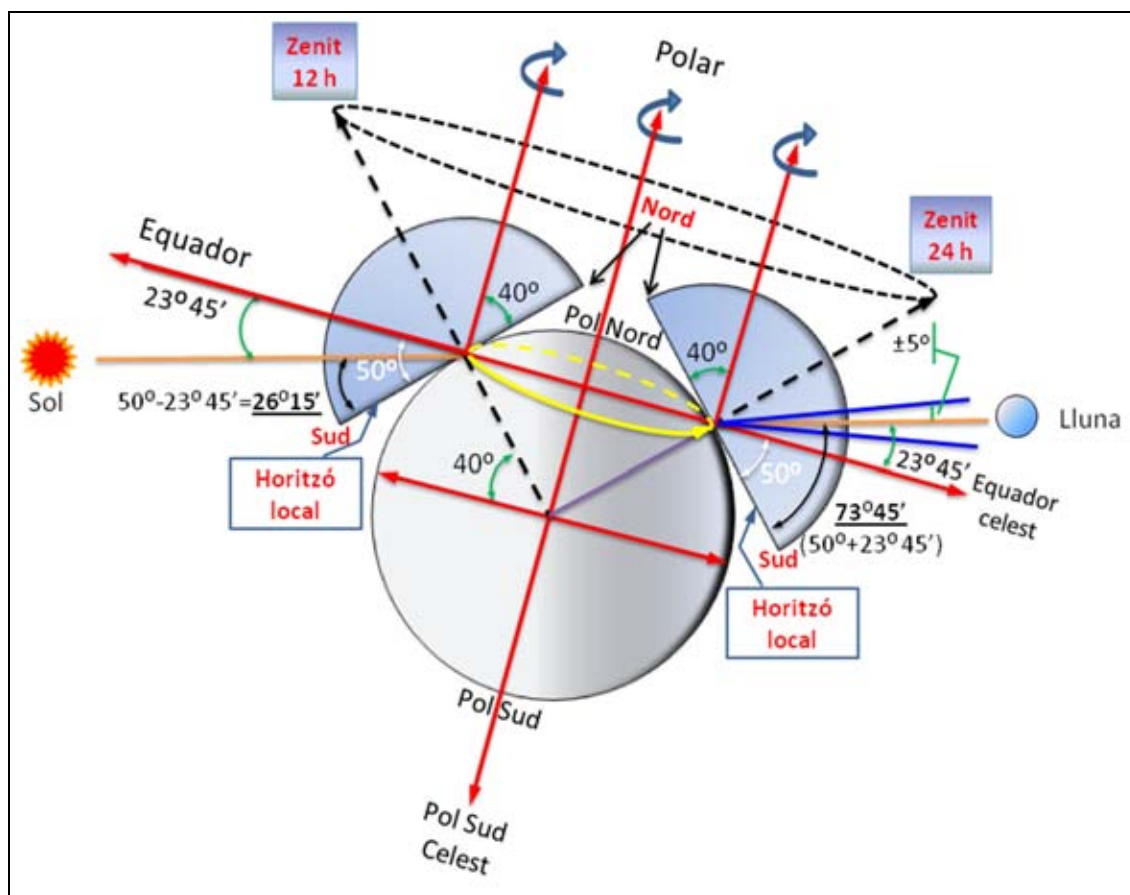


Figura 3: Posició del Sol i de la Lluna en el solstici d'hivern.

Figure 3: Position of the Sun and the Moon at the winter solstice.

Per la seva part la Lluna, a la mitjanit d'aquest solstici (i per extensió durant el més de gener), es troba a l'altre extrem de l'eclíptica (a 180°) però en aquest cas, a més de 73° sobre el mateix horitzó sud, és a dir, molt a prop del zenit. Això vol dir que la seva llum ha de travessar menys quantitat d'atmosfera per arribar-nos i per tant és quan més brilla de tot l'any. El contrari ocorre durant el solstici d'estiu, que és quan el Sol està més alt sobre l'horitzó i la Lluna més baixa. Tan sols a uns 25° i per això és menys brillant.

Podem concloure doncs, que les dites que fan referència a la major claredat de la Lluna durant el mes de gener estan ben fonamentades. Fins i tot les referides als mesos propers al solstici d'hivern com són els que van des de finals d'octubre fins al febrer.

Parlem de magnituds

*No hi ha estrella com sa Lluna,
p'en sa nit donar claror,
ni Sol amb més resplendor,
quan el fa devers la una.*

Una manera de classificar els estels, és a partir de la seva brillantor. De fet, es va començar fent servir l'ull com a instrument per mesurar-la. D'aquesta manera, comparant les diferents percepcions de brillantor, Hiparc de Nicea en el segle II aC, quan encara ni se sospitava l'existència de les unitats de mesura de l'energia lluminosa, va classificar els estels en sis categories, de la primera a la sisena magnitud. Així, un estel de primera magnitud és més brillant que un altre de segona i aquest, més que un de tercera, i així successivament. Aquesta progressió però, és inversa, és a dir que a mesura que disminueix la magnitud, augmenta la brillantor. Això és degut a que Hiparc va utilitzar nombres ordinals.

Aquesta, però, tan sols és una mesura de la lluminositat aparent del cos observat i per tant és proporcional a la quantitat de llum que ens arriba, però no té en compte per res, la distància que ens separa. Per això haurem de diferenciar entre dos tipus de magnituds: l'aparent i l'absoluta.

Magnitud aparent

Abans de continuar, cal recordar que la nostra vista, reacciona logarítmicament a la brillantor i per això, el que Hiparc va fer en realitat, va ser mesurar el logaritme de la brillantor i no la pròpia brillantor. D'aquesta manera segons Hiparc, els estels de primera magnitud eren els més brillants i els de sisena els més febles, situant-se en el límit de la percepció visual.

Molt temps després, William Herschel en el segle XVIII, observà que una diferència de cinc magnituds equivalien a cent de brillantor. Així, un estel de primera magnitud és cent vegades més brillant que un altre de sisena. D'aquí es dedueix que:

La relació entre dues intensitats lluminoses corresponents magnituds consecutives és constant i igual a 2,512.

Si, a més de conèixer la magnitud d'un estel, també coneixem la distància a la què es troba, també podrem calcular la magnitud i la brillantor que tindria a qualsevol altra distància a la qual es trobés, perquè la brillantor és inversament proporcional al quadrat de la distància. Per això, si un objecte el desplaçam deu vegades més lluny, serà cent vegades menys brillant i li correspondrà una magnitud aparent cinc vegades major.

Si l'augment és d'una magnitud, voldrà dir que serà 2,512 vegades menys brillant i que estarà 1,585 vegades més lluny.

Del refrany que ens ha servit per introduir el concepte de magnitud, podem observar a la Taula 1 la gran diferència de magnitud aparent entre la lluna plena (i ja no diguem del Sol) i els cossos més brillants d'una nit estrellada. Fitxem-nos també amb el signe menys (-) que està davant dels números de les magnituds corresponents als cossos més brillants. Efectivament, la classificació d'Hiparc basada amb sis magnituds, va resultar insuficient i es va haver d'ampliar en els dos sentits, des de la -26 del Sol fins a la +30 dels objectes observables a través del Hubble, passant per la magnitud 0 de l'estel Vega, a partir de la qual parteixen les magnituds positives i les negatives, tot mantenint-se les proporcions anteriorment descrites.

Sol.....	-26,8
Lluna plena.....	-12,6
Màxima de Venus.....	-4,4
Màxima de Mart.....	-2,8
Siri.....	-1,5
Segon estel més brillant: Canopus.....	-0,7
El punt zero per definició: Vega.....	0
Estels més febles visibles des d'una ciutat.....	+3,0
Estel més feble observable a ull nu.....	+6,0
Telescopi espacial Hubble (magnitud límit).....	+30,0

Taula 1: Magnituds aparents del Sol, de la lluna plena i dels cossos més brillants en una nit estrellada.

Table 1: Apparent magnitudes of the Sun, the full Moon and the brightest body in a starry night.

Magnitud absoluta

Cal tenir present que la magnitud aparent és diferent a la magnitud real d'un objecte, perquè no té en compte per res la distància que ens separa. Per això, si aquesta és molt gran, tot i que algun objecte ens pot semblar molt feble, en realitat pot ser molt brillant, i a l'inrevés, un objecte molt brillant pot semblar-ho només perquè està relativament proper.

Així doncs, per determinar la magnitud real d'un objecte, cal tenir en compte la distància. D'aquesta manera obtindrem l'anomenada magnitud absoluta i que correspon a la que tindria l'esmentat objecte si estigués situat a una distància de 10 parsecs de la Terra.

Cal recordar que el parsec o paral·laxi d'un arc de segon, pc, és el mètode més antic per a determinar les distàncies estel·lars i es basa en el mètode de la paral·laxi trigonomètrica; es pot definir com la distància de la Terra a un estel que té una paral·laxi d'un segon d'arc o també que 2 objectes estan separats per 1 UA, quan els observem amb una separació aparent d'1 segon d'arc.

El calendari i la Pasqua

La cristianització de determinats cultes pagans té dos exemples rellevants en el calendari litúrgic cristià com ara el Nadal i la Pasqua, relacionats amb el solstici d'hivern i l'equinocci de primavera respectivament.

Aquí utilitzarem com exemple la determinació de la data corresponent al Diumenge de Pasqua (que se celebra el primer diumenge després de la primera lluna plena, després de l'equinocci de primavera), per a relacionar Equinocci, Lluna, Pasqua i cultura popular a partir dels refranys següents:

*La nit de la Cena,
la lluna plena.*

*La nit del Sopar,
la lluna plena ha d'estar.*

Si tenim en compte que la nit de la Cena o del Sopar, és la del Dimecres Sant, i que el ple ha d'estar entre el diumenge i el dissabte anteriors al Diumenge de Pasqua, es podria acceptar que en el cas més extrem (el ple en diumenge), el dimecres encara hi hagués una sensació de ple, que es faria cada cop més evident a mida que s'anés apropant al Dimecres de Cendra. L'efecte complementari es donaria quan el ple coincidís amb el Dijous Sant, el Divendres Sant i si tan es vol, també el dissabte.

Per tant, els dos refranys anteriors són força aproximats a la realitat. Però no ho és tant el següent:

*No és nat ni per néixer,
qui el dia de Cendra
la Lluna no veu créixer.*

No és el mateix acceptar que a ull nuu el ple ho pot semblar durant els dies immediatament anteriors i posteriors al dia en què es produeix i l'altra és afirmar que si es produeix el ple en diumenge, el dimecres encara es veu créixer.

En qualsevol cas, res del que hem dit li resta gens ni mica d'encant ni d'interès, perquè ens ajudarà a recordar que, durant la Setmana Santa, al llarg de la nit, sempre hi haurà Lluna, tot i que d'acord amb el que hem dit en el paràgraf anterior, caldrà tenir en compte que, de mitjana la lluna surt 50 minuts més tard cada dia i per veure-la el dissabte hauríem d'esperar a la matinada i ja estaria a prop el quart minvant.

*Carnestoltes i Dijous Sant,
sense Lluna no es veuran.*

Any	Equinocci	Lluna plena	Pasqua
2008	20 de març	dv, 21 de març	23 de març
2009	21 de març	dj, 9 d'abril	12 d'abril
2010	20 de març	dv, 30 de març	4 d'abril
2011	21 de març	dl, 18 d'abril	24 d'abril
2012	20 de març	dv, 6 d'abril	8 d'abril
2013	20 de març	dc, 27 de març	31 de març
2014	20 de març	dm, 15 d'abril	20 d'abril

Taula 2: El dia de Pasqua és el primer diumenge, després de la primera lluna plena, després de l'equinocci de Primavera.

Table 2: Easter Day is the first Sunday after the first full moon after the spring equinox.

Malgrat que el nostre és un calendari solar, Pasqua és un exemple de celebració que utilitza el calendari lunar per a determinar les seves dates (Taula 2). I és així, perquè sempre és el primer diumenge (per exemple, per l'any 2010, dia 4 d'abril), després de la primera lluna plena (dia 30 de març), després de l'equinocci de Primavera (dia 22 de març).

Per això, com es pot apreciar a la Fig. 4, la Quaresma, període de quaranta dies per a preparar-se per a la Setmana Santa, comença el Dimecres de Cendra (dia 17) i acaba el Diumenge de Rams (dia 28 de març) tot just el diumenge abans de Pasqua. Abans però hi ha el Dijous Llarder (dia 11), que assenyalava el començament de la setmana de carnaval.

Per tot això no és rar trobar un refrany com aquest:

*Lluna nova de febrer,
primer diumenge de Quaresma.*

Que sempre ens servirà de referent per situar amb una aproximació acceptable el començament de la Quaresma, sobretot si es té en compte que sempre cau en dimecres i que això serà així si aquella cau en la segona meitat del mes de febrer. En cas de produir-se durant els primers dies d'aquest mes, el refrany hauria de fer referència a la lluna nova del mes de març. I això és així perquè la lluna plena després de l'equinocci de primavera (dia endavant, dia endere) pot caure entre el 21 de març i una llunació posterior, és a dir dia 19 d'abril.

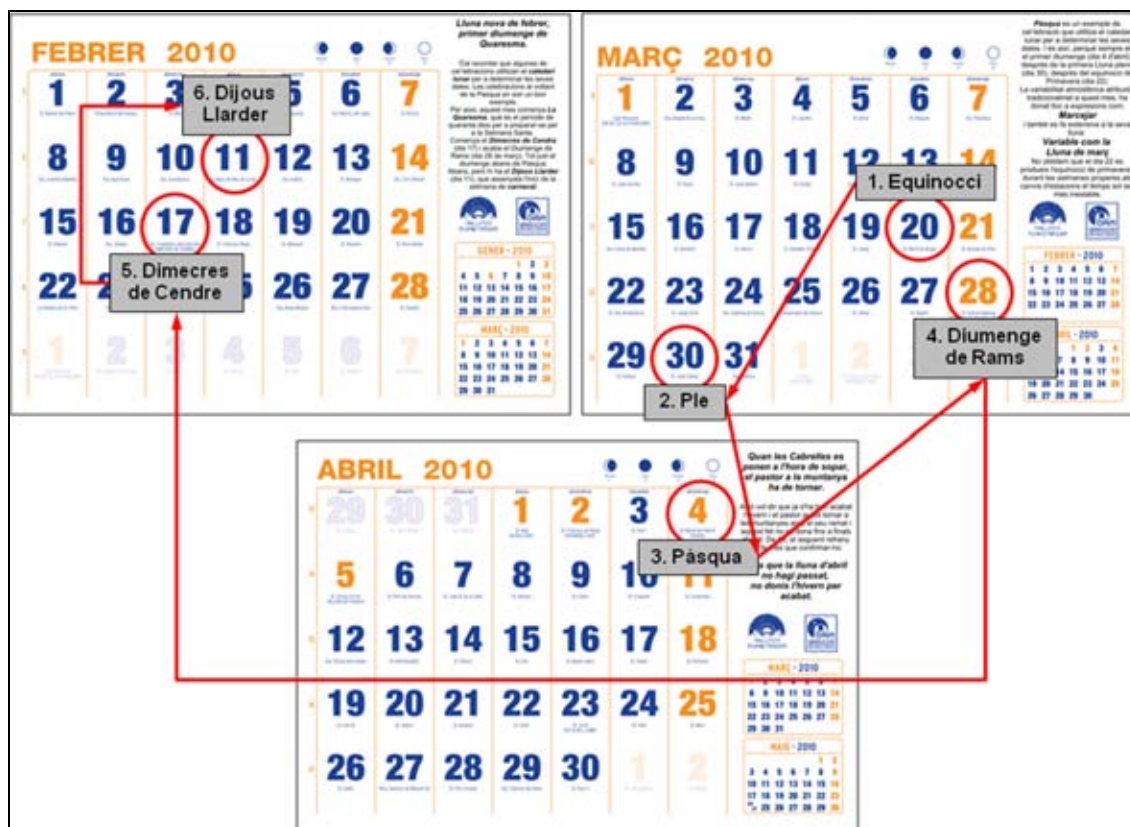


Figura 4: La Quaresma, és el període de quaranta dies per a preparar-se per a la Setmana Santa; comença el Dimecres de Cendra (dia 17) i acaba el Diumenge de Rams (dia 28 de març), tot just el diumenge abans de Pasqua.

Figure 4: Lent is the period of forty days to prepare for Easter; begins on Ash Wednesday (17th) and ends on Palm Sunday (March 28), just before Sunday Easter.

Pel que fa a les dates posteriors al Diumenge de Pasqua Florida, hi trobam que cinquanta dies després (23 de maig) se celebra la Pentecosta (Fig. 5), Pasqua Granada o Segona Pasqua i deu dies abans, en dijous, l'Ascensió, que en realitat se celebra el diumenge següent (16 de maig).

La Pentecosta s'emmarca dins el cycle de festes de commemoració del cycle vital, de la Passió, Mort i Resurrecció de Jesucrist. Si el dia de Pasqua es commemora la resurrecció de Jesús i el dia de l'Ascensió l'acomiadament físic dels seus deixebles i la seva pujada als cels, el dia de Pentecosta es commemora el descens de l'Esperit Sant sobre aquells deixebles.

La celebració de la Pasqua Granada o Pentecosta prové d'antics cultes pagans relacionats amb els cycles agraris i concretament amb la propera granació i fructificació de les plantes.

