

XI TALLER DE CIENCIAS  
PLANETARIAS  
XI REUNIÃO DE TRABALHO SOBRE  
CIÊNCIAS PLANETÁRIAS

14 al 18 de Febrero de 2022

Resúmenes de Presentaciones Invitadas

# Distribución de metales en la envoltura gaseosa de Júpiter

Yamila Miguel<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Leiden Observatory, The Netherlands

<sup>2</sup> Netherlands Institute for Space Research (SRON)

## Resumen - Resumo

Júpiter está compuesto principalmente de Hidrógeno y Helio, pero la masa de elementos pesados y su distribución en el interior de Júpiter es el ingrediente fundamental para entender la formación y evolución del planeta. La misión Juno de la NASA se encuentra orbitando a Júpiter desde el 2016 y nos brindó información que cambió completamente nuestro conocimiento acerca de este planeta. Los precisos datos de gravedad nos permitieron entender la rotación diferencial del planeta y nos llevaron a desarrollar un nuevo modelo para explicar su interior, formación y evolución, que cambió el paradigma de los interiores de planetas gigantes. En esta charla voy a contarles los más grandes descubrimientos que hicimos estos últimos años gracias a los datos de esta misión, incluyendo el nuevo modelo de interior de Júpiter propuesto y nuestros nuevos resultados acerca de la distribución de elementos pesados en la envoltura gaseosa del gigante del Sistema Solar.

# A New Model Explaining the Architecture and the Compositional Diversity of the Inner Solar System

André Izidoro<sup>1</sup>, Rajdeep Dasgupta<sup>1</sup>, Sean N. Raymond<sup>2</sup>, Rogerio Deienno<sup>3</sup>,  
Bertram Bitsch<sup>4</sup>, Andrea Isella<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Department of Earth, Environmental and Planetary Sciences, MS 126, Rice University, Houston

<sup>2</sup> Laboratoire d'Astrophysique de Bordeaux, Univ. Bordeaux, CNRS, B18N, allée Geoffroy Saint

<sup>3</sup> Southwest Research Institute, 1050 Walnut St. Suite 300, Boulder, CO 80302, USA

<sup>4</sup> Max-Planck-Institut für Astronomie Königstuhl 17, 69117 Heidelberg, Germany

<sup>5</sup> Department of Physics and Astronomy, Rice University, Houston, TX 77005, USA

## Resumen - Resumo

Mass-independent isotopic anomalies of carbonaceous and non-carbonaceous meteorites show a clear dichotomy, suggesting an efficient separation of the inner and outer solar system. Astronomical observations show that ring-like structures in the distribution of mm-sized pebbles in protoplanetary disks are common. These structures are often associated with drifting pebbles being trapped by local pressure maxima in the gas disk. Similar structures may also have existed in the sun's natal disk, which could naturally explain the meteorite/planetary isotopic dichotomy. Here we test the effects of pressure bumps on the formation of the solar system. We perform numerical simulations coupling different stages of planet formation from dust coagulation to the late stage of accretion of terrestrial planets. Our results show that the terrestrial embryos formed via planetesimal accretion rather than pebble accretion. In our model, the radial drift of pebbles fosters planetesimal formation. However, once a pressure bump forms, pebbles in the inner disk are lost via drift before they can be efficiently accreted by embryos growing  $> 1$  au. Consequently, the terrestrial planets must have accreted from giant impacts of Moon-to-Mars-mass planetary embryos formed at  $> 1$  au. By following the late stage of accretion of terrestrial planets we show that our model naturally accounts for the low-mass of Mars. We present a model that can explain the orbital structure of the inner and outer Solar System and provides a framework to explain the origins of isotopic signatures of Earth, Mars and different classes of meteorites.

