

ASTRONOMIA

LA MISSIÓ DE LA NAU CASSINI-HUYGENS

Antoni Petit i Deulofeu

RESUM

La nau Cassini-Huygens va partir de Cap Canyaveral el 15 d'Octubre de 1997. Després d'haver sobrevolat Venus i també la Terra; i aprofitant el que s'anomena efecte "d'ariet", desenvolupat per la força gravitatòria del Sol, fou accelerada en direcció dels llunyans planetes exteriors gegants.

El 31 del Desembre del 2000 creua per sobre Júpiter, celebrant la "jornada del mil·lenni" i el 1 de Juliol del 2004 la nau es va satel·litzar al voltant de Saturn, en aquesta òrbita estarà fins el 2008 i si tot va bé es probable que es prolongui l'estada fins el 2011.

Els primers resultats d'aquesta missió són de gran qualitat i segur que revolucionaran el nostre coneixement dels grans planetes amb anells i satèl·lits. La sonda Huygens es va submergir en l'atmosfera de Tità a mitjans de Gener del 2005, obtenint dades de llur composició atmosfèrica i imatges de llur superfície.

KEY WORDS: Saturn

1. Introducció

Dades de la Nau Cassini

Massa : 5,6 tones, en la qual el pes de la sonda Huygens es de 320 k.

Nombre d'instruments : 12 per l'orbitador Cassini i 8 per la càpsula Huygens.

Estacions receptores terrestres 3: Goldstone (Califòrnia), Camberra (Austràlia) i Vilafranca (Espanya).

Característiques del planeta Saturn

Distància mitja al centre del Sol: $1,43 \cdot 10^9$ km

Excentricitat: 0,054

Radi equatorial: 60 260 km

Inclinació axial: 26,7°

Massa: $5,69 \cdot 10^{26}$ kg

Albedo (llum reflexada): 0,47

Densitat mitja: 0,69 \square 0,02

Període de rotació equatorial: 10^h 14^m

Període orbital sideral: 29 anys 167 dies
Velocitat orbital mitja: 9,67 km/seg

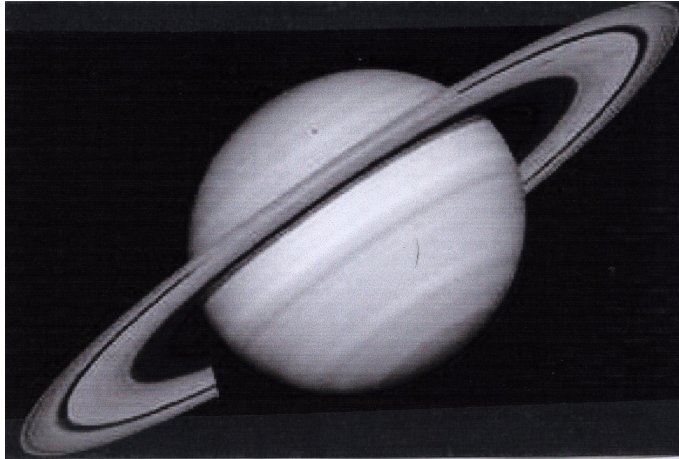


Figura 1. Saturn

2. Interior de Saturn

L'estat intern dels planetes grans, en primer lloc Jupiter i Saturn, està compost de gas atmosfèric o líquid.

Característiques atmosfèriques

Pressió mitja : 140 kPa
Hidrogen > 95%
Heli > 3%
Metà 0,2%
Traces de vapor d'aigua, amoníac, età, ...

Els 30.000 km exteriors del planeta estan formats per una extensa atmosfera d'hidrogen i heli molt bromosa. De fet Saturn no posseeix pas una veritable superfície sòlida, si trobéssim un mar prou gran flotaria en ell. Quan més es penetra dins la seva atmosfera, més la pressió i la temperatura augmenten fins a esdevenir fenomenals. Els científics han calculat temperatures de l'ordre de 24 000 °K en el seu nucli, i en aquest punt on l'hidrogen es troba tan comprimit es transforma en un plasma conductor i d'aquí ve el qualificatiu de "metàlic". (Segons el principi "d'exclusió" de la mecànica quàntica, els electrons lligats amb els protons en un conjunt comprimit de molècules d'hidrogen poden ocupar un mateix volum reduït, únicament saltant a nivells energètics més alts.) I aquest és el cas, amb un cert grau de compressió, els àtoms ja no queden lligats amb els protons individuals, sinó que romanen lliures en l'interior d'una mescla elèctricament neutra d'electrons i

protons. Els científics han demostrat que la transició de l'hidrogen molecular a l'hidrogen metàl·lic es produeix a la pressió crítica de 3 milions de kg/cm^2 (atmosferes terrestres).

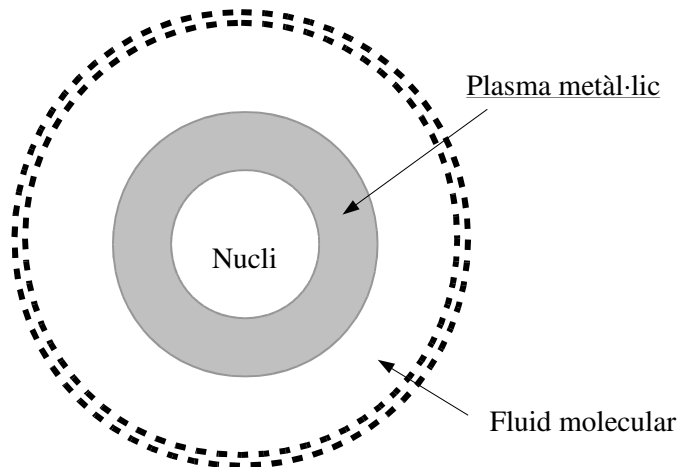


Figura 2. Estructura interna de Saturn

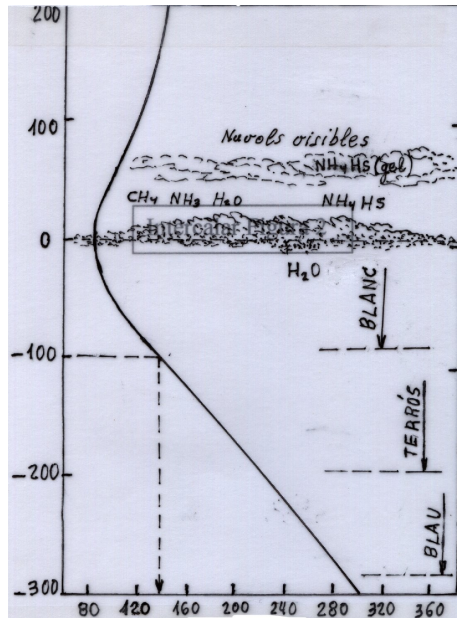
El nucli està format per roca barrejada amb gel d'aigua (20% del diàmetre). Poc més gran que el de la Terra, però molt més massiu degut a l'alta pressió. L'estructura intermèdia (entre un 47% i el 20% del diàmetre) és un plasma de caràcter metàl·lic. La part més externa és una mescla molecular de hidrogen i heli. A nivells exteriors la mescla es converteix en un gas molecular, la seva bromosa atmosfera¹.