Per la seva part, el Corpus és una festa destinada a celebrar l'Eucaristia i a proclamar la fe de l'Església Catòlica en Jesucrist. La celebració es du a terme el següent dijous (3 de juny), el vuitè diumenge passat Pasqua, és a dir, 60 dies després.



Figura 5: Cinquanta dies després del Diumenge de Pasqua se celebra la Pentecosta, Pasqua Granada o Segona Pasqua i deu dies abans, en dijous, l'Ascensió, que en realitat se celebra el diumenge següent (16 de maig).

Figure 5: Fifty days after Easter Sunday is celebrated Pentecost, Passover or second day of Passover and ten days earlier, on Thursday, the Ascension, which actually held the following Sunday (May 16).

Sobre això, hi ha una dita popular, en castellà: “*Tres jueves hay en el año que relucen más que el Sol: Jueves Santo, Corpus Christi y la Ascención*”.

Cal recordar que actualment els dos darrers se celebren en diumenge.

Astronòmicament, podem concloure que, el Corpus es el dijous de la setmana següent al novè diumenge (el vuitè després de Pasqua) després de la primera lluna plena (de la nostra primavera), després de l'equinocci de la nostra primavera.

Vuelos tripulados a la Luna

Joan Rosselló

Ingeniero Aeronáutico



Rosselló, J. (2010). Vuelos tripulados a la Luna. In: Ginard, A., Pons, G.X. i Vicens, D. (eds.). Història i Ciència: commemoració dels 40 anys de l'arribada de l'home a la Lluna. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 16; 151-168. SHNB - OAM - UIB. ISBN 978-84-15081-49-4.

Resumen: Hablar de viajes tripulados a la Luna es sinónimo del Programa Apolo, la primera y única misión tripulada a otro cuerpo celeste fuera de la Tierra, cuyo objetivo era llegar a la Luna y volver, tratando de minimizar los riesgos para la tripulación y los costes. El primer alunizaje tuvo lugar con la misión Apolo XI, las demás misiones tuvieron éxito en el intento de alunizar excepto en la misión Apolo XIII. Los costes del Programa Apolo se estiman en unos 25 000 millones de dólares del año 1965; a lo largo de su desarrollo, alrededor de 400 000 personas trabajaron en él y más de 20 000 empresas y universidades colaboraron en este proyecto. El Programa Apolo estimuló grandes avances y destaca su gran contribución en el campo de la aviónica, telecomunicaciones e informática. Aplicaciones tales como los circuitos integrados, las pilas de combustible, materiales o máquinas industriales de mecanizado por control numérico son ejemplos concretos del legado del Programa Apolo.

Abstract: To speak of trips to the Moon is synonymous with the Apollo program, the first and only manned mission to another celestial body beyond Earth, which aimed to reach the moon and back, trying to minimize risk to the crew and costs. The first landing took place with the Apollo XI mission, other missions were successful in the attempt to land on the moon than the Apollo XIII mission. The Apollo program cost is estimated at around 25 000 million in the year 1965, throughout its development, about 400 000 people worked on it and over 20 000 companies and universities collaborated on this project. The Apollo program stimulated great advances and she contributed in the field of avionics, telecommunications and IT. Applications such as integrated circuits, fuel cells, materials and industrial machines CNC machining are concrete examples of the legacy of the Apollo program.

Resum: Parlar dels viatges tripulats a la Lluna és sinònim del Programa Apol·lo, la primera i única missió tripulada a un altre cos celest fora de la Terra, amb l'objectiu d'arribar a la Lluna i tornar, intentant minimitzar tant els riscos per a la tripulació com els costos. El primer allunatge fou amb la missió Apol·lo XI, les altres missions varen tenir èxit amb l'excepció de la missió Apol·lo XIII. Els costos del Programa Apol·lo s'estimen en uns 25 000 milions de dòlars de l'any 1965; durant el seu desenvolupament, al voltant de 400 000 persones hi van treballar i més de 20 000 empreses i universitats col·laboraren en aquest projecte. El Programa Apol·lo va ser l'estímul de grans avanços i destaca la gran contribució en camps com ara la aviònica, telecomunicacions i informàtica. Aplicacions com ara els circuits integrats, les piles de combustible, materials o màquines industrials de mecanitzat per control numèric formen part del llegat del Programa Apol·lo.

Introducción

El viaje a la Luna ha sido una aspiración del hombre desde tiempos inmemoriales. El primer documento escrito en el que se describe un viaje a la Luna es una novela corta, *Relatos Verídicos*, escrita por Luciano de Samósata en el siglo II en donde idea un viaje a la Luna en un barco arrastrado por una providencial tromba de agua. Esta novela está considerada como el primer relato de ciencia-ficción.

Otros muchos autores han relatado viajes fantásticos con destino la Luna, como por ejemplo Cyrano de Bergerac (*Histoire comique des États et Empires de la Lune*, 1650), Julio Verne (*De la Tierra a la Luna*) o Georges Méliès en su película *Viaje a la Luna* rodada en 1902.

Fue en el siglo XX cuando esta vieja aspiración de viajar a la Luna fue alcanzada por el hombre.

Nuestra generación ha tenido la suerte de poder ser testigo de este hito de la Humanidad, para muchos el mayor logro tecnológico conseguido por el hombre. Para muchos también es considerado como un acontecimiento histórico para la Humanidad de una magnitud comparable al descubrimiento de América.

Hablar de viajes tripulados a la Luna es prácticamente sinónimo del Programa Apolo, la primera y única misión tripulada a otro cuerpo celeste fuera de la Tierra. El origen y materialización de este proyecto fue consecuencia de una serie de circunstancias muy especiales que confluyeron en un determinado momento y que difícilmente se van a repetir.

Probablemente muchos de los factores desencadenantes de todo ello tengan su origen en la Segunda Guerra Mundial. Por un lado, el desarrollo de tecnologías orientadas a usos militares dio un gran impulso al estudio y desarrollo de los cohetes. Por otro lado la Segunda Guerra Mundial fue motivo del surgimiento de los dos grandes bloques en el orden mundial que dieron lugar a la Guerra Fría de la cual surgiría la carrera espacial.

El programa Apolo (Fig. 1) surgió a principio de la década de los 60, en la época de Eisenhower, inicialmente ideado como continuación del programa Mercury, el cual contemplaba el envío de 3 astronautas en órbita terrestre con la posibilidad de llevar a cabo aterrizajes en la Luna. El presupuesto que recibió la NASA en la época de Eisenhower no dejaba muy claro el futuro de este proyecto. Sin embargo con la llegada de Kennedy a la presidencia de los EEUU el programa Apolo recibió un gran respaldo.

Los significativos logros conseguidos por los soviéticos, especialmente el Sputnik y el vuelo de Gagarin, situaron a la URSS al frente de la carrera espacial, lo cual tuvo un fuerte impacto en la opinión pública en los EEUU. El Presidente Kennedy, consciente de ello, tomó la decisión de apoyar decididamente el programa espacial americano con la intención de volver a liderar la carrera espacial.

El 25 de mayo de 1961 el Presidente Kennedy pronunció un histórico discurso (Fig. 2) en el Congreso de los EEUU en el cual anunció el compromiso de enviar el hombre a la Luna:

“First, I believe that this nation should commit itself to achieving the goal, before this decade is out, of landing a man on the Moon and returning him safely to the Earth. No single space project in this period will be more impressive to mankind, or more important in the long-range exploration of space; and none will be so difficult or expensive to accomplish”.



Figura 1: Logotipo del programa Apolo. (NASA/Cortesía de nasaimages.org).

Figure 1: Apollo program insignia. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

Por aquel entonces apenas un mes antes había tenido lugar el primer vuelo al espacio de un astronauta americano, y ni siquiera se habían realizado vuelos tripulados en órbita terrestre. Incluso dentro de la propia NASA había dudas sobre la posibilidad de poder cumplir con el ambicioso objetivo fijado por Kennedy.



Figura 2: El Presidente Kennedy en el Congreso de los EEUU, el 25 de mayo de 1961, día en el que anunció el compromiso de enviar el hombre a la Luna. (NASA/Cortesía de nasaimages.org).

Figure 2: President Kennedy in the U.S. Congress, on May 25, 1961, the day he announced the commitment to send man to the moon. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

El Programa Apolo pasó a convertirse en un gran desafío tecnológico, con el mayor presupuesto económico (24 000 millones de dólares) jamás asignado por un país en tiempos de paz.

Al hablar del Programa Apolo, es obligado hacer referencia a una figura fundamental y decisiva para el éxito del proyecto como fue el Dr. Von Braun (Fig. 3).

Wernher von Braun (1912-1977) era un ingeniero aeroespacial de origen alemán, nacido en el seno de una familia noble en Wirsitz (entonces Alemania, hoy Polonia).

En la Segunda Guerra Mundial, Von Braun y su equipo de colaboradores trabajaban en un laboratorio secreto en Peenemünde, en donde desarrollaron los cohetes V2.

Von Braun pudo contactar con los aliados y preparó la rendición ante las fuerzas estadounidenses, quienes desarrollaban la operación Paperclip para capturar a científicos alemanes y ponerlos al servicio del bando aliado. Von Braun se entregó junto a otros 500 científicos de su equipo, sus diseños y varios vehículos de prueba.

Una vez en EEUU, von Braun y sus colaboradores fueron instados a cooperar con la fuerza aérea estadounidense, a cambio, se les eximiría de culpa por su pasado nazi.

En la década de 1950, von Braun ya era conocido en los Estados Unidos y actuaba como el portavoz de la exploración espacial de ese país.

En 1960, su centro para el desarrollo de cohetes fue transferido del ejército a la NASA y allí se les encomendó la construcción de los gigantescos cohetes Saturno, siendo el más grande de ellos el que puso al hombre en la Luna.

Von Braun se convirtió en el director del Marshall Space Flight Center de la NASA y el principal diseñador del Saturno V, que llevarían a los estadounidenses a la Luna.



Figura 3: Wernher von Braun, figura decisiva del Programa Apolo. (NASA/Cortesía de nasaimages.org).

Figure 3: Wernher von Braun, decisive figure of the Apollo program. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

Elección del tipo de misión

Una vez definido el objetivo por parte del presidente Kennedy, los responsables del Programa Apolo tenían el reto de diseñar una serie de vuelos que pudieran cumplir con el objetivo establecido tratando de minimizar los riesgos para la tripulación y los costes. Una tarea extremadamente difícil que conllevaba un gran esfuerzo tecnológico.

Al principio se consideraron 4 tipos de misión:

- Ascenso Directo (Direct Ascent): en esta misión la nave espacial viajaría directo a la Luna, aterrizaría y volvería como una unidad. Para esta misión se requería un cohete lanzador muy potente, como era el previsto cohete Nova.
- Encuentro en Órbita Terrestre (Earth Orbit Rendezvous, EOR): para esta misión se preveía el lanzamiento múltiple de cohetes (hasta 15), transportando cada uno de ellos diferentes partes de una nave espacial de Ascenso Directo y unidades de propulsión. Todas estas partes se ensamblarían en órbita terrestre y la nave aterrizaría en la Luna como una unidad.
- Encuentro en la Superficie Lunar (Lunar Surface Rendezvous): se lanzarían de forma sucesiva dos naves espaciales. La primera nave no tripulada transportaría combustible y aterrizaría en la Luna de forma automática. La segunda nave llegaría posteriormente con la tripulación a bordo. El combustible sería transferido de la primera nave a la segunda para que la tripulación pudiese volver a la Tierra.
- Encuentro en Órbita Lunar (Lunar Orbit Rendezvous, LOR): se lanzaría una nave compuesta por varios módulos. Un módulo de comando permanecería en órbita alrededor de la Luna, mientras que un módulo lunar descendería a la Luna y volvería para acoplarse al módulo de comando en órbita lunar. Esta opción requería una pequeña nave para aterrizar en la Luna, lo cual ofrecía la ventaja frente a las otras opciones de minimizar la masa total a ser lanzada desde la superficie lunar para el viaje de regreso.



Figura 4: El Dr. John Houbolt encabezaba el sector que defendía una misión a la Luna del tipo Encuentro en Órbita Lunar, LOR. (NASA/Cortesía de nasaimages.org).

Figure 4: The Dr. John Houbolt led the sector defended by a mission to the Moon of the Lunar Orbit Rendezvous kind, LOR. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

A principios del año 1961 el Ascenso Directo era la opción asumida por la NASA de forma indiscutible. Muchos ingenieros eran muy reticentes a los encuentros y atraques de naves dado que no se había intentado nunca ni siquiera en órbita terrestre, y hacerlo en órbita lunar sería extremadamente complicado.

Sin embargo había un sector crítico con esta opción, encabezados por el Dr. John Houbolt (Fig. 4), quienes remarcaban la importancia de la reducción de peso que ofrecía la opción LOR.

Tras un largo e intenso debate, en julio de 1962 la NASA anunció formalmente su decisión favorable a la opción LOR para la misión a la Luna.

Con posterioridad varios analistas han reconocido que la NASA, de no haber elegido esta opción, muy posiblemente hubiese alcanzado la Luna, pero con toda seguridad no lo hubiese logrado para el final de la década de los 60, fuera del plazo establecido por el Presidente Kennedy.

Además, la selección de la opción LOR sería reafirmada tras lo ocurrido en la misión Apolo XIII, en la cual el módulo de servicio quedó dañado. Sin el segundo e independiente sistema de soporte vital que representaba el módulo lunar, los astronautas habrían perecido.

Vehículo espacial Apolo

La selección de la opción LOR marcó el diseño básico de la nave Apolo, que consistiría en dos partes principales: el Módulo de Mando/Servicio (CSM), en el cual la tripulación permanecería la mayor parte de la misión, y el Módulo Lunar (LM) también conocido como LEM (*Lunar Excursion Module*), con el cual se descendería y se retornaría de la superficie lunar. Asimismo el tipo de misión también definió el tipo de cohete lanzador requerido.

Lanzador

Cuando el equipo de ingenieros dirigido por Wernher von Braun empezó con el proyecto Apolo, aún no estaba claro para qué tipo de misión tenían que diseñar el cohete lanzador.

La opción de ascenso directo requería un lanzador, el proyectado cohete Nova, capaz de subir una carga de pago muy pesada. La decisión de la NASA a favor de la opción LOR reorientó el trabajo de los ingenieros del Marshall Space Flight Center hacia el desarrollo de los cohetes Saturno 1B y Saturno V (Fig. 5). Aún siendo menos potentes que lo que hubiese sido el

Nova, el Saturno V era aún mucho más potente que cualquier lanzador desarrollado hasta la fecha. Este récord lo sigue ostentando.

El Saturno V medía 111 metros y tenía una capacidad para transportar 118 000 kg a una órbita LEO y 47 000 kg a la Luna. Consistía en 3 fases y de una Unidad de Instrumentos con el sistema de guiado del lanzador.



Figura 5: El cohete lanzador Saturno V. (NASA/Cortesía de nasaimages.org).

Figure 5: The Saturn V rocket launcher. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

Estas fases eran:

- Fase 1, también conocida como S-IC, estaba provista de 5 motores cohete del tipo F-I alimentados con queroseno y oxígeno líquido (LOX). Esta fase era fabricada por Boeing, medía 42 metros de alto y tenía un diámetro de 10,1 metros. El empuje al despegue era superior a las 7,5 millones de libras (equivalente a 30 aviones del tipo A380). El tiempo de funcionamiento era de 2,5 minutos, acelerando la nave hasta una velocidad de 6000 millas por hora aprox. (2,68 km/s).
- Fase 2, también conocida como S-II, estaba provista de 5 motores cohete del tipo J-2 alimentados con hidrógeno líquido (LH2) y LOX. Esta fase era fabricada por North American Aviation y medía 24,8 metros de altura y se encendía una vez desprendida la primera fase. El empuje proporcionado era de 1 millón de libras. Su tiempo de funcionamiento era de 6 minutos aproximadamente, situando la nave a 115 millas de altitud (185 km) con una velocidad de 15 300 millas por hora (6,84 km/s).
- Fase 3, también conocida como S-IVB, estaba provista de 1 motor cohete del tipo J-2 alimentado con LH2 y LOX. La empresa fabricante era Douglas Aircraft y tenía una altura de 17,8 metros. Esta fase se encendía una vez desprendida la segunda fase y su tiempo de funcionamiento era de 2,75 minutos situando la nave en órbita terrestre a una velocidad de 17 500 millas por hora (7,82 km/s). Posteriormente se apagaba y se volvía a encender para inyectar la nave espacial en una trayectoria hacia la Luna a una velocidad de 24 500 millas por hora (11 km/s), velocidad de escape del campo gravitatorio terrestre.

La misión no tripulada Apolo IV (nov'67) fue el primer ensayo de lanzamiento del Saturno V, que también fue utilizado para el lanzamiento de la estación espacial Skylab. Desgraciadamente el Saturno V fue abandonado al finalizar el Programa Apolo. Se construyeron otros 2 cohetes Saturno V que inicialmente iban a ser utilizados en las misiones Apolo canceladas. Estos cohetes se exhiben actualmente como piezas de museo en el JFK Space Center, Cabo Cañaveral-Florida, en el Marshall Space Centre, Huntsville-Alabama y en el Johnson Space Center, Houston-Texas.

