

# SIMULACIÓ DE MISSIONS ESPACIALS AMB CELESTIA

ELS JULIOLS DE LA UB  
UNIVERSITAT DE BARCELONA

## ÍNDEX

1	Algunes Comandes útils del Celestia	2
2	Missió Genesis	5
3	Missió Cassini-Huygens	8
4	Pàgines Web d'interès	14



El Celestia és un simulador de l'espai en 3 dimensions que ens permet explorar l'espai creat per Chris Laurel el 2001. És un simulador lliure que es pot descarregar fàcilment a través de la pàgina web del programa:

<http://www.shatters.net/celestia/>

Aquest simulador ens permetrà viatjar a través de l'univers per explorar des de les grans galàxies llunyanes fins als nous exoplanetes descoberts, observar la ruta de moltes de les missions espacials portades a terme en els últims anys, i veure com és actualment, com va ser en l'antiguitat i com serà en el futur el nostre Sistema Solar.

A part del programa principal amb els objectes celestes bàsics, tenim diferents paquets (*add-ons*) que es van creant i actualitzant dia a dia. Aquests paquets permeten ampliar els objectes que apareixen al Celestia: contenen els nous asteroïdes i exoplanetes descoberts, noves naus i satèl·lits actuals, permet afegir noves textures als planetes, com ara núvols i un relleu actualitzat usant les noves imatges que es van obtenint amb els diferents telescopis/satèl·lits reals, i fins i tot missions espacials fictícies de diferents sèries i pel·lícules.

Trobarem tots aquests paquets que complementen el Celestia a la pàgina web:

<http://www.celestiamotherlode.net/>

## 1. ALGUNES COMANDES ÚTILS DEL CELESTIA

**Enter** : Seleccionar objectes (sobre un panell a la part inferior de la pantalla).

**Mouse Esquerra** : Moure objecte i entorn, tot a la vegada.

**8** - **2** - **4** - **6** : Desplaçar la vista cap a baix/dalt/esquerra/dreta.

**Mouse Dret** : Rotar/orbitar objecte (canvies la perspectiva respecte on el mires).

**Shift** **8** - **2** - **4** - **6** : Orbitar al voltant de l'objecte en la direcció escollida.

**5** : Parar qualsevol moviment.

**H** : Seleccionar el Sol (tornar al sistema solar).

**C** : Centrar objecte.

**G** : Anar a l'objecte.

**F** : Seguir l'objecte.

**Y** : Sincronitzar-se amb el moviment de rotació de l'objecte.

**Shift** **:** : Bloca l'objecte seleccionat. Si a continuació es selecciona un altre objecte s'aparellaran ambdós objectes.

**Esc** : Cancel·lar qualsevol tipus de navegació.

**Ctrl** **K** : Marcar l'objecte seleccionat (marca vermella sobre l'objecte).

**Ctrl** **P** : Mantenir marcat l'objecte seleccionat fins que no se'n digui el contrari. (marca groga sobre l'objecte)

**D** : Fer corre la DEMO.

**;** : Mostrar una graella amb el sistema de coordenades equatorial sobre el fons.

**Ctrl** **G** : Anar a la superfície de l'objecte.

**Inicio** / **Fin** : Apropar-se/allunyar-se de l'objecte.

**.** / **,** : Augmentar/disminuir el camp de visió. (Field Of View: FOV)

**L** / **K** : Accelerar/desaccelerar el temps.

**Space** : Aturar el temps.

**J** : Invertir el temps.

**\*** : Visió contrària.

**shift R** / **R** : Augmentar / disminuir la resolució de textura de l'objecte.  
ATENCIÓ! : Aquesta acció no sempre és possible, en algunes ocasions caldrà instal·lar paquets nous. (Hires: high resolution, Medres: medium resolution, Lores: low resolution)

**Ctrl A** : Habilitar / deshabilitar la visió de les atmosferes.

**I** : Habilitar / deshabilitar la visió dels núvols sobre planetes i satèl·lits.

**Ctrl E** : Habilitar / deshabilitar la visió de les ombres dels eclipsis.

**Ctrl L** : Habilitar / deshabilitar la visió de les 'nits' sobre planetes i satèl·lits.

**Ctrl T** : Habilitar / deshabilitar la visió de les cues dels cometes.

**Ctrl A** : Habilitar / deshabilitar la visió de les atmosferes.

En la nostra pantalla del Celestia, hi trobarem:

- ★ **AMUNT-ESQUERRA:** Informació sobre el nostre objecte, *target*, que tinguem seleccionat en aquest moment.
- ★ **ABAIX-ESQUERRA:** Velocitat a la qual viatgem.
- ★ **AMUNT-DRETA:** Hora i data a la qual estem dins del simulador.  
(ATENCIÓ! : en astronomia les dates es donen en temps universal, UTC)
- ★ **ABAIX-DRETA:** Mostra l'acció que estem duent a terme sobre l'objecte i el camp de visió (FOV) que tenim.

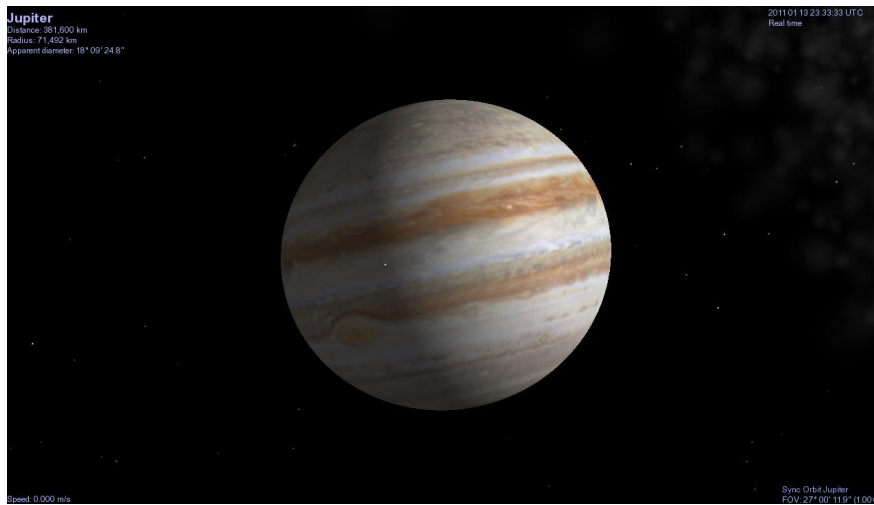


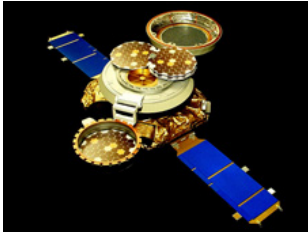
FIGURA 1: Pantalla del Celestia

## 2. MISSIÓ GENESIS

Aquesta és la missió que han explicat durant la sessió anterior. Per a poder veure-la amb el simulador, caldrà tenir instal·lat el paquet de la missió Genesis, el qual no ve instal·lat per defecte. O sigui que s'haurà d'anar a la pàgina web dels *add-ons* (<http://www.celestiamotherlode.net/>) i en la secció *spacecraft->Earth Orbit* descarregar les dues carpetes de la missió Genesis.

Per a instal·lar aquest paquet al Celestia, caldrà anar a la carpeta del Celestia del nostre ordinador i copiar-hi els fitxer que ens hem descarregat als llocs adients. Passos a seguir per a la instal·lació del paquet:

- Copiar el 'genesis.xyz' a la carpeta 'Celestia → Data'.
- Copiar el 'genesis.ssc' a la carpeta 'Celestia → Extras'.
- Copiar el 'genesis.3ds' a la carpeta 'Celestia → Models'.
- Copiar la imatge 'genesissolar.bmp' a la carpeta 'Celestia → Textures → Medres'.



La sonda Genesis va llançar-se el 8 d'Agost de 2001 a les 16:13 UTC de Cabo Cañaberal. El seu objectiu era estudiar la radiació solar i prendre mostres de vent solar, per tornar després a la terra amb aquestes mostres físiques sent la primera nau en retornar a la Terra des d'una òrbita de més enllà de la Lluna.

El **vent Solar** és el material ejectat de la part més externa del Sol (és bàsicament un corrent de partícules carregades), de la corona, a unes 250 milles per segon. Aquest, pot ser pensat com un fòssil de la nebulosa que va crear el nostre Sistema Solar, ja que es creu que la composició d'aquesta part del Sol no ha canviat gaire des de la seva formació. Així, la importància de la missió era deguda a que les mostres obtingudes ens podrien donar informació important sobre els orígens del nostre Sistema Solar, i d'aquí el nom de *Genesis*.

