

Una nova visió del sistema solar

José Luis Diez. Astrobanyoles. Sopa d'estrelles del 18.01.2017. Radio Banyoles.

El descobriment del planeta nan Sedna el 2003 i de cossos similars en anys posteriors, ens aporten noves idees sobre les zones més allunyades de nosaltres del sistema solar. Alguns models prediuen un hipotètic planeta Nou, amb una òrbita molt excèntrica i situat en la part més exterior del sistema. La seva detecció, que ja ha estat intentada, serà un dels reptes de l'astronomia dels propers anys.

D'altra banda, l'explicació clàssica de la formació del sistema solar a partir d'un núvol de pols i gas que col·lapsa sobre sí mateix, formant el Sol al centre amb un disc de matèria al voltant que donarà lloc als planetes, està ara en discussió.

Des de 1988 en que va ser descobert el primer exoplaneta, l'estudi de més de 2.600 sistemes planetaris fa pensar que l'evolució del nostre sistema solar pot haver passat per esdeveniments insospitats fins ara. Els planetes gegants es troben molt més a prop de l'estrella en la majoria de sistemes estudiats. Els models d'ordinador mostren que desplaçaments de Júpiter i Saturn poden haver provocat reordenacions en els altres planetes, inclosa l'expulsió d'alguns de les proximitats del Sol, fins a arribar a la configuració actual.

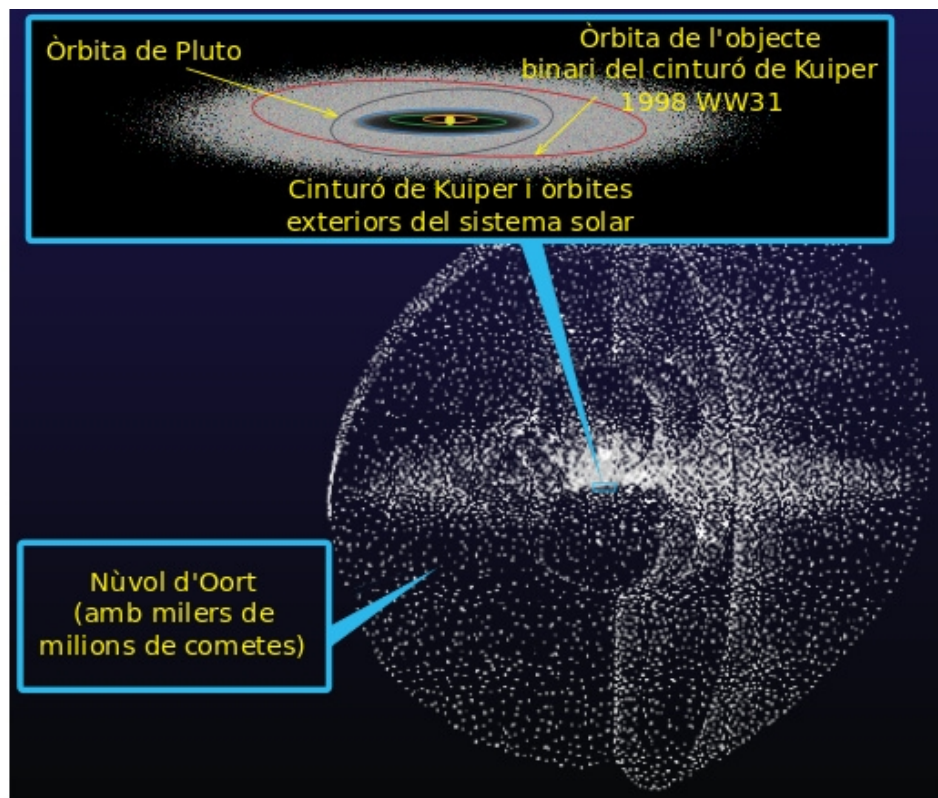
El cinturó de Kuiper i més enllà

El sistema solar observable es pot considerar dividit en tres regions diferents:

- La dels planetes sòlids, Mercuri, Venus, La Terra, Mart i el cinturó d'asteroides, entre 0,39 i 4,2 UA del Sol. 1 UA, unitat astronòmica, és equivalent a la distància mitjana entre la Terra i el Sol.
- La dels planetes gegants, Júpiter, Saturn, Urà i Neptú, entre 5 i 30 UA del Sol.
- El cinturó de Kuiper, format per objectes glaçats situats entre 30 i 50 UA del Sol.