Módulo de Mando / Servicio – *Command / Service Module (CSM)*

El Módulo de Mando (*Command Module, CM*) estaba diseñado para albergar a 3 astronautas. Tenía forma cónica, con una altura de 3,18 metros y un diámetro en la base de 3,9 m y su peso, incluyendo a los tres astronautas, era de 5534 kilogramos. Su volumen interior era de 5,9 m³.

El Módulo de Servicio (*Service Module, SM*) estaba acoplado al CM y albergaba los sistemas de propulsión, pilas de combustible, antenas de comunicaciones, así como tanques de oxígeno y agua principalmente. Era una estructura cilíndrica de 7,5 m de largo y 3,9 m de diámetro. En las misiones Apolo XV, XVI y XVII el CM también albergaba algunos equipos con instrumentos científicos.

Los dos módulos (Fig. 6) permanecerían unidos hasta justo antes de la reentrada, momento en el cual el SM era desprendido. Solamente el CM estaba provisto de un escudo térmico para proteger a la nave y sus ocupantes del intenso calor producido durante la reentrada. Seguidamente se desplegarían los paracaídas para un descenso apropiado a través de la atmósfera y posterior amerizaje en el océano.

La empresa North American Aviation fue la que ganó el contrato para diseñar y construir el CSM para la NASA. Esta misma empresa era la que había diseñado con éxito el famoso avión cohete X-15 con el cual se realizaron varios vuelos al borde del espacio con anterioridad a los vuelos tripulados en cohetes.



Figura 6: El Módulo de Mando, CM, y el Módulo de Servicio, SM, permanecían acoplados hasta el momento de la reentrada. (NASA/Cortesía de nasaimages.org)

Figure 6: Command Module, CM, and the Service Module, SM, remained coupled to the time of reentry. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

El diseño del CM tuvo que ser revisado tras el accidente del Apolo I en el que murieron los 3 astronautas al quedar atrapados dentro de la cápsula en un incendio originado por un cortocircuito.

Módulo Lunar – *Lunar Module (LM)*

El Módulo Lunar (*Lunar Module, LM*), también inicialmente denominado como *Lunar Excursion Module* o LEM (Fig. 7), fue diseñado únicamente para aterrizar en la Luna y ascender desde la superficie lunar hasta el CM. Tenía una protección térmica muy limitada y su estructura tan ligera que no hubiese sido capaz de volar en condiciones de gravedad terrestre. Sin embargo demostró ser un vehículo extraordinariamente manejable y muy bien adaptado a las condiciones de gravedad lunar.

La estructura del LEM era de aluminio, siendo sus dimensiones totales de 6,98 m de altura y 9,45 de anchura con un peso total en vacío de 15 061 kg.

Constaba de dos fases: una de descenso y otra de ascenso que iban unidos mediante 4 pernos explosivos. La fase de descenso incorporaba compartimentos para albergar el equipamiento instrumental científico (*Apollo Lunar Surface Experiment Package-ALSEP*) así como el *Lunar Rover Vehicle LRV*.

Tres de las cuatro patas del módulo de descenso iban equipadas con un sensor de 173 cm de largo, que tenía como misión indicar a los pilotos el momento del contacto con la superficie lunar para así detener el motor de frenado, la última pata portaba la escalerilla de descenso.



Figura 7: El Módulo Lunar, LM, fue diseñado únicamente para aterrizar en la Luna y ascender desde la superficie lunar hasta el Módulo de Mando, CM. (NASA/Cortesía de nasaimages.org).

Figure 7: The Lunar Module, LM, was designed only to land on the Moon and ascend from the lunar surface to the Command Module, CM. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

Poseía asimismo la capacidad de inclinarse hasta 6° en cualquier dirección, si bien los desplazamientos laterales de la nave se efectuaban con ayuda de pequeños cohetes situados en el módulo de ascenso.

El puesto de pilotaje era de forma cilíndrica, con capacidad para dos astronautas en un volumen habitable de $4,53 \text{ m}^3$ y con una atmósfera interior de oxígeno al 100 % y $23,8^\circ\text{C}$ de temperatura.

Los astronautas no disponían de asientos, manteniéndose erguidos mediante un sistema de tirantes y abrazaderas que evitaban las sacudidas, pues según los técnicos, era la mejor posición para que los tripulantes soportaran bien el choque con la superficie lunar.

Para la observación directa existían dos ventanillas poligonales a la altura de la vista, así como otra situada en el techo y utilizada para la maniobra de atraque.

Tras finalizar la misión en la superficie lunar, el módulo de ascenso se separaba utilizando el módulo de descenso como plataforma de despegue.

El módulo de ascenso realizaba un vuelo vertical, pasando a ser oblicuo y posteriormente paralelo a la superficie lunar hasta la órbita de aparcamiento en donde se acoplaría al CSM. Finalmente la fase de ascenso del LEM era dejado en órbita lunar o estrellado violentamente contra la superficie con la intención de provocar “lunamotos”.

El contrato para el diseño y construcción del LEM fue ganado por la empresa Grumman.

También hubo problemas con el LEM debido a los retrasos en el programa de ensayos, llegando a poner en riesgo de retrasar todo el programa Apolo. Debido a estos problemas, la planificación del programa Apolo fue modificada de forma que la primera misión con el LEM sería con el Apolo IX en lugar del Apolo VIII tal como estaba inicialmente previsto. Este cambio de planes fue audaz porque en lugar de realizar una misión de órbita terrestre, decidieron mandar el Apolo VIII a una misión alrededor de la Luna en las Navidades de 1968.

Kennedy Space Center

Como decía Mr. James Webb, administrador de la NASA desde 1961 hasta 1968, “el camino hacia la Luna empieza entre la piedra, el acero y el cemento de la Tierra”.



Figura 8: Kennedy Space Center con el gigantesco edificio Vehicle Assembly Building, en el que se ensamblaban los componentes del Saturno V. (NASA/Cortesía de nasaimages.org)

Figure 8: Kennedy Space Center to the Vehicle Assembly Building gigantic building, which is assembling the components of the Saturn V. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

Para el Programa Apolo se construyó el gigantesco edificio (Fig. 8) denominado como *Vehicle Assembly Building* (VAB) para poder ensamblar los componentes del Saturno V. Este edificio tiene una altura de 160 m, con una base de 158 x 218 metros. Su volumen es de 3,7

millones de m³ ostentando el récord hasta que Boeing construyó su planta de ensamblaje en Everett (Seattle). Como dato curioso y que refleja la magnitud de esta construcción, su sistema de aire acondicionado impide que puedan tener lugar fenómenos atmosféricos en su interior como nubes y lluvia.

Asimismo se construyeron las plataformas de lanzamiento 39A y 39B situadas a 5 km del VAB. El Apolo era montado encima de un enorme vehículo oruga que lo transportaba desde el VAB hasta la plataforma de lanzamiento, con una superficie de 49 x 40 m (equivalente a medio campo de fútbol) y una velocidad máxima de 1,5 km/h sobre una pista de 40 metros de anchura.

Comunicaciones

Una extensa red de comunicaciones fue utilizada para dar cobertura a las misiones Apolo. Esta red ya fue puesta a punto para el programa Mercury.

Un total de 11 estaciones terrestres con antenas de 9 metros de diámetro fueron utilizadas para las comunicaciones mientras la nave permanecía en órbita terrestre, utilizando frecuencias en banda S. Complementaban estas 11 estaciones 4 barcos de la USNS y varios aviones especiales de la NASA.

Cuando la nave abandonaba la órbita terrestre, pasaban a utilizarse las 3 estaciones de la NASA para sondas espaciales (Deep Space Network) situadas en Goldstone (California), Canberra (Australia) y Robledo de Chavela (Madrid) y provistas de antenas de 25,5 metros.

Misiones tripuladas

Tras 3 vuelos no tripulados, del Apolo IV hasta el Apolo VI, efectuados con cohetes Saturno 1B y Saturno V, empezaron las misiones tripuladas.

APOLO VII

Lanzamiento: 11 de octubre de 1968.

Cohete lanzador: Saturno 1B

1ª Misión Tripulada CSM

1ª Tripulación de tres hombres

1ª Transmisión de TV en vivo desde la Cápsula

Tripulación: Walter M. Schirra (Comandante), Donn F. Eisele y R. Walter Cunningham.

El Apolo VII fue lanzado impulsado por el Saturno 1B, en su primera prueba con tripulación de tres hombres a bordo. El Módulo de Mando había sido rediseñado después del incendio del Apolo I.

La misión se desarrolló en una órbita terrestre con la finalidad de probar el funcionamiento del CM. No llevaba el LEM.

Se efectuaron un total de 163 órbitas alrededor de la Tierra.

Duración: 11 días

Insignia de la misión: Fig. 9.



Figura 9: Insignia de la misión Apolo VII. (NASA/Cortesía de nasaimages.org).

Figure 9: Apollo VII mission insignia. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

APOLO VIII

Lanzamiento: 21 diciembre de 1968.

Cohete lanzador: Saturno V (primera vez).

Tripulación: Frank Borman (Comandante), James A. Lovell y William A. Anders.

Misión en órbita lunar.

Primera misión lunar tripulada, el objetivo de la cual fue cambiado poco antes del lanzamiento: en lugar de otro vuelo en órbita terrestre, sería el primer viaje tripulado en órbita lunar. Estuvieron en órbita lunar durante 20 horas con 10 órbitas. No llevaba el LEM.

Por primera vez el hombre pudo contemplar la cara oculta de la Luna, así como observar una salida de Tierra. Se obtuvieron multitud de fotos de la superficie lunar que luego fueron analizadas para determinar posibles lugares para el aterrizaje.

Los astronautas sufrieron leves problemas de sueño y de salud.

Insignia de la misión: Fig. 10.



Figura 10: Insignia de la misión Apolo VIII. (NASA/Cortesía de nasaimages.org).

Figure 10: Apollo VIII mission insignia. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

APOLO IX

Lanzamiento: 3 de marzo de 1969.

Nombres del CM y LEM respectivamente: Grumdop / Spider.

Cohete lanzador: Saturno V

Tripulación: James A. McDivitt (Comandante), David R. Scott y Russell L. Schweickart.

Misión en órbita terrestre. Primera prueba en órbita terrestre del LEM. La nave Apolo IX se acopló al Módulo Lunar llamado Spider que estaba alojado en la segunda etapa del cohete Saturno. Después del acoplamiento las dos naves se separaron hasta una distancia máxima de 160 kilómetros.

El LEM fue probado, sus motores fueron encendidos para alcanzar una nueva órbita, se separó de su fase inferior de descenso y se acopló de nuevo con el CM Grumdop.

Se realizaron “paseos espaciales” EVA.

Causó preocupación el hecho de que el piloto del LEM, Russell L. Schweickart, vomitara en dos ocasiones.

Duración: 10 días

Insignia de la misión: Fig. 11.



Figura 11: Insignia de la misión Apolo IX. (NASA/Cortesía de nasaimages.org).

Figure 11: Apollo IX mission insignia. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

APOLO X

Lanzamiento: 18 de mayo de 1969.

Nombres del CM y LEM respectivamente: Charlie Brown / Snoopy.

Cohete lanzador: Saturno V.

Tripulación: Eugene A. Cernan (Comandante), John W. Young y Thomas P. Stafford.



Figura 12: Insignia de la misión Apolo X. (NASA/Cortesía de nasaimages.org).

Figure 12: Apollo X mission insignia. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

Misión en órbita lunar.

Segundo vuelo tripulado a la Luna.

El vuelo del Apolo X fue un ensayo general en el cual se realizaron todas las maniobras que dos meses después efectuaría el Apolo XI. El Módulo Lunar Snoopy se acercó a menos de 10 millas de la superficie lunar, antes de separarse de la fase inferior de descenso y regresar a acoplarse con el Módulo de Mando Charlie Brown.

Duración: 8 días.

Insignia de la misión: Fig. 12.

APOLO XI

Lanzamiento: 16 de julio de 1969.

Nombres del CM y LEM respectivamente: Columbia / Eagle.

Cohete lanzador: Saturno V.

Tripulación: Neil A. Armstrong (Comandante), Edwin E. Aldrin y Michael Collins.

Alunizaje con éxito (20 de julio).

Localización Lunar: Mar de la Tranquilidad.

Histórico primer aterrizaje tripulado en la Luna y actividades extravehiculares en la superficie de la Luna.

Durante el descenso, a 12 km de altura sobre la superficie lunar, surgieron problemas con el ordenador de a bordo debido a una saturación de datos, lo cual estaba dando lugar a que saltaran diferentes señales de alarma. Tras una rápida y eficaz evaluación de la situación por parte de los ingenieros de la NASA, el Eagle recibe autorización desde Houston para continuar con el descenso (“Go Eagle, go!”). A pocos metros de la superficie lunar, la tripulación observa que el punto de aterrizaje establecido por el ordenador de a bordo en realidad está en el interior de un cráter lleno de rocas, por lo que pasaron a modo manual. El Eagle se elevó a 150 metros para desplazarse lateralmente y buscar otro lugar para aterrizar. El Eagle finalmente se posó sobre la superficie lunar con un combustible remanente para tan solo 25 segundos de vuelo.

Muestras recogidas: 22 kg de rocas lunares.

Duración: 8 días.

Insignia de la misión: Fig. 13.



Figura 13: Insignia de la misión Apolo XI. (NASA/Cortesía de nasaimages.org).

Figure 13: Apollo XI mission insignia. (NASA/Courtesy of nasaimages.org)

APOLO XII

Lanzamiento: 14 noviembre de 1969.

Nombres del CM y LEM respectivamente: Yankee Clipper / Intrepid.

Cohete lanzador: Saturno V.

Tripulación: Charles Conrad, (Comandante), Richard F. Gordon y Alan L. Bean.

Alunizaje con éxito.

Localización Lunar: Océano de las Tormentas.

Segunda misión de alunizaje.

La misión estuvo a punto de ser abortada debido al impacto de un rayo en el despegue que causó la pérdida de telemetría, afortunadamente solventado durante el vuelo.



Figura 14: Insignia de la misión Apolo XII. (NASA/Cortesía de nasaimages.org).

Figure 14: Apollo XII mission insignia. (NASA/Courtesy of nasaimages.org)

El LEM alunizó a menos de 200 metros de la sonda espacial Surveyor 3. Los astronautas realizaron una caminata hasta la sonda que estaba en la Luna desde hacía ya varios años.

Las transmisiones de TV fueron interrumpidas por un problema con la cámara a los pocos minutos de haberse iniciado.

Muestras recogidas: 34 kg de rocas lunares.

Se realizaron 2 EVA's.

Duración: 10 días.

Insignia de la misión: Fig. 14.

APOLO XIII

Lanzamiento: 11 abril de 1970.

Nombres del CM y LEM respectivamente: Odyssey / Aquarius

Cohete lanzador: Saturno V.

Tripulación: James A. Lovell (Comandante), John L. Swigert y Fred W. Haise.

Tercer intento de alunizaje, esta vez no conseguido.

La misión abortó cuando un tanque de oxígeno del Módulo de Servicio explotó durante su travesía hacia la Luna, haciendo del vuelo del Apolo XIII, la misión tripulada más peligrosa hasta la fecha.

Los tres astronautas tuvieron que utilizar los sistemas del LEM para navegación, corrección de rumbo y regreso a la Tierra, después de haberle dado la vuelta a la Luna sin poder aterrizar en ella.

La NASA clasificó el vuelo como un "successful failure" debido a las experiencias obtenidas en el rescate de la tripulación.

Duración: 5 días.

Insignia de la misión: Fig. 15.



Figura 15: Insignia de la misión Apolo XIII. (NASA/Cortesía de nasaimages.org).

Figure 15: Apollo XIII mission insignia. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

APOLO XIV

Lanzamiento: 31 de enero de 1971.

Nombres del CM y LEM respectivamente: Kitty Hawk / Antares.

Cohete lanzador: Saturno V.

Tripulación: Alan B. Shepard (Comandante), Stuart A. Roosa y Edgar D. Mitchell.

Alunizaje con éxito.

Localización: Cráter Fra Mauro.

Exploración en la región montañosa de Fra Mauro. La tripulación recogió numerosas muestras de una región diferente a las que se habían explorado anteriormente.

Primeras transmisiones de TV en color.

Hubo problemas de software y hardware en el LM durante la órbita lunar que estuvieron a punto de abortar el aterrizaje.

El vuelo se hizo famoso porque poco antes de salir de la Luna, Alan Shepard sacó de uno de sus bolsillos del traje espacial una pelota de golf, y usando una de las extensiones que



Figura 16: Insignia de la misión Apolo XIV. (NASA/Cortesía de nasaimages.org).

Figure 16: Apollo XIV mission insignia. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

utilizó para recoger muestras lunares realizó un golpe que lanzó la pelota de golf la cual voló “millas y millas”.

Muestras recogidas: 43 kg de rocas lunares.

Se realizaron 2 EVA's.

Duración: 9 días.

Insignia de la misión: Fig. 16.

APOLO XV

Lanzamiento: 26 de julio de 1971.

Nombres del CM y LEM respectivamente: Endeavour / Falcon.

Cohete lanzador: Saturno V.

Tripulación: David R. Scott (Comandante), James B. Irwin y Alfred M. Worden.

Alunizaje con éxito.

Localización Lunar: Hadley-Apennine.

Fue la primera misión con permanencia más prolongada en la Luna (3 días).

Los astronautas utilizaron un vehículo lunar, el Lunar Rover Vehicle LRV para trasladarse a diferentes puntos en donde recogieron numerosas muestras de material lunar.