Un cop realitzat el llançament de la nau, la Genesis va creuar el punt d'equilibri L1 Terra-Sol, i realitzant una maniobra d'inserció d'òrbita de Lissajous, (*LOI - Lissajous Orbit Insertion*), va entrar en una òrbita Halo al voltant de L1 (òrbita el·líptica) el dia 16 de Novembre de 2001.

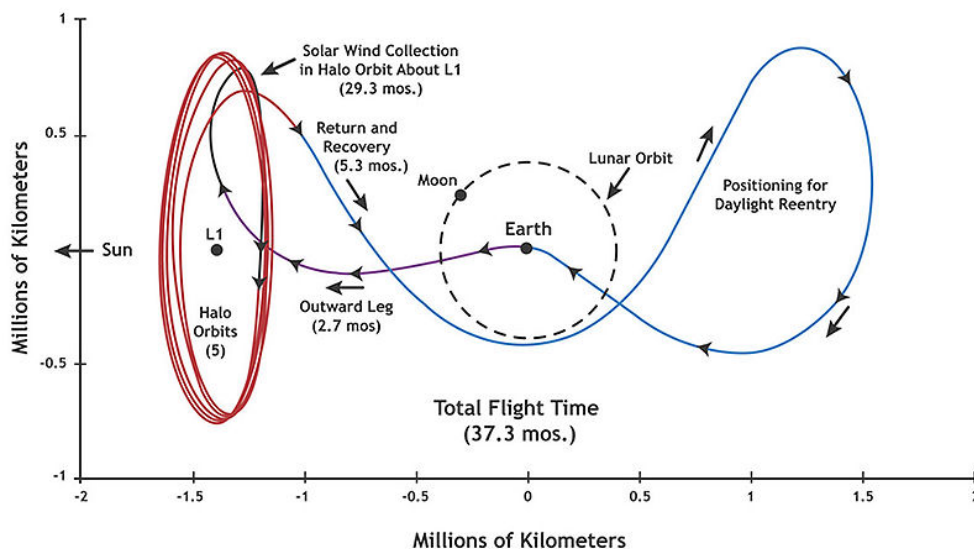


FIGURA 2: Trajectòria Genesis

Del 3 de Desembre d'aquell any fins el 2 d'abril del 2004, va anar recollint mostres de vent solar estant posicionada en aquesta òrbita halo, realitzant fins a 5 voltes (5 òrbites Halo) al voltant de L1. El 22 d'Abril la sonda va iniciar el seu retorn cap a la Terra. Aquest retorn incloïa un fly-by a la Terra el dia 2 de Maig que permetria un desviament de l'òrbita de la nau cap al punt L2 de la Terra per

a permetre una aterratge durant el dia i no durant la nit. Després de completar una volta al voltant de L2, la nau va aterrar a la Terra el dia planejat, el matí del 8 de setembre de 2004.

Tot i això, a causa d'un defecte en el disseny d'un sensor de desaceleració que no va deixar desplegar el paracaigudes de la nau, aquesta es va estavellar contra la Terra en el seu aterratge a la base militar del desert de Dugway, a 50km de Dugway, Utah, EEUU.



### Exercici 1:

Amb aquestes dades d'inici i final de la missió, prova de seguir-ne la òrbita amb el Celestia. Observa la forma d'òrbita d'aquesta nau, la qual no coincideix amb la que teniu en aquest sumari a la figura 2.

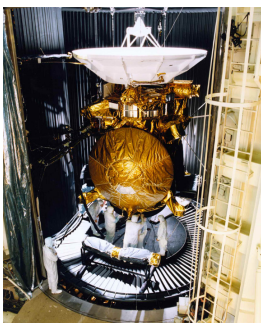
Indicacions:

- ★ Posar com a data i hora les 17.00h (aproximadament) del dia de llançament amb 'Time -> set time', i aturar el temps.
- ★ Anar a la Terra i col·locar les coordenades de Cabo Cañaberal:
  - Latitud: 28.5788
  - Longitud: -80.6578
- ★ Centrar Genesis. Convindrà activar les marques (Ctrl + K).
- ★ Donat que la forma d'òrbita en 3 dimensions no es veu com a la figura 2, convé bloquejar la terra amb el Sol per a veure com la nau es manté "al costat" de la Terra durant tota la trajectòria. Per a fer això, selecciona el Sol, bloqueja'l (amb la tecla 'Shift' + ';' ) i selecciona la Terra.
- ★ Si deixem passar el temps es veu com la nau es mou però no s'allunya de la Terra, ha començat la missió.
- ★ Canviar la data a 15 de Novembre del 2001, 12:00h aproximadament: veure com inicia la maniobra LOI i com entra en òrbita al voltant de L1 el dia 16. Això es produeix quan es veu que la nau passa a una òrbita més interna que la de la Terra. Estem a la òrbita Halo!

- ★ Canviar la data a 21 d'Abril de 2004. Observar el retorn cap a la Terra, veient que sortim de la òrbita Halo (tornem a una òrbita més externa a la de la Terra).
- ★ Tornar a veure la òrbita de Genesis sencera. Es podrà veure el moment d'entrar i sortir de la òrbita Halo veient com la nau creua la òrbita de la Terra, i com durant els anys de recol·lecta de material es mantenia en la òrbita Halo. Si parem atenció, veurem que la nau "adelanta" i "torna enrera" respecte la Terra 5 vegades (corresponents a les 5 òrbites Halo) vs les 3 voltes al voltant del Sol (dels 3 anys de recol·lecta).

### 3. MISSIÓ CASSINI-HUYGENS

La sonda Cassini-Huygens va llançar-se el 15 de Octubre de 1997 a les 8.43 UTC. Era una missió conjunta de l'Administració Nacional d'Aeronàutica i de l'Espai (NASA), de l'Agència Espacial Europea (ESA) i de l'Agència Espacial Italiana (ASI) amb l'objectiu d'estudiar el planeta Saturn i els seus satèl·lits, en particular el més gran d'ells, Tità. Part de la importància de la missió estava en l'estudi de la lluna Tità, ja que aquest és l'objecte celeste més semblant a la Terra dels que s'han trobat fins ara (que conté una atmosfera considerable i activa i està compostat bàsicament per Nitrogen, Metà i part important de complexos orgànics d'hidrocarburs).



Aquesta missió estava formada per la nau Cassini (de la NASA), que viatjaria fins a Saturn i s'hi posaria en òrbita durant 4 anys, i la sonda Huygens (de la ESA) que estaria unida a Cassini (i adormida) fins a estar suficientment a prop de Tità, moment en què s'activaria la sonda i s'alliberaria de la nau per poder descendir cap al satèl·lit, sent així la primera sonda en 'aterrar' sobre un objecte del Sistema Solar Exterior. La ASI proporcionava a la missió l'antena de comunicació que mantenia comunicada la nau Cassini amb la Terra.

La importància d'aquesta antena residia en el llarg viatge que haurien de fer les dades des de Saturn fins a la Terra. Donat que la nau estaria entre 8.2 i 10.2 UA, transmetent les dades a la velocitat de la llum aquestes trigarien uns 80 minuts en arribar a la Terra. I si les dades que es volien transmetre eren les



de la sonda Huygens encara en serien més, ja que primer viatjarien de Huygens a Cassini, i després serien enviades cap a la Terra.

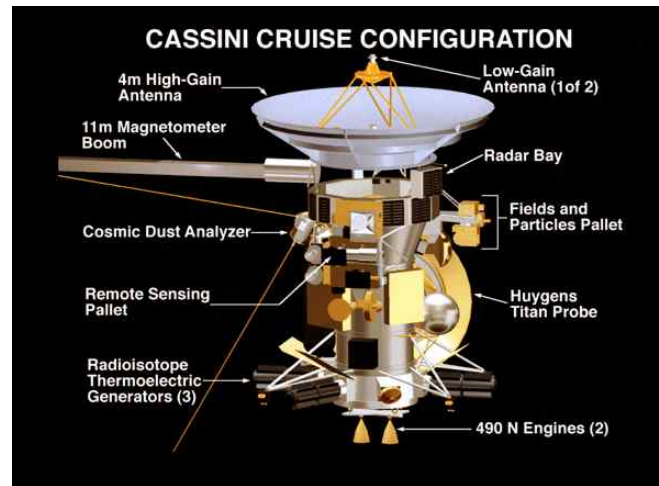


FIGURA 3: Components de la nau Cassini.

