

Programes d'estudi d'asteroides, cometes i meteorits als Països Catalans

LES MISSIONS DART i HERA

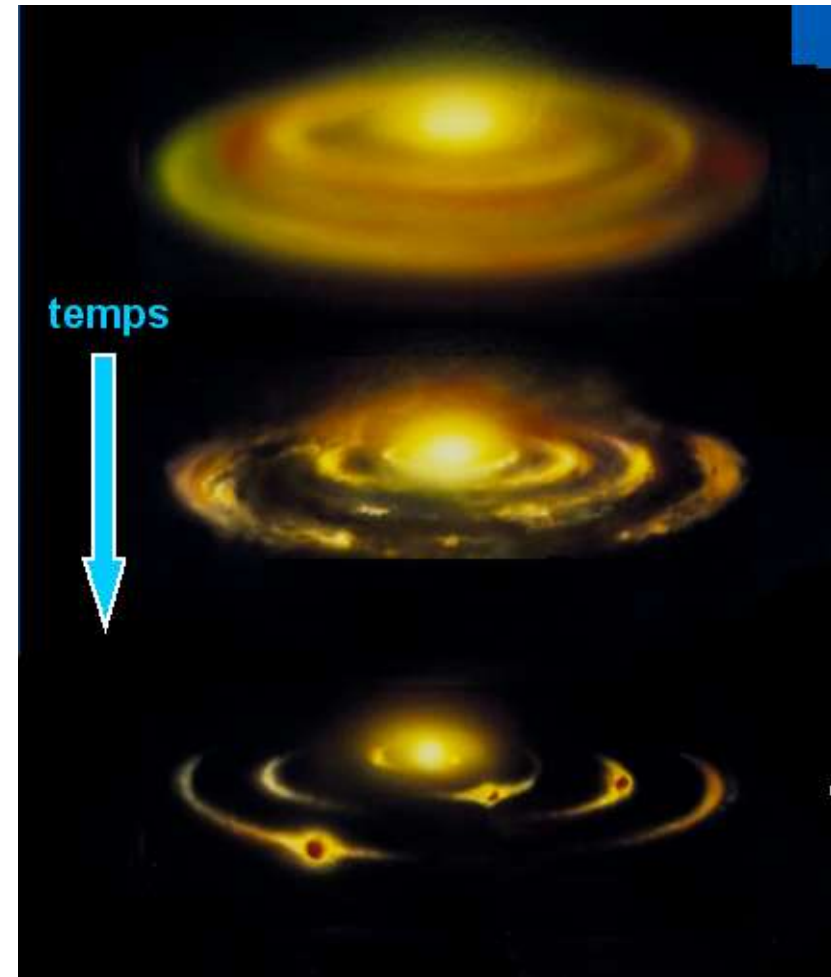
Josep M. Trigo-Rodríguez (ICE-CSIC, IEEC)

*Research From Space
& Into Space*

L'ORIGEN DEL SISTEMA SOLAR

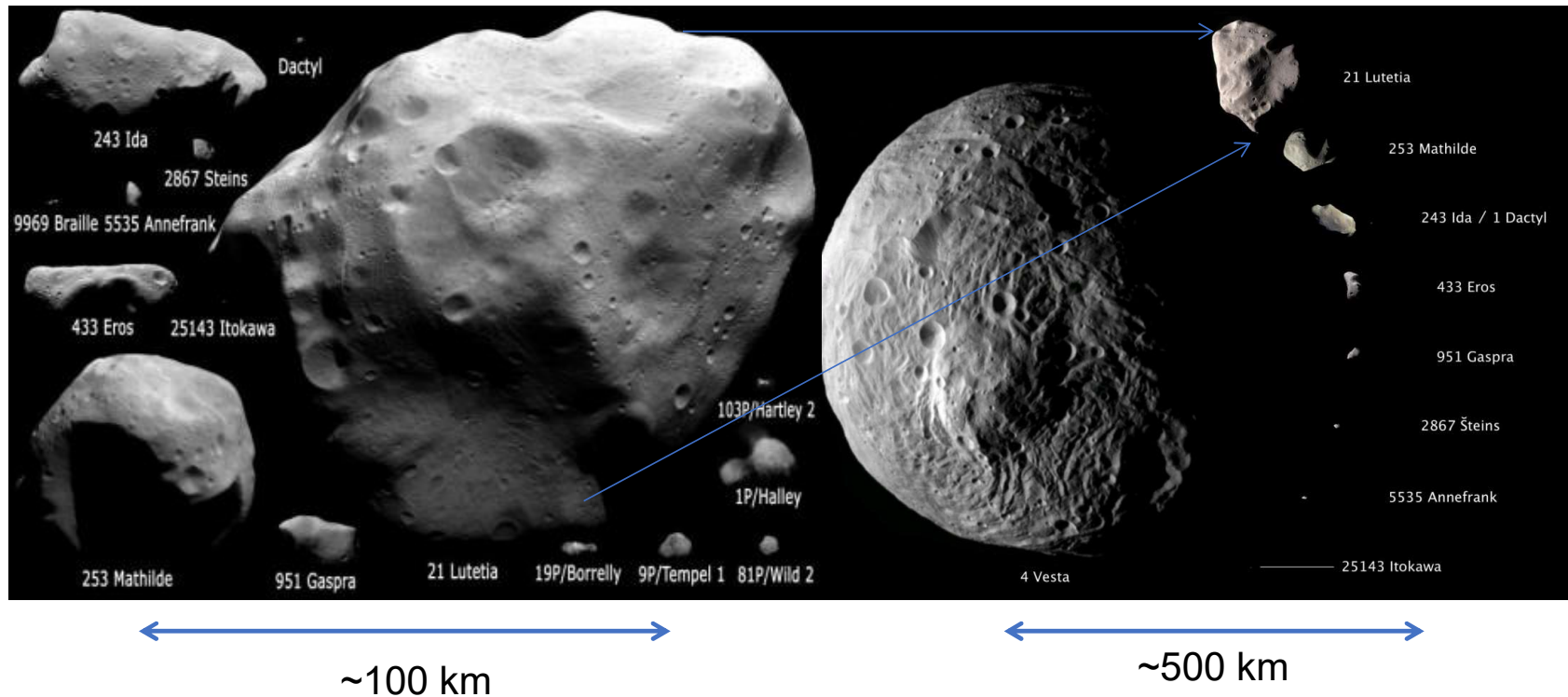
Fa 4.565 milions d'anys...

- El Sol acabat de nèixer era envoltat d'un disc de pols i materials condensats majoritàriament de la fase vapor
- A poc a poc els materials van col·lidir per anar formant cossos més grans
- En pocs milions d'anys es formaren els asteroides no diferenciats
- En prop de 50-100 milions d'anys acabaren formant embrions planetaris
- Podem conèixer aquest detalls de l'estudi directe dels meteorits i les mostres retornades



ASTEROIDES COM A FASCINANTS RESTES DE L'ACRECCIÓ:

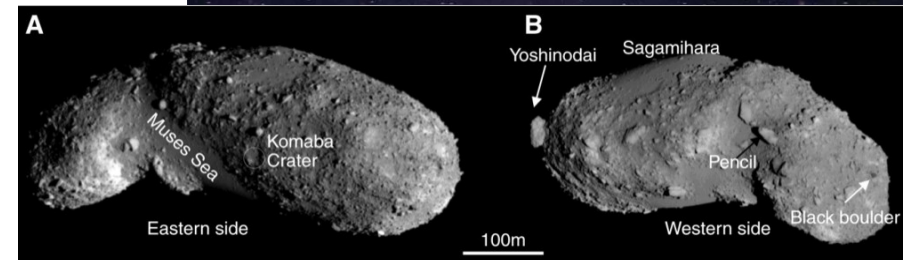
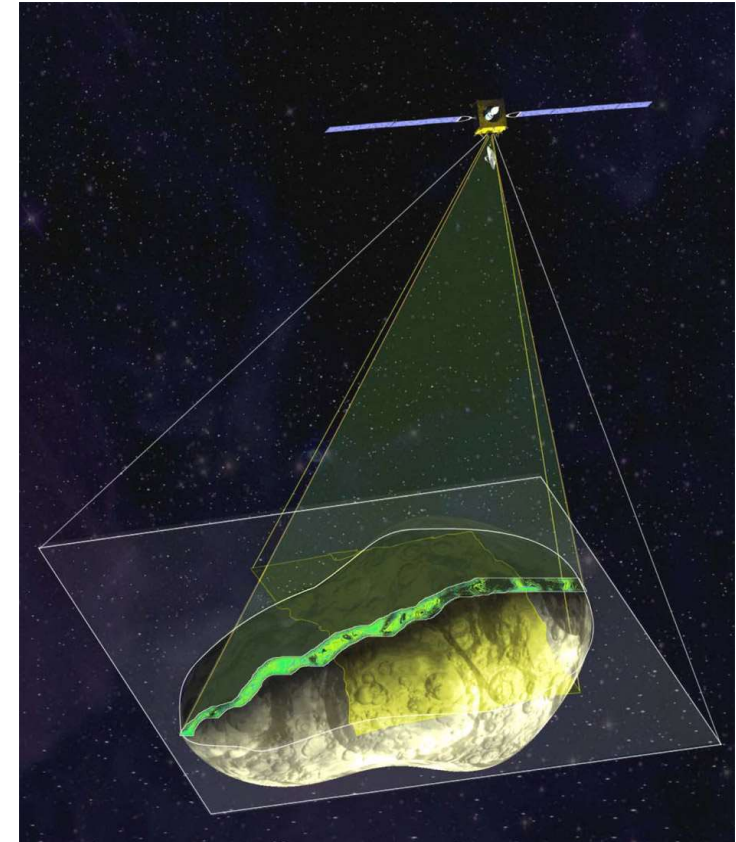
Majoritàriament asteroides no diferenciats (mai es van fondre), autèntics supervivents que han estat xocats i fragmentats en grans impactes