Muestras recogidas: 75 kg de rocas lunares.

Se realizaron 4 EVA's.

Duración: 12 días.

Insignia de la misión: Fig. 17.



Figura 17: Insignia de la misión Apolo XV. (NASA/Cortesía de nasaimages.org).

Figure 17: Insignia Apollo XV mission. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

APOLO XVI

Lanzamiento: 16 de abril de 1972.

Nombres del CM y LEM respectivamente: Casper / Orion.

Cohete lanzador: Saturno V.

Tripulación: John W. Young (Comandante), Thomas K. Mattingly y Charles M. Duke.

Alunizaje con éxito.

Localización Lunar: Descartes Highlands.

Nuevamente se utilizó otro Moon Rover para realizar las travesías en la Luna. Se hizo un intenso estudio geológico que incluyó el disparo de un mortero hasta 19 veces para hacer estudios de sismología.

Muestras recogidas: 95 kg de rocas lunares.

Se realizaron 4 EVA's.

Duración: 11 días.

Insignia de la misión: Fig. 18.



Figura 18: Insignia de la misión Apolo XVI. (NASA/Cortesía de nasaimages.org).

Figure 18: Apollo XVI mission insignia. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

APOLO XVII

Lanzamiento: 7 de diciembre de 1972.

Nombres del CM y LEM respectivamente: America / Challenger.

Cohete lanzador: Saturno V.

Tripulación: Eugene A. Cernan (Comandante), Ronald B. Evans y Harrison H. Schmitt.

Alunizaje con éxito.

Tiempo en Superficie Lunar: 75 h.

Localización Lunar: Taurus-Littrow.

Ultima misión tripulada a la Luna del Programa Apolo, con primera participación de un científico (geólogo) en una misión espacial.

Los astronautas estuvieron en la superficie lunar un tiempo récord de 75 horas y realizaron varias travesías en el Rover.

Antes de salir de la Luna, Cernan desveló una placa en donde se conmemoraba el final del programa Apolo de exploración a la Luna.

Eugene Cernan fue el último astronauta en dejar la Luna.

Hasta la fecha, ningún ser humano ha regresado.

Muestras recogidas: 111 kg de rocas lunares.

Se realizaron 4 EVA's.

Duración: 12 días.

Insignia de la misión: Fig. 19.



Figura 19: Insignia de la misión Apolo XVII. (NASA/Cortesía de nasaimages.org).

Figure 19: Apollo XVII mission insignia. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

APOLO XVIII-XX

Desgraciadamente las 3 siguientes misiones previstas a la Luna, Apolo XVIII, Apolo XIX y Apolo XX, fueron canceladas por motivos económicos.

Los costes del Programa Apolo se estiman en alrededor de 25 000 millones de dólares del año 1965, equivalentes a 135 000 millones de dólares del año 2005.

A lo largo de su desarrollo, alrededor de 400 000 personas trabajaron en él. Más de 20 000 empresas y universidades colaboraron en este proyecto.

El Programa Apolo estimuló avances en diversas tecnologías adyacentes a la astronáutica y vuelos espaciales tripulados. Es muy destacable su gran contribución en el campo de la aviónica, telecomunicaciones e informática. Aplicaciones tales como los circuitos integrados, las pilas de combustible, materiales o máquinas industriales de mecanizado por control numérico son ejemplos concretos del legado del Programa Apolo.

PROGRAMA CONSTELLATION

Constellation (Fig. 20) es el futuro programa de vuelos tripulados de la NASA, el cual prevé el desarrollo de una nueva generación de lanzadores y vehículos espaciales destinados a reemplazar el Space Shuttle así como mandar astronautas a la Luna e incluso a Marte.

Actualmente la NASA está desarrollando dos cohetes lanzadores: el ARES I y el ARES V.

El ARES I tendrá como función el de lanzar y poner en órbita terrestre a una misión tripulada.

El ARES V tendrá capacidad para lanzar una elevada carga, muy superior a la del ARES I, especialmente otros componentes a ser utilizados en las misiones.

Junto con estos lanzadores, la NASA está diseñando un conjunto de naves espaciales para ser utilizadas en el Programa Constellation: la cápsula tripulada ORION, el módulo lunar ALTAIR y la fase de salida terrestre Earth Departure Stage.

En la actualidad está teniendo lugar un intenso debate sobre la continuidad del presente programa. De no ser incrementado el presupuesto de la NASA, parece claro que el programa de vuelos tripulados va a ser inviable.

Módulo ORION

Va a ser el compartimento destinado a la tripulación. Constará de dos partes, el *Crew Module* CM, similar al *Command Module* (CM) del Apolo, pero con capacidad para transportar 6 tripulantes, y el *Service Module* (SM) que albergará los sistemas primarios de propulsión y los suministros consumibles. El CM será reutilizable para hasta 10 vuelos. La empresa seleccionada para la construcción del ORION (Fig. 21) es Lockheed Martin. Boeing construirá el escudo térmico.

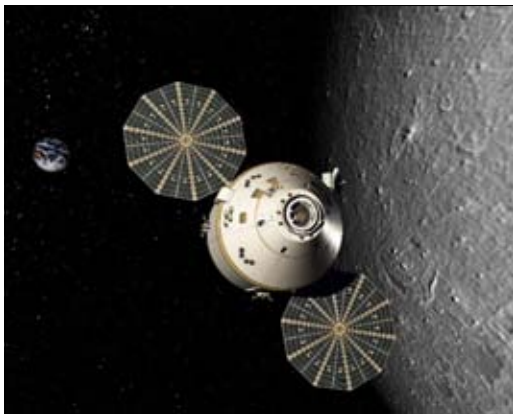


Figura 21: El Módulo ORION, será utilizado en el Programa Constellation, futuro programa de vuelos tripulados de la NASA. (NASA/Cortesía de nasaimages.org).

Figure 21: The ORION module will be used in the Constellation program, future spaceflight program of NASA. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

Módulo Lunar ALTAIR

ALTAIR (Fig. 22) será el vehículo para el transporte de los astronautas a la superficie lunar. Será más grande que el LEM del Apolo, casi 5 veces más. Tendrá una altura de 9,7 metros y 14,8 metros de ancho (punta a punta).

Al igual que su predecesor el LEM del Apolo, ALTAIR constará de dos fases: una de ascenso que albergará a los 4 tripulantes, y una fase de descenso que tendrá las patas de aterrizaje, la mayor parte de los consumibles de la tripulación (oxígeno y agua), e instrumental científico. A diferencia del LEM del Apolo, el ALTAIR se dirigirá a las regiones polares de la Luna, que son las zonas preferidas por la NASA para la construcción de futuras bases lunares.



Figura 20: Logotipo de Constellation, futuro programa de vuelos tripulados de la NASA. (NASA/ Cortesía de nasaimages.org).

Figure 20: Constellation logo, future spaceflight program of NASA. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

El ALTAIR, al igual que el LEM del Apolo, no es reutilizable y es desprendido después de haber sido utilizado.



Figura 22: El Módulo Lunar ALTAIR, vehículo para el transporte de los astronautas a la superficie lunar, formará parte del Programa Constellation. (NASA/Cortesía de nasaimages.org).

Figure 22: The ALTAIR Lunar Module, a vehicle for transporting astronauts to the lunar surface, will form part of the Constellation program. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

Earth Departure Stage (EDS)

El EDS es un módulo de propulsión que impulsará la nave espacial hacia la Luna desde la órbita terrestre. Es la segunda fase del ARES V.

Cohetes Lanzadores ARES

A diferencia del Saturno V y del Space Shuttle, en los que la tripulación y carga eran lanzados juntos en el mismo cohete lanzador, el Programa Constellation se prevé el uso combinado de dos lanzadores distintos: el ARES I (Fig. 23) para la tripulación y el ARES V (Fig. 24) para la carga. De esta forma se puede optimizar el vehículo lanzador para sus respectivas misiones, especialmente para subir grandes cargas en cada misión.

ARES I

Será el cohete lanzador diseñado para transportar el módulo ORION hasta una órbita baja terrestre, LEO (Low Earth Orbit). Su primera fase consiste en un booster de combustible sólido SRB (Solid Rocket Booster), derivado de los boosters utilizados en el Shuttle. La segunda fase utiliza un motor cohete del tipo J-2X de combustible líquido, ya utilizado en el Apolo, siendo una versión actualizada y mejorada.

ARES V

Será un cohete lanzador con una capacidad máxima de carga de pago de alrededor de 188 toneladas a una órbita LEO, muy superior a la capacidad del Shuttle (24,4 toneladas) y a la del Saturno V (118 toneladas). El ARES V tendrá capacidad para transportar alrededor de 71 toneladas a la Luna.

El ARES V dispondrá de 5 motores cohete RS-68 de combustible líquido, además de 2 SRB. El ARES V funcionará durante los 8 primeros minutos, a continuación el EDS situará el ALTAIR en una órbita LEO a la espera de la llegada del módulo ORION.

El EDS es un diseño evolucionado de la 3ª fase, S-IVB, del Apolo, con mayor capacidad de tanques de combustible (LOX y LH2) y utilizando un motor J-2X del mismo tipo que el utilizado en el ARES I.



Figura 23: Cohete lanzador ARES I, diseñado para transportar el módulo ORION hasta una órbita baja terrestre. (NASA/ Cortesía de nasaimages.org).

Figure 23: Rocket launcher ARES I, designed to carry the ORION module into a low Earth orbit. (NASA/ Courtesy of nasaimages.org).

El EDS ofrecerá diferentes versiones según el tipo de misión, bien para viajar a la Luna (incluso a Marte) o a la Estación Espacial Internacional ISS. También podrá utilizarse para enviar sondas al espacio exterior del tipo Galileo o Cassini-Huygens.

Misiones a la Luna

A diferencia de los vuelos Apolo, en los cuales se lanzaban conjuntamente el CSM y el LEM en un mismo cohete Saturno V, esta misión lunar constaría de dos lanzamientos separados.

Por un lado se lanzaría el ARES V desde la plataforma 39A, transportando el EDS y el ALTAIR, y aproximadamente 90 minutos después, se lanzaría el ARES I desde la plataforma 39B transportando el módulo ORION.

El módulo ORION se encontraría con el ALTAIR/EDS en una órbita terrestre LEO, para acoplarse y formar una sola nave. El EDS se encendería de nuevo para inyectar la nave en una trayectoria trans-lunar, incrementando la velocidad desde 28 000 km/h hasta 40 200 km/h.

Una vez en la trayectoria trans-lunar, el EDS es lanzado y la nave (ORION+ALTAIR) continuaría su viaje de 3 días hacia la Luna.

Al llegar a la Luna, los motores del ALTAIR se encenderían para frenar la nave y situarla en una órbita lunar.

Se configuraría el módulo ORION para un vuelo automático no tripulado, pasando todos los tripulantes al módulo ALTAIR. Ambas naves se separarían, quedando el módulo no tripulado ORION en órbita lunar circular esperando la vuelta del ALTAIR.

Así pues todos los tripulantes descenderían con el ALTAIR hasta la superficie de la Luna. Una vez allí realizarían entre 5 y 7 salidas EVA recogiendo muestras y realizando experimentos.

Una vez completadas las operaciones en la superficie lunar, los tripulantes utilizarían la fase de ascenso del ALTAIR, encendiendo su motor y utilizando la fase de descenso como plataforma de lanzamiento, de forma similar a como se hizo con en las misiones Apolo.

Una vez en órbita, se acoplarían al módulo ORION al cual pasarían los astronautas con todas las muestras recogidas.

El módulo ALTAIR sería desprendido y lanzado hacia la Luna para estrellarse en ella.

La tripulación encendería el motor del ORION para situarse en una trayectoria terrestre para iniciar su viaje de vuelta a la Tierra.

Después de 2 días y medio, la tripulación lanzaría el módulo de servicio para que se desintegrara en la atmósfera e iniciaría la reentrada a la atmósfera de la Tierra, para finalmente amerizar en algún punto de la Costa Oeste de EEUU.

El módulo ORION sería devuelto al KSC para su reutilización.



Figura 24: Cohete lanzador ARES V. (NASA/ Cortesía de nasaimages.org).

Figure 24: Rocket launcher ARES V. (NASA /courtesy of nasaimages.org).

Futuras misiones tripuladas a la Luna

Además del Programa Constellation de los EEUU, otros países como Rusia, China, Japón y la India han mostrado interés en proyectos lunares.

El cuadro-resumen de la Tabla 1 muestra las misiones tripuladas a la Luna previstas por diferentes países.

A pesar de todo ello no parece que haya, a día de hoy, una decisión clara y decidida de volver a la Luna. El elevado coste de este tipo de misiones constituye un gran obstáculo. Las

condiciones históricas tan especiales que confluyeron en la era Apolo no parece que vayan a repetirse.

Otros problemas como puede ser el riesgo a la exposición a altos niveles de radiaciones ionizantes pueden suponer un obstáculo adicional, además del coste, para misiones prolongadas en la Luna o misiones a Marte.

País	Proyecto	Fecha de lanzamiento
EEUU 	<i>Constellation Program</i>	Junio 2019
Japón 		2020; base lunar 2030
India 		2020
China 		2022
Europa 	<i>Aurora Programme</i>	2024
Rusia 		2025

Tabla1: Futuras misiones tripuladas a la Luna.

Table 1: Future manned missions to the Moon.

Es probable que la iniciativa privada pueda jugar un papel mucho más destacado en los próximos años, que puedan estimular el desarrollo tecnológico y la actividad espacial.

En este sentido es destacable el Google Lunar X Prize, vigente desde 2007, que premiará con 20 millones de dólares al primer equipo que logre enviar un rover a la Luna capaz de desplazarse 500 m y después enviar imágenes de alta definición a la Tierra.

Al igual que como ocurrió con la Aviación, quizá la actividad espacial pueda crecer de la mano de la iniciativa privada. Para que ello ocurra se deberían definir reglamentos y leyes internacionales que estableciesen las reglas a tener en cuenta por las empresas explotadoras.

En definitiva, estamos en los inicios de una nueva actividad humana como es la exploración espacial y, a pesar de las lógicas dudas y reticencias que puedan surgir, su progreso va a ser imparable.

Como ya dijo en el siglo XIX el científico ruso Konstantin Tsiolkovsky, uno de los padres de la astronáutica:

“La Tierra es la cuna de la Humanidad, pero no podemos vivir para siempre en una cuna”.

Grandes espectáculos celestes

Miquel Serra-Ricart

Presidente de Shelios. Administrador del Observatorio del Teide. Investigador del Instituto de Astrofísica de Canarias



Serra-Ricart, M. (2010). Grandes espectáculos celestes. *In*: Ginard, A., Pons, G.X. i Vicens, D. (eds.). Història i Ciència: commemoració dels 40 anys de l'arribada de l'home a la Lluna. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 16; 169-176. SHNB - OAM - UIB. ISBN 978-84-15081-49-4.

Resumen: Los mayores espectáculos que pueden observarse en los cielos de nuestro planeta son los eclipses totales de Sol y de Luna, las Auroras Polares y las Tormentas de Estrellas. Estos espectáculos celestes son el objetivo principal de las expediciones científicas que organiza la asociación Shelios, nacida a mediados de 1998, y que desde su creación ha organizado diversas expediciones a los lugares más remotos de la Tierra, como por ejemplo Turquía, Groenlandia, Teide, Zimbabwe, desierto de Australia, Sudáfrica, Antártida, desierto de Libia o China.

Abstract: *The greatest shows that can be seen in the skies of our planet are a total eclipse of the sun and moon, Polar Aurora and Star storms. These celestial events are the main target of the scientific expeditions organized Shelios association, born in 1998, and since its creation has organized several expeditions to the remotest parts of Earth, such as Turkey, Greenland, Teide, Zimbabwe, desert of Australia, South Africa, Antarctic, desert of Libya or China.*

Resum: Els més grans espectacles que es poden observar en el cel del nostre planeta són els eclipsis totals de Sol i de Lluna, les Aurores Polars i les Tempestes d'Estrelles. Aquests espectacles celests són l'objectiu principal de les expedicions científiques que organitza l'associació Shelios, nascuda a la meitat de l'any 1998, i de llavors ençà ha organitzat diverses expedicions als llocs més remots de la Terra, com ara, Turquia, Groenlàndia, Teide, Zimbabwe, desert d'Àustràlia, Sud-Àfrica, Antàrtida, desert de Líbia o Xina.

Las expediciones científicas de Shelios

Eclipses totales de Sol y de Luna, Auroras Polares y Tormentas de Estrellas son los mayores espectáculos que pueden observarse en los cielos de nuestro planeta, son los Grandes Espectáculos Celestes (GEC de aquí en adelante). Todas las imágenes presentadas en este artículo han sido obtenidas en distintas expediciones organizadas por Shelios, asociación, sin ánimo de lucro, cuyo principal objetivo es la organización de expediciones científicas para la observación de los GEC (más información en <http://shelios.com>). Shelios nace a mediados de 1998 a raíz de la observación de un eclipse total de Sol. En aquella ocasión la banda de totalidad, es decir, la zona de la Tierra oscurecida por la sombra lunar, acababa a tan solo 200 km de la isla canaria de La Palma. Era una ocasión única para poder tomar imágenes del eclipse

desde alta mar. Con la ayuda de una embarcación de 12 m de eslora, velero escuela del Centro Superior de Náutica y Estudios del Mar de la Universidad de La Laguna, la expedición Shelios'98 situó a varios componentes del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC de aquí en adelante) a 1500 km de Tenerife, en pleno Atlántico, para la observación del eclipse. Pero no es hasta agosto de 1999 y con motivo del último eclipse total de Sol del milenio cuando Shelios se consolida definitivamente. En este caso la banda de totalidad iba a cruzar Europa Central y, por tanto, el eclipse se convertiría en uno de los más famosos de la historia. Partiendo de Barcelona y a bordo de siete vehículos, la expedición Shelios'99 desplazó hasta Kastamonu, ciudad situada a 200 km al norte de la capital turca, Ankara, a un equipo de astrónomos del IAC con dos experimentos solares. Éstos estaban encaminados a averiguar más datos sobre la corona solar, avanzando, de esta forma, en el conocimiento de nuestro Sol y de su influencia sobre la Tierra.