# EL PROGRESO EN EL CONOCIMIENTO DE LOS OBJETOS TRANSNEPTUNIANOS Y CENTAUROS MEDIANTE OCULTACIONES ESTELARES

J. L. Ortiz<sup>1</sup>, P. Santos-Sanz<sup>1</sup>, R. Duffard<sup>1</sup>, N. Morales<sup>1</sup>, M. Vara-Lubiano<sup>1</sup>, M. Kretlow<sup>1</sup>, A. Alvarez-Candal<sup>2</sup>, The Lucky Star team<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Astrofísica de Andalucía-CSIC, Granada, España

<sup>2</sup> Instituto de Astrofísica de Andalucía-CSIC, Granada, España / Universidad de Alicante, España

<sup>3</sup> LESIA, Observatoire de Paris / Université PSL, CNRS, Sorbonne Université, / IMCCE, Observatoire de Paris, Francia / Instituto de Astrofísica de Andalucía-CSIC, Granada, España / Universidade Federal do Rio de Janeiro - Observatório do Valongo / Laboratório Interinstitucional de e-Astronomia - LIneA, UNESP - São Paulo State University / Grupo de Dinámica Orbital e Planetología Guaratinguetá / Federal University of Technology-Paraná (UTFPR / DAFIS), Curitiba / Observatório Nacional/MCTIC, Rio de Janeiro, Brasil

## Resumen - Resumo

Los objetos transneptunianos (TNOs) y los centauros son poblaciones de especial relevancia para el entendimiento de la formación de los planetas y la arquitectura del sistema solar. Su estudio con diferentes metodologías es pues muy importante. Las ocultaciones estelares nos han revelado detalles y características no anticipadas en estos cuerpos, como por ejemplo la presencia de anillos, pero también nos están permitiendo obtener formas y dimensiones de estos objetos con una precisión muy alta, lo que a su vez nos está permitiendo adentrarnos en numerosos aspectos de la física general de estos cuerpos, sobre todo cuando los resultados de las ocultaciones se combinan con información adicional proporcionada por otro tipo de observaciones en el visible, en el infrarrojo cercano y en el térmico. En esta charla revisaremos algunos de los aspectos más interesantes puestos de manifiesto por las ocultaciones estelares con énfasis en lo que se obtiene combinando esta técnica con otro tipo de observaciones.

# TOI-216: Resonant Constraints on Planet Migration

David Nesvorný<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Space Studies, Southwest Research Institute

## Resumen - Resumo

TOI-216 is a pair of close-in planets with orbits deep in the 2:1 mean motion resonance. The inner, Neptune-class planet (TOI-216b) is near 0.12 au (orbital period  $P_b \simeq 17$  d) and has a substantial orbital eccentricity ( $e_b \simeq 0,16$ ), and large libration amplitude ( $A_\psi \simeq 60^\circ$ ) in the resonance. The outer planet (TOI-216c) is a gas giant on a nearly circular orbit. We carry out  $N$ -body simulations of planet migration in a protoplanetary gas disk to explain the orbital configuration of TOI-216 planets. We find that TOI-216b's migration must have been halted near its current orbital radius to allow for a convergent migration of the two planets into the resonance. For the inferred damping-to-migration timescale ratio  $\tau_e/\tau_a \simeq 0,02$ , overstable librations in the resonance lead to a limit cycle with  $A_\psi \simeq 80^\circ$  and  $e_b < 0,1$ . The system could have remained in this configuration for the greater part of the protoplanetary disk lifetime. If the gas disk was removed from inside out, this would have reduced the libration amplitude to  $A_\psi \simeq 60^\circ$  and boosted  $e_b$  via the resonant interaction with TOI-216c. Our results suggest a relatively fast inner disk removal ( $\sim 10^5$  yr). Another means of explaining the large libration amplitude is stochastic stirring from a (turbulent) gas disk. For that to work, overstable librations would need to be suppressed,  $\tau_e/\tau_a \simeq 0,05$ , and very strong turbulent stirring (or some other source of large stochastic forcing) would need to overcome the damping effects of gas. Hydrodynamical simulations can be performed to test these models.