Més enllà, fins a unes 50.000 UA del Sol, es trobaria el núvol d'Oort, font dels cometes de període llarg i alguns de període curt com el Halley, que ens visita cada 76 anys. La part més exterior del núvol d'Oort es considera el límit de la influència gravitatòria del Sol, situat a una quarta part de distància a l'estrella més propera, alfa-Centauri, a 4,37 anys-llum.

El 14 de novembre de 2003 va ser descobert Sedna, objecte transneptunià de 1.041 km de diàmetre, amb una òrbita molt excèntrica (periheli o punt més proper al Sol, 76 UA, afeli o punt més allunyat del Sol, 900 UA), que tarda uns 12.000 anys en fer la volta al Sol. Va ser batejat per els seus



Cinturó de Kuiper i núvol d'Oort. Imatge Wikimedia Commons

descobridors, Michael Brown (Caltech), Chad Trujillo (Gemini Observatory) i David Rabinowitz (Yale University), amb el nom de la deessa inuit del mar que, segons la mitologia, vivia en les profunditats gèlides de l'oceà Àrtic.

Els mateixos descobridors van trobar poc més d'un any després, el 5 de gener de 2005, un nou planeta nan, Eris, de grandària similar a Plutó, diàmetre 2.330 km, però amb un 27% més de massa. La seva òrbita és molt excèntrica (periheli 38 UA, afeli 98 UA). És el novè cos més massiu del sistema planetari solar, just després de Neptú. El nom prové de la deessa grega Eris, que personificava la lluita i la discòrdia. Durant el temps entre el seu descobriment i la definició de planeta de la Unió Astronòmica Internacional el 24 d'agost de 2006, va ser conegut com Xena.

Des del descobriment de Sedna el 2003, s'han descobert molts cossos que poden ser classificats com planetes nans. Mike Brown ofereix a la seva pàgina (5), una llista de 703 cossos, ordenada de major a menor grandària i de major a menor probabilitat que ho siguin, actualitzada diàriament. Segons ell, a 5 de gener de 2017 hi ha:

- 10 objectes que poden ser classificats quasi certament com planetes nans: Eris, Plutó, Makemake, 2007OR10, Haumea, Quaoar, Sedna, Orcus, 2002MS4, Salacia, amb diàmetres entre 2.330 km d'Eris fins a 921 km de Salacia,
- 20 objectes que són molt probablement planetes nans,
- 45 objectes que bastant probablement ho són,
- 73 objectes que probablement ho són,
- 555 objectes que és possible que ho siguin.

El 2012, Trujillo i Sheppard descobreixen 2012 VP 113, un cos similar a Sedna, amb un periheli de 80 UA, que ha estat classificat dins de la llista anterior com molt probable planeta nan. En un article publicat el 2014, Trujillo i Sheppard apunten que Sedna, 2012 VP 113 i altres objectes recentment descoberts més enllà del cinturó de Kuiper, tenen un comportament peculiar: tots ells tenen òrbites molt excèntriques amb el seu punt de màxima aproximació al Sol a més de 80 UA; aquest punt està situat en el pla del Sistema Solar i tots ells es mouen de sud a nord quan creuen aquest pla. Això els fa concloure que ha d'haver un altre planeta, de massa més gran que la Terra, amb una òrbita oposada a la dels cossos anteriors i amb un periheli d'unes 250 UA. És la primera vegada que es parla d'un hipotètic planeta Nou.