La expedición Shelios 2000 tuvo como objetivo viajar hasta el sur de Groenlandia para captar imágenes de las Auroras Boreales. Fue entre el 29 de agosto y el 14 de septiembre, fechas idóneas para la observación de las auroras ya que el Sol se encontraba en un periodo de máxima actividad. Las imágenes (Fig. 1) de las auroras sobre los hielos glaciares y la realización de un reportaje sobre el cambio climático en colaboración con TVE fueron los dos hitos de la expedición.



Figura 1: Aurora Boreal observada desde el fiordo de Tasiussaq al sur de Groenlandia, en septiembre del año 2000. En la parte superior puede observarse la constelación de Casiopea. Miguel C. Díaz Sosa. © staryearth.com.

Figure 1: Aurora Borealis observed from Tasiussaq fjord south of Greenland, in September 2000. At the top you can see the constellation Cassiopeia. Miguel C. Díaz Sosa. © staryearth.com.

La expedición Teide 2001 tuvo como destino la cumbre del Teide (Tenerife), a más de 3700 m de altura, para observar el primer eclipse total de Luna del tercer milenio desde el punto más elevado de España. El día 9 de enero de 2001 fuimos espectadores de un fenómeno completamente imprevisto. La salida de la Luna eclipsada por el horizonte oriental coincidió con la puesta de Sol, con lo que la sombra del Teide, proyectada en la atmósfera terrestre, apuntó exactamente hacia la Luna (Fig. 2).



Figura 2: Eclipse total de Luna desde la cima del Teide el día 9 de enero de 2001. La sombra del Teide proyectada sobre la atmósfera terrestre apunta directamente a la luna eclipsada. Luis Miguel Chinarro © staryearth.com.

Figure 2: Total Lunar Eclipse from the summit of Teide on January 9, 2001. Teide's shadow projected on the earth's atmosphere directly points to the moon eclipsed. Luis Miguel Chinarro © staryearth.com.

Para observar el primer eclipse total de Sol del tercer milenio Shelios organizó una expedición a Zimbabwe, Shelios'01, que realizó un recorrido por todo Zimbabwe, visitando los principales enclaves naturales y etnográficos de este fascinante país africano. Finalmente, llegamos al punto de observación previsto, en el extremo más nororiental del país. Además de realizar todas las observaciones previstas, el eclipse se retransmitió en directo a través de la web con la colaboración de Terra-Lycos. El experimento científico más relevante que llevamos a cabo fue tratar de medir la deflexión o curvatura gravitatoria de la luz de las estrellas causada por la masa del Sol, repitiendo el experimento de Einstein-Eddington de 1919.

Durante el mes de noviembre de 2001, Shelios se desplazó al centro del desierto australiano, en la expedición Leónidas 2001, para la toma de datos de una tormenta de estrellas fugaces (las Leónidas) que fue una de las más intensas de los últimos 30 años (Fig. 3). Gracias a la experiencia de nuestro grupo, prestamos la logística necesaria (transporte, energía, comunicaciones y apoyo técnico) a la misión científica del IAC (liderada por los Dres. Luis Bellot y David Martínez) destinada a estudiar la tormenta meteórica.

Otro eclipse nos volvió a llevar al África Austral. Fue para el eclipse total de Sol de diciembre de 2002. La expedición Shelios'02 estuvo en el Parque Nacional de Kruger (Sudáfrica). El gran reto para Shelios estaba en noviembre de 2003, en el que un eclipse total de Sol cruzaría una de las zonas más inaccesibles del interior de la Antártida. Y Shelios también observó el eclipse. Se organizó una expedición a la Patagonia Chilena y Argentina, Shelios'03, y el día 23 de noviembre de 2003, partiendo de Punta Arenas (Chile) y a bordo de un Airbus 340-300 sobrevolando la Antártida, pudo contemplarse uno de los eclipses más complicados de la historia. Como recompensa se obtuvieron unas imágenes únicas de la corona solar debido a la gran transparencia de los cielos del polo sur terrestre.



Figura 3: Meteoros originados en la tormenta de estrellas de las Leónidas del 19 de noviembre de 2001. La observación fue realizada desde Devil's Marbles en pleno desierto australiano. Luis Miguel Chinarro. © staryearth.com.

Figure 3: Meteor storm originating in the stars of the Leonids November 19, 2001. The observation was made from Devil's Marbles in Australia's desert. Luis Miguel Chinarro. © staryearth.com.

El siguiente eclipse total de Luna nos llevó al Parque Nacional del Teide en Tenerife. En esta ocasión la plataforma de observación fue el cono volcánico de Pico Viejo (3134 m). La expedición Teide 2003 obtuvo imágenes tan espectaculares como las mostradas en las figuras 4 y 5.

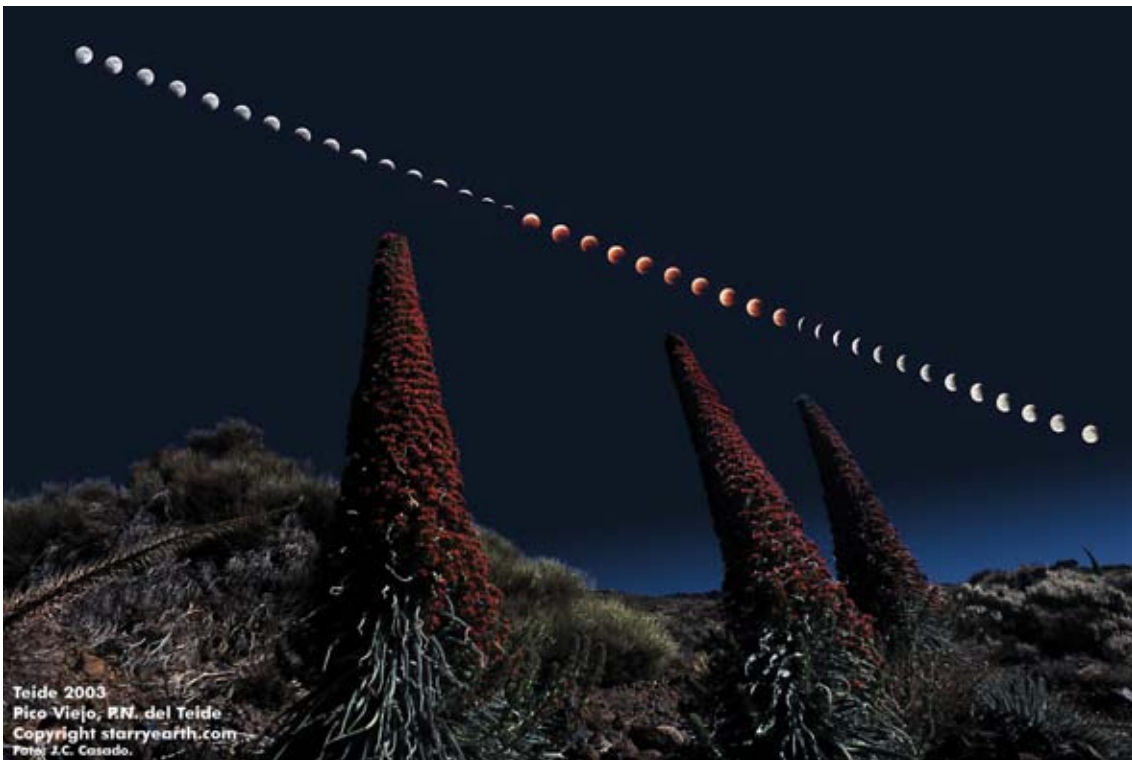


Figura 4: Evolución del eclipse total de Luna del día 16 de mayo de 2003 desde el mirador de Pico Viejo (Parque Nacional del Teide, Tenerife). En primer plano ejemplares de Tajinastes rojos (*Echium wildpretii*), símbolo del Parque. Foto Juan Carlos Casado. © staryearth.com.

*Figure 4: Evolution of the total lunar eclipse of May 16, 2003 from the viewpoint of Pico Viejo (Parque Nacional del Teide, Tenerife). In front of the picture red Tajinastes (*Echium wildpretii*), symbol of the park. Photo Juan Carlos Casado. © staryearth.com.*



Figura 5: Desarrollo de la fase central del eclipse total de Luna del día 16 de mayo de 2003 desde el mirador de Pico Viejo (Parque Nacional del Teide, Tenerife). Nótese la coloración rojiza adquirida por la luna eclipsada consecuencia de la refracción y enrojecimiento de los rayos solares por la atmósfera terrestre. Foto Juan Carlos Casado. © staryearth.com.

Figure 5: Development of the middle phase of the total lunar eclipse of May 16, 2003 from the viewpoint of Pico Viejo (Parque Nacional del Teide, Tenerife). Note the reddish coloration acquired by the moon eclipsed result of refraction and redness of the sun by the Earth's atmosphere. Juan Carlos Casado picture. © staryearth.com.

Para el eclipse total de Sol del año 2006, Shelios organizó una expedición al Desierto de Libia, Shelios'08, que desplazó a un grupo de 40 personas a la ciudad rusa de Novosibirsk para realizar observaciones del eclipse total de Sol que tuvo lugar el 1 de agosto de 2008. Gracias a las buenas condiciones meteorológicas se obtuvieron detalles de la corona y de la cromosfera solar nunca antes observadas (Fig. 6). El último eclipse observado es el que se produjo el pasado 22 de julio de 2009. Shelios se desplazó hasta las cercanías de la ciudad china de Chongqing para obtener imágenes de la totalidad (Fig. 7).



Figura 6: Corona solar del eclipse total de Sol del 1 de Agosto de 2008 desde el mar Ob (Novosibirsk, Rusia). Combinación digital de 67 imágenes que muestra largas extensiones de la corona, protuberancias, luz cenicienta y estrellas hasta la magnitud 10. Foto J.C. Casado. © staryearth.com.

Figure 6: Solar Corona total solar eclipse of August 1, 2008 from the sea Ob (Novosibirsk, Russia). Combination of 67 digital images showing long stretches of the crown, bumps, light gray and stars to magnitude 10. Photo J.C. Casado. © staryearth.com.



Figura 7: Formación de las perlas de Baily (luz del sol atravesando los valles lunares) en el eclipse total del 22 de julio de 2009. La imagen es una composición del segundo y tercer contacto. Foto J.C. Casado. © staryearth.com.

Figure 7: Development of the Pearls of Baily (sunlight passing through the lunar valleys) in the total eclipse of July 22, 2009. The image is a composite of the second and third contact. Photo J.C. Casado. © staryearth.com.

Fenomenología de los GEC grandes espectáculos celestes

Fenómenos polares. Auroras

El interior de los círculos polares (latitudes por encima de 66 grados 33 minutos, norte o sur) son los lugares de la Tierra donde se pueden registrar las temperaturas frías más extremas (por debajo de los 50 grados centígrados bajo cero en invierno) al tiempo que también son regiones donde podemos presenciar algunos de los mejores espectáculos que nos ofrece la naturaleza. Tanto en el Ártico como en la Antártida es posible contemplar inmensos glaciares que se fragmentan en múltiples icebergs cuando se precipitan a las aguas de los océanos. Sólo desde esas zonas polares es posible observar las Auroras (boreales, en el polo norte; y australes, en el polo sur). Otro de los fenómenos más bellos que nos ofrecen los cielos a estas latitudes es el Sol de Medianoche.

El origen de las auroras está en el viento solar, flujo de partículas muy energéticas emitidas por el Sol. Cuando el viento solar llega a nuestro planeta, el campo magnético terrestre lo refleja hacia el espacio. Sólo una pequeña parte penetrará en la atmósfera por los polos. El oxígeno (tonos verdosos) y el nitrógeno (tonos rojos) son los responsables de frenar (a unos 400 km de altura, en la ionosfera) el avance del viento solar hacia la superficie terrestre. El choque del viento solar con estos elementos produce inmensas cortinas de luz, las auroras. Las auroras

se producen alrededor de los polos magnéticos terrestres. En el Polo Norte tendremos Auroras Boreales y en el Polo Sur, Auroras Australes. Pueden verse auroras boreales al sur de Groenlandia, Islandia, Alaska, al Norte de Canadá, al Norte de la península escandinava (Noruega, Suecia, Finlandia) o al Norte de Siberia. Las australes sólo pueden observarse desde la Antártida. Durante los máximos de actividad solar, que se producen cada 11 años, las auroras también pueden observarse a latitudes más bajas.

Eclipses Totales

De Sol

Los eclipses de Sol se producen cuando la Luna se coloca entre el Sol y la Tierra (Luna nueva). Si la Luna cubre completamente al Sol, el eclipse será total, mientras que si cubre una parte, será parcial o anular. Sólo en los eclipses totales podremos presenciar la corona solar y vivir la noche. En la Tierra hay eclipses totales de Sol por dos razones:

- A pesar de que el tamaño del Sol es 400 veces mayor que la Luna, también se encuentra 400 veces más lejos y, por tanto, Luna y Sol tienen el mismo tamaño en el cielo.
- La órbita lunar permite que la Luna pueda interponerse entre el Sol y la Tierra.

Durante los eclipses totales se producen varios fenómenos entre los cuales cabe destacar:

- Perlas de Baily. Descritas por Francis Baily en el eclipse solar de 1836, las perlas de Baily son pequeños resplandores puntuales que se observan alrededor del disco solar durante el segundo y tercer contactos (comienzo y final del eclipse total) y producidos al atravesar la luz solar, procedente del primer o último fragmento de la fotosfera, los valles y huecos del irregular limbo lunar (Fig. 7).
 - Aparición de Planetas y Estrellas.
 - Aparición de la Corona Solar (Fig. 6).

La máxima duración de un eclipse total de Sol es de 7 minutos 40 segundos, aunque normalmente suele durar entre 2 y 4 minutos. Sólo cada 450 años pasará la sombra lunar por nuestra ciudad, por tanto, es necesario viajar si queremos vivir, en directo, un eclipse total. El próximo eclipse total de Sol sobre territorio español sucederá el 12 de agosto de 2026. La sombra de la Luna entrará por Galicia y abandonará la península por Cataluña, atravesando Barcelona.

De Luna

Un eclipse de Luna se produce cuando ésta entra bajo el cono de sombra de la Tierra. Sólo puede suceder durante la fase de Luna llena, cuando la Tierra se encuentre entre el Sol y nuestro satélite. El eclipse será total si el disco lunar se sumerge completamente en ese cono de sombra, en tanto que el eclipse será parcial si se introduce sólo una parte.

En el momento de la totalidad, la Luna no desaparece por completo, sino que presenta, generalmente, un tono rojizo, debido a la refracción de los rayos solares en la atmósfera terrestre que acaban incidiendo en la superficie lunar. La intensidad de la coloración y visibilidad lunar dependerán, por tanto, de las condiciones de la atmósfera terrestre. La duración máxima que puede estar la Luna completamente eclipsada es de 1 hora y 44 minutos. A pesar de que los eclipses totales de Luna son menos frecuentes que los de Sol es más fácil observarlos pues son visibles en todo el hemisferio nocturno terrestre.

Tormenta de Estrellas

Cada día, miles de partículas de polvo y pequeños fragmentos de rocas procedentes del espacio se precipitan a altas velocidades hacia nuestro planeta. Los mayores son capaces de producir estelas luminosas, debido al rozamiento con la atmósfera terrestre, denominadas meteoros, o conocidas comúnmente como estrellas fugaces, y que estamos acostumbrados a ver en los cielos de cualquier noche despejada. Los meteoros tienen, generalmente, tamaños y masas muy pequeños (granos de arena de fracciones de gramo) y, a pesar de ello, pueden alcanzar un brillo muy notable durante fracciones de segundo. Los más brillantes se denominan bólidos y, si además, consiguen impactar en la superficie terrestre entonces pasan a ser meteoritos.

Normalmente, la actividad meteórica (número de meteoros por unidad de tiempo) es baja (10 meteoros por hora). Sin embargo, hay fechas en la que esta actividad aumenta considerablemente observándose hasta cientos de estrellas fugaces por hora, fenómeno que se denomina lluvia de estrellas. Si la actividad llega a miles de meteoros por hora, entonces presenciaremos una tormenta de estrellas.

El aumento de actividad de meteoros se produce cuando la Tierra cruza la órbita de algún cometa, donde suele existir una elevada cantidad de basura depositada por el propio cometa. Ésta es la razón por la cual las lluvias de estrellas se producen siempre en las mismas fechas. A pesar de que los fragmentos siguen trayectorias paralelas al entrar en la atmósfera, parecen, por efecto de perspectiva, irradiar de un mismo lugar del firmamento. Este punto es conocido como radiante y la constelación donde está situado da nombre a la lluvia. Así, las Perseidas (mediados de agosto) tienen situado su radiante en la constelación de Perseo, mientras que las Leónidas (mediados de noviembre) en Leo.