## Super-Tierras, mini-Neptunos y el “valle de radios” de los exoplanetas

Julia Venturini<sup>1</sup>, Octavio Guilera<sup>2</sup>, M. Paula Ronco<sup>3</sup>, Jonas Haldemann<sup>4</sup>,  
Marcelo Miller-Bertolami<sup>2</sup>, Christoph Mordasini<sup>4</sup>

<sup>1</sup> ISSI, Switzerland

<sup>2</sup> Instituto de Astrofísica de La Plata, CCT La Plata-CONICET-UNLP

<sup>3</sup> Instituto de Astrofísica, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago,  
Chile

<sup>4</sup> University of Bern, Switzerland

### Resumen - Resumo

La misión *Kepler* reveló que los exoplanetas con tamaño menor a Neptuno siguen una distribución bimodal de tamaños, con un claro “valle de radios” a  $\sim 1.8$  radios terrestres. Este “valle” es una de las características observacionales actuales más importantes para entender el origen y la composición de exoplanetas con tamaños menores al de Neptuno. En esta presentación, revisaré los mecanismos propuestos para explicar el origen del valle de radios, remarcando las inconsistencias que existen entre las predicciones de los modelos puramente evolutivos y las de los modelos de formación. Presentaré nuevos esfuerzos teóricos que apuntan a subsanar dicha inconsistencia. Nuestro modelo global de formación y evolución planetaria incluye: el crecimiento del polvo a pebbles por coagulación, arrastre y fragmentación; y la evolución del disco por acreción viscosa y fotoevaporación. Un embrión de masa lunar crece por acreción de pebbles rocosos o heladas, dependiendo de su posición con respecto a la línea de hielo. El modelo incluye además acreción de gas, migración planetaria, y fotoevaporación de la atmósfera una vez disipado el disco. Nuestros resultados indican que si bien el primer pico de la distribución de tamaños (o “super-Tierras”), son núcleos rocosos sin atmósfera, el segundo pico (o “mini-Neptunos”) tiende a estar constituido por planetas ricos en agua, con una tenue o inexistente atmósfera de H-He. Finalmente, discutiré resultados preliminares sobre la dependencia de la posición del valle con la masa estelar, así como también casos particulares donde la degeneración composicional de los mini-Neptunos podría ser levantada.

## DisCO-TNOs: buscando información sobre el origen del Sistema Solar en los objetos trans-Neptunianos con el James Webb Space Telescope

Noemí Pinilla-Alonso<sup>1</sup>

<sup>1</sup> FSI, University of Central Florida

### Resumen - Resumo

Han pasado 25 años desde el descubrimiento del primer objeto trans-Neptunian después de Plutón, (15760) Albion. En estos años se han descubierto más de 3000 de estos cuerpos helados que orbitan en las regiones externas del Sistema Solar observable y, aún así, esta es una fracción muy pequeña de los que se estima que existen en el sistema solar. Los TNOs (de sus siglas en inglés), incluyendo en esa definición laxa a los Centauros, guardan información sobre la dispersión dinámica ocurrida en el disco protoplanetario tras la era de formación de los planetas. Quizás por eso, se observa una gran diversidad en las propiedades de estos objetos tanto desde el punto de vista dinámico como en el tamaño, los colores o en el albedo. Sin embargo, es llamativo que esa diversidad no se aprecia en los estudios de composición superficial.

La espectroscopía de TNOs ha sido durante años la herramienta más poderosa a la hora de estudiar su composición. Aún así, el número de espectros de calidad suficiente para detectar bandas de absorción con certeza es muy limitado, a penas alcanza un par de decenas y, con la excepción de los planetas enanos, ricos en hielos, tan sólo podemos afirmar con seguridad que la detección de hielo de agua es común y que quizás se haya detectado metanol o volátiles en un par de objetos. La realidad es que en las últimas décadas, pocos avances se han hecho en la detección de los hielos, silicatos amorfos y orgánicos complejos y la esperanza de hacer grandes avances con la instrumentación existente en observatorios terrestres es muy baja.