L'escalfament intern del planeta és una altre incògnita, ja que Saturn emet dues vegades més energia que la que rep del Sol. El procés energètic que es propaga al convertir-se el fluid molecular en metàl·lic, quan l'heli cau en forma de gotes sobre l'hidrogen molecular, allibera un excedent d'energia : El nucli de Saturn és doncs permanentment bombardejat per una pluja d'heli.

El color general del planeta és groguenc i això es deu a que la composició de l'atmosfera inclou quelcom de sulfur d'hidrogen. Saturn no ha canviat molt des llur evolució inicial en el sistema solar, de fet es possible que encara estigui evolucionant.

¹ Al 1850, l'astrònom Edouard Roche va estudiar l'efecte de la Gravetat del planeta sobre els seus satèl·lits, llurs càlculs van demostrar que qualsevol matèria situada a menys de 2,44 vegades el radi del planeta, no es podia aglutinar per formar un cos, i si era un cos, es desintegraria.]

3. L'atmosfera de Saturn



La superfície de Saturn està solcada per bandes fosques i zones més clares paral·leles a l'equador. Els 30 000 km. exteriors del planeta estan formats per una extensa atmosfera d'hidrogen i heli. Els núvols superiors estan probablement formats per vapors condensats, que baix condicions d'un equilibri químic, es formen cristalls de gel d'aigua, d'amoniac i de hidrosulfur amònic (NH_4HS). Sobre aquestes bandes s'estén una boira uniforme en tot el planeta, produïda per fenòmens de caràcter fotoquímic, en la tènue atmosfera superior (pressió al voltant de 0,01 bars).

Figura 3: Relació entre la temperatura ($^{\circ}\text{K}$) en abscisses i l'altitud (km) en ordenades

La indicació de llur temperatura es manifesta lligada amb l'altura a través del color dels núvols (veure Fig. 3). Es distingeixen les més baixes i calentes amb la seva tonalitat blava, a nivell mig se situen els núvols amb una coloració vermellosa o terrosa, en tant els que són més freds i alts són de color blanquinós.

En el Juliol de 1990 es va detectar una gran tempesta en la zona equatorial, que es va iniciar a partir d'una gran taca blanca i que va durar uns quants mesos. S'han observat taques semblants en plaques fotogràfiques de l'últim segle, preses en intervals de 30 anys. En 1994 es va observar una segona gran tempesta però de menor intensitat que l'anterior.

L'atmosfera superior desenvolupa fenòmens d'aurores en les regions polars, per interacció del camp magnètic planetari amb el vent solar.

El que a cridat una mica l'atenció és la circulació d'aquests ovals blancs en latituds mitjanes (35°) associats directament a regions molt turbulentes amb processos ondulatoris. Els mateixos també poden tenir naturalesa anticiclònica i llurs dimensions s'han mesurat, per exemple, a 7000×5000 km. i llur velocitat de moviments per la perifèria era de més de 100 m/seg. Amb aquests elements es

plateja un interessant fenomen en les regions on tenen lloc un ràpid ascens de gasos des de la profunditat en virtut de la convecció. Es tracta de vòrtexs nebulosos de color blanc intens que sorgeixen periòdicament en les latituds equatorials i mitges del planeta; i que se'ls anomena amb el nom de “plomatges”. Els tals núvols tenen unes dimensions de milers de km.

4. Les llunes de Saturn

Els satèl·lits coneguts fins el 2004 són 34, però el nombre exacte és incert, per existir una gran quantitat d'objectes que continuadament són capturats per l'influència del seu camp gravitatori.

Nom	Dimensions o diàmetre (km)	Distància intermèdia des del centre de Saturn (km)
Pan	Ø 20	133.600
Atlas	37 x 24 x 27	137.700
Prometeu	148 x 100 x 68	139.400
Pandora	110 x 88 x 62	141.700
Epimeteu	138 x 110 x 110	151.400
Janus	194 x 190 x 154	151.500
Mimas	418 x 392 x 382	185.600
Enceladus	512 x 494 x 490	238.100
Anell E	Ample de l'anell	(294.700)
Telesto	30 x 25 x 15	294.800
Tetis	1072 x 1056 x 1052	301.300
Dione	Ø 1120	377.400
Helena	36 x 32 x 30	377.400
Rea	Ø 1528	527.100
Tità	Ø 5 150	1.221.900
Hiparió	370 x 280 x 226	1.464.100
Japetus	Ø 1436	3.560.800
Kiviuq	Ø 14	11.365.000
Ljiraq	Ø 10	11.442.000
Febe	230 x 220 x 210	12.944.300
Paaliaq	Ø 19	15.198.000
Skathi	Ø 6,4	15.641.000

Nom	Dimensions o diàmetre (km)	Distància intermèdia des del centre de Saturn (km)
Albiorix	Ø 26	16.394.000
Erriap	Ø 8,6	17.604.000
Siamaq	Ø 32	18.195.000
Tarvos	Ø 13	18.239.000
S/2003 S1	Ø 6,6	18.719.000
Mundilfar	Ø 5,6	18.722.000
Suttung	Ø 5,6	19.465.000
Trym	Ø 5,6	20.219.000
Ymir	Ø 16	23 130 000

5. Dades dels vehicles Voyager-1 i 2

En la fotografia l'aspecte de Saturn presenta unes bandes estriades i zones turbulents convectives, amb vents que poden atendre 1800 km/hora en l'equador. La ràpida rotació diferencial ha aplanat en els pols l'estructura esfèrica fluïda, aplanant llur estructura del planeta en un 10%.