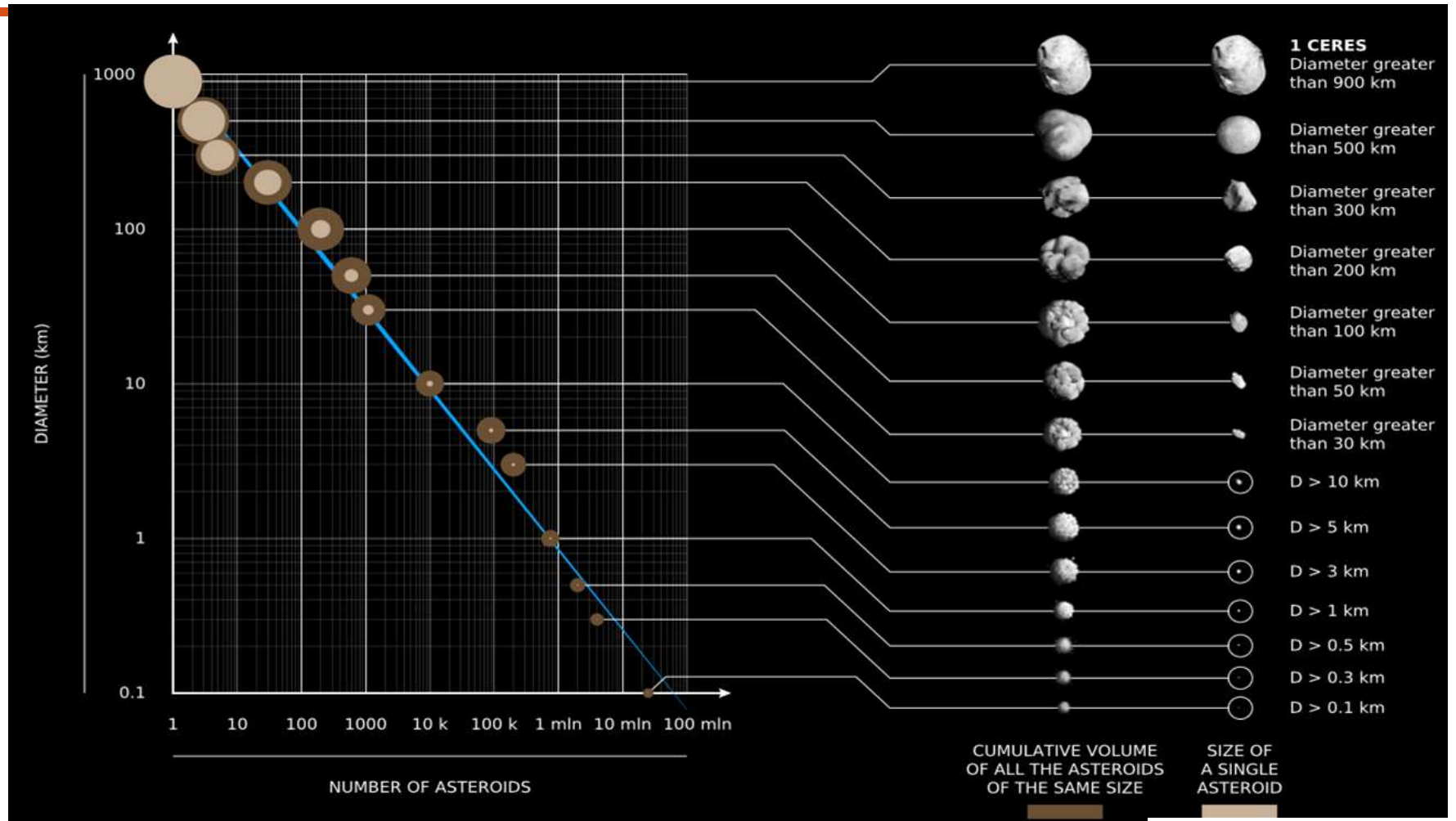
Desviar asteroides amb un rang tan ampli de propietats i dimensions és un repte enorme que requerirà cooperació a nivell internacional

DE QUÈ SÓN FETS ELS ASTEROIDES?

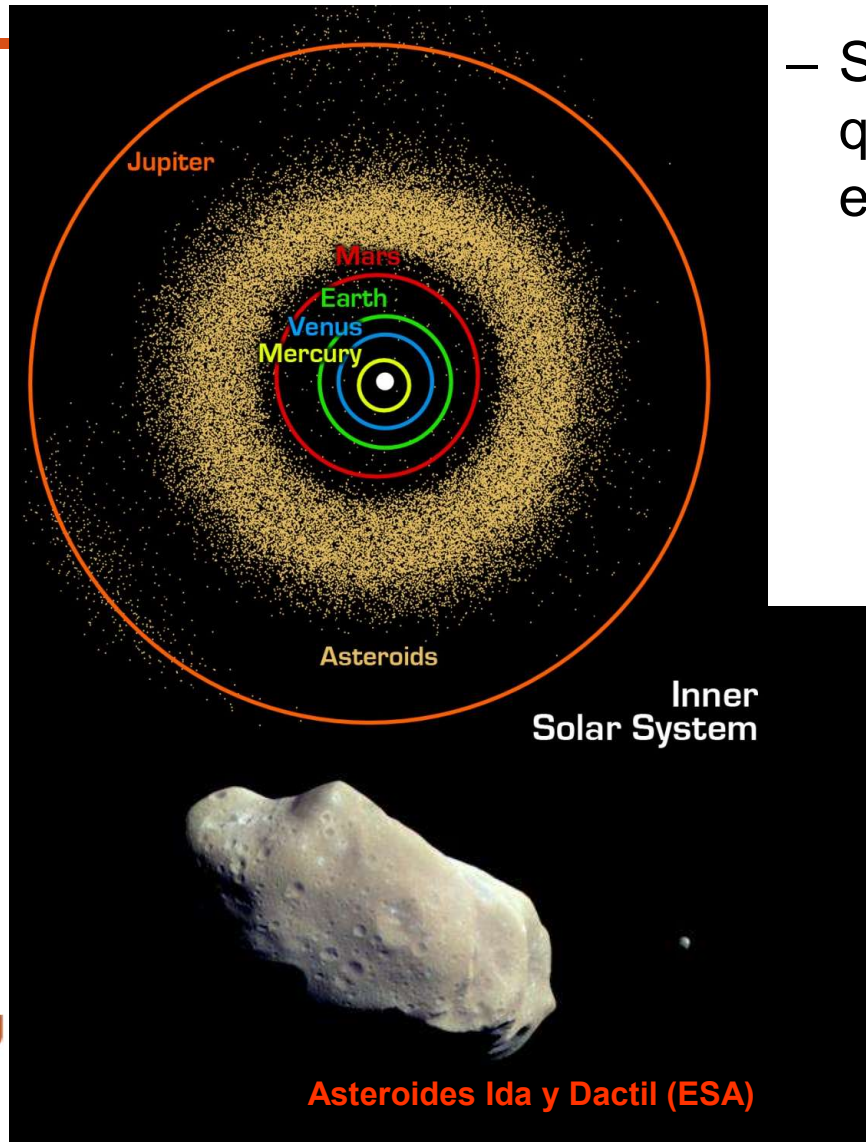
- Rocosos, metal·lorocosos, metàl·lics i... fràgils agregats (cometes extints)
- El nostre coneixement actual és el llegat de diverses missions espacials



EL NOMBRE ACUMULATIU D'ASTEROIDES



D'ON VENEN? EL CINTURÓ PRINCIPAL



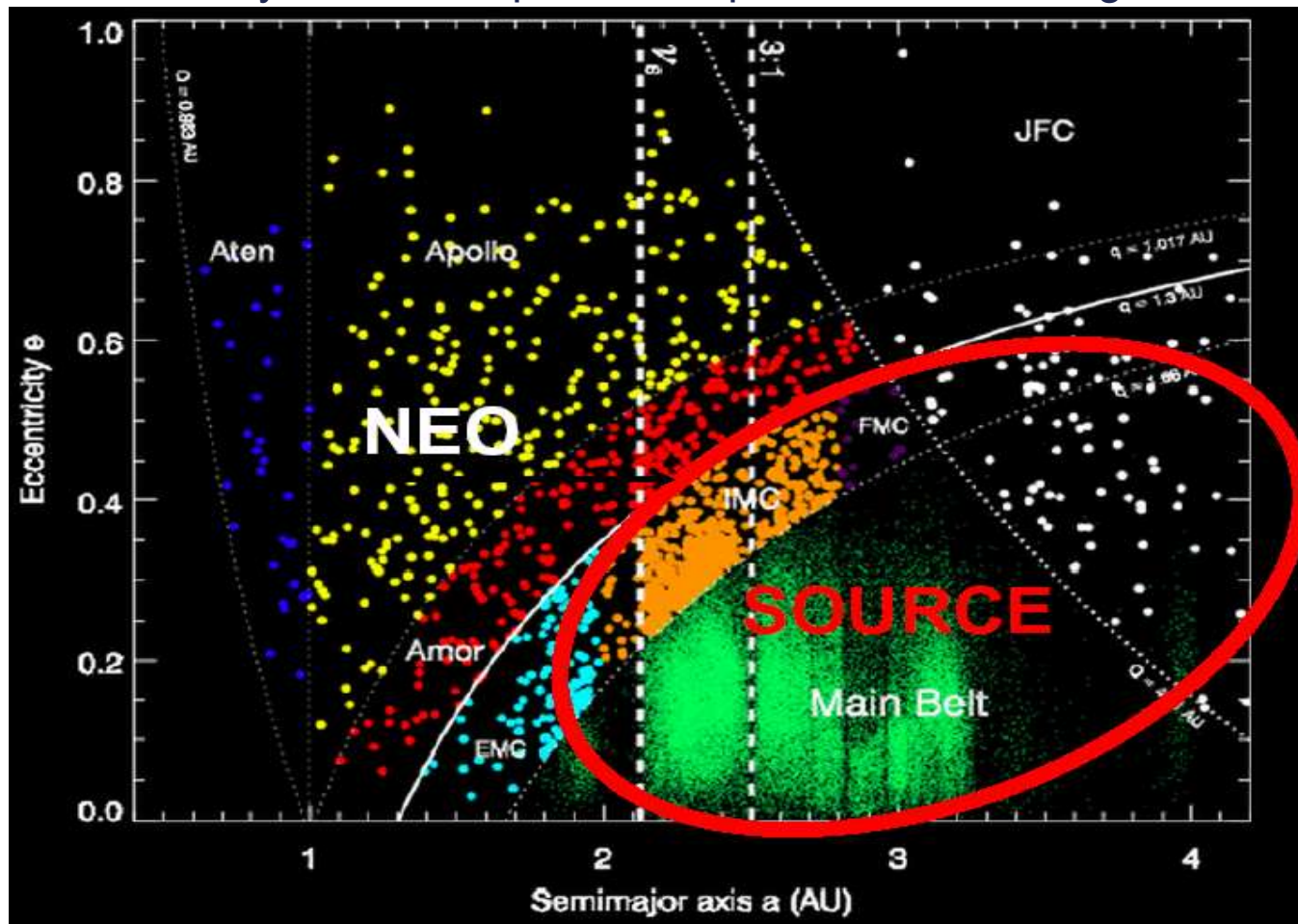
– Som sotmesos a un flux continu de cossos que no van ser dispersats ni agregats en els planetes