L'astronauta Buzz Aldrin caminant per la Lluna. (NASA/Cortesia de nasaimages.org).

Buzz Aldrin walks on the surface of the Moon. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

Annexos

Andreu Ripoll i Muntaner

Andreu Ripoll va néixer a Barcelona i de molt petit tornà a Mallorca, d'on provenia la seva família. És Doctor Enginyer Politècnic, Diplomant en Investigació Operativa (Universitat Complutense de Madrid) i en Tècniques d'Investigació de l'Espai (Goddard Space Flight Center, Estats Units).

La seva experiència en el camp de la investigació de l'Espai abraça uns 40 anys durant els quals ha participat en programes tripulats de la NASA (National Aeronautics and Space Administration), com ara l'Apol·lo, amb el qual l'home va arribar a la Lluna per primera vegada, Skylab, primer laboratori espacial americà, i Apol·lo-Sojuz, primer programa de col·laboració entre els Estats Units i Rússia. En programes no tripulats la seva experiència també és molt extensa: programes d'investigació del Cosmos, d'observació de la Terra i de telecomunicacions.

A l'any 1975, com a membre de la recent creada ESA (European Space Agency), va ser l'encarregat de la construcció de l'Estació de Seguiment de Satèl·lits de Villafranca del Castillo (Madrid), que va dirigir durant 13 anys, estació des de la qual es feia el control del primer telescopi espacial, IUE (precursor del HST, Hubble Space Telescope). Per aquest centre varen passar astrofísics de més de 20 països i molts físics espanyols varen realitzar-hi les seves tesis doctorals amb les dades obtingudes de l'espai. Altres programes importants en què va participar foren el de raigs X, EXOSAT, el primer de comunicacions amb mòbils marítims, MARECS, i també el programa d'investigació global de l'atmosfera des de l'espai, GARP (Global Atmospheric Research Program). A l'any 1988 la ESA va encarregar-li la creació del centre EAC (European Astronaut Centre) a Colònia, Alemanya, centre del qual va ser el primer director. En aquest centre se seleccionen, es formen, preparen les missions i passen els controls mèdics tots els astronautes europeus, com ara l'espanyol Pedro Duque.

La seva activitat professional i investigadora durant aquests anys ha estat extensa. En col·laboració amb institucions nacionals i estrangeres participà en la promoció i disseny d'instruments científics per a satèl·lits artificials, estudis de factibilitat de satèl·lits de comunicacions, assessorament d'institucions i universitats i també, essent membre d'un grup de científics i enginyers espanyols, contribuí molt activament en el disseny i promoció del primer Plan Nacional del Espacio, el qual íntegrament formà part del Plan Nacional de Investigación y Desarrollo.

És autor de més de 60 publicacions científiques i tècniques i també d'un considerable nombre d'articles de divulgació a diaris com *El País*, *La Vanguardia*, *ABC*, *El Mundo*, etc. És autor de *Una mirada al espacio*, Director Científic del *Gran Atlas del Espacio* i coautor de *The Cambridge Encyclopedia of Space*. Ha estat membre del consell de redacció de diverses revistes científiques. Ha participat en múltiples congressos internacionals en els que ha presentat comunicacions, presidit comitès, pronunciat conferències i fins i tot ha organitzat alguns d'aquests congressos. També ha impartit nombroses conferències a Espanya, diversos països d'Europa, Estats Units, Rússia i països d'Amèrica Llatina.

Ha estat membre del Comité de Grandes Instalaciones Científicas del Ministerio de Educación y Ciencia, del Consell Rector de l'Institut Nacional de Tècnica Aeroespacial (INTA), de l'empresa TECNOLÓGICA, del Grupo de Revisión del Gran Telescopio de Canarias; patró de la Fundació Empresa i Ciència de Barcelona; president de la Fundació Balear per a la Prevenció de Riscos i delegat espanyol en el Megascience Forum i en el Global Science Forum de la organització mundial OCDE. Fou assessor en temes de l'espai de la Universitat Autònoma de Barcelona, del Conseller de Recerca i Universitats de la Generalitat de Catalunya i també de la Associació BAiE (Barcelona Aeronàutica i de l'Espai). Ha estat membre de la American Association for Advancement of Science (AAAS) i ho és actualment de la Planetary Society, ambdues dels Estats Units.

Ha rebut diverses condecoracions: Certificate of Apollo XI i el ASTP Award, per la missió Apol·lo-Sojuz, atorgats per la NASA; el Global Weather Experiment 1978-1979 Award de la NOAA i el IUE Participation Award atorgat per la ESA. El Govern de les Illes Balears li va concedir el Premi Ramon Llull de las Ciències; la Generalitat de Catalunya la Medalla Narcís Monturiol al Mèrit Científic i Tecnològic i recentment el Consell Insular de Mallorca li ha concedit la Medalla d'Or de l'any 2010.

Ha estat membre del jurat del premi Príncep de Astúries i del jurat dels ISTPrize, premi a les empreses europees més destacades en innovacions sobre noves tecnologies informàtiques que concedeix anualment la Comissió Europea.

És acadèmic numerari de la International Academy of Astronautics, acadèmic numerari de la Real Academia de Ingeniería d'Espanya, de la que ha estat vicepresident, acadèmic corresponent de la Real Acadèmia de Medicina de les Illes Balears i acadèmic no resident de la Academia de Engenharia de Portugal.

Un asteroide del Cinturó Principal, descobert per l'Observatori Astronòmic de Mallorca, ha estat batejat per la International Astronomical Union amb el seu nom: 228133 Ripoll.

Per a saber-ne més

Rayó González, M. (2008). *Què volies ser quan eres petit?* Promomallorca Edicions.

Ramon Compte i Porta (Barcelona, 1909 - 1991)

Ramon Compte va néixer a Barcelona l'any 1909, però va residir a Mallorca des dels onze anys. De formació autodidacta, gràcies a la seva gran afeció va arribar a ser un gran especialista en Astronomia.

Durant els anys 1930 i 1931, col·laborant amb Jordi Anckermann Ribas establí a Mallorca una xarxa pluviomètrica, que es va conèixer com el Servei Meteorològic de la Diputació de Balears. Anckermann, bon aficionat a l'astronomia, marcà els inicis de la inclinació de Compte per aquesta ciència.

La formació de Compte es va veure estimulada quan es va posar en contacte amb la Société Astronomique de France, que havia fundat l'any 1887 Nicolas-Camille Flammarion, on va tenir accés a la seva publicació *L'Astronomie*. Josep Comes i Solà va ser un altre astrònom important per a la seva formació, tant pels llibres que publicà com pels articles del diari *La Vanguardia*.

Va mantenir contacte amb una sèrie d'aficionats a l'astronomia, alguns de Mallorca i altres de fora de la nostra illa. En el Seminari Conciliar de Palma va fer observacions amb un objectiu acromàtic de 16 cm de diàmetre en col·laboració amb Emili Sagristà¹, professor de Ciències Físiques i Naturals, i amb qui el va unir una llarga amistat. Durant un temps, també mantingué relacions d'intercanvi científic amb Vicenç Serra Orvay, rector del Seminari d'Eivissa.

En els anys 50 del segle passat l'interès per la Ciència en general, estava en auge i una sèrie d'associacions visqueren la seva naixença. L'any 1950, Compte, fundà l'Agrupació Astronòmica Balear, de la qual fou nomenat president. Alguns altres membres fundadors foren Antoni Palou, Jaume Busquets, Joan Bauzà, Joan Pocoví, Ferran Mora, Benet Alemany i Ignasi Coll, alguns d'aquests noms relacionats amb la Societat d'Història Natural de les Balears (SHNB), els inicis de la qual s'han de cercar per aquell mateix temps, al Nadal de 1947. Oficialment la SHNB va néixer el 6 de novembre de 1954, la primera junta de la qual fou presidida per Joan Bauzà; Compte, aficionat a les Ciències en general, va ser un dels primers socis de la SHNB, el tresorer de la qual era el seu fill Artur Compte Sard.

L'Agrupació Astronòmica Balear s'integrà a la Secció de Ciències Naturals i Geografia de l'Estudi General Lul·lià, el 20 de maig de 1953, i es dedicà a organitzar conferències i activitats diverses, com ara el seguiment del trànsit de Mercuri, el 14 de novembre de 1953, o el seguiment del planeta Mart en l'oposició perihèlica de 1954. Regularment, s'organitzaven sessions públiques d'observació de planetes, de la Lluna, del Sol, d'eclipsis, de radiants meteòrics o de constel·lacions.

En un dels moments de màxima activitat de l'Agrupació, es va realitzar una exposició d'astronomia, en l'organització de la qual destacà el geòleg i paleontòleg Joan Bauzà. Aquesta exposició es va inaugurar el 7 d'octubre de 1954 a l'Estudi General Lul·lià i romangué oberta durant 9 dies, temps durant el qual es varen pronunciar algunes conferències a càrrec d'Antoni Palou, Frederic Armenter i Ramon Compte.

Aquesta agrupació dissortadament es dissolgué al cap de sis anys però Ramon Compte continuà amb la seva labor de divulgació de l'astronomia: creà l'observatori Urània en el que a banda de l'instrumental d'observació astronòmica disposava d'una biblioteca científica d'uns 3000 volums, una modesta col·lecció de minerals, algunes mostres paleontològiques i un petit laboratori amb espectròmetres de taula i microscopis on es podien realitzar anàlisis mineralògiques.

Compte organitzà fins a dues exposicions més d'astronomia, l'any 1960 al club Barcelona de Palma i 1962 a Sa Pobla. També va fer el seguiment del trànsit de Mercuri del 7 de novembre

¹ Es pot trobar més informació en l'article *Emili Sagristà i Llompart en el seu context*, de Gabriel Seguí i Trobat, a la Mon. Hist. Nat. Balears, 13: Conferències de les Jornades de Commemoració i Estudi de l'eclipsi total de Sol a la Mallorca de 1905.

de 1960. Entre els anys 1963 i 1964, creà l'observatori astronòmic del Col·legi Lluís Vives de Palma destinat al servei dels escolars d'aquest col·legi i del que se'n va fer càrrec de la direcció.

L'any 1969, nomenat per la Smithsonian Institution de Cambridge (USA), es va integrar a la xarxa mundial de la NASA com observador de possibles fenòmens lunars, durant les missions de l'Apol·lo XI a l'Apol·lo XVII. La tasca d'aquesta xarxa mundial consistia en l'observació sistemàtica del sòl de la Lluna per si es produïa algun fenomen de manifestació endògena o verdadera erupció (TLP, Transient Lunar Phenomena). Si s'observava algun d'aquests fenòmens, s'havia de comunicar d'immediat a la Smithsonian institution.

Va ser delegat a les Balears de la Sociedad Astronómica de España y América, del 1950 al 1975, membre de la Société Astronomique de France i membre d'honor de la Sociedad Astronómica de México.

Durant tot aquest temps dedicat a la astronomia i a la seva divulgació, va pronunciar més de mig centenar de conferències, una de les quals la va transcriure en el fascicle II del *Bolletí* de l'any 1953 de la SHNB, reproduït a continuació d'aquesta biografia. Va publicar centenars d'articles a la premsa local i en revistes especialitzades tant d'Espanya com de l'estranger. Un d'aquests articles, *Los uranolitos y su identificación*, també el va publicar en el mateix fascicle II, abans esmentat, del *Bolletí* de la SHNB i també es reproduceix a continuació. Col·laborà de manera regular amb la premsa local durant vint anys i setmanalment parlava durant 5 minuts a Ràdio Mallorca en el programa *Cinco minutos con las estrellas*. També va publicar *¿Conoce Ud. Mallorca?* que tracta sobre la geomorfologia i geologia general de l'illa.

Per a saber-ne més

Compte Porta, R. (1991). *L'astronomia a Mallorca*. El Tall Editorial. Palma.

Antelm Ginard

Societat d'Història Natural de les Balears

BOLETIN

de la Sociedad Española de Historia
Natural de Baleares

Año 1953

Fasc. II

La Luna, satélite de la tierra

(CONFERENCIA DEL DIA 7 MAYO DE 1953)

EN realidad, el estudio de la Luna puede interesar también al geólogo, por cuanto, además de su constitución petrográfica, la génesis de su relieve y aún su propio origen, están íntimamente ligados con los de nuestro planeta. También existe cierta relación entre las posibilidades de vida en la Luna y sus consecuencias en el orden más amplio de la Biología generalizada, o Cosmobiología, circunstancias ambas que ha impulsado a algunos naturalistas ocuparse un poco del astro de la noche.

La historia de la nomenclatura lunar, arranca de los tiempos de Galileo, Hevelius y Riccioli. Beer y Madler, entre otros, nos legaron excelente cartografía y hoy, gracias al atlas fotográfico lunar de Loevy y Puisieux, al de Pickering y muy especialmente a la reciente carta selenita de Wilkyns, puede decirse que conocemos mejor la cara visible de la Luna que la geografía de nuestro propio globo.

No cabe en esta breve reseña la descripción de la topografía lunar que hice en el curso de esta conferencia. Pero si mencionaré la posi-

bilidad de que todavía hoy puedan producirse en el satélite notables cambios estructurales en su superficie. No olvidemos que un astro en el que, como en la Luna, se aprecian variaciones térmicas de más de 200.° c. durante el transcurso de algunas horas y que además se halle desprovisto de atmósfera, puede muy bien la brusca contracción de su litosfera superficial agrietar el terreno, alterando considerablemente la disposición de algunas zonas, bien sean sus llanuras o «mares», bien los propios circes o cráteres, de los que se han contado más de 33.000.

Astrónomos de la categoría de Pickering, Flammarión y Lowell, por ejemplo, se han pronunciado documentalmente en pro de tal posibilidad.

La falta de tiempo, hizo que aplazara para alguna otra próxima disertación exponer las principales teorías formuladas para explicar el origen de la Luna y sus accidentes, como también su destino final, tan ligado al nuestro. Unos dibujos en el encerado y la exhibición de bellas fotografías, ilustraron el acto.

Los Uranolitos y su identificación

El estudio de los uranolitos (aerolitos, meteoritos o astrolitos, como también se les llama), entra de lleno en el ámbito de las Ciencias Naturales. A pesar de su procedencia extraterrestre, también puede interesar su estudio al geólogo, cuando menos, desde el punto de vista mineralógico y nada tendría de extraordinario que en algunas de sus excursiones científicas halle a su paso alguno de esos valiosos objetos.

Ante tal posibilidad, expondré algunas normas generales mediante las cuales poder identificar ya «in situ» todo presunto uranolito. O por lo menos, despertar la sospecha que impulse a recoger el pedrusco para su ulterior análisis en el laboratorio.

No es fácil distinguir de pronto, en pleno campo, un fragmento cósmico del resto de piedras o cascotes que haya por allí. Los efectos de la erosión y el enmascaramiento producido por el barro, pueden despistar al prospector. Quien no sea experto, podrá incluso confundir un simple nódulo ferruginoso con un aerolito. Y no estará de más saber que también existen meteoritos en estado «fósil», como el que se encontró en una ocasión en estratos netamente miocénicos.

En general, todo fragmento pétreo, recubierto total o parcialmente de una delgada costra de material fundido, de aspecto vítreo, tiene grandes probabilidades de ser extraterrestre; tanto más si no se encuentra en terrenos eruptivos. Si se trata de un uranolito, se observan en la costra finas líneas a modo de estrías,

en la cara anterior; y acumulación de materia en las laterales y posterior, por efecto de la presión del aire.

Cuando se trata de uranolitos recientes, la costra es más o menos negra si están compuestos de hierro y silicatos. Cuando no son metálicos suelen tenerla gris, a veces ligeramente ocre y, aún, amarillo-crema. Pero si son muy antiguos, la costra está ya muy alterada, siendo entonces generalmente de color pardo, tanto si son pétreos como si no.

Según define Edward P. Henderson: «un aspecto característico de los astrolitos, son las llamadas impresiones digitales, causadas por la fricción eólica; son alargadas». También en algunas escorias de fundición se presentan esas impresiones pero, en tal caso, son redondeadas.

Otras características de los asideritos (no contienen hierro al estado metálico, en contraposición de los sideritos, que lo poseen) es la de que suelen ser algo más densos que las rocas telúricas. Esto se debe a su contenido en piroxeno y olivino, cuya densidad es 3. Si contienen inclusiones metálicas (criptosíderos y oligosíderos—según Dauvée), la densidad sube a 3,8 ó 4,5; y en los que el hierro se presenta bajo la forma de una masa continua (halosideros) aleado al níquel, cromo, estaño, cobre, etc. la densidad puede alcanzar de 7,5 a 8.

Desde luego, los meteoritos férricos, son atraídos por el imán.

Y como reacción característica, tenemos las «figuras de Widmanstaet-

ten», que son unas líneas cruzadas a modo de red o cañamazo, que aparecen en las superficies meteóricas cuando han sido pulimentadas y tratadas luego con un ácido diluido, generalmente el nítrico.

Es frecuente hallar en los meteoritos, condritos. Son cuerpos generalmente pequeños, redondeados, no vítreos; compuestos de agregados cristalinos en hojuelas o en forma acicuada, de uno o de dos silicatos. Las rocas terrestres, no contienen condritos. En cambio, es extraordinariamente rara la presencia de cuarzo (tanto como abunda en la Tierra) en esas rocas cósmicas.