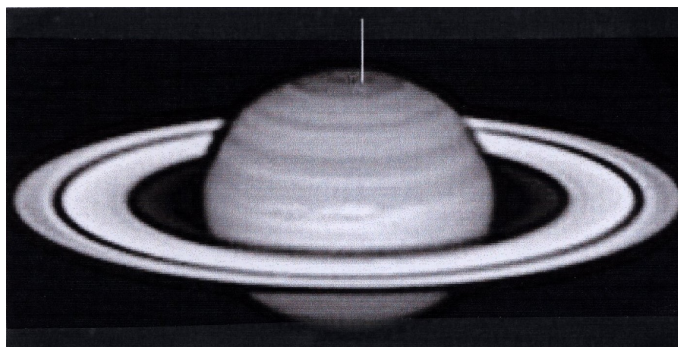


Figura 4. Esferoide del planeta Saturn

Les recents mediacions dels vehicles espacials suggereixen que les coloracions dels núvols del planeta a qualsevol latitud poden variar de color, però els vents continuaran essent persistents. Com es pot veure en el gràfic en l'equador s'han assolit velocitats del vent de l'ordre de 470 m/seg. Amb aquestes velocitats se supera quatre vegades les velocitats detectades en l'equador de Júpiter; aquí cal recordar que les velocitats de rotació diürna del planeta són aproximadament iguals tan en Júpiter com en Saturn (uns 10 Km/seg. a nivell dels núvols). En aquest fenomen encara no s'ha trobat l'explicació.

La banda fosca a través de l'equador de Saturn és la ombra del sistema d'anells del

planeta sobre llur superfície.

6. El camp magnètic de Saturn

Aquest camp es originat per l'efecte de dinamo fluïda, conseqüència de llur gran velocitat de rotació. El camp magnètic de Saturn atrapa partícules carregades en cinturons de Van Allen. Curiosament aquest camp és més intens en el pol Nord que en el pol Sud i coincideix quasi exactament amb llur eix de rotació. La magnetosfera de Saturn és una gran regió que rodeja el planeta, on partícules carregades (protons i electrons) són atrapades pel camp. Cinturons de radiació envolten les òrbites de Tità i dels satèl·lits més grans. Les fonts d'aquestes partícules carregades són l'atmosfera de Tità i la superfície dels satèl·lits gelats com Enceladus i també els anells. Entre Rea i Tità existeix un núvol d'hidrogen que probablement prové de l'atmosfera de Tità. La magnetosfera interactua amb la ionosfera (la part superior de l'atmosfera del planeta), causen emissions aurorals de radiació ultraviolada.

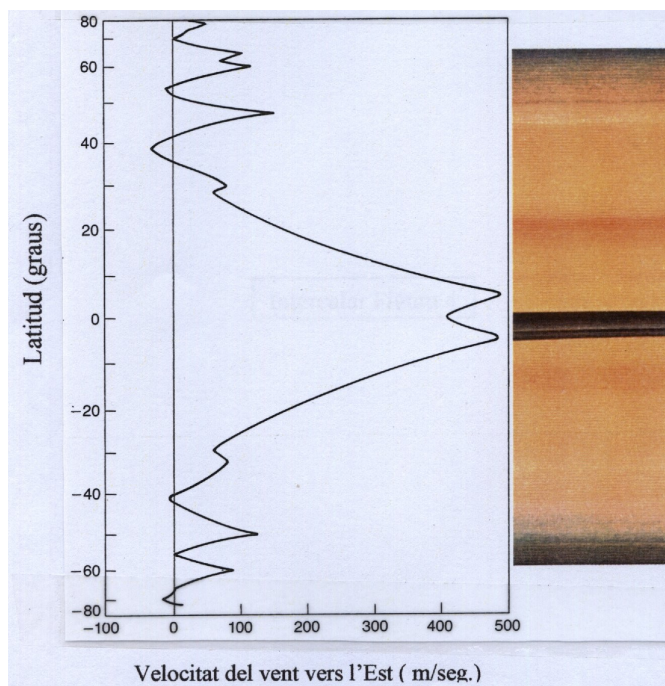


Figura 5. Gràfic de la velocitat dels vents

Rodejant la òrbita de Tità i que s'estén fins la òrbita de Rea, es troba un enorme núvol toroidal d'àtoms d'hidrogen neutre. Un disc de plasma, compost d'hidrogen i possiblement amb ions d'oxigen, que s'estén des de fora de l'òrbita de Tetis fins la

de Tità. El plasma gira sincrònicament amb el camp magnètic de Saturn.

7. Els anells de Saturn

Els anells s'estenen dins el pla equatorial del planeta i estan compostats per partícules materials arropades amb abundant aigua gelada. La grandària de les partícules pot variar entre la mida d'un gra de sucre fins a roques d'uns pocs metres de grandària. L'elevat albedo dels anells mostra que aquests són relativament moderns en l'història del sistema solar. Se sap que els anells de Saturn són inestables en tot el llarg períodes de temps de desenes de milions d'anys, un altre indicatiu del seu origen recent.

Front de xoc

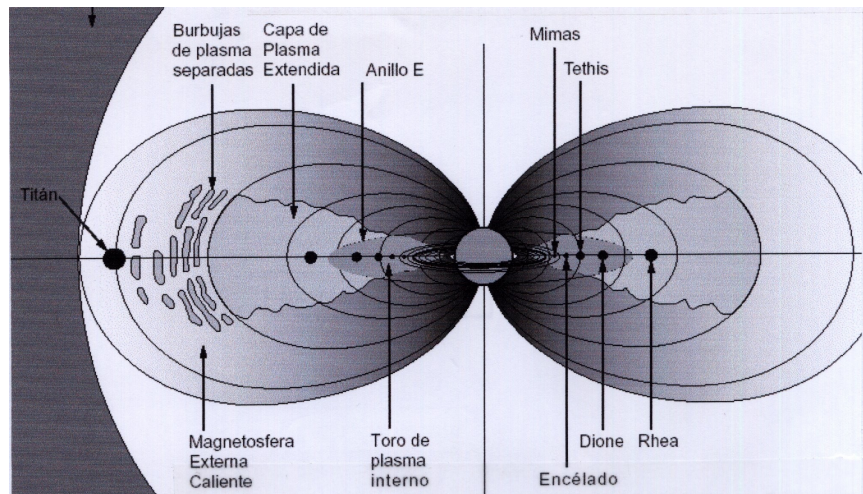


Figura 6. El camp magnètic de Saturn, de l'ordre de $50W/m^2$, és 1000 vegades més potent que el de la Terra i llur magnetosfera arriba fins l'òrbita de Tità.