- Hi ha milions al Cinturó Principal (prop de 2 milions més grans d'un km)
- Amb òrbites properes a la Terra:
 - NEAs acrònim de **NEAR EARTH ASTEROIDS** (fins al 16 – 8- 2025)
 - 875 amb diàmetre $D > 1$ km
 - 38.928 en total (+123 cometes)
 - Asteroides potencialment perillosos (PHAs): $MOD < 7.5 \cdot 10^6$ km i $D > 150$ m
 - 154 de $D > 1$ km
 - 2.499 en total

• Entre un 80 a 90% dels cossos que col·lideixen amb la Terra provenen del cinturó principal

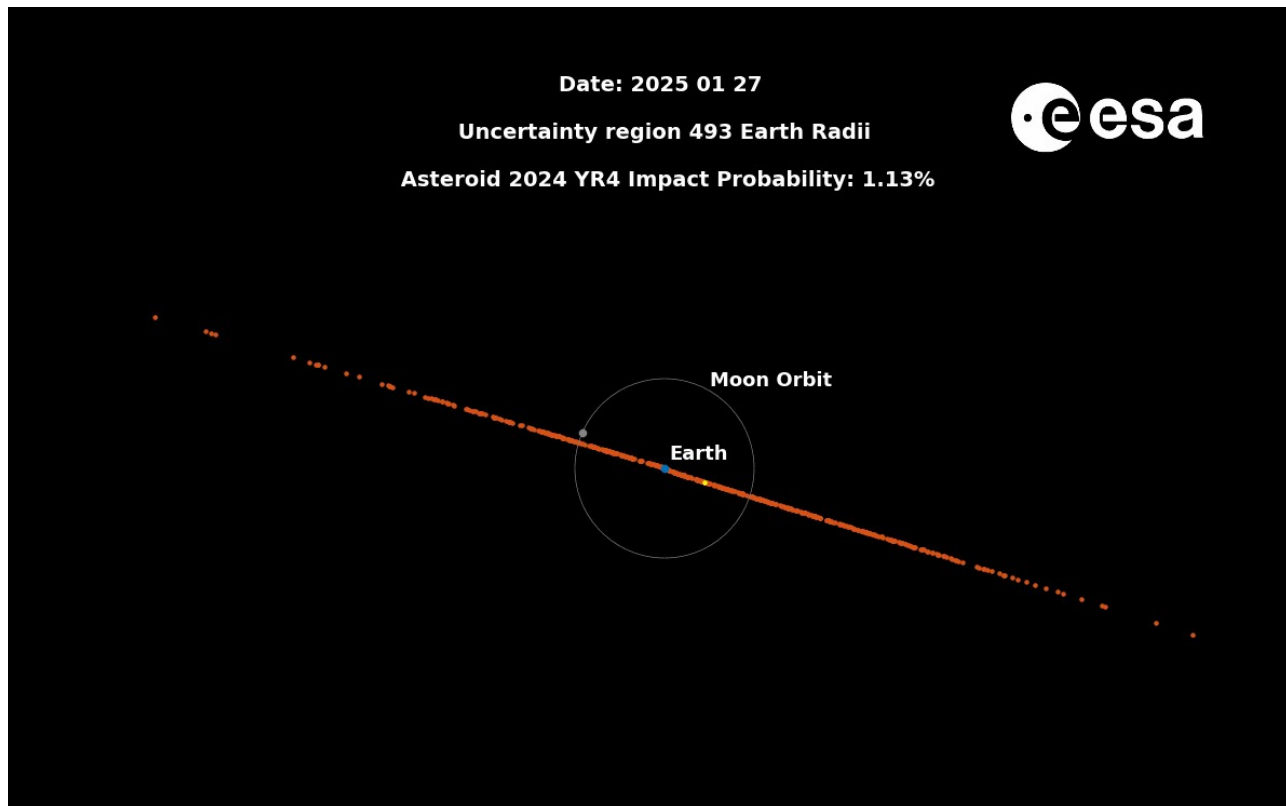
LES PRINCIPALS FONTS DE NEOs

- La majoria dels NEOs i de les roques despreses (meteoroides) provenen del *Cinturó Principal* d'asteroides, impulsats per ressonàncies gravitacionals
- Les de tamany mètric són potencials productores de caigudes de meteorits



QUÈ VA PASSAR AMB L'ASTEROIDE 2024 YR4?

- Descobrir asteroides de poques desenes de metres ja és força comú
- Una vegada descoberts, intentem millorar les seves òrbites preliminars segons passen els dies
- Per activar el protocol de COPUOS-ONU cal que descobrim un asteroide amb $\varnothing > 10$ m i que, després de calcular la seva òrbita, resulti una probabilitat d'impacte superior a l'1%, com va ser el cas per l'asteroide Apol·lo 2024 YR4.
- Com més observacions precises i més esteses en el temps tinguem, millor serà la reconstrucció que podrem fer de la seva òrbita. De fet, ara aquest asteroide ja no suposa cap risc l'any 2032



EL PIONER JOSEP COMAS I SOLÀ



càmera Petzval



J. Comas Solà



Vil·la Urània, infografia J.M. Oliver

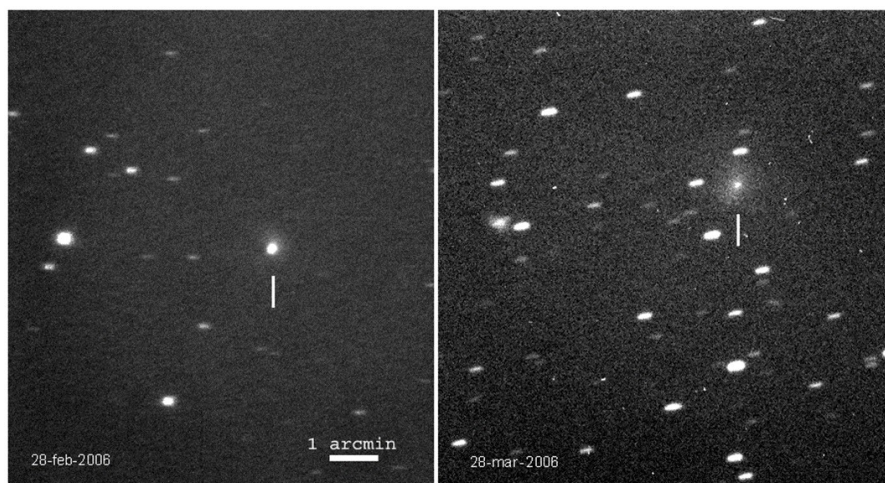
- 1883: Estudia la caiguda d'un meteorit a Tarragona, publica a L'Astronomie (amb 15 anys!)
- 1885: Observacions: l'eclipsi lunar, la pluja de meteors del cometa Biela i les de planetes
- 1886: Comença Físiques i Matemàtiques a la UB
- Observacions dels planetes
- 1890: Observacions continues amb un (R) 108 mm
- Publicacions constants a L'Astronomie
- Observacions de planetes i els seus satèl·lits
- 1896: Astrònom de l'Observatori de Sant Feliu de Guíxols sota mecenatge de Rafael Patxot: telescopi refractor de 22 cm d'obertura
- Estudis d'estels dobles publ. a Astronomische Nachrichten
- 1901: Membre Real Acadèmia de Ciències i Arts
- 1903: Inauguració de l'Observatori Fabra
- 1907: Observacions dels satèl·lits de Júpiter i Saturn
- Descobriment de l'atmosfera de Tità
- 1911: Fundà l'Associació Astronòmica d'Espanya i Amèrica
- 1915: Descobriment del seu primer asteroide
- Teoria pròpia sobre la natura corpuscular-ondulatòria de la radiació
- 1925 i 1926: Descobriment de dos cometes



L'ESTUDI D'ASTEROIDES I COMETES ALS PPCC

Sense ànim de ser exhaustiu, em permeto destacar:

- A banda dels treballs que fem sobre asteroides i meteorits des del nostre grup a l'ICE-CSIC/IEEC (aquí descrits)
- La Universitat d'Alacant (UA) té un grup especialitzat en cossos menors liderat pel catedràtic, Prof. Adriano Campo-Bagatín, amb dues línies:
 - Estudi físic i realització de models numèrics de sistemes de cossos menors del sistema solar (asteroides i cometes)
 - Seguiment d'objectes després transneptunians a través d'observacions astronòmiques
- L'ICC-UB/IEEC fa seguiments astromètrics i fotomètrics d'asteroides: Dr. Toni Santana
- La UPC té un grup sobre energia i meteorits liderat pel catedràtic Prof. Jordi Llorca
- L'Observatori Astronòmic de Mallorca (OAM) va jugar un paper clau en el descobriment d'asteroides:
 - L'OAM és l'observatori de l'estat espanyol amb més descobriments directes: >4.000 asteroides i 8 cometes
- També estudien el firmament una desena d'observatoris Astronòmics: Montsec (OdM), Pujalt, Esteve Duran, etc...



Canvis en l'aparença del cometa 29P/Schwassmann-Wachmann després d'un esclat el 28 Feb. 2006. Telescopi Cassegrain de 61 cm a f:10 (E. García-Melendo/Fundació Esteve Durán)

Publicat a Trigo-Rodríguez et al. (2008) A&A 485, 599-606.