Por ello, el próximo lanzamiento del James Webb Space Telescope (en diciembre del 2021) es una gran esperanza para avanzar en la detección de hielos en el Sistema Solar. El JWST (de sus siglas en inglés) está diseñado para tomar el relevo del telescopio espacial Hubble extendiendo las observaciones de este hacia el infrarrojo. Más en concreto, el espectrógrafo NIRSpec proporcionará datos de una calidad que sobrepasará la existente en la actualidad en varios órdenes de magnitud. El programa DisCo: Descubriendo la Composición Superficial de TNOs, liderado desde el Instituto de Espacio de Florida, es el único programa aprobado por el JWST en el primer ciclo de observación que, junto con el pequeño program aprobado en tiempo garantizado, servirá para estudiar la composición de estos población de cuerpos helados con el fin de determinar, por primera vez, la proporción relativa de hielo de agua, orgánicos complejos, silicatos, y volátiles en la superficie de una muestra de TNOs representativa de la población conocida en la actualidad. Esta información es vital para mejorar los

modelos de formación del Sistema Solar y de otros sistemas planetarios siendo relevante para determinar el origen del agua y de la vida en la tierra y, quizás, en el universo.

En esta charla presentaré una actualización del estado del JWST tras el lanzamiento y también de las preparaciones para explotar el programa DiSCO, tan solo meses antes de que los datos empiecen a llegar.

## O que revelam os resultados das missões OSIRIS-REx e Hayabusa 2, e o experimento DART no futuro das missões a geocruzadores.

Pedro Henrique A. Hasselmann<sup>1</sup>, Elisabetta Dotto<sup>1</sup>

<sup>1</sup> INAF Osservatorio Astronomico di Roma, Via Frascati 33, 00078, Monte Porzio Catone, Roma, Italy

### Resumo

As atuais missões a geocruzadores atingem o momento mais esperado de seus objetivos. JAXA/Hayabusa 2 teve o material recolhido trazido a Terra em Dezembro de 2020, este já em processo de análise pelos laboratórios da JAXA e da JSC/NASA. NASA/OSIRIS-REx deve retornar portando mais de 200 gramas, ultrapassando as expectativas de quantidade, e entrega-la em 24 de Setembro de 2023. Ambas missões estudaram por cerca de um ano e meio dois pequenos asteróides, Bennu e Ryugu, de tipo espectral primitivo, mas de composições e histórias geológicas distintas (Sugita et al., 2019, DellaGiustina et al. 2020). Enquanto ambos asteróides possuem uma paisagem altamente rochosa, com rochas apresentando sinais de estresse térmico e pouca poeira micrométrica (Cambioni et al., 2021), Bennu foi o único a apresentar diversos episódios de ejeções de partículas, com implicações importantes para a compreensão de tais mecanismos em asteróides cometários (Lauretta et al., 2019). Enquanto Ryugu e Bennu compartilham uma composição de matriz carbonácea, o corpo parente CI/CM de Ryugu parece ter sofrido um aquecimento mais intenso (570-670K) que aquele de Bennu (Kitazato et al., 2019, Tatsumi et al., 2021a), cuja morfologia espectral indica uma banda 2,7 microns mais profunda e um perfil espectral mais azulado no visível (Hamilton et al., 2020). A menor temperatura de formação de Bennu deixou sinais muito mais notáveis, como materiais orgânicos (Simon et al, 2020) e flossilicatos (Hamilton et al., 2020). Sendo tanto Ryugu e Bennu classificados como asteróides acumulados, os resultados mais recentes sobre a história de ambos corpos se revelam na detecção de materiais exógenos acretados durante suas formações (DellaGiustina et al., 2021; LeCorre et al., 2021; Tatsumi et al., 2021b). Enquanto a respeito das características micro-físicas da superfície, muitos das informações recentes são provenientes do robô MPI/MASCOT em Ryugu, modelagem térmica e também da análise das partículas mobilizadas durante a coleta de amostra em ambas missões. São, portanto, estudos fornecem informações essenciais para que se possa desenvolver modelos e experimentação de técnicas de mitigação de impactos.