(1) (2) (3) (4) (5)

El planeta Nou

Konstantin Batygin i Michael Brown, inicialment contraris a la hipòtesi del planeta Nou, van estudiar les òrbites de Sedna, 2012 VP 113 i altres cossos descoberts recentment més enllà del cinturó de Kuiper. Van trobar que els eixos majors de les seves òrbites (el·lipses) estaven alineats com si estiguessin forçats a ocupar tots ells la mateixa regió de l'espai al voltant del Sol. El fet que el seu periheli sigui en tots els casos d'unes 80 UA, no ha pogut ser explicat fins ara de forma satisfactòria. La probabilitat de que aquesta disposició sigui deguda a l'atzar és de tan sols el 0.007%. Batygin i Brown, en un article publicat el gener d'aquest any (2016), opinen que la causa de tal alineament ha de ser d'origen dinàmic: ha d'haver un planeta amb una òrbita molt excèntrica, amb una massa unes 10 vegades la de la Terra, amb el periheli orientat 180 graus respecte el dels cossos i situat a unes 250 UA del Sol.

Segons Batygin i Brown, el planeta Nou, si existeix, és probablement més petit que Neptú, glaçat i amb una capa exterior gasosa. La influència gravitacional d'Urà i Neptú el podria haver arrossegat cap al sistema solar exterior durant els primers 3 milions d'anys de la seva existència. Batygin i Brown han intentat localitzar-lo amb el telescopi Subaru de Hawaii, sense èxit fins ara. El Large Synoptic Survey Telescope (LSST) de Cerro Pachón. Xile, que podrà fer un mapa del cel cada tres nits i que podria començar a operar el 2022, tindrà més possibilitats de trobar-lo.