ESTUDI DE METEORITS I MOSTRES RETORNADES A L'ICE-CSIC

Disposem d'una sala blanca amb un espectròmetre que treballa en el buit per comprendre les propietats reflectives de les mostres



Hi realitzem la caracterització de nous meteorits, així com estudis de les seves propietats i de la seva composició química (2ona classe)

CIÈNCIA CIUTADANA: LA XARXA D'INVESTIGACIÓ SOBRE BÒLIDS I METEORITS (SPMN)

- Un projecte *proam* en que donem explicació diària al fenomen meteòric, captant vora 5.000 bòlids a l'any des d'unes 50 estacions de detecció professionals i amateurs
- Mantenim un llistat en línia dels events meteòrics més destacables:
<https://www.ice.csic.es/news/citizen-science?view=article&id=335&catid=14>
- Un exemple de col·laboració pro-am amb prop de 30 anys d'història, coordinada desde el ICE-CSIC:
<https://www.ice.csic.es/news/citizen-science>

The Spanish Meteor Network (SPMN)

The SPMN network is coordinated by Josep M. Trigo-Rodríguez, principal investigator of the **Meteorite, Minor Bodies and Planetary Sciences Group** at ICE-CSIC. This 27 years old research project is based in professional-amateur collaboration (*proam*) and seeks to give scientific explanation to fireballs, promote new meteorite recoveries, and characterize new meteorites. In the project also participate scientists from other universities and research centers like e.g.: GEO3BCN-CSIC, UCM, UCLM, UV, and IEC, among others.



— Mantenim un llistat de boles de foc que actualitzem diàriament...



01/02/2025 - 00:56:30 TUC

SPMN010225C

Registro: Estaciones de vídeo detección de Barx-Visteta (Jordi Donet), Benamaurel-Granada (Fernando Gómez), Blesa-Teruel (Miguel Aznar), Cehegín-Murcia (Sensi Pastor y José A. de los Reyes), Estepa-Sevilla (Antonio J. Robles), La Aparecida (Vicente Cayuelas), y Sant Mateu (Cèsar Guasch).

Magnitud absoluta: -9 ± 1

Origen: Esporádico

Rango de observación: Andalucía, Castilla-La Mancha, Castilla y León, Comunidad de Madrid



31/01/2025 - 19:19:43 TUC

SPM310125K

Registro: Estaciones de vídeo detección de Benamaurel-Granada (Fernando Gómez), Esparreguera (Jordi Gil), Estepa-Sevilla (Antonio J. Robles), Sant Mateu (Cèsar Guasch) y Vallirana (Fernando Gómez).

Magnitud absoluta: -10 ± 1

Origen: Alfa Cáncria (Terentjeva 6)

Rango de observación: Andalucía, Castilla-La Mancha, Castilla y León, Comunidad de Madrid, Comunitat Valenciana y Extremadura.



31/01/2025 - 19:15:13 TUC

SPM280125S

Registro: Estaciones de vídeo detección de Arroyomolinos-Cáceres (Fernando Gómez), Estepa-Sevilla (Antonio J. Robles) y Sanlúcar de Barrameda-Cádiz (Miguel A. García).

Magnitud absoluta: -6 ± 1

Origen: Eta Draconida de Febrero (FED, **MDC #0427**)

Rango de observación: Andalucía, Castilla-La Mancha, Castilla y León, Comunidad de Madrid, Comunitat Valenciana y Extremadura.

EL SUPERBÓLID DEL 18 DE MAIG DE 2024 A LA PREMSA

EL PAÍS

Ciencia / Materia

Una bola de fuego ilumina el cielo: el meteorito que ha cruzado España era inusualmente grande

El objeto de origen cometario medía unos 20 centímetros, y atravesó la atmósfera a una velocidad de 45 kilómetros por segundo, provocando un estallido de luz

nósdiaário

Unha bóla de luz iluminou o ceo da Galiza de madrugada

Regió7

WDR

Feuerball

Blauer Meteor am Himmel über Spanien

Ein blaues Himmels-Spektakel hat die Menschen in Spanien und Portugal Samstagabend begeistert. Ein Komet zog über den Nachthimmel und verzauberte viele Menschen.

The New York Times

Comet Fragment Explodes in Dark Skies Over Spain and Portugal

A brilliant flash of blue, green and white on Saturday night came from a shard of an as yet unidentified comet that was moving around 100,000 miles per hour, experts said.

C NEWS

PORTUGAL : UN SPECTACULAIRE MÉTÉORE TRAVERSE LE CIEL ET PROVOQUE UN ÉCLAIR DE LUMIÈRE (VIDÉOS)



VÍDEO | Un bòlid travessa de matinada el cel d'Espanya i Portugal

Fragmento de rocha que provocou clarão explode após 500 quilómetros em chamas

Cor indica que material que ardeu é o magnésio. Pessoas descrevem clarão como uma imagem de um filme de ficção científica.

João Saramago, Secundino Cunha e João Carlos Rodrigues | 20 de Maio de 2024 às 01:30

Reuters

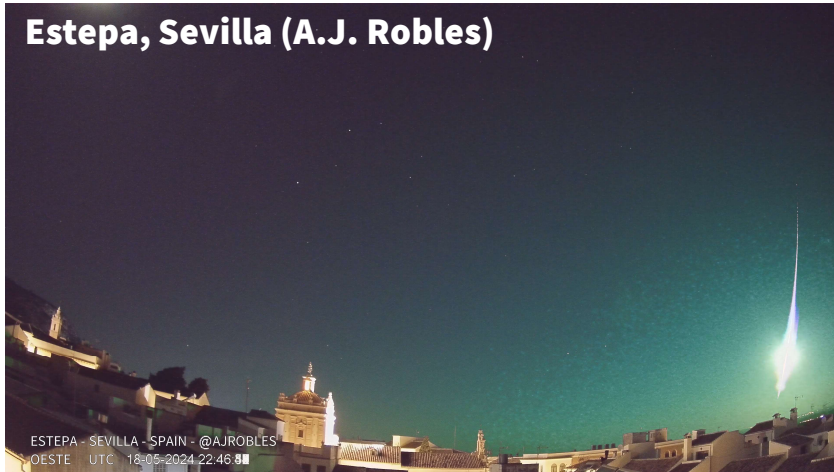
Comet fragment lights up sky over Spain and Portugal 'like a movie'

By Catarina Demony and Ana Cantero

May 19, 2024 6:11 PM GMT+2 · Updated a month ago

EXEMPLES DE CAPTURES DEL SUPERBÒLID

Estepa, Sevilla (A.J. Robles)



ESTEPA - SEVILLA - SPAIN - @AJROBLES
OESTE UTC 18-05-2024 22:46:51

Navianos, Zamora (M.A. Furones)



CHAIKA_S_Navianos de Vde

18-05-2024 22:46:41

Sanlúcar, Cádiz (M.A. García)

18-05-2024 22:46:51



Imou

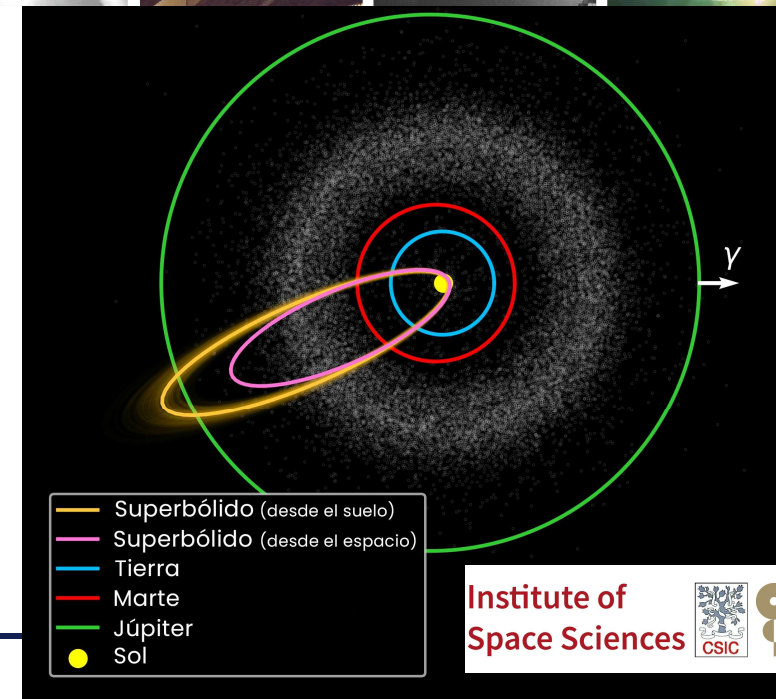
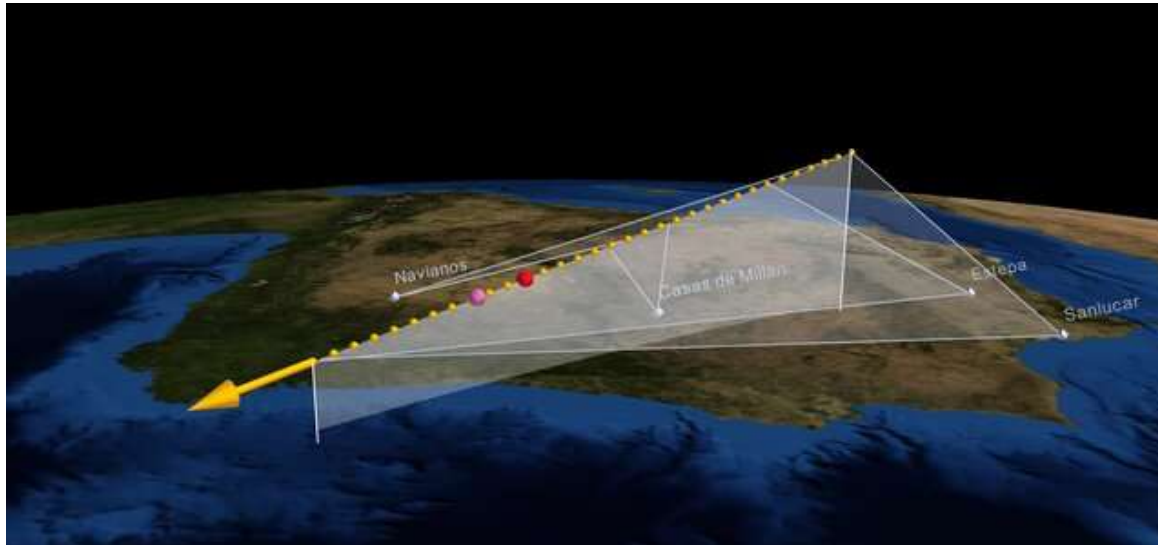
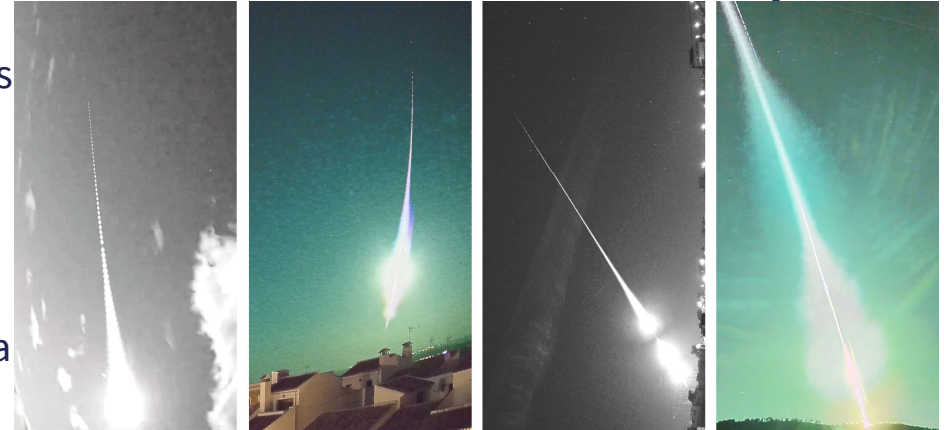
Casas de Millán, Cáceres