É neste âmbito que a missão NASA/DART se encontra. Com um objetivo principalmente técnico que científico, em Setembro de 2022, a sonda DART vai se colidir a 6,6 km/s contra o menor membro do sistema binário de Didymos ("Dimorphos"), para provocar uma mudança de período orbital de cerca de 10 min ao sistema (Rivkin et al., 2021). O produto do impacto, a cratera artificial e a pluma de ejeção, será capturado pelas câmeras de LUKE e LEIA a bordo

do CubeSat ASI/LICIACube (Dotto et al., 2021). DART operara portanto o primeiro experimento de modificação orbital de um geocruzador, o primeiro passo para a prevenção de impactos de asteróides menores que 1 km.

### Referências

- Lauretta, D. et al., *Science* 366, 6470 (2019).  
Sugita et al., *Science* 364, 6437 (2019).  
DellaGiustina, D. et al., *Science* 370, 6517 (2020).  
Hamilton, V. E. et al., *Nature Astronomy* 3 (2020).  
Simon, A. A. et al., *Science* 370, 6517 (2020).  
Cambioni et al., *Nature* 598, 7879 (2021).  
Kitazato et al., *Science* 364, 6437 (2019).  
DellaGiustina et al., *Nature Astronomy* 5 (2021).  
LeCorre et al., *PSJ* 2, 3 (2021).  
Tatsumi et al., *Nature Communications* 12, (2021).  
Tatsumi et al., *MNRAS* 508, 2 (2021).  
Rivkin et al., *PSJ* 2:173 (2021).  
Dotto, E. et al., *PSC* 199, 105185 (2021).

## ¿Cómo nos preparamos ante el posible impacto de un asteroide?

Paula Benavidez<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal,

<sup>2</sup> Instituto de Física Aplicada a las Ciencias y la Tecnologías, Universidad de Alicante.

### Resumen - Resumo

En los últimos años se ha discutido sobre diferentes alternativas orientadas a elaborar una estrategia para mitigar el riesgo de un posible impacto de un asteroide con nuestro planeta Tierra. Finalmente, el experimento de Evaluación del Impacto y Desvío de un Asteroide (AIDA, por su acrónimo en inglés) es el que ha conseguido consolidarse y próximamente se pondrá a prueba. Este experimento consiste en dos misiones que se concibieron de forma complementaria: DART impulsada por la NASA y Hera desarrollada por la ESA. DART es la misión de Prueba de Re-direccionamiento de un Asteroide Doble y será la primera prueba a escala completa para desviar un asteroide. Posteriormente, la misión Hera visitará el sistema binario formado por Didymos y su luna Dimorphos, este último, objeto del impacto de DART, para realizará un estudio detallado tras el impacto. En esta charla recapitularemos lo que sabemos actualmente del sistema Didymos - Dimorphos y profundizaremos en la información que pueden aportarnos estas misiones con el fin de desarrollar futuras técnicas de defensa planetaria.