Els anells principals de Saturn són els A, B i C, el seu espessor òptic és de l'ordre de $T_{\gamma} = 4$, (a penes un 2% de la llum pot travessar-los). Els anells tendeixen a expandir-se radialment, però aquesta expansió requereix el seu temps, així els podem considerar com un fluid viscos que es difon lentament. Els anells exteriors G i E són molt tènues amb espessors òptics de $(10^{-8} \text{ a } 10^{-6})$. Podríem dir que aquests anells tenen una estructura semblant al fum, ja que llurs partícules són com una pols fina. A nivell del satèl·lit Rea l'espessor mig és d'uns 30 000 km.

La dinàmica orbital d'aquests anells es molt complexa, presenten ones de densitat i interaccions amb els satèl·lits de Saturn (especialment amb els denominats

“satèl·lits pastors”). El més pròxim a Saturn, l’anell D està format per nombrosos filaments circulars d’un gruix d’uns 70 metres. Aquest anell és tan proper al planeta i al ser bastant transparent, pràcticament resulta invisible per la Terra.

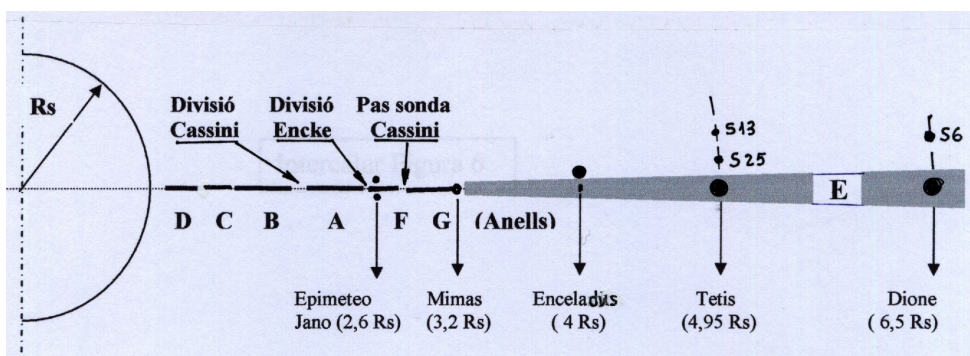


Figura 7. Estructura que mostra els principals satèl·lits i el pla dels anells de Saturn, aproximadament a una escala donada. La divisió Cassini s'estén fins a uns 120.500 km del centre; i la divisió Encke s'estén des 133.410 km fins 133.740 km a partir del centre del planeta. El radi de Saturn: $R_s = 60\,260$ km. No estan en el gràfic els següents satèl·lits: Pan (2,22 R_s), Atlas (2,28 R_s), Prometeu (2,31 R_s), Pandora (2,35 R_s), Tità (20,3 R_s), Hiperion (24,6 R_s), Japeto (59,1 R_s) i Febe (214,9 R_s).

Nom d'anell	Distància al centre	Amplada	Gruix	Massa
D	68.000 km	8.500 Km		
C	74.500 km	17.500 km		$1,1 \cdot 10^{21}$ kg.
B	92.000 km	25.500 km	100 metres	$2,8 \cdot 10^{22}$ kg.
Divisió Cassini	120.500 km	4.700 km		$5,7 \cdot 10^{17}$ kg.
A	122.200 km	14.600 km	100 metres	$6,2 \cdot 10^{21}$ kg.
F	140.210 km	30 a 500 km		
G	165.800 km	8.000 km	100 a 1.000 Km	$1 \cdot 10^{17}$ kg.
E	180.000 km	300.000 Km	1.000 a 30.000 Km	$7 \cdot 10^8$ kg.

A continuació ve l’anell C, que és un poc més lluminós, està format per bandes quelcom transparents d’un centenar de metres de gruix, sembla ser que les seves partícules són més consistents.

Més enllà ve l’anell B, el de més consistència, amb un augment de la lluminositat i amb una seqüència irregular de bandes clares i fosques alternades i d’amplada variable, en elles es revela l’existència de grans quantitats de pols còsmica

microscòpica. En aquest anell es presenta el fenomen dels “spokes” (estructures transitòries difuses disposades en sentit radial i que giren amb l’anell). Es creu que són núvols de pols generats per càrregues electrostàtiques baix l’influència del potent camp magnètic de Saturn. Aquest anell acaba bruscament en la divisió de Cassini.

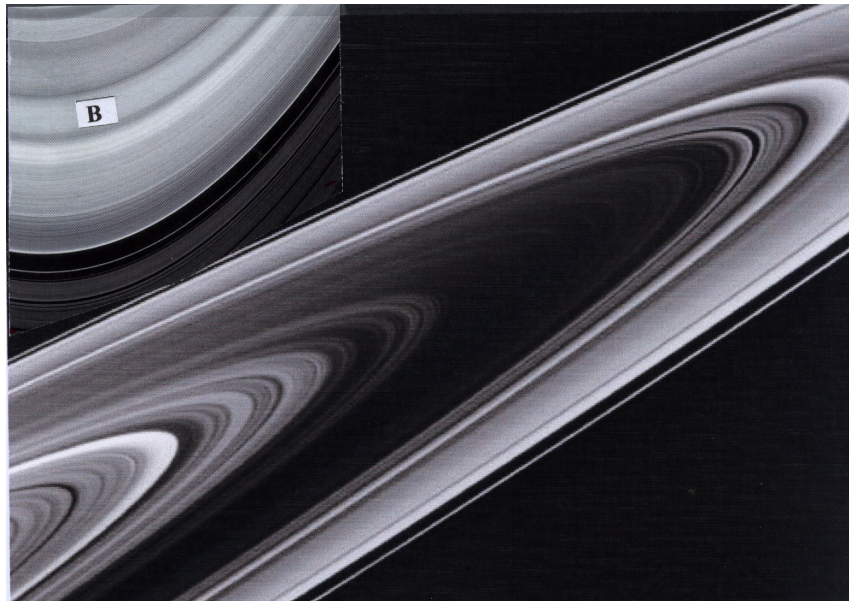
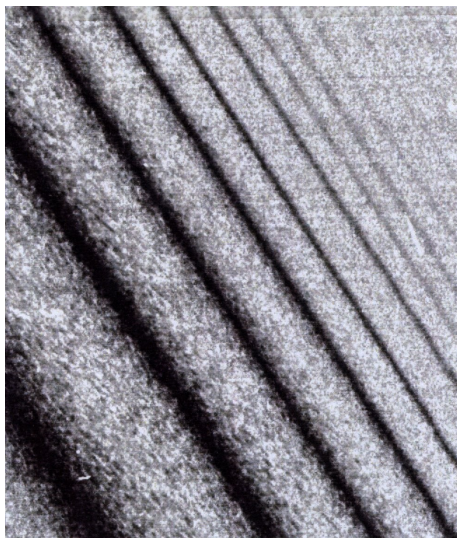