ESA/AllSky7



EL SUPERBÒLID DEL 19 DE MAIG EXPLICAT PER L'ICE-CSIC/IEEC

- Entre milers de bòlids captats anualment identifiquem uns pocs com a productors de meteorits o amb origen digne d'estudi
- Reconstruïm les seves trajectòries i el·lipses de distribució, tot intentant recuperar nous meteorits
- Calculem les seves òrbites en el sistema solar per conèixer el seu origen dinàmic i cos progenitor
- Exemple: El superbòlid SPMN180524F sobrevolant Extremadura i Portugal a 40 km/s (també captat pels satèl·lits dels EUA)
- Difícilment va sobreviure res perquè era molt fràgil



LA MISSIÓ DART DE LA NASA

DART's Level 1 Requirements

Defining the Mission's Planetary Defense Investigation

1



Impact Dimorphos

During its Sept/Oct 2022 close approach to Earth

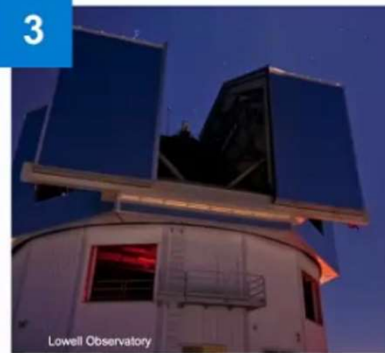
2



Change the binary orbital period

Cause a ≥ 73 -second change in the orbital period of Dimorphos

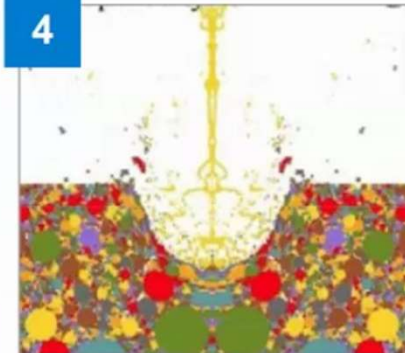
3



Measure the period change

To within 7.3 seconds, from ground-based observations before and after impact

4

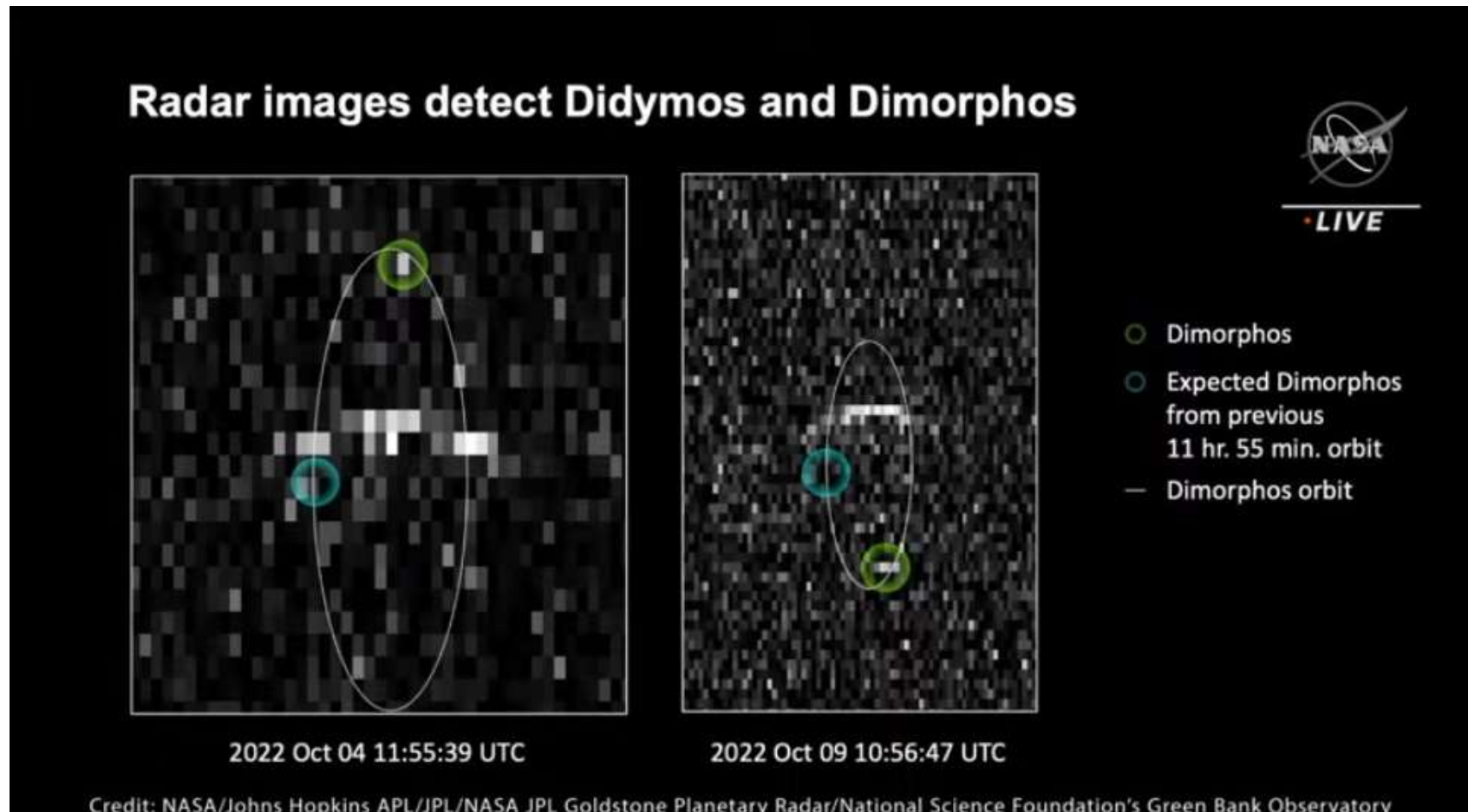


Measure "Beta" and characterize the impact site and dynamics

Beta = the momentum enhancement factor

CONeixement previ del sistema de Didymos

- Aquests asteroides relativament petits només es poden estudiar durant les aproximacions properes a la Terra
- La majoria de les investigacions es fan amb grans detectors de radar...



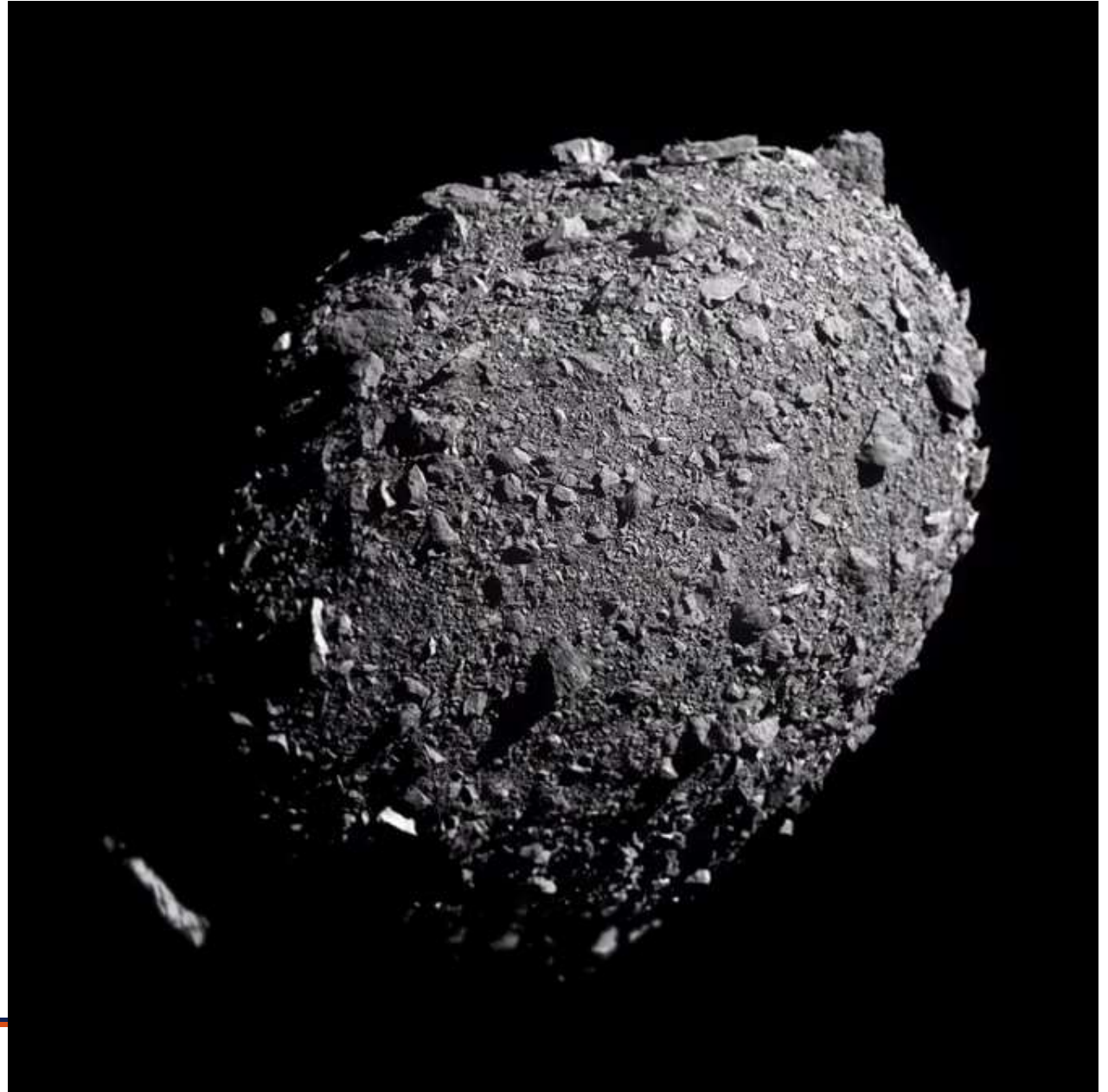
DIDYMOS

- Didymos, l'asteroide principal del sistema binari, té un diàmetre de 780 m.
- Asteroide relativament llis vist a 3-5 m/pix
- Una regió de latitud intermèdia es veu afectada pels lliscaments i el moviment del regòlit
- La unitat de les terres altes està dominada per grans roques
- No hi ha evidència clara de alineaments però sí de grans cràters