Tales son las principales características mediante las que es posible reconocer un aerolito, cuando en nuestras excursiones lo encontramos al azar, aparentemente confundido con otras piedras vulgares. O cuando alguien, sabedor de nuestra afición, nos proporciona una «piedra extraña». En ambos casos, es dato esencial anotar la fecha y lugar del hallazgo, con expresión stratigráfica del terreno continente.

Según nuestra vigente legislación española, todo meteorito encontrado en España y colonias, es de propiedad nacional.

A este respecto, nuestra isla, es decir, las Baleares, no constituyen una excepción en cuanto a la probabilidad de tales hallazgos.

Quien esto suscribe posee un pequeño pero muy raro ejemplar, enteramente de metal extraterrestre. También el que fué gran pintor y bastante aficionado a la Astronomía y Meteorología, D. Ricardo Anckermanu, encontró en sus correrías por nuestra isla un curioso uranolito. El 17 de julio de 1935, a las 11 h. 35 m. un cazador presenció la caída de un aerolito a 8 km. de Palma, junto a la carretera de Manacor. Fué hallado a 90 cm. de profundidad y pesó 809 gramos. Este ejemplar, quedó de propiedad de un súbdito extranjero, que se ausentó durante la guerra de 1936-39.

Otro bólido inmenso, seguramente de miles de toneladas de peso o quizá millones, fué visto caer en el mar, no muy lejos del faro de la Dragonera, la noche del 15 de mayo de 1933. Pasó a solo 50 km. de Barcelona y venía en dirección a Palma. Pero fué una suerte la gran inclinación de su órbita, que le precipitó al mar mucho antes de alcanzarnos. De no ser así, Mallorca hubiera lamentado una verdadera catástrofe.

Como se ve, las probabilidades de esos hallazgos, no son remotas para nosotros.

RAMÓN COMPTÉ PORTA

Vicenç Mut i Armengol (Palma, 1614-1687)

La cartografia i astronomia de mitjans del segle XVII té una figura clau a Mallorca, Vicenç Mut, membre de la petita noblesa mallorquina.

Vicenç Mut va ser jurista, administrador, enginyer i sergent major de la ciutat de Palma i va publicar obres d'astronomia, història, tàctica militar, fortificacions i hagiografia. Com a historiador escriu *Història del Regne de Mallorca*, que n'és la continuació de la de Joan Dameto. Les seves obres d'astronomia el converteixen en un dels astrònoms més destacats de l'Espanya del segle XVII.

Mut va rebre la seva primera formació de la mà dels jesuïtes i fins i tot va ingressar a la Companyia de Jesús, si bé va estar-hi pocs mesos; es doctorà en dret a l'Estudi General Lul·lià; ingressà a la milícia de Mallorca i obtingué la graduació de sergent major; fou comptador i enginyer militar del regne de Mallorca i també cronista general del Regne de Mallorca (1641-1687).

Va fer un mapa de Mallorca (1683), orientat d'una manera poc comuna actualment, en què la badia de Palma se situa a la part superior del mapa mentre que les badies de Pollença i Alcúdia es troben a la part inferior (Fig. 1).

A la dècada de 1640 va mantenir correspondència epistolar amb Athanasius Kircher i amb Giambattista Riccioli per motius científics, d'aquesta manera es va convertir amb un dels màxims corresponsals de Riccioli amb temes del cel.



Figura 1: Mapa de Mallorca (1683), en què la badia de Palma se situa a la part superior mentre que les badies de Pollença i Alcúdia es troben a la part inferior.

Figure 1: Map of Mallorca (1683), where the Bay of Palma is situated at the top while the bays of Pollença and Alcúdia are at the bottom.

Mut va escriure tres treballs d'astronomia, *De sole Alfonsino restituto* (1649), *Observationes motuum coelestium* (1666) i *Cometarum anni MDLXV* (1666), publicats a l'illa de Mallorca, en els quals queda clar que va ser un bon observador i estava força informat dels treballs astronòmics del seu temps. Riccioli el va consultar en diverses ocasions i en les seves obres *Almagestum novum*, *Astronomia reformata* i *Geographia reformata* quedà palès que havia emprat moltes de les tècniques i observacions de Vicenç Mut sobre els eclipsis, diàmetres del Sol i planetes, magnitud aparent de les fixes, posicions planetàries, distàncies angulars interestel·lars i refracció dels astres.

Tant les cites com les dades de les observacions fetes per Mut, presents a les obres publicades per Riccioli, havien passat desapercebudes als historiadors fins que Víctor Navarro les va donar a conèixer. Gràcies a les aportacions d'aquest autor, coneixem més a Mut i queda clara la seva importància en els avanços de l'astronomia europea del segle XVII.

Mut, a més dels instruments d'observació tradicionals, utilitzava un aparell telescòpic de tipus kepleriana d'uns 160 cm, un micròmetre i un pèndul per midar el temps.

Mut es mostra d'acord amb Kepler, Galileu, Cysatus i Gassendi en el seu treball dedicat al cometa de 1664, que situava aquest cos en la suprema regió de l'aire o bé a l'èter, segons un moviment de trajectòria rectilínia en el plànol d'un cercle màxim. Ara bé, Mut afegeix que la trajectòria del cometa no va ser constantment recta, sinó que tenia l'aparença d'un semicercle i per a explicar aquesta desviació, compara aquesta trajectòria amb la trajectòria parabòlica d'un projectil.

Segons Carlos Dorce en el seu segon tractat *De Observationes motuum caelestium* (1666) apareixen la primera i segona llei de Kepler (1609). La trajectòria del planeta Mart porta Mut a reconèixer que les taules astronòmiques de Kepler (fonamentades en el moviment el·líptic dels planetes) són les més adequades per al càlcul de les seves efemèrides. Admet el·lipses per la facilitat que ofereix en els càlculs malgrat el seu propi convenciment que els planetes es mouen girant en moviment circular uniforme.

Segons l'historiador de la ciència Joan March, la importància de la figura de Vicenç Mut es palesa amb l'aplicació de les teories ja existents més que en la gestació de nous plantejaments. Mut és un personatge que va brillar en tot Europa en un període on els coneixements científics es van separant de la religió i els fenòmens de la natura no s'explicaven amb la intervenció d'un déu.

El físic Josep Lluís Ballester remarca el bon observador que fou Mut i que els seus escrits es poden considerar com a precursors de l'astronomia moderna. Mut va dedicar especial atenció a l'estudi dels cometes i es va fixar en que la barba del cometa es dirigia cap a la regió oposada al Sol. Posà de manifest que els cometes són materials, qüestió discutida durant molt de temps. Un altre tema discutit per Mut va ser la trajectòria del cometes, i ell creia amb la trajectòria parabòlica influït per la cinemàtica galileiana i pel moviment del projectils de la seva obra sobre arquitectura militar. També es va dedicar a les mesures del diàmetres aparents del Sol i de la Lluna.

Sens dubte Vicenç Mut va ser un insigne científic i va aportar idees i observacions prou importants a altres científics del cel; per aquest motiu, en honor seu, Riccioli va batejar un cràter de la Lluna, situat prop del pol Sud, d'uns 80 km de diàmetre, amb el seu nom llatinitzat, Mutus. La ciutat de Palma, en homenatge seu, també va posar el seu nom a un carrer.

Per a saber-ne més

Bover, J.M. (1868). *Biblioteca de escritores baleares*. 2 vols., P. J. Gelabert, Palma.

Dorce, C. (2009). *Les lleis de Kepler en un tractat astronòmic espanyol del segle XVIII: el Compendio Mathematico de Tomàs Vicenç Tosca (1715)*. Actes d'Història de la Ciència i de la Tècnica. Nova època/volum 2(1): 113-125.

Navarro, V. (1979). *Física y astronomía modernas en la obra de Vicente Mut*. Lull, 2(4): 23-43.

Navarro, V. (Ed.) (2009). *Vicenç Mut i Armengol (1614-1687), i l'astronomia*. Col·lecció la Ciència a les Illes Balears, 8: 1-340. Govern de les Illes Balears.

Navarro, V. i Rosselló, V. (2006). *Renaixement i revolució científica. Les disciplines fisicomatemàtiques*. A: Bonner, A. i Bujosa, F (Dir). Història de la Ciència a les Illes Balears. El Renaixement, II: 53-80. Govern de les Illes Balears.

Serra, J. (2006). *Les matemàtiques en el Renaixement i el Barroc*. A: Bonner, A. i Bujosa, F (Dir). Història de la Ciència a les Illes Balears. El Renaixement, II: 81-110. Govern de les Illes Balears.

Damià Vicens

Societat d'Història Natural de les Balears

Cronologia de l'exploració espacial, fins a la conquesta de la Lluna

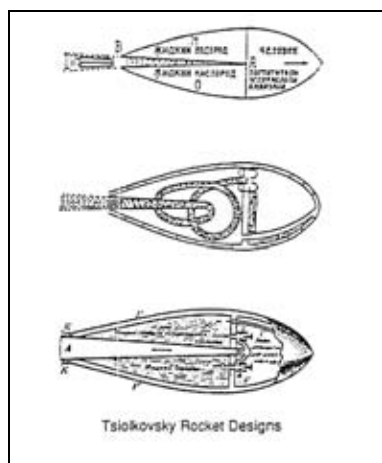


Figura 1: Dissenys de coet, de Tsiolkovski. (NASA/Cortesia de nasaimages.org).

Figure 1: Design of rocket, from Tsiolkovsky. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

1926

16 de març, el nord-americà **Robert Hutchins Goddard** (Fig. 3) llançà el primer coet de combustible líquid del món; va arribar fins als 56 m en 2,5 s.

1931

En el mes de març, l'alemany **Johannes Winkler** enlairà el seu coet, propulsat per metà i oxigen líquids, fins a una alçada de 90 m.

1933

El 17 d'agost, la Unió Soviètica llançà el coet GIRD 09 que s'enlairà fins als 400 m, més endavant, el 25 de novembre, llançà el seu primer coet de combustible totalment líquid, GIRD X, que va arribar fins als 80 m.

1934

El mes de desembre, **Wernher von Braun** (Fig. 2), aleshores empleat civil de l'exèrcit alemany, va llançar el coet A-2 que arribà fins als 2,4 km.

1883

El rus **Konstantin Tsiolkovski**, exposà els principis que permeten el desplaçament d'un coet en el buit (Fig. 1).

1895

Tsiolkovski, publicà *Somnis de la Terra i el Cel*, en el que mostrava les possibilitats dels satèl·lits artificials.

1903

Tsiolkovski, inicià la publicació en capítols del llibre *L'exploració de l'espai còsmic per mitjà dels motors de reacció*, en el que proposava els principis sobre el vol còsmic.

1923

Hermann Julius Oberth (Fig. 2), va publicar *Els coets cap als espais interplanetaris*.



Figura 2: Hermann J. Oberth i Wernher von Braun. (NASA/Cortesia de nasaimages.org).

Figure 2: Hermann J. Oberth and Wernher von Braun. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

1939

Von Braun realitzà els primers llançaments del coet A-5, amb el sistema de guiats complet, amb un excel·lent resultat.

1942

L'èxit de l'A-5 fou el preludi de l'A-4, míssil balístic alemany també conegut amb el nom V-2. Els primers llançaments de l'A-4 foren un fracàs i acabaren esclatant, però el 3 d'octubre Von Braun en un nou llançament va aconseguir enlairar el coet a una alçada de 85 km. Aquest coet era capaç de transportar 1000 kg de càrrega a 350 km de distància. El míssil V-2 fou emprat durant la Segona Guerra Mundial per al bombardeig de Londres i Anvers i d'altres ciutats.

1950

Desembre, **Serguei Pavlovitx Koroliov**, fundador del Programa Espacial Soviètic, va rebre l'ordre per dissenyar un nou coet, que anomenà R-7, primer míssil balístic intercontinental de la història.

1955

La Unió Soviètica va construir el cosmòdrom de Baikonur.

Els Estats Units van iniciar el seu programa **Vanguard** per a la construcció d'un satèl·lit espacial; aleshores la Unió Soviètica ja tenia el seu satèl·lit força desenvolupat.

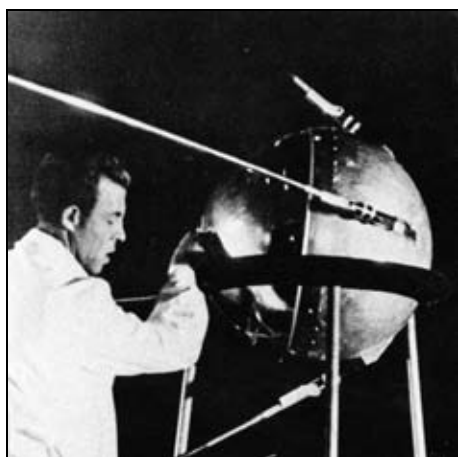


Figura 4: Sputnik 1, primer satèl·lit artificial que va orbitar la Terra.
(NASA/Cortesia de nasaimages.org).

Figure 4: Sputnik 1, the first artificial satellite that orbited the Earth.
(NASA/Courtesy of nasaimages.org).

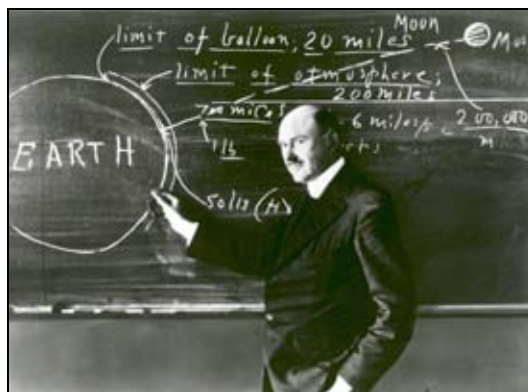


Figura 3: El Dr Robert Goddard a la Universitat de Clark.
(NASA/Cortesia de nasaimages.org).

Figure 3: Dr. Robert Goddard at Clark University.
(NASA/Courtesy of nasaimages.org).

1957

Entre l'1 de juliol de 1957 i el 31 de desembre de 1958 es va celebrar l'Any Geofísic Internacional, un dels objectius del qual era el llançament d'un satèl·lit espacial.

Inici de l'era espacial, 4 d'octubre, la Unió Soviètica llançà el satèl·lit artificial **Sputnik 1** (Comany) (Fig. 4), primer en orbitar la Terra. Era una esfera d'alumini amb quatre antenes que orbitava entre 230 i 950 km, pesava 83 kg, tenia un diàmetre de 56 cm i necessitava 96 minuts per fer una volta completa a la Terra. Durant tres setmanes, envià un senyal constant. Fins que es va desintegrar, el 4 de gener de 1958, va fer unes 1400 voltes a la Terra durant les quals va mesurar temperatura i densitat de la ionosfera. L'Sputnik va fer servir com a portador un coet R-7.

La Unió Soviètica va llançar l'**Sputnik 2**, el 3 de novembre, d'uns 500 kg de pes. El satèl·lit, portat per un coet R-7, es va enlairar amb el primer ésser viu, una gossa anomenada *Laika* (Pioner), que no va resistir el sobreescalfament del satèl·lit i va morir.

6 de desembre, fracàs nord-americà en el primer intent de llançar el satèl·lit Vanguard que va esclatar als 2 s d'enlairar-se.

Atès l'endarreriment respecte al programa Soviètic, els Estats Units van finançar un nou projecte militar, al capdavant del qual hi havia l'enginyer Wernher von Braun, que s'havia entregat a l'exèrcit americà després de la Segona Guerra Mundial.

1958

31 de gener de 1958, es llança a l'espai el primer satèl·lit nord-americà, **Explorer 1**, de només 1,47 kg. Aquesta missió va permetre descobrir els cinturons de radiació de Van Allen.

15 de maig, la Unió Soviètica llança l'**Sputnik 3**.

1 d'octubre, la NASA inicià la seva activitat, amb 8000 empleats.

26 de novembre, els Estats Units aprovà el projecte **Mercury** (Fig. 5), un dels objectius de qual era posar un astronauta en òrbita. Per impulsar aquestes naus feren servir els coets Redstone i Atlas.

1959

2 de gener, la Unió Soviètica envià la sonda **Lunik 1**, que va sobrevolar a 6000 km de la superfície lunar, el dia 4 de gener.

3 de març, els Estats Units també enviaren a la Lluna la seva sonda, **Pioneer 4**, el dia 4 de març, que sobrevolà a 60 000 km i pesava 6 kg.

El 9 d'abril, els Estats Units feren la primera selecció d'astronautes, del programa Mercury (Fig. 6): Carpenter, Cooper, Glenn, Grissom, Schirra, Shepard i Slayton.

El 14 de setembre la sonda **Lunik 2** s'estavellà intencionadament a la Lluna, després d'enviar les primeres fotografies de la Lluna, i el 4 d'octubre d'aquell mateix any, la **Lunik 3** va realitzar les primeres fotografies de la cara oculta de la Lluna.



Figura 5: Càpsula 2 del Projecte Mercury. (NASA/Cortesia de nasaimages.org).

Figure 5: Capsule 2 of Mercury Project. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).



Figura 6: Els astronautes del projecte Mercury: (davant, d'esquerra a dreta) Walter M. Schirra Jr., Donald K. Slayton, John H. Glenn Jr., M. Scott Carpenter, (darrere) Alan B. Shepard Jr., Virgil I. Grissom i L. Gordon Cooper, Jr. (NASA/Cortesia de nasaimages.org).