## Digitalización de los cuerpos menores

R. Duffard<sup>1</sup>, R. Morales<sup>1</sup>, M. Colazo<sup>2</sup>, A. Alvarez-Candal<sup>1</sup>, N. Morales<sup>1</sup>, J. L. Ortiz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Astrofísica de Andalucía-CSIC, Granada, España

<sup>2</sup> Observatorio Astronómico de Córdoba, Córdoba, Argentina

### Resumen - Resúmo

Dada la enorme cantidad de imágenes digitales adquiridas para la observación de asteroides y TNOs (en nuestro caso, imágenes digitales desde 2002), surgió la idea de uniformizar las imágenes y los objetos presentes en ellas para su mejor aprovechamiento. En este trabajo vamos a presentar los resultados de este esfuerzo, reflejado en 3 herramientas. ‘OM’ que realiza una calibración autónoma de imágenes (bias y flat), ‘M2’ que las resuelve astrométricamente con la resolución de GAIA EDR3, calcula la fotometría absoluta y genera la curva de rotación para un objeto dado y finalmente ‘Henosis’ que centraliza, homogeneiza y permite la correlación cruzada entre catálogos extensos. Con estas referencias es posible obtener la magnitud de nuestro target (asteroide o TNO) en el sistema fotométrico a elección. La idea del trabajo es procesar las imágenes al estilo GAIA, que solo hace el download de una tabla de resultados. El disco de almacenamiento de imágenes será reducido a una super tabla con toda la información de los targets y de las estrellas de campo. Las herramientas funcionan de manera local (no necesitan internet), paralela y están preparadas para el procesamiento masivo de imágenes en un cluster de computación. Los resultados se almacenan en una base de datos, permitiendo aplicar técnicas de minería de datos así como de ”machine learning” de una forma sencilla, y también cruzar los resultados obtenidos con distintos surveys como SLOAN, TESS, K2, o LSST. Finalmente, se presentarán algunos resultados como ejemplo.

## Monitoreo y estudio de lluvias de meteoros con el radar backscatter SAAMER.

Juan Sebastián Bruzzone<sup>1</sup>, Diego Janches<sup>2</sup>, Robert Weryk<sup>3</sup>, Jose Luis Hormaechea<sup>4,5,6</sup>, Leandro Maslov<sup>4</sup>, Claudio Brunini<sup>5,6</sup>, Gerardo Connon<sup>4,6</sup>, Carlos Ferrer<sup>4,6</sup>, Luis Barbero<sup>4,5</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Astronomía, Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Uruguay.

<sup>2</sup> ITM Physics Laboratory, Goddard Space Flight Center, NASA, USA

<sup>3</sup> Institute for Astronomy, University of Hawaii, USA

<sup>4</sup> Estación Astronómica Río Grande, Tierra del Fuego, Argentina

<sup>5</sup> Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, Argentina

<sup>6</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina

### Resumen - Resumo

El uso de instalaciones ópticas y de radar ha demostrado ser una forma eficaz de estudiar el ambiente de polvo en el sistema solar interior. Los radares de meteoros ofrecen capacidades únicas para sondear meteoroides de tamaños submilimétricos de forma continua y a diferencia de los sistemas ópticos, no están restringidos por condiciones meteorológicas. Por otro lado, los sistemas ópticos de todo el cielo son sensibles a meteoroides del tamaño de cm a algunos metros y proporcionan los medios para estudiar una población de meteoroides diferente. Históricamente, los radares para el estudio de meteoros se han desplegado en el hemisferio norte, dejando la mayor parte del cielo del hemisferio sur sin cartografiar. Esto cambió recientemente con el despliegue del radar de meteoros ágil del sur de Argentina (SAAMER). SAAMER está ubicado en la ciudad Argentina de Río Grande y ha estado operando en modo continuo desde 2008 ofreciendo una ventana única para sondear la población sub-milimétrica de meteoroides en los cielos australes. Con 12 años de operación continua, SAAMER ha permitido el descubrimiento de 37 nuevas lluvias de meteoros, la determinación de índices de masa del fondo esporádico, el seguimiento de cambios repentinos en la actividad de lluvias, entre otros estudios. En esta charla se describe el modo de operación de SAAMER para el monitoreo, identificación, seguimiento y caracterización de lluvias y se presentan resultados recientes obtenidos con el sistema.