Una vegada llançada la sonda, la seva trajectòria fins a Saturn va venir donada per maniobres de vol basades en *assistència gravitatòria* dels planetes, els anomenats *fly-bys*.

Un **fly-by** és una maniobra de vol que utilitza l'energia d'un camp gravitatori en benefici de la nau per a poder obtenir una acceleració o una frenada i canviar-ne la trajectòria inicial. Aquesta maniobra modificarà (*el mòdul de*) la velocitat relativa de la nau respecte el Sol, però no la relativa al planeta: quan la nau s'apropa al planeta, el planeta cedeix una petita quantitat d'energia cinètica a la nau i aquest es desaccelera, mentre que la nau s'accelera. Com que la diferència de masses entre la nau i el planeta es tan gran, aquesta energia cinètica que perd el planeta es menyspreable, i l'òrbita del planeta es veu modificada de forma insignificant.

! Noteu que l'energia total del problema restringit de 3 cossos (Sol-planeta-nau) es manté, tot i que si modelitzem el moviment de la nau com un Kepler (problema de 2 cossos) respecte el Sol, l'energia del Sol-nau no es manté.

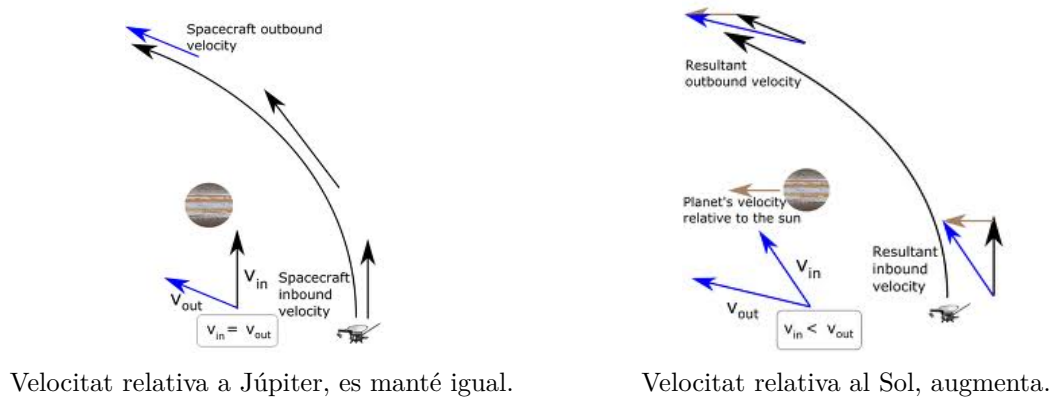


FIGURA 4: Mecanisme d'un FLY-BY a Júpiter.

Com que per a obtenir una acceleració respecte el Sol la velocitat relativa al planeta ha de ser màxima, quan un fly-by vol aconseguir una acceleració de la nau, aquesta s'haurà d'apropar al planeta pel costat per on el planeta avança i rodejar-lo, per així i sortir-ne expulsat del seu camp gravitatori (o sigui acostar-s'hi per darrera). D'altra banda, si volem usar el fly-by per a desaccelerar la nau, la nau s'hi haurà d'acostar per davant.

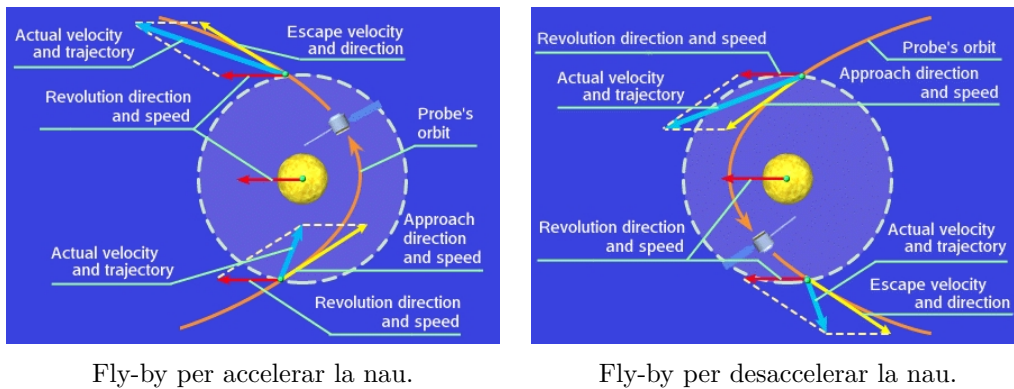


FIGURA 5: Mecanisme d'un FLY-BY.