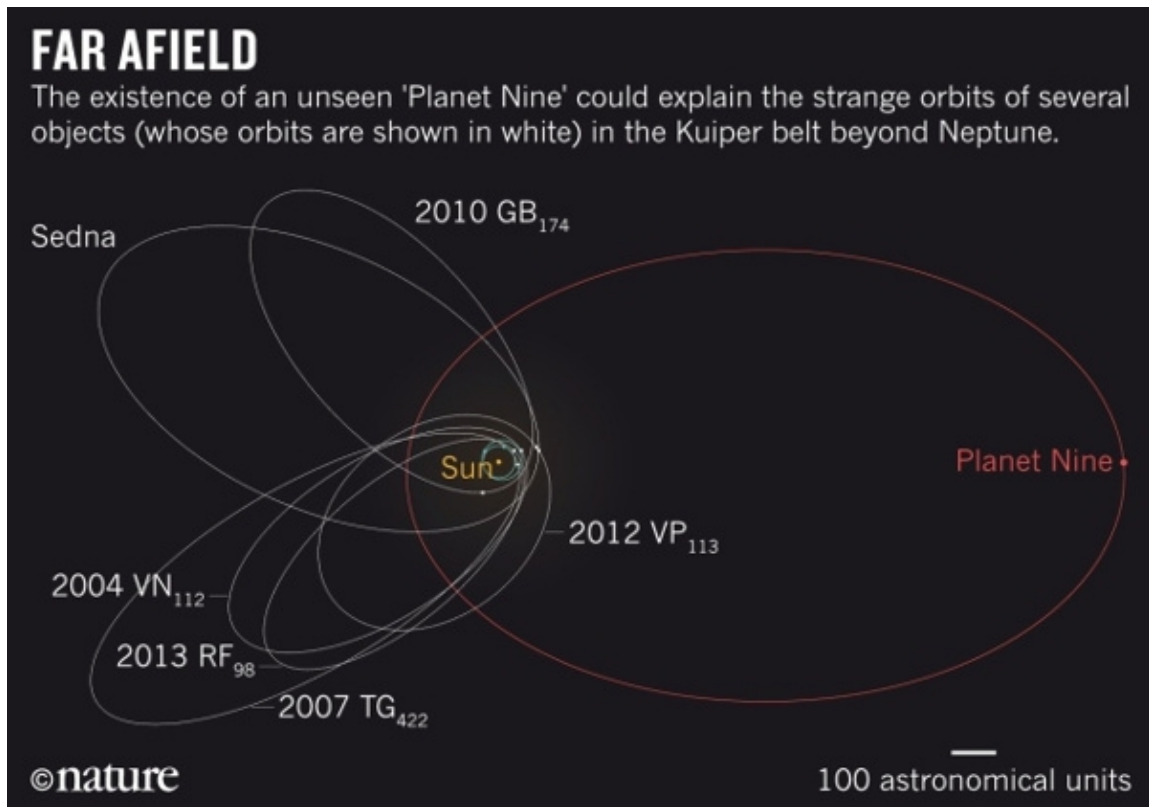


Diagrama de la possible òrbita del planeta Nou. Imatge Nature - Batygin, Brown (2)

Un cop fonamentada la hipòtesi de l'existència del planeta Nou, cal preguntar-se com podria haver arribat a situar-se en una òrbita tan excèntrica i allunyada del Sol. A part de l'opinió de Batygin i Brown referida a l'acció d'Urà i Neptú, altres astrònoms pensen que, si existeix el planeta Nou, el més probable és que s'hagi format en una zona entre 5 i 20 UA i que hagi estat expulsat per l'acció gravitatòria de Júpiter o Saturn. Sobre si, particularment Júpiter l'hauria pogut expulsar, no hi ha discussió entre els astrònoms. Júpiter té prou massa per fer-ho. El problema està en que, un cop expulsat, el més probable és que seguís el seu camí cap a l'espai interestel·lar. Excepte que l'expulsió es produís al principi de la formació del sistema solar, abans que el gas del disc protoplanetari es dissipés. El planeta expulsat hauria quedat aleshores frenat per el gas i assentat en una zona exterior del sistema.

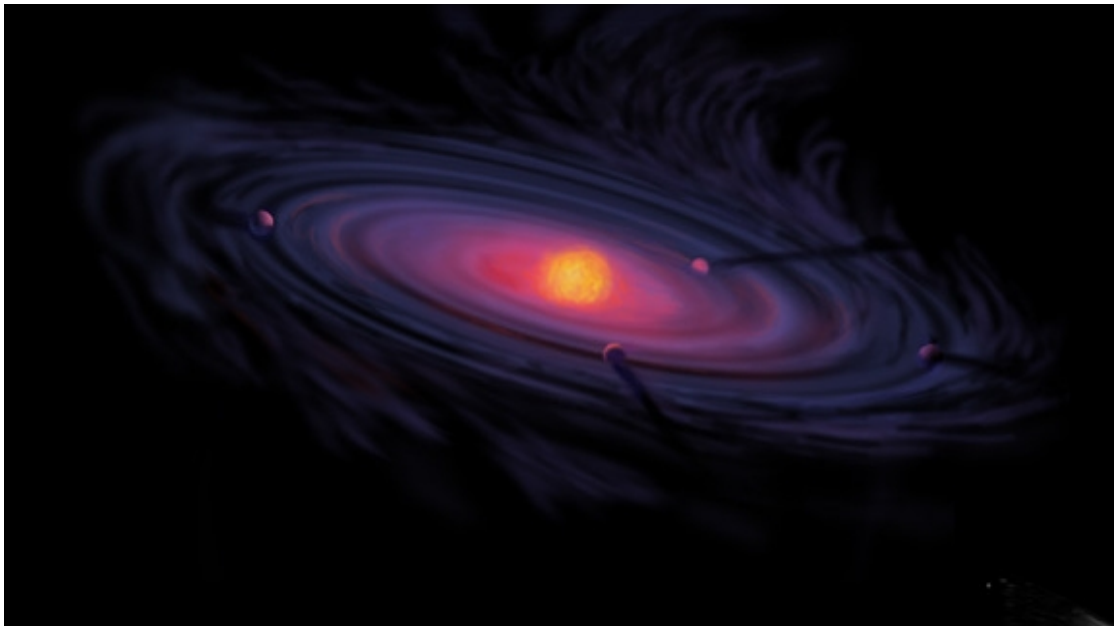
Una altra possibilitat que apunten els teòrics és que, cas d'existir, el planeta Nou provingui de fora del sistema solar. El Sol es va formar en un cúmul de milers d'estrelles i en algun dels sistemes s'hauria pogut produir l'expulsió d'un planeta que hauria acabat en un sistema veí.