Figura 8. En aquesta foto presentem en alta resolució l’anell B. El Sol brillant a través del disc adquireix l’aparença d’una fotografia negativa, on el dens anell B bloqueja una gran part de la llum incident, mentre que les regions menys denses dispersen i transmeten la llum. En el requadre es mostra la divisió de Cassini i l’anell B en el seu vertader color.

L’anell A comença d’una manera brusca a partir de la divisió de Cassini, llur lluminositat tendeix a decreïxer cap l’exterior. Al final d’aquest anell es troba la divisió Encke, d’uns 200 Km d’amplada i que de fet no està buida del tot ja que conté fins anells d’estructura ondulada. El cantell extern de l’anell A coincideix amb una ressonància orbital amb els satèl·lits Jano, Epimeteu i el satèl·lit pastor Atlas. (Veure Fig. 7). L’anell F resulta bastant complex, en el seu interior es veuen flocs d’anells individuals, desviacions en la òrbita el·líptica i engruïments que poden ser acumulacions locals de matèria.

Tots els anells i cossos compresos dins F, com que també estan dins el límit de Roche, poden aparèixer amb efectes pertorbadors en llurs òrbites internes. A més

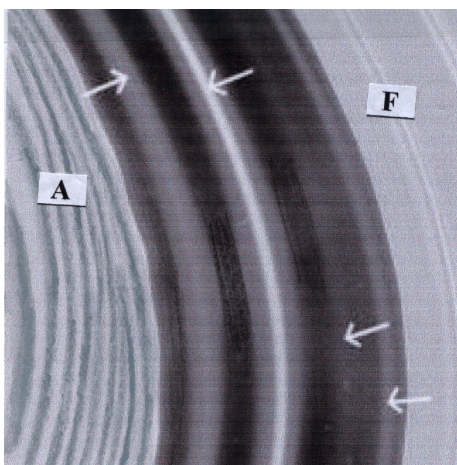
disposa de petits satèl·lits involucrats en el seu si, anomenats “pastors” que estan lligats amb la trajectòria dels seus anells, tals com els S26 i S27, els quals per influència gravitacional intercanvien llurs òrbites. Es lògic suposar que aquest anell està contínuament abastat amb materials procedents de minillunes amagades en el seu interior i les quals són pertorbades en llur moviment orbital d’una forma periòdica pels altres satèl·lits pastors. L’estranya morfologia d’aquest anell F és un enigma més per solucionar.



Els anells G i E són de baixa lluminositat i el seu gruix augmenta amb la distància però el seu material està molt més enrari que el de l’anell A. L’anell E només es visible des la Terra, quan el pla dels anells es mostra de cantell; formant una extensa banda difusa d’uns quants milers de km d’amplada. El fet que la màxima densitat d’aquest anell es trobi pròxim a la òrbita del satèl·lit Enceladus, sembla suggerir que aquest satèl·lit és la font del material d’aquest anell.

Figura 9. Visió de les bandes toroidals dels anells A (diàmetres d’uns 100 m.), formades per partícules entre 1 i 5 cm.

Enceladus presenta una superfície gelada amb signes evidents d’una intensa activitat geològica en un temps relativament recent; probablement la seva escorça no és molt gruixuda i al cobrir un estrat líquat, per efecte d’impactes i vulcanisme, pot escampar cap l’exterior un tènue núvol de cristalls de gel, ja que llur òrbita excèntrica creua i traspasa el disc anellat.



Aquest satèl·lit reflecta més del 90% de la llum que rep, de fet és el cos més brillant del sistema solar; i això implica que llur superfície està formada per gel d’aigua puríssima.

Figura 10. Divisió de Encke. En llur interior es distingeixen uns quants anellets separats, però amb una densitat de partícules molt baixa.

En la fotografia s'aprecien estructures de deformació amb fractures de 200 km de llarg, 5 a 10 km d'amplada i 1 km de profunditat. L'altre cara del satèl·lit està plena de cadenes de cràters, clots i doms amb volcans o guèisers (criovulcanisme), semblants als detectats en el satèl·lit Tritó de Neptú. Els científics atribueixen a aquest vulcanisme explosiu, l'enriquiment per injecció de partícules en l'anell E.

A partir de la Fig. 13 i sobre els anells principals A, B i C; cal afegir que tenen una estructura interior bastant complexa, degut a que tots ells estan afectats pel que es denomina el límit de Roche, el qual arriba fins el nivell de l'anell F.

Cadascun d'aquests anells principals consta de desenes estrets anells formats per partícules que es mouen lligades amb llurs respectives òrbites. I algunes de les quals experimenta problemes de ressonància que les diferencia de l'òrbita circular, per acció dels satèl·lits (Pan, Atlas, Prometeu, Pandora, Jano i Epimeteu), que cohabituen i graviten a la vora o dins d'aquesta zona inestable. També existeix una acció periòdica de les pertorbacions de marea creades per la dinàmica interna del propi Saturn, que provoca ones de densitat que es propaguen radialment en espiral.