Amb aquest tipus de maniobra, la sonda Cassini-Huygens va realitzar dos fly-by a Venus (26-4-1998 i 24-6-1999), un fly-by a la Terra, en particular a la Lluna, (18-8-1999) i un fly-by a Júpiter (30-12-2000). Gràcies a aquestes maniobres de vol, la nau Cassini-Huygens podria arribar a Saturn només amb tres generadors termoelèctrics de radio-isòtops, GTR, formats per una petita bateria nuclear amb 2kg de Plutoni, sent una de les naus més gran (6.7m x 4m) i pesada (5.712Kg) de la història. Aquests tipus de generadors i trajectòries són els que s'utilitzen

per a les missions de llarga vida i de distàncies llunyanes al Sol, com ara la *New Horizons* (amb destí Plutó i el cinturó de Kuiper), la *Galileo* (amb destí Júpiter) o la nau *Ulyses*, ja que per a distàncies tan allunyades del Sol no s'hi pot utilitzar l'energia solar i per un viatge tan llarg és necessària massa quantitat de combustible si no s'usa cap mena d'assistència gravitatòria.

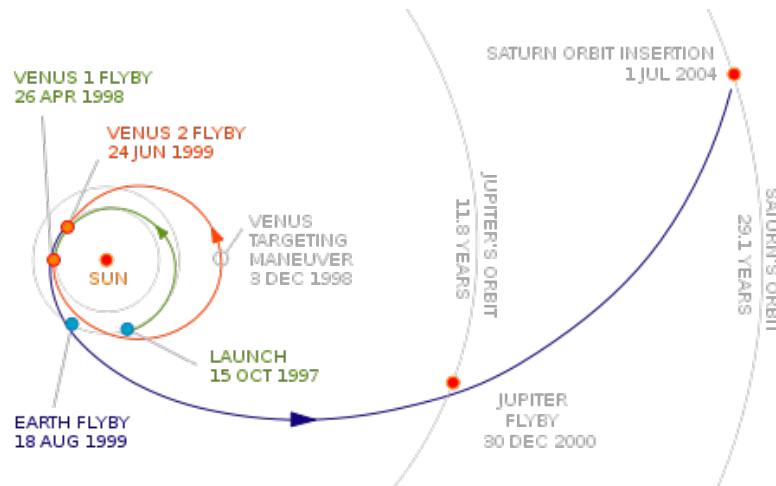


FIGURA 6: Trajectòria de la sonda Cassini-Huygens.

Finalment, el dia 1 de juliol de 2004 la nau Cassini va entrar en òrbita a Saturn després de ser capturada per la gravetat del planeta, i casi mig any més tard, el 25 de Desembre, la sonda Huygens va ser desunida de Cassini i llançada cap a Tità per la gravetat del satèl·lit (però encara amb els motors apagats!). La sonda Huygens va descendir a Tità el 14 de Gener de 2005, acabant així la seva part de la missió amb èxit.

Huygens es va engegar i va començar a emetre a les 8.44 UTC del 14 de Gener. A les 9.06 UTC, va entrar amb contacte amb l'atmosfera del satèl·lit, situada a una altura de 1.270 km sobre la superfície, i al cap de 3 minuts (quan ja havia descendit a 160-180km d'altura) va desplegar el paracaigudes que la va ajudar a mantenir un suau descens fins als 110-140 km d'altura (16 minuts més tard), moment en que se'n va separar.



El descens va durar un total de 2 hores 21 minuts, impactant amb la superfície a les 11.27 UTC. La sonda Huygens va començar a enviar dades de la superfície fins que els transmissors es van quedar sense energia, a les 13.37 UTC.

Mentrestant, la nau Cassini va continuar orbitant al voltant de Saturn fins al final de la missió, el 18 d'Abril de 2008, realitzant fins a 74 òrbites al voltant del planeta. En aquell moment es va decidir prorrogar la missió primer durant dos anys més, anomenant-la *Cassini-Equinox* ja que tindria lloc durant l'equinocci de Saturn, i al finalitzar-se, el Febrer de 2010, es va decidir prorrogar-la 7 anys més fins al Maig de 2017, anomenant-la *Cassini-Solstice*, ja que finalitzarà durant el solstici d'estiu de l'hemisferi nord de Saturn.