Hem d'esperar que en els propers anys es pugui ajustar més la probable òrbita del planeta Nou i, sobretot, es disposi de millors instruments de detecció. Un cop comprovada la seva existència, els astrònoms haurien de ser capaços de descobrir com va arribar a la seva posició.

(2) (6) (7)

Exoplanetes

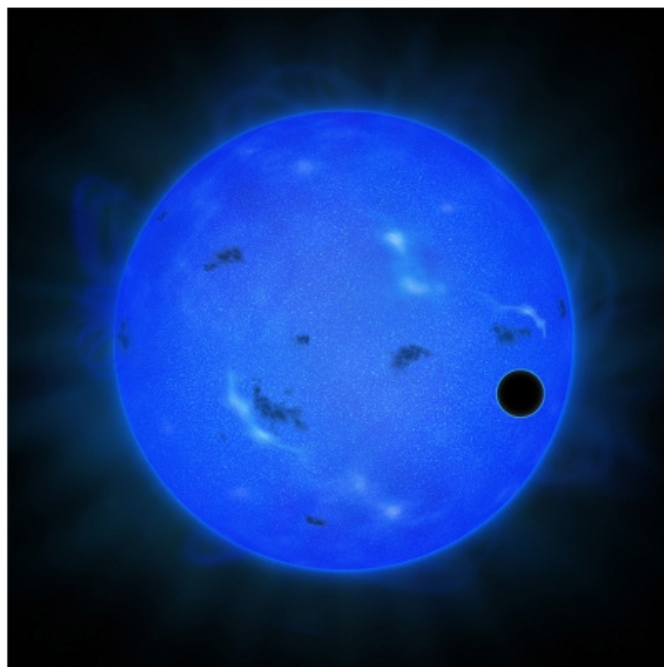
Els primers exoplanetes descoberts (el 1^{er} en 1988) eren gegants gasosos, molt propers a les seves estrelles i amb períodes orbitals de només uns dies. Això xocava amb la teoria de formació dels sistemes planetaris basada en el nostre, en que els planetes gegants es formaven en zones molt més fredes i allunyades de l'astre, més enllà de la zona de congelació de l'anomenat disc protoplanetari, que és el disc de pols i gas que dona lloc a la formació dels planetes.



Recreació d'un disc protoplanetari. Imatge wikimedia Commons

Ara, amb milers d'exoplanetes observats (segons la NASA, el 16 de gener de 2017 hi ha 3440 exoplanetes confirmats), el sistema planetari típic apareix com format per un o més planetes, de grandària unes poques vegades la de la Terra, propers a l'estrella i amb períodes orbitals inferiors als cent dies. Només el 10% dels sistemes estudiats tenen planetes gegants com Júpiter o Saturn i només una petita part d'aquests descriuen òrbites estables i quasi circulars. En el nostre sistema, en canvi, hi ha molt poca massa a prop del Sol, ja que els planetes que es troben allà són petits i no hi ha res entre Mercuri, amb una òrbita de 88 dies, i el Sol. Els experts opinen ara que el nostre pot ser un sistema planetari atípic.