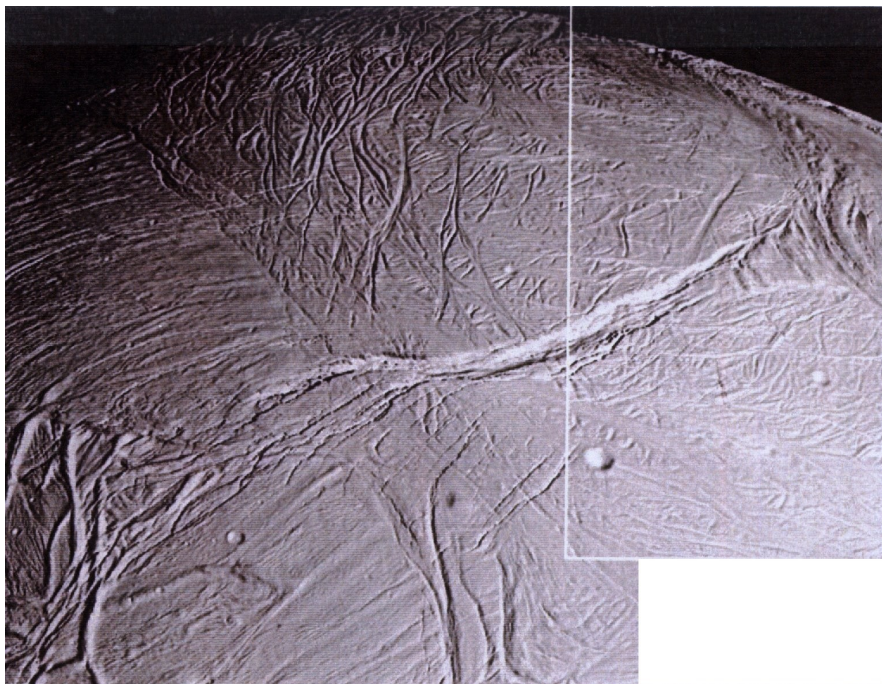


Figura 11. En aquesta vista Enceladus mostra una part de llur atormentada superfície (uns 300

km). Les recents dades obtingudes per la Nau Cassini suggereixen una activitat tectònica dominant. Aquest satèl·lit reflecteix més del 90% de la llum que rep, de fet és el cos més brillant del sistema solar; i això implica que la seva superfície està formada per gel d'aigua puríssima.

O sigui, que no és possible fins a l'anell F la formació de cap nou satèl·lit per petit que sigui, baix l'efecte de quedar polvoritzat per les forces de marea; més enllà la formació és possible, tals com : Mimas, Enceladus, Tetis, Dione, ... (Si poguéssim adjuntar tot el material dels anells principals, obtindríem un satèl·lit no superior a la grandària de Mimas).

Els anells tenen diferents velocitats de gir al voltant del planeta, per exemple el marge interior de l'anell B gira a una velocitat de 20 km/seg. L'anell F que ve a continuació de la divisió Encke està separat de l'anell A per un interval de 5.000 km.

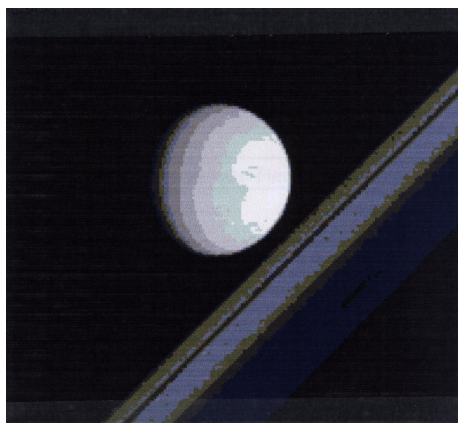


Figura 12. La Nau Cassini va retratar en aquesta vista el satèl·lit Enceladus de superfície clara i neta, que contrasta amb la dels anells bastant més fosca.

8. L'aterratge del mòdul Huygens a Tità

Després de 7 anys de viatge la Nau espacial Cassini s'ha situat en òrbita sobre Tità, el més gran satèl·lit de Saturn i un dels més grans del nostre sistema planetari.

Tità té un diàmetre de 5150 km i és més gran que el planeta Mercuri. És l'únic satèl·lit que disposa d'atmosfera, la qual és molt densa, exercint en la seva superfície una pressió de 1500 mil·libars. (En la Terra la pressió és de 1000 mbars)

El primer que va descobrir aquesta atmosfera fou l'astrònom català Josep Comas i Solà en 1907. El gran interès d'aquesta operació prové de que al ser Tità l'únic satèl·lit que té atmosfera en el nostre sistema i que és prou gran per mantenir-la. A més aquesta atmosfera, com en la Terra, està composta en la major part per nitrogen i és quatre vegades més densa, per tant seria molt semblant a la que existia a la Terra quan va aparèixer en ella el fenomen de la vida farà uns 3500 milions d'anys. L'estudi d'aquests aspectes seria un dels més interessants de la

missió. Finalment el dia 14 de Gener del 2005 la Nau Cassini es troba sobre Tità a una altitud de 1200 km de llur superfície, quan a les 11.13 hores del programa, és llençat el microsonda Huygens, el qual efectua un descens controlat per mitjà de paracaigudes escalonats, a través de la densa atmosfera de nitrogen combinada amb metà, fins aconseguir un aterratge suau en lapse de 2,5 hores.

Es va tenir que vèncer una acceleració de caiguda de 6g ($g = 9,81 \text{ m/seg.}$), i el mòdul va arribar al sol de Tità a una velocitat de 4,5 m/seg. Es creu que l'envolvent protector convex de la sonda és va enfonsar uns 15 cm dins el terreny, el qual tenia una consistència equivalent a la sorra humida o argila tova. (Pes de la sonda uns 319 kg.) La sonda va poder transmetre durant uns 90 minuts, abans d'esgotar les bateries.

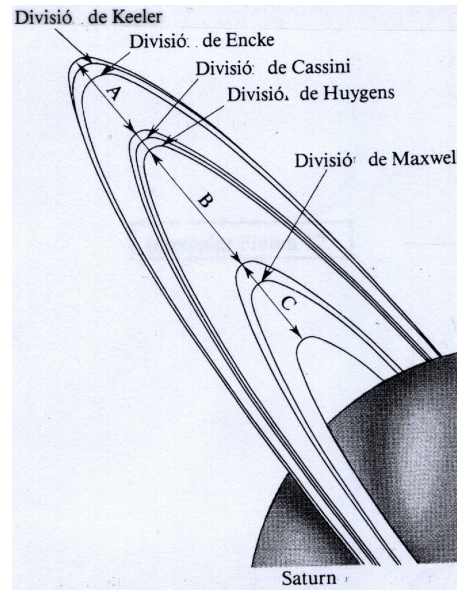


Figura 13. Nomenclatura de les divisions en els anells principals, aprovada per la Unió Astronòmica Internacional.