DIMORPHOS

- Dimorphos, el satèl·lit del (65803) Didymos, té una extensió màxima de 177 metres: un gegantí apilament de runa amb una massa ~5,5 milions de tones!
- Abans de l'impacte de DART, Dimorphos tenia la forma d'un esferoide oblat amb una superfície coberta de còdols però pràcticament sense cràters.
- La seva estructura demostra com aquests dos cossos celestes interactuen gravitatòriament entre ells



L'APROXIMACIÓ I IMPACTE DE DART A DIMORF

- L'impacte produí el llançament d'ejecta a alta velocitat, grans roques seguides de regolita que es fractura i genera pols micromètrica que forma la *dust trail*



Dimorphos es un geganti apilament de roques

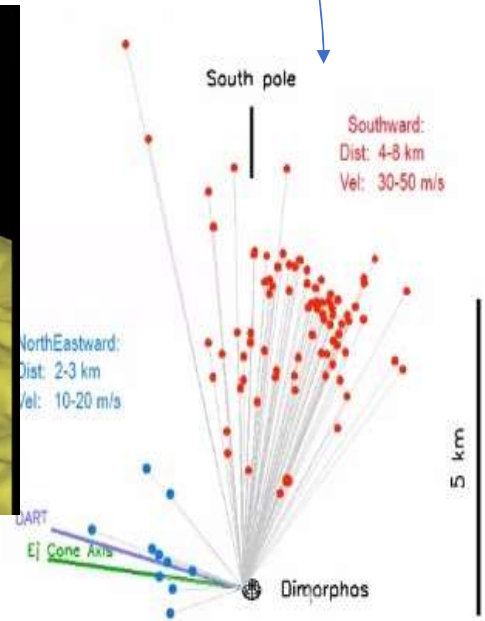
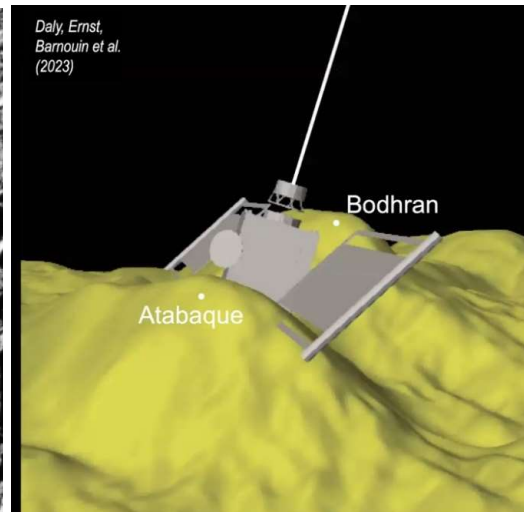


QUANTIFICANT ELS EFECTES DE DART

- A més de la pols de gra fi alliberada al plomall, vam identificar grans roques alliberades preferentment en direcció al Pol Sud
- La geometria d'impacte de DART va tenir un paper en l'excavació del cràter sobre una superfície d'asteroide rugosa coberta de còdols (vegeu el diagrama següent, Daly et al., 2023)
 - El gran bloc rocós anomenat Atabaque posseïa uns 6,5 m de llarg i 2 m d'alçada
 - Mentre que Bodhran era 6,1 m llarg i uns 1,6 m d'alçada



Simulated size approximation of DART spacecraft against last full image

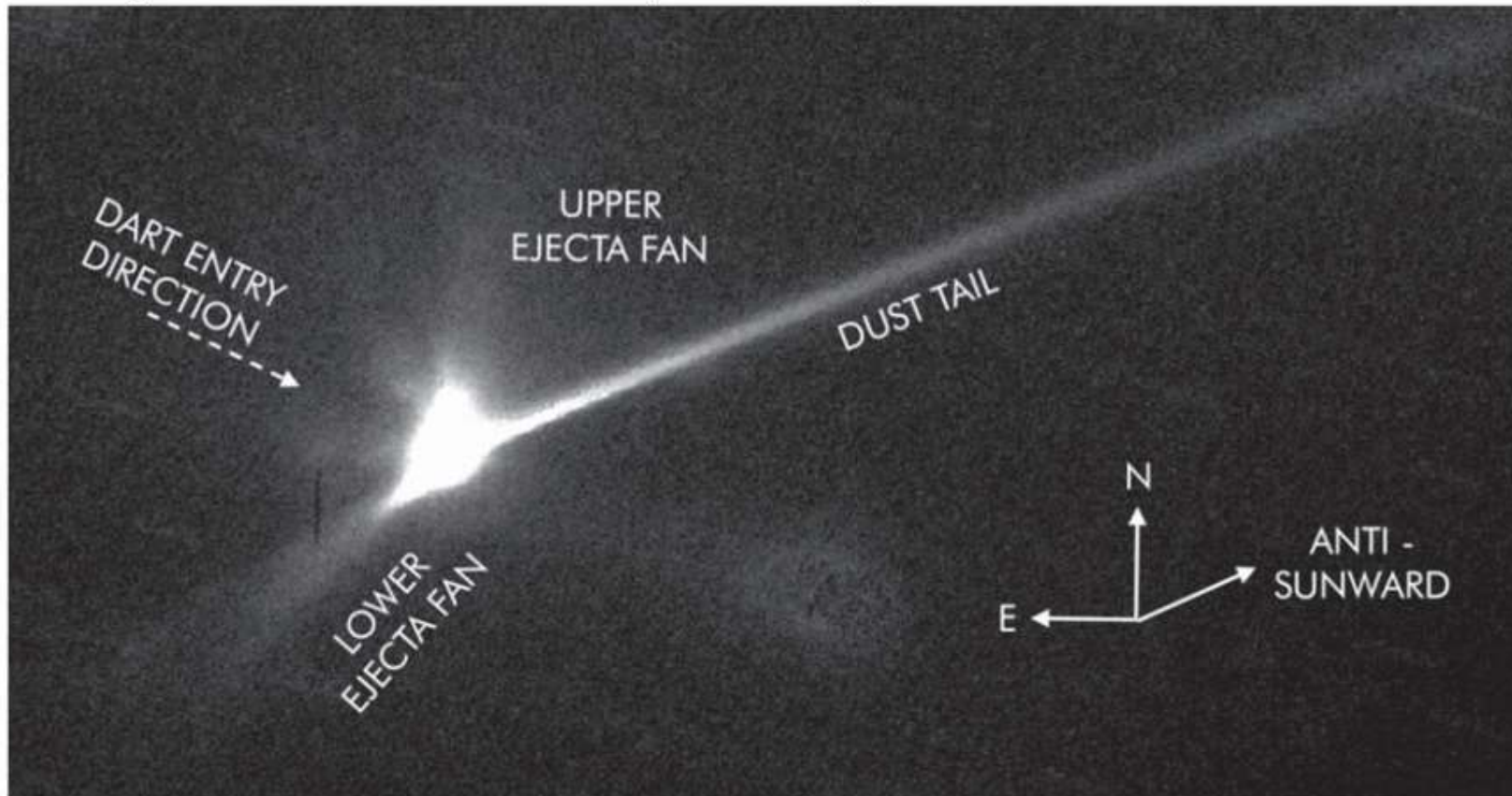


LES CORTINES POST-IMPACTE

- Just després de l'impacte del DART, el sistema Didymos es va difuminar per la pols. Es van utilitzar grans telescopis per monitoritzar l'evolució d'aquest (Kareta et al., 2023, ApJ)
 - Una cua de pols va ser produïda per partícules de la mida d'una micra sota la influència de la pressió de radiació
 - Diversos plomalls també van ser identificats i explicats a través de l'esmicolament de roques durant l'expulsió