El fet de trobar planetes grans molt a prop de l'estrella ha fet pensar que els planetes gegants es poden formar més enllà de la línia de congelació del disc protoplanetari i migrar després cap a l'interior. Simulacions per ordinador mostren que això es pot haver produït en la majoria de sistemes observats. Però, si en els models de sistemes planetaris, els planetes gegants es troben a prop de l'estrella, com és que Júpiter i Saturn es troben tan allunyats del Sol?
(6) (8)



Trànsit de l'exoplaneta GJ 1214 b en llum blava. Telescopi Subaru. Mauna Kea. Hawaii. Imatge NASA

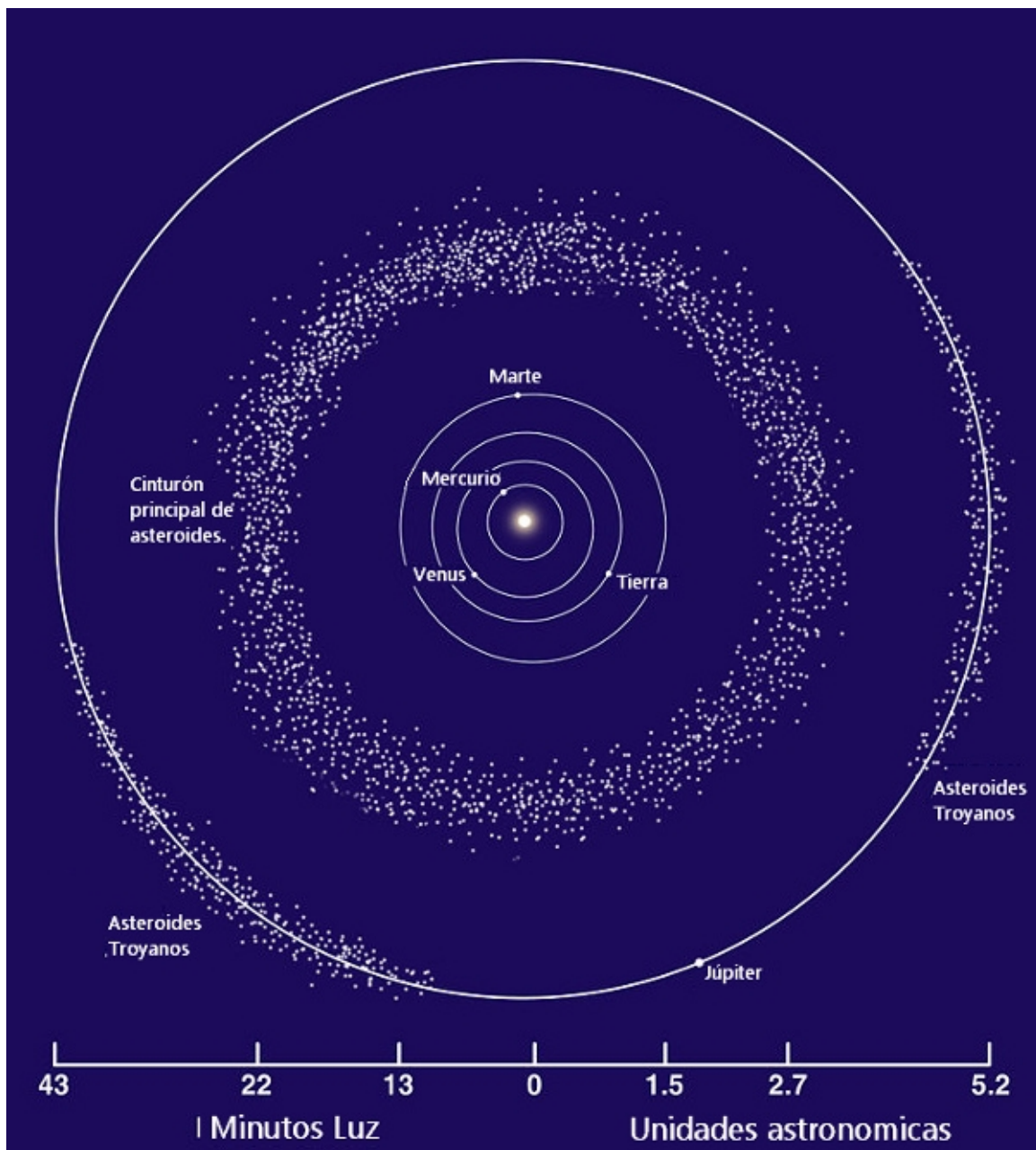
La Gran Virada de Júpiter i Saturn

Una possible resposta a la pregunta anterior la van donar F. Masset i M. Snellgrove, astrònoms de la universitat Queen Mary de Londres, presentant l'any 2001 un model d'evolució conjunta de les òrbites de Júpiter i Saturn. En l'època de la seva formació, Júpiter i Saturn haurien fet un recorregut

primer cap a l'interior i després cap a l'exterior del disc protoplanetari del Sol, netejant de planetes la regió més propera al Sol.

Formats en la zona freda, Júpiter i Saturn van començar el seu viatge cap al interior seguint el camí del gas i la pols que cauen cap a l'estrella. Degut a la menor massa de Saturn, la seva migració va ser més ràpida i es va anar acostant a Júpiter fins que es van situar tots dos a prop del Sol. Van prendre aleshores una configuració anomenada de «ressonància de moviment mitjà», per la qual Júpiter dona dues voltes al Sol per cada tres que dona Saturn, en una òrbita una mica més allunyada del Sol. Degut a la major massa de Júpiter, la seva acció cap a l'interior és més intensa que la de Saturn cap a l'exterior i això provoca, segons el model de Masset i Snellgrove, que inverteixin el seu moviment, facin una Gran Virada i comencin a allunyar-se del Sol, tornant a la zona d'on havien sortit.