L'últim fenomen detectat per la Nau Cassini el 10 de Juny del 2005, és el descobriment d'un procés de criovolcanisme (volcà de gel), que si es confirma podria explicar l'origen del metà en l'atmosfera del satèl·lit saturnià. El procés evoluciona en forma d'una cúpula gasosa molt espessa que té aproximadament uns 30 km de diàmetre. En aquest monticle volcànic la "lava" brolla formant un protuberància evolutiva gelada, probablement formada per una mescla de metà, amoníac i gel d'aigua combinats amb altres tipus d'hidrocarburs.

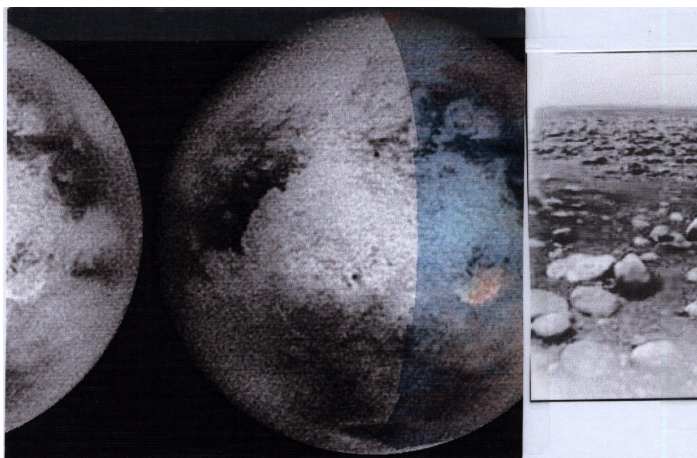


Figura 14. Vista de Tità. En el requadre, vista de la superfície en el lloc d'aterratge, il·luminada per una espectral llum de color taronja. Es distingeixen uns blocs d'un compost format per aigua i hidrocarburs congelats a

una temperatura de -179ª C. El bloc de tons clars està a uns 90 cm. de la sonda i mesura uns 15 cm.

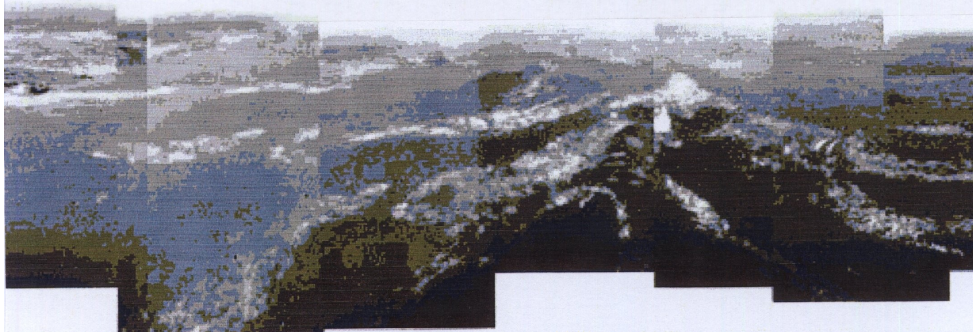


Figura 15. Mosaic d'imatges captades en el descens de la Sonda, on es mostra un paisatge amb muntanyes i canals de drenatge, amb una costa que sembla més sòlida i un suposat mar de consistència pastosa, similar a la "crème brûlée" com va dir un científic francès.

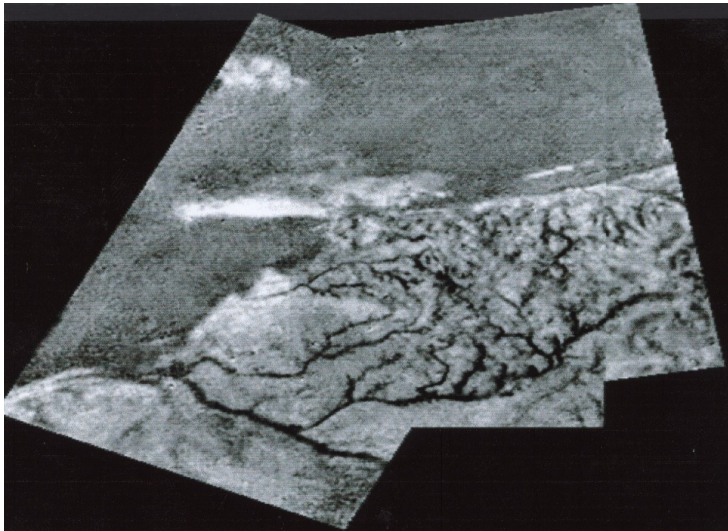


Figura 16. Panoràmica presa per la Sonda des d'una altura de 16 km Es veu una part del que sembla una costa, delimitada per un fluid pastós d'hidrocarburs. També s'observen unes correnties de líquids, que ens indiquen que allí també hi plou, però les pluges són de metà.