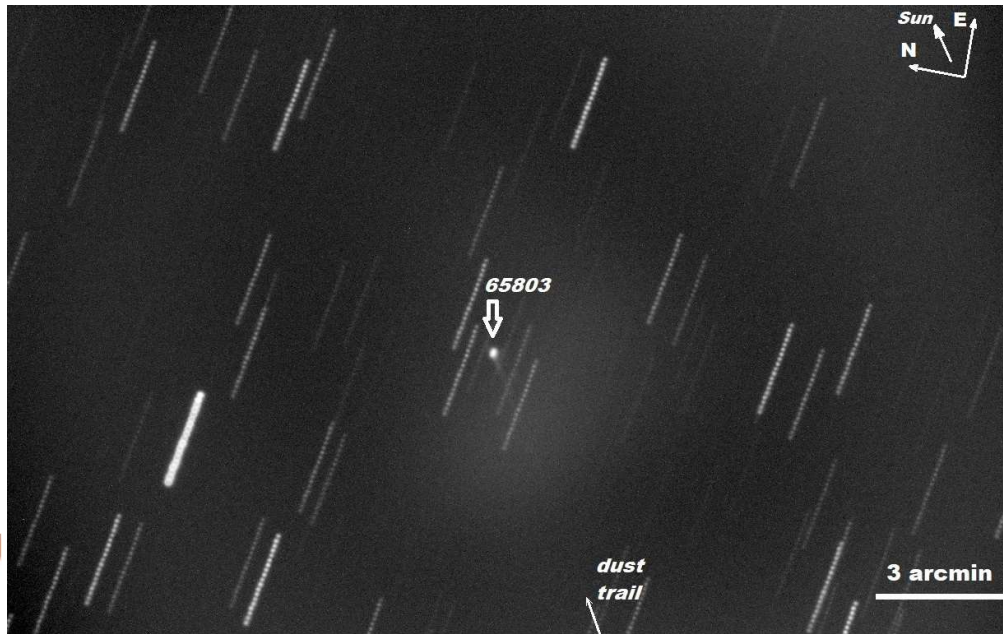
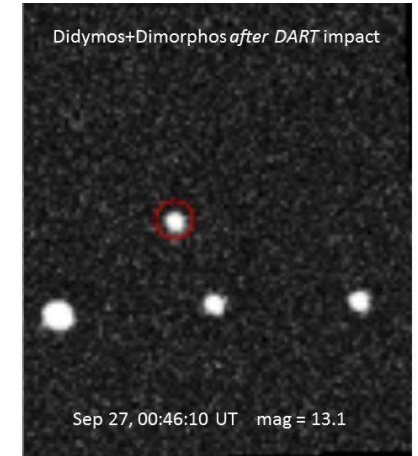
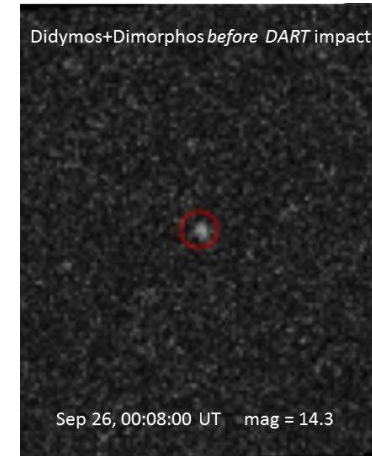
DART ejecta taken with the SOAR telescope on UTC September 29.

Kareta et al. 2023



OBSERVACIONS DES DE LA PENÍNSULA

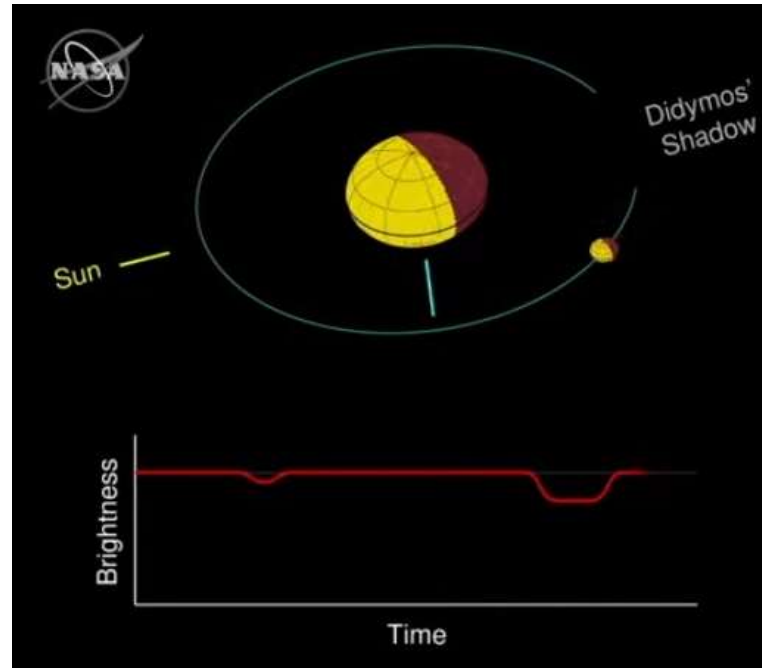
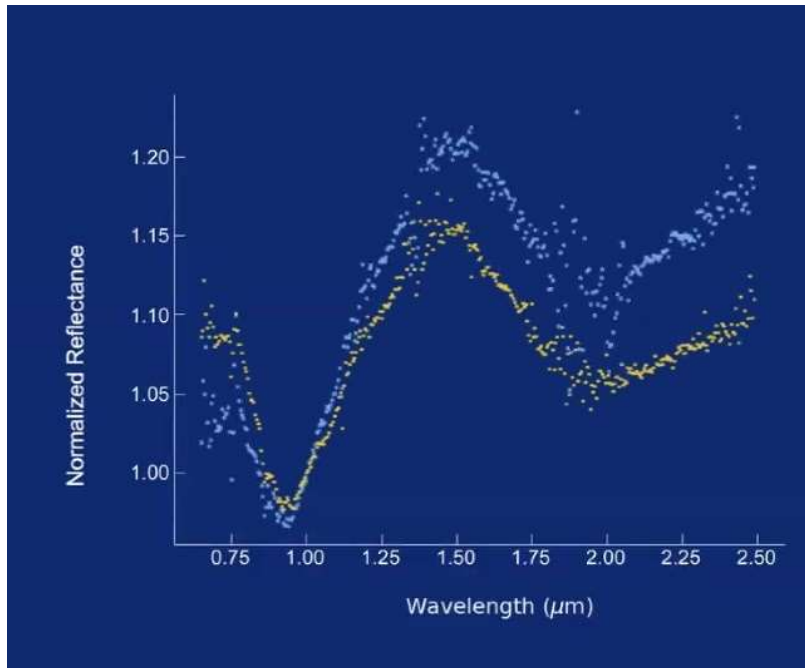
- Com que l'impacte esdevenia amb Didymos sota l'horitzó vam decidir estudiar els efectes posteriors
- Variació en la magnitud fotomètrica del sistema de Didymos com a conseqüència de l'impacte de DART (Trigo-Rodríguez et al., 2023)
 - Imatges des de Bootes 1-B operat per l'equip d'Alberto J. Castro-Tirado (IAA-CSIC) amb un SC de 30 cm a f:10



- **A més el 4 d'octubre vam estudiar la cortina de pols deixada per l'impacte des de l'Observatori de Pujalt (Josep M. Llenas)**
 - Extesa uns 5 minuts d'arc fent servir el CDK de 51 cm a f:6,8
 - Formada per partícules micromètriques, sorprenentment visible durant mesos

MESURAMENT DEL NOU PERÍODE ORBITAL DE DIMORPHOS

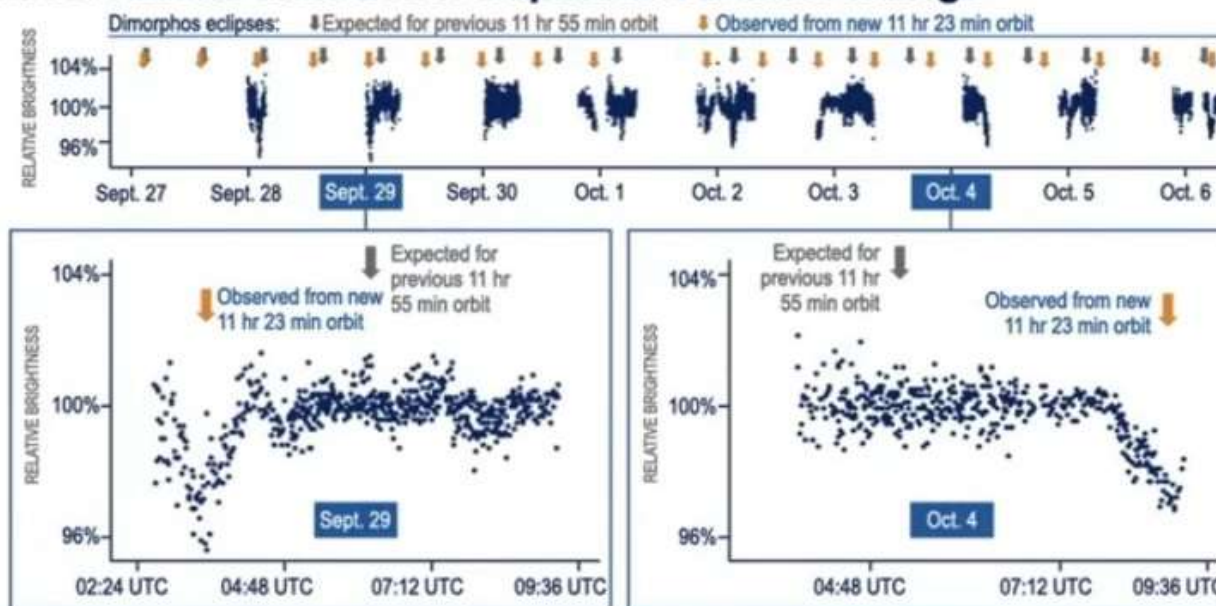
- Es va fer servir la tècnica fotomètrica CCD per inferir el nou període orbital de Dimorphos al voltant de Didymos (Thomas et al., 2023)
 - Depenent de la ubicació de Dimorphos al voltant de Didymos, el sistema completa una corba de llum fotomètrica
 - Les observacions telescòpiques permeten inferir el període orbital abans i després de l'impacte de DART



MESURANT EL NOU PERÍODE ORBITAL DE DIMORPHOS

- Alguns dels grans telescopis a l'espai i a terra es van utilitzar per inferir el nou període orbital de Dimorphos al voltant de Didymos
 - Es va trobar una reducció de 33 minuts en el període orbital (Thomas et al., 2023)
 - L'alliberament d'ejecció va contribuir a una quantitat substancial d'impuls a l'asteroide més enllà del que portava la nau espacial DART