Kevin J. Walsh, de l'Observatori de Niça (França) i altres publiquen el 2011 un nou model de la migració de Júpiter i Saturn que, seguint amb l'explicació de la Gran Virada anterior, dona raó de la massa de Mart i l'existència del cinturó d'asteroides entre Mart i Júpiter.



Cinturó d'asteroides. Imatge Wikimedia Commons

Júpiter, en el seu moviment fins a 1,5 UA del Sol, arrossega cap a l'interior dels sistema solar una multitud d'objectes sòlids petits, anomenats planetesimals, equivalents en total a unes 10 vegades la massa de la Terra. Això deixa truncat el disc protoplanetari a 1 UA, amb una franja pràcticament buida de matèria per sobre del radi d'1 UA. En els següents 30-50 milions d'anys es formaran Mercuri, Venus i la Terra, dins d'aquest radi d' 1 UA, amb els residus de planetesimals arrossegats per Júpiter que no han acabat caient al Sol. Mart, situat més enllà d' 1 UA, ha vist interrompuda la seva formació per l'arribada i sortida de Júpiter que l'ha deixat sense materials per créixer la seva massa, amb el que quedarà finalment amb una massa inferior a la Terra. El model de Walsh també justifica la formació del cinturó d'asteroides, actualment entre Mart i Júpiter, com a resultat final del viatge d'anada i tornada de Júpiter i Saturn.

Konstantin Batygin de CalTech i Gregory Laughlin de la universitat de Califòrnia es demanen quina relació podria tenir la Gran Virada amb el fet de que en les proximitats del Sol no hi ha planetes i en canvi, si que n'hi ha, amb masses varies vegades la de la Terra, en els sistemes extrasolars observats. El 2015 presenten el seu model amb el que demostren que, si ara no hi ha planetes en les proximitats del Sol, és perquè els que hi havia en el temps de formació del sistema solar, no haurien sobreviscut als efectes de la Gran Virada.