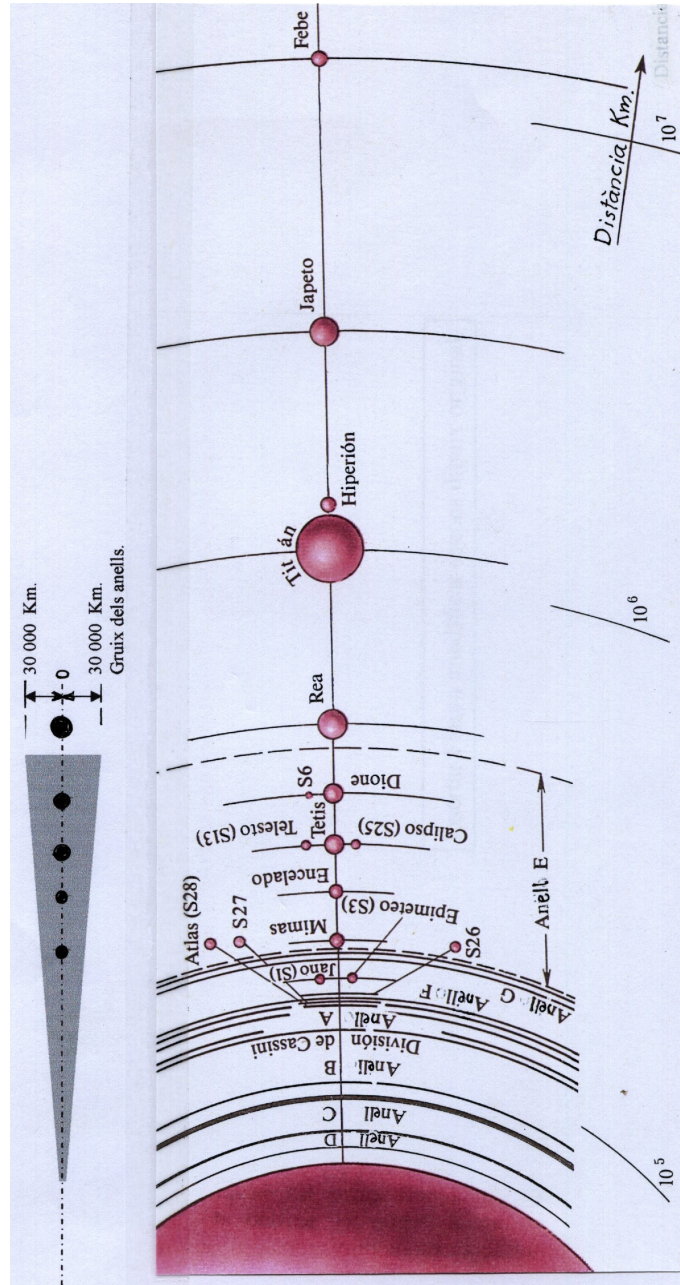


Figura 17. Esquema que mostra la posició dels anells i els satèl·lits de Saturn. Els satèl·lits Nimas, Enceladus, Dione i Rea tenen llur superfície gelada amb gel d'aigua.

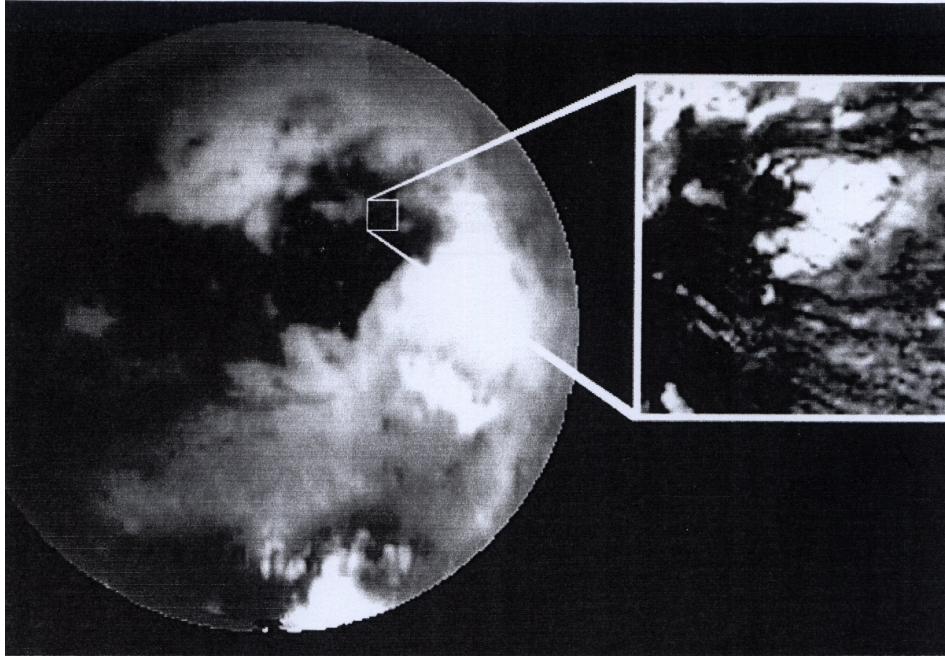


Figura 18. Un criovolcà a Tità

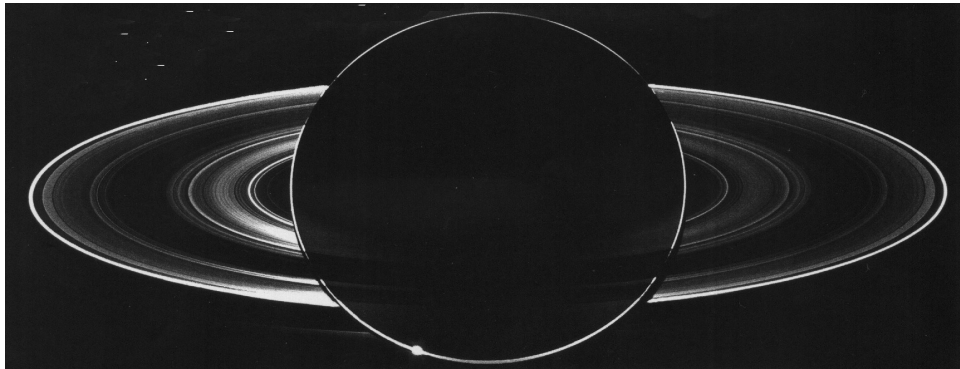


Figura 19. La nau Cassini va estar 12 hores darrera de l'ombra de Saturn. En aquesta fotografia es veu al nostre Sol que treu l'ull en una albada saturniana. El sistema d'anells apareixen silueteats de forma espectacular per la dispersió de la llum solar.

BIBLIOGRAFIA

AGNÉS ACKER (1992). *Astronomie* – Ed. Masson. Paris.

DIVERSOS AUTORS (1972). *Bolletín du Simposium sur l'origine du système solar* Ed. H. Reeves. Paris.

DIVERSOS AUTORS (2002) Los anillos de los planetas. *Rev. Investigación i Ciència* núm. 307. Abril 2002 , Barcelona.

SHARKOV, V. N. (1985). *Estructura interior de los planetas*. Ed. MIR, Moscou. Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid 2000.

INTERNET

<http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap061016.html>