! Observem que per a poder dur a terme aquesta trajectòria fins a Saturn usant aquest seguit de fly-bys, el moment de llançament de la nau estava en una petita finestra de temps en la qual tots els planetes on fer els fly-bys estiguessin alineats adientment per a que la nau arribés a tots ells en el moment oportú i hi pogués fer l'apropament correctament. Qualsevol imprevist en el llançament faria que s'hagués de tornar a recalculer les posicions dels planetes per a poder-hi fer els fly-bys.

**Exercici 2: Exercici guiat**

Per a poder veure una simulació d'aquesta missió, utilitzarem el Celestia seguint les següents indicacions:

- ★ Posar com a data i hora les 13.00h (aproximadament) del dia de llançament amb 'Time -> set time', i aturar el temps.
- ★ Anar a la Terra i col·locar les coordenades de Cabo Cañaberal:
  - Latitud: 28.5788
  - Longitud: -80.6578
- ★ Centrar Cassini (es veu a Cassini a uns 50.000km de la Terra aproximadament). Convindrà activar les marques (Ctrl + K).
- ★ Si deixem passar el temps es veu com s'allunya de la Terra, ha començat la missió. Parem el temps quan comenci a desaparèixer i tornem a Cassini.
- ★ Canviar la data a 26 d'Abril del 1998, 10:00h aproximadament: buscar Venus i veure el 1er fly-by prop de Venus (convindrà jugar amb l'acceleració-temps).
- ★ Canviar la data al 24 de Juny del 1999, 10:00h aproximadament: buscar Venus i veure el 2on fly-by prop de Venus (convindrà jugar amb l'acceleració-temps).
- ★ Canviar la data a 18 d'Agost del 1999, 1:00h aproximadament: buscar la Terra i veure fly-by prop de la Terra (convindrà jugar amb l'acceleració-temps).
- ★ Canviar la data a 30 de Desembre del 2000, 1:00h aproximadament, buscar Júpiter i veure fly-by prop de Júpiter (convindrà jugar amb l'acceleració-temps).
- ★ Canviar la data a 17 de Juny del 2004 (en aquest cas no importarà massa la hora que escollim)

- buscar Saturn.
  - accelerar el temps i veure per on entra l'òrbita de Cassini.
  - observar com s'apropa i allunya de Saturn fins a quedar atrapada en òrbita per la gravitació. Costa una mica apreciar si creua els anells de Saturn, però ho va fer!
- ★ Tornar a veure la òrbita de Cassini sencera. Es poden veure els fly-bys i el viatge complet si posem una data com per exemple 01/11/1997 i en mirem l'òrbita.

## 4. PÀGINES WEB D'INTERÈS

Pàgines oficials de la NASA i la ESA de la missió Cassini-Huygens:

[http://www.nasa.gov/mission\\_pages/cassini/main/index.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/cassini/main/index.html)  
<http://www.esa.int/esaMI/Cassini-Huygens/>

Pàgina oficial de la NASA sobre Saturn:

<http://saturn.jpl.nasa.gov/index.cfm>

Última notícia de Cassini (28 de Juny del 2012):

[http://www.nasa.gov/mission\\_pages/cassini/whycassini/cassini20120628.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/cassini/whycassini/cassini20120628.html)

Curiositats: perquè la missió s'anomena Cassini?

[http://es.wikipedia.org/wiki/Giovanni\\_Cassini](http://es.wikipedia.org/wiki/Giovanni_Cassini)

Curiositats: on està la nau Cassini ara mateix?

[http://www.esa.int/esaMI/Cassini-Huygens/SEMD6E2VQUD\\_0.html](http://www.esa.int/esaMI/Cassini-Huygens/SEMD6E2VQUD_0.html)

Pàgina oficial de la NASA de la missió Genesis:

[http://www.nasa.gov/mission\\_pages/genesis/main/index.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/genesis/main/index.html)

Última notícia de Genesis (23 de Juny del 2011):

[http://www.nasa.gov/mission\\_pages/genesis/media/genesis20110623.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/genesis/media/genesis20110623.html)