Quan Júpiter migra cap el sistema solar interior, la seva força gravitatòria afecta les òrbites circulars i ordenades dels planetesimals que va trobant en el seu camí, fins a convertir-les en espirals i caòtiques. Els planetesimals xoquen entre ells trencant-se en fragments que, a la seva vegada, produeixen nous xocs i noves fragmentacions fins a formar una cascada desordenada de materials sòlids petits que van descendint en espiral cap el Sol. En el seu camí troben els planetes en formació propers a l'estrella i entren en ressonància amb ells. Igual que la ressonància entre Júpiter i Saturn referida abans feia que s'ajustessin les òrbites d'ambdós, ara la cascada de materials sòlids frena la seva caiguda ajustant el seu moviment al dels planetes en formació amb el que es van trobant. Quan un núvol de materials sòlids s'acosta a un planeta i les òrbites entren en ressonància, el resultat és nefast per el planeta, que perd energia i comença a caure en espiral cap el Sol. El model de Batygin i Laughlin mostra que cap planeta en formació hauria pogut sobreviure més d'uns pocs centenars de milers d'anys, des del començament de la caiguda en cascada dels residus sòlids.

A través de models d'ordinador desenvolupats des de 2001, tenim doncs una explicació de com l'acció conjunta de Júpiter i Saturn hauria pogut transformar un sistema planetari similar als que es venen observant des de fa 25 anys, en un sistema peculiar. Els fets més característics d'aquest sistema són: un buit de planetes en les proximitats de l'estrella, seguit d'una franja de planetes en els que, almenys en un, s'ha pogut desenvolupar la vida i quatre planetes gegants més enllà. Més cap a l'exterior, es troben molts altres cossos amb òrbites excèntriques i molt allunyades del Sol, alguns dels quals estan encara per descobrir.

(6) (9) (10) (11)

Fonts d'informació utilitzades

(1) Chadwick A. Trujillo, Scott S. Sheppard. "A Sedna-like body with a perihelion of 80 astronomical units". Nature 507, 471–474. 2 March 2014.

<http://home.dtm.ciw.edu/users/sheppard/pub/TrujilloSheppard2014.pdf>

(2) Alexandra Witze. "Evidence grows for giant planet on fringes of Solar System". Nature News. 20 January 2016.

<http://www.nature.com/news/evidence-grows-for-giant-planet-on-fringes-of-solar-system-1.19182>

(3) Sedna. Caltech. <http://web.gps.caltech.edu/~mbrown/sedna/>

(4) Eris [https://en.wikipedia.org/wiki/Eris_\(dwarf_planet\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Eris_(dwarf_planet))

(5) Mike Brown. How many dwarf planets are there in the outer solar system? California Institute of Technology. <http://web.gps.caltech.edu/~mbrown/dps.html>

(6) Batygin, Konstantin, Laughlin, Gregory P., Morbidelli, Alessandro. "Nacido del caos".

Investigación y Ciencia. Julio 2016, nº 478, pàg. 18.

<http://www.investigacionyciencia.es/revistas/investigacion-y-ciencia/numero/478/nacido-del-caos-14309>

(7) Konstantin Batygin and Michael E. Brown. "EVIDENCE FOR A DISTANT GIANT PLANET IN THE SOLAR SYSTEM". The Astronomical Journal. Volume 151, Nº 2. 20 January 2016.

<https://arxiv.org/pdf/1601.05438v1.pdf>

(8) Planets around other stars. NASA.

<http://science.nasa.gov/astrophysics/focus-areas/exoplanet-exploration/>

(9) F. Masset and M. Snellgrove. «Reversing type II migration: resonance trapping of a lighter giant protoplanet». Astronomy Unit, School of Mathematical Sciences, Queen Mary & Westfield College, Mile End Road, London E1 4NS

<http://mnras.oxfordjournals.org/content/320/4/L55>

(10) Kevin J. Walsh i altres. «A low mass for Mars from Jupiter's early gas-driven migration». Nature 475, 206–209 (14 July 2011) doi:10.1038/nature10201

<http://www.nature.com/nature/journal/v475/n7355/abs/nature10201.html>

(11) Konstantin Batygin and Gregory Laughlin. «Jupiter's Decisive Role in the Inner Solar System's Early Evolution». Proceedings of the National Academy of Sciences USA. Vol 112, nº 14. April 2015. <https://arxiv.org/abs/1503.06945>