Figure 6: Project Mercury astronauts: (front, from left to right) Walter M. Schirra Jr., Donald K. Slayton, John H. Glenn Jr., M. Scott Carpenter; (back) Alan B. Shepard Jr., Virgil I. Grissom and L. Gordon Cooper, Jr. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

1960

Agost, la Unió Soviètica llançà una nau del nou projecte **Vostok** (Orient), versió més potent del coet R-7.

1961

31 de gener, els Estats Units llançaren la càpsula Mercury amb el ximpanzé *Ham* a bord. Arribà als 85 km.

En el mes de març de l'any 1961 la Unió Soviètica va fer el primer assaig general del projecte Vostok, la finalitat del qual era dur el primer home a l'espai.

El 12 d'abril de 1961 l'agència Soviètica aconseguia un altre triomf, des del cosmòdrom de Baikonur, llançava la càpsula **Vostok 1**, giny espacial esfèric, amb un diàmetre de 2,2 m, amb el primer home, **Iuri Alekseiévix Gagarin**, que va orbitar la Terra a una distància mitjana de 250 km. Va completar una volta a la Terra en una hora i mitja. Tant en el llançament com en el vol no va haver-hi complicacions, això no obstant, l'aterratge va ser força complicat i fins i tot un poc abans de l'aterratge el cosmonauta va haver de ser expulsat de la càpsula amb el seu seient projectable. Al capdavant del disseny de la càpsula Vostok hi havia l'enginyer i artífex del programa espacial soviètic **Serguei Pavlovitx Koroliov** (Fig. 7).



Figura 7: Serguei Koroliov, fundador del programa espacial soviètic. (NASA/Cortesia de nasaimages.org).

Figure 7: Sergey Korolev, founder of the Soviet space program. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

Amb uns quants dies d'endarreriment, el dia 5 de maig, els EUA enviaren a l'espai el seu primer astronauta, **Alan B. Sheppard**, que completà el primer vol suborbital amb la càpsula Freedom 7 de la missió **Mercury 3**.

El 25 de maig, John F. Kennedy proposà al Congrés dels Estats Units un programa espacial per arribar a la Lluna abans de 1970.

El 6 d'agost de 1961, la càpsula **Vostok 2** va orbitar la Terra 17 vegades, tripulada per **Gherman Stepanovich Titov**. El vol va durar més d'un dia durant el qual Titov va poder dormir en condicions d'ingravedesa.

Desembre, els EUA seleccionaren el **Saturn V** com a vehicle de llançament. El coet pesava 2800 tones i tenia una alçada de 111 m. Wernher von Braun va participar decisivament en el seu desenvolupament. Els Estats Units també anunciaren el nou programa **Gemini**.

1962

El 20 de febrer, **John H. Glenn** pilotant la càpsula Friendship 7 (Fig. 8) de la missió **Mercury 6**, primer nord-americà en realitzar un vol orbital.

Juny, els EUA decideixen que el mètode de la missió per arribar a la Lluna serà la trobada en òrbita lunar.

Agost, van seguir els experiments sobre les tècniques de vol en altres missions soviètiques com ara Vostok 3 (**Adrian Nicolaiev**) que va estar 4 dies a l'espai o Vostok 4 (**Pavel Popovich**). La Vostok 3 es va llançar l'onze d'agost mentre que la Vostok 4 ho va fer l'endemà i aconseguí posar-se en òrbita a només 6500 m de la primera. Eren les primeres proves per futurs acoblaments de satèl·lits a l'espai.



Figura 8: John Glenn entra en la seva càpsula Friendship 7. (NASA/Cortesia de nasaimages.org).

Figure 8: John Glenn enters his Friendship 7 capsule. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

1963

15 de maig, Mercury 9, darrer vol d'aquest programa.

Juny, dues missions de la Unió Soviètica; a la primera, la Vostok 5 (**Valeri Bykovski**), es van completar 81 òrbites a la Terra i durà més de quatre dies; la segona, la Vostok 6, amb la cosmonauta **Valentina Vladimirovna Tereixkova** que es va convertir en la primera dona que tripulava una nau espacial individual.

Agost, la NASA aprovà el programa Lunar Orbiter.

1964

Després de finalitzar el programa Vostok, Koroliov va iniciar el programa **Voskhod** (Alba). Al mateix temps els EUA donaven per finalitzat el programa Mercury i iniciaven el programa **Gemini**.

Dels nous programes, una vegada més els primers èxits foren per la URSS; amb el nou programa de la URSS, la tripulació augmentava fins a tres cosmonautes, així la **Voskhod 1** es va llançar el 12 d'octubre de 1964, amb **Vladimir V. Komarov**, **Konstantin Feoktistov** i **Boris Yegorov**. En aquesta missió, els tres cosmonautes varen estar 24 h a l'espai i realitzaren els primers experiments en ingravidesa. També es provaren nous combustibles i un coet de frenada per l'aterratge.

1965

La missió **Voskhod 2**, amb els tripulants **Pavel Belyaev** i **Aleksei Arkhipovitch Leonov**, es va llançar el 18 de març de 1965 i va significar un gran triomf per la Unió Soviètica; en aquesta missió el cosmonauta Leonov sortí fora de la càpsula (Fig. 9) durant 12 m, enganxat

amb un cable i es va convertir en la primera persona en realitzar un passeig espacial fora de la seva nau. Això no obstant, va haver-hi problemes quan el vestit espacial de Leonov es va inflar fins a crear-li grans dificultats per poder tornar entrar dins la nau.

Els EUA igualaren ràpidament el darrer èxit de la URSS, el 3 de juny de 1965 **Edward White** també va fer un passeig espacial de 36 m amb la missió Gemini 4.

Agost, Gemini 5, els astronautes varen estar a l'espai fins a 8 dies.

Desembre, les càpsules Gemini 6 i 7 es trobaren a l'espai.

1966

A l'any 1966 el programa de la URSS havia quedat endarrerit respecte al programa dels EUA perquè les càpsules Voskhod no eren adients per vols tripulats a la Lluna. La Unió Soviètica va haver d'abandonar el projecte Voskhod, a pesar dels èxits, i crear un nou projecte, **Sojuz** (Unió), en què es van desenvolupar nous coets i també noves càpsules amb les quals es podia orbitar la Terra i fer maniobres d'acoblament.



Figura 9: Aleksei Leonov, el primer ésser humà en l'espai. Aquestes tres imatges fixes són de la càmera de cinema de l'exterior de la Voskhod 2. (NASA/Cortesia de nasaimages.org).

Figure 9: Aleksey Leonov, the first human in space. These are three stills from the film camera outside the Voskhod 2. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

Mentre la URSS es trobava de ple en el desenvolupament del nou programa Sojuz va succeir un contratemps inesperat, la mort (14 de gener) del cap del programa espacial soviètic, **Serguei Pavlovitx Koroliov**.

16 de març, primer acoblament entre **Gemini 8**, tripulada per **Neil Armstrong**, i la nau no tripulada Agena.

La primera sonda nord-americana que allunà va ser la **Surveyor 1**, el 2 de juny, però novament l'èxit va ser pels soviètics que ja havien aconseguit allunà 4 mesos abans, 31 de gener, amb la sonda **Luna 9**. A més, el 31 de març la Unió Soviètica aconseguí un altre èxit amb la sonda còsmica **Luna 10**, primera en orbitar la Lluna.

1967

27 de gener, accident de l'**Apol·lo I**, en què moriren els tres astronautes: **Virgil Grissom**, **Ed White** i **Roger Chaffee**.

El 24 d'abril la URSS va patir el primer accident espacial, durant l'aterratge el paracaigudes de frenada no es va obrir completament i la càpsula **Sojuz 1** va caure des d'una alçada considerable, la qual cosa provocà la mort del cosmonauta **Vladimir Komarov**.

Novembre, Apol·lo IV, missió no tripulada i primera vegada que es fa servir el **Saturn V** (Fig. 10), el coet més potent fins el moment que era capaç de llançar fins a 50 tones de pes.

1968

Abril, amb l'Apol·lo VI, finalitzà el programa Apol·lo no tripulat.

La URSS va llançar el vehicle no tripulat Zond 5, el mes de setembre, que viatjà fins a la Lluna.

Però en aquests moments el gran problema de la URSS era el seu coet llançador, **N-1**, que contínuament tenia errors, la qual cosa endarreria el programa i no podia competir amb el coet llançador dels EUA, Saturn V, que pràcticament no tenia errors.

Octubre, amb la missió Apol·lo VII s'iniciaren les missions tripulades. Provarien en òrbita terrestre tots els elements de la nau.

El 21 de desembre de 1968, els EUA llançaven la missió **Apol·lo VIII**. La càpsula impulsada pel Saturn V va arribar a l'òrbita de la Lluna i la va orbitar sense cap problema finalitzant la missió amb èxit total.

Mentre s'intuïa la victòria dels EUA en la Carrera Espacial, el 26 d'octubre de 1968 la Unió Soviètica llançà una altra càpsula tripulada, la Sojuz 3, tripulada per **Georgi Beregovoy**, que es va acoblar amb la Sojuz 2, llançada sense tripulació.

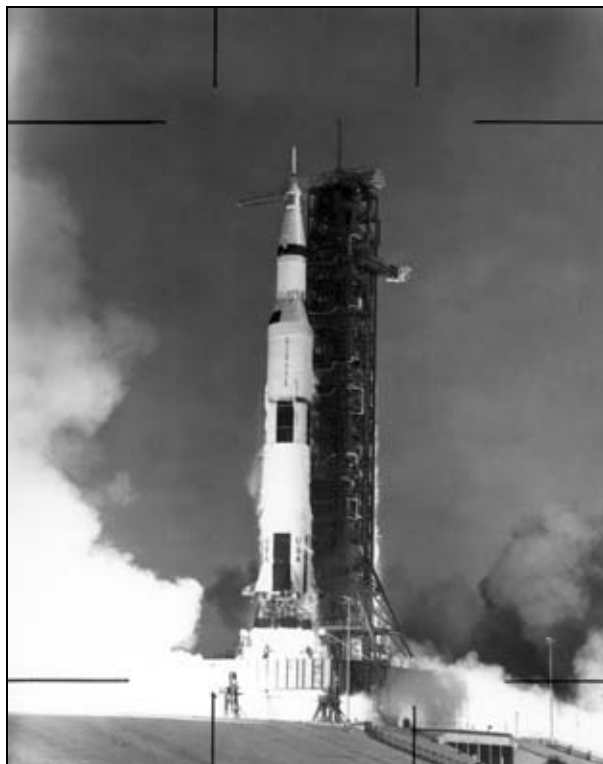


Figura 10: El vehicle de llançament, Saturn V. (NASA/Cortesia de nasaimages.org).

Figure 10: The launch vehicle, Saturn V. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

1969

Sojuz 4 i Sojuz 5, llançades el 14 i 15 de gener de 1969, es van acoblar novament a l'espai. La Sojuz 4 era tripulada per Vladimir A. Shatalov i la Sojuz 5 per Boris Volynov, Aleksey Yeliseyev i Yevgeni Khrunov.

En el mes de febrer, la Unió Soviètica havia de provar el seu coet N-1, l'equivalent al Saturn V nord-americà. Una sèrie de fracassos evidenciaren que els soviètics no havien aconseguit a temps el coet necessari per arribar a la Lluna.

Març, missió **Apol·lo IX**, primer acoblament entre el Mòdul de Comandament i el Mòdul Lunar.

Maig, missió **Apol·lo X**, en què acabaren de provar-ho tot i deixaren el camí lliure perquè la missió **Apol·lo XI** fes el pas definitiu per arribar a la Lluna.

La Unió Soviètica ja intuïa la victòria dels Estats Units i el 13 de juliol va fer un intent desesperat, va llançar la nau no tripulada Luna 15 amb l'objectiu de recollir roques de la Lluna abans que l'Apol·lo XI hi arribés en un darrer intent d'apaivagar l'èxit nord-americà. Però la nau es va estavellar.



Figura 11: Retrat de la tripulació de l'Apol·lo XI, de l'esquerra a la dreta, Comandant, Neil A. Armstrong, Pilot del Mòdul de Comandament, Michael Collins, i Pilot del Mòdul Lunar, Edwin E. Aldrin Jr. (NASA/Cortesia de nasaimages.org).

Figure 11: Portrait of the crew of the Apollo XI, from left to right, Commander, Neil A. Armstrong, Command Module Pilot, Michael Collins, and Lunar Module Pilot, Edwin E. Aldrin Jr. (NASA/Courtesy of nasaimages.org).

El 20 de juliol, la missió Apol·lo XI (Fig. 11) arribà a la Lluna. Els astronautes **Neil A. Armstrong** i **Edwin E. Aldrin**, amb el Mòdul Lunar, allunaren al *Mare Tranquillitatis*. En òrbita continuà el tercer astronauta de la missió, **Michael Collins**.

Antelm Ginard, Guillem X. Pons i Damià Vicens
Societat d'Història Natural de les Balears

Imatges de les Jornades

Autor de les fotografies: Vicenç Pla



Inauguració de les Jornades. D'esquerra a dreta: Salvador Sánchez, OAM, Jordi Lalucat, Vicerector d'Investigació de la UIB i Guillem X. Pons, SHNB.



José Maria Madiedo



Josep Batlló



Victòria Rosselló



Lluc Mas



Aula de Graus, Facultat de Filosofia i Lletres, UIB



Patricio Domínguez

Cartell de les
Jornades





Joan Serra

Miquel Serra-Ricart



José María Sánchez



Recepció dels assistents: Antoni Salvà (esquerra) i Damià Vicens (dreta)



Jaume Nomen (esquerra) i Salvador Sánchez (dreta)



Joan Roselló



Gaspar Juan

Alguns membres de l'organització i alguns del ponents. D'esquerra a dreta: Antelm Ginard, José María Madiedo, Patricio Domínguez, Damià Vicens, José María Sánchez, Joan Serra, Victòria Rosselló, Gaspar Juan, Josep Batlló, Lluc Mas, Jaume Nomen i Salvador Sánchez. No figuren a la fotografia: Guillem Xavier Pons, Joan Roselló i Miquel Serra-Ricart.



Programa de les Jornades

Dijous, 1 d'octubre de 2009
Aula de Graus de l'edifici Ramon
Llull, Universitat de les Illes Balears

Sessió de matí

- 09.30 h **Recepció dels assistents i lliurament del material**
- 10.00 h **Inauguració de les jornades**
 Dr. Jordi Lalucat
Vicerrector d'Investigació de la Universitat de les Illes Balears
 Dr. Guillem X. Pons
Societat d'Història Natural de les Balears
 Dr. Salvador Sánchez
Observatori Astronòmic de Mallorca
- 10.30 h **Observacions a l'antiguitat**
 Dr. Josep Batlló Ortiz
Instituto Dom Luiz - Centro de Geofísica da Universidade de Lisboa
- 11.30 h *Descans*
- 12.00 h **L'impacte del telescopi en la història de les observacions astronòmiques**
 Dra. Victòria Rosselló Botey
Dra. en Ciències Físiques, meteoròloga de Canal 9
- 13.00 h **Del rellotge de sol a la Lluna. Història dels rellotges de sol**
 Sr. Joan Serra Busquets
Comissió de Rellotges de sol d'ARCA
- 14.00 h *Descans*

Sessió d'horabaixa

- 16.30 h **Geologia de la Lluna**
 Dr. Patricio Domínguez Alonso
Universidad Complutense de Madrid
- 17.30 h **Geografia de la Lluna. Moviments de la Lluna**
 Sr. Gaspar Juan Salom
Seminari Permanent d'Astronomia, Astronàutica i Satèl·lits
- 18.30 h *Descans*
- 19.00 h **Impactos sobre la Lluna**
 Dr. José María Madiedo Gil
Universidad de Huelva

Divendres, 2 d'octubre de 2009
Observatori Astronòmic de Mallorca

Sessió de matí

- 10.30 h **Impactes. Visita a l'exposició de meteorits de l'OAM**
 Dr. Salvador Sánchez Martínez
Observatori Astronòmic de Mallorca
- 11.30 h *Descans*
- 12.00 h **La Lluna: Mitologia y ciencia**
 Sr. José María Sánchez Martínez
Àrea de Astronomia del Museo de las Ciencias de Castilla-La Mancha
- 13.00 h **La Lluna en la cultura popular. Una altra manera de fer ciència**
 Sr. Lluc Mas Pocovi
Observatori Astronòmic de Mallorca
- 14.00 h *Dinar*

Sessió d'horabaixa

- 16.30 h **Impactes en el Sistema Solar**
 Dr. Jaime Nomen Torres
Observatori Astronòmic de Mallorca
- 17.30 h **Vuelos Tripulados a la Lluna**
 Sr. Joan Rosselló Corró
Enginyer Superior Aeronàutic
- 18.30 h *Descans*
- 19.00 h **Grandes Espectáculos Celestes**
 Dr. Miquel Serra-Ricart
Instituto de Astrofísica de Canarias
- 20.00 h **Cloenda de les jornades**
 Sr. Antoni M. Grau
Societat d'Història Natural de les Balears
 Dr. Salvador Sánchez
Observatori Astronòmic de Mallorca
 Sr. Damià Vicens
Universitat de les Illes Balears
- 20.30 h **Sessió d'observació de la Lluna**
Observatori Astronòmic de Mallorca