Observations after DART impact show orbit change



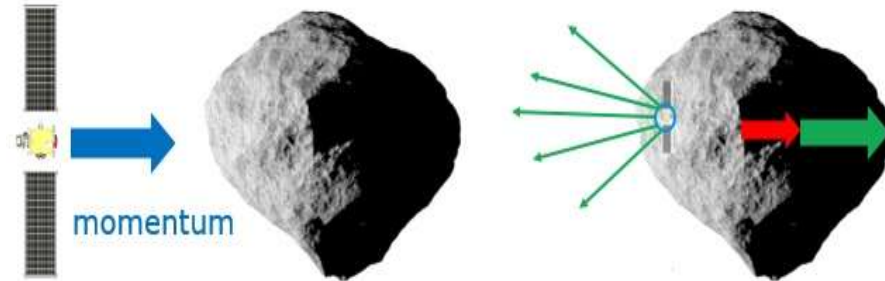
Credit: NASA/Julius H. Rogers APL/Astronomical Institute of the Academy of Sciences of the Czech Republic/Lowell Observatory/PLS Las Cumbres Observatory/Las Campanas Observatory/European Southern Observatory Danish (1.54-m) Telescope/University of Edinburgh/The Open University/Universitat Catòlica de la Santísima Concepción/Seoul National Observatory/Universidad de Antioquia/Universität Hamburg/Northern Arizona University

IMPLICACIONS PER EXCAVAR UN CRÀTER I TRANSFERIR EL MOMENT CINÈTIC D'UNA SONDA A UN ASTEROIDE

Per incrementar la transferència de moment a Dimorfos durant l'impacte de *DART* cal considerar el factor de multiplicació del moment cinètic (β):

$$\beta = \frac{(m_p v_p + p_e)}{m_p v_p} = \frac{M_t V_t}{m_p v_p}$$

- El terme $m_p v_p$ representa la transferència de moment directe i p_e representa la proporcionada per l'ejecta que escapa del cràter en la ploma d'impacte
 - Les propietats mecàniques són similars a les de les condrites ordinàries LL com va demostrar el nostre grup (Tanbakouei, Trigo-Rodríguez et al., A&A, 2017).
- El factor de multiplicació augmentarà i l'impacte serà més eficient si es produeix a una regió amb abundant regòlit
 - Tant models numèrics (Michel, 2013) com ara experiments (Flynn et al., 2015) indicaven que l'increment del moment excedeix el d'una transferència elàstica fins a un ordre de magnitud
 - **Al final $\beta = 3,6$ i el desviament fou molt efectiu**



$$\text{Eficiència } \beta = \frac{\text{Massa Didymoon} \times \Delta V}{\text{momentum}}$$

Publicacions fins ara

L'ICE-CSIC/IEEC ha participat en una sèrie d'articles al volum especial a la revista Nature més una dotzena d'altres articles de revisió de diversos aspectes relacionats sobre els múltiples temes de recerca darrere de comprendre millor els asteroides potencialment perillosos...

Participarem a molta més ciència capdavantera de la ma de la futura missió Hera de l'ESA

Cheng A., et al. (2023) "Momentum Transfer from the DART Mission Kinetic Impact on Asteroid Dimorphos" , Nature 616, 457–460

Daly T., et al. (2023) "Successful Kinetic Impact into an Asteroid for Planetary Defense" , Nature 616, 443–447

Li J.-Y., et al. (2023) "Ejecta from the DART-produced active asteroid Dimorphos", Nature 616, 452–456

Pajola M. et al. (2022) "Anticipated Geological Assessment of the (65803) Didymos–Dimorphos System, Target of the DART–LICIAcube Mission", The Planetary Sci. J. 3, N. 9.

Statler T.S. et al. (2022) "After DART: Using the first full-scale test of a kinetic impactor to inform a future planetary defense mission", The Planetary Sci. J. 3, N. 10

Terik Daly R. et al. (2022) "Shape Modeling of Dimorphos for the Double Asteroid Redirection Test (DART)" , The Planetary Sci. J. 3, 207.

Trigo-Rodríguez J.M. et al. (2023) "Photometric follow-up observations of the DART impact effects on the Didymos System from Spain", 54th LPSC conference, abstract n. 1425, 2 pp.

LA MISSIÓ HERA (ESA)

→ HERA IN A NUTSHELL

Hera is an ESA-led mission for planetary defence, developed as part of a larger international endeavour, the **Asteroid Impact and Deflection Assessment (AIDA)** collaboration. In the first part of AIDA, NASA's DART mission impacted Dimorphos, a small asteroid moonlet, to **change its orbit** around the larger Didymos primary body. Now Hera will visit this asteroid pair to gather additional data on Dimorphos to **help turn this 'kinetic impact' planetary defence method into a well-understood and potentially repeatable technique.**

Hera will launch on a SpaceX **Falcon-9 rocket** at the end of 2024.

Its destination is **Didymos**, the binary asteroid, which it will reach on **28 December 2026**, to begin six months of investigation.

Hera will perform a **detailed post-impact survey** of the target asteroid, Dimorphos – the orbiting moonlet of a binary asteroid system known as Didymos.

Hera will carry a total of **12 instruments**, including **two CubeSats**, plus a radio science experiment.

As well as serving **planetary defence**, Hera will also demonstrate **new European technologies** in deep space – including **autonomous vision-based navigation and inter-satellite links** connecting the three spacecraft.



Hera is the European contribution to an international double-spacecraft endeavour with NASA.

- Muntatge d'Hera a punt!
- Apr. 16th, 2024
- ESA-ESTEC

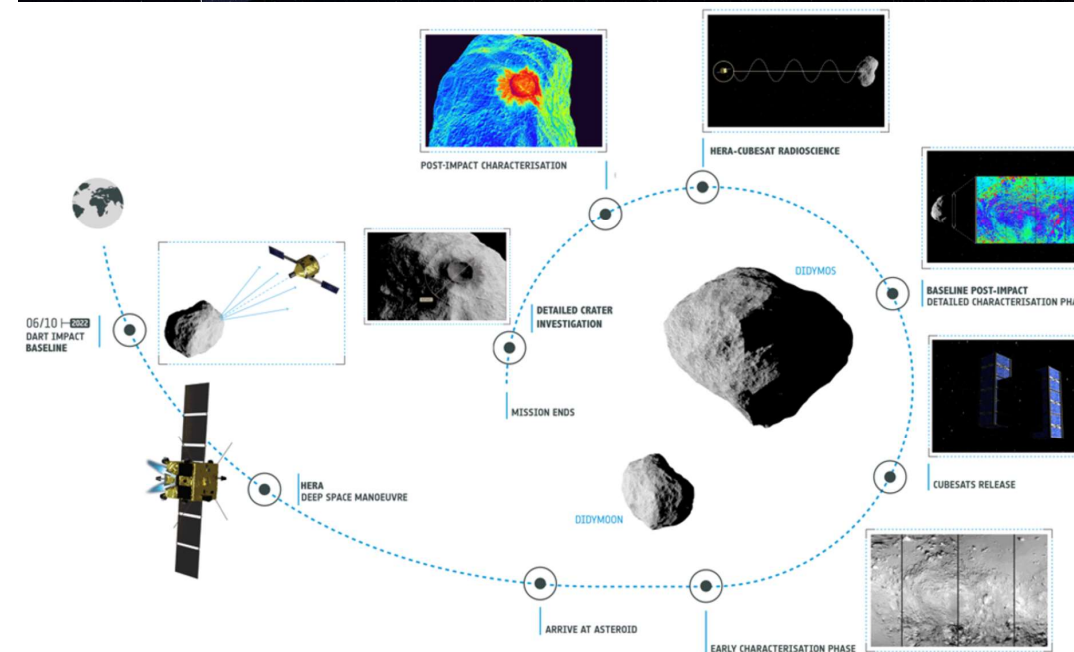
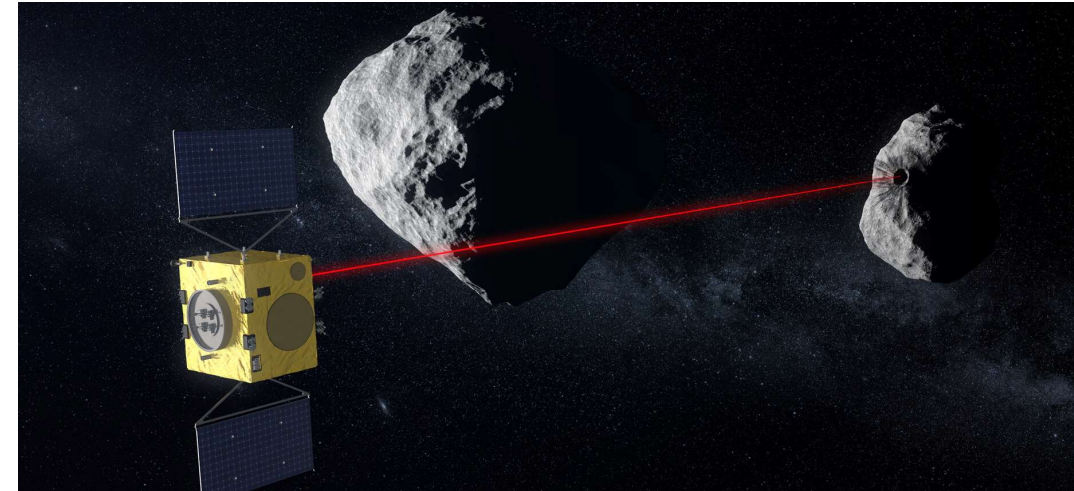


LA MISSIÓ Hera en breu...

- El 7 d'octubre de 2024 va enlairar-se amb un Falcon 9.
- El pròxim 12 de març farà un flyby prop de Mart i Deimos per impulsar-se cap al sistema de Didymos
- Farà un rendezvous al sistema binari de Didymos a finals del 2026.

→ CONSTA D'INSTRUMENTACIÓ PUNTERA:

- **HYPERSCOUT:** Una camera hiperespectral que observa en 45 bandes: des del VIS fins al NIR
 - Caracterització mineralògica dels asteroides amb altíssima resolució
- **TIRA:** Una càmera en l'infraroig tèrmic, obtindrà imatges en el MIR per aconseguir una mapa de la temperatura superficial de Dimorphos.
 - Mitjantçant això les propietats físiques, com ara la distribució del tamany i la porositat, podran ser definides.
- **PALT:** Un ràdar laser (lidar) per tal de mesurar la altimetria superficial que donarà suport a les operacions properes
- Hera radio science experiment (RSE) que contribuirà a quantificar el camp gravitatori, massa i l'estructura dels asteroides
- Un conjunt de cubesats amb tecnologia d'avantguarda per testejar *in situ* les propietats dels asteroides
 - Un exemple és el gravitòmetre GRASS que vol quantificar el camp gravitatori a bord del cubesat Juventas
 - També el cubesat APEX analitzarà la superfície amb un aterratge inclòs sobre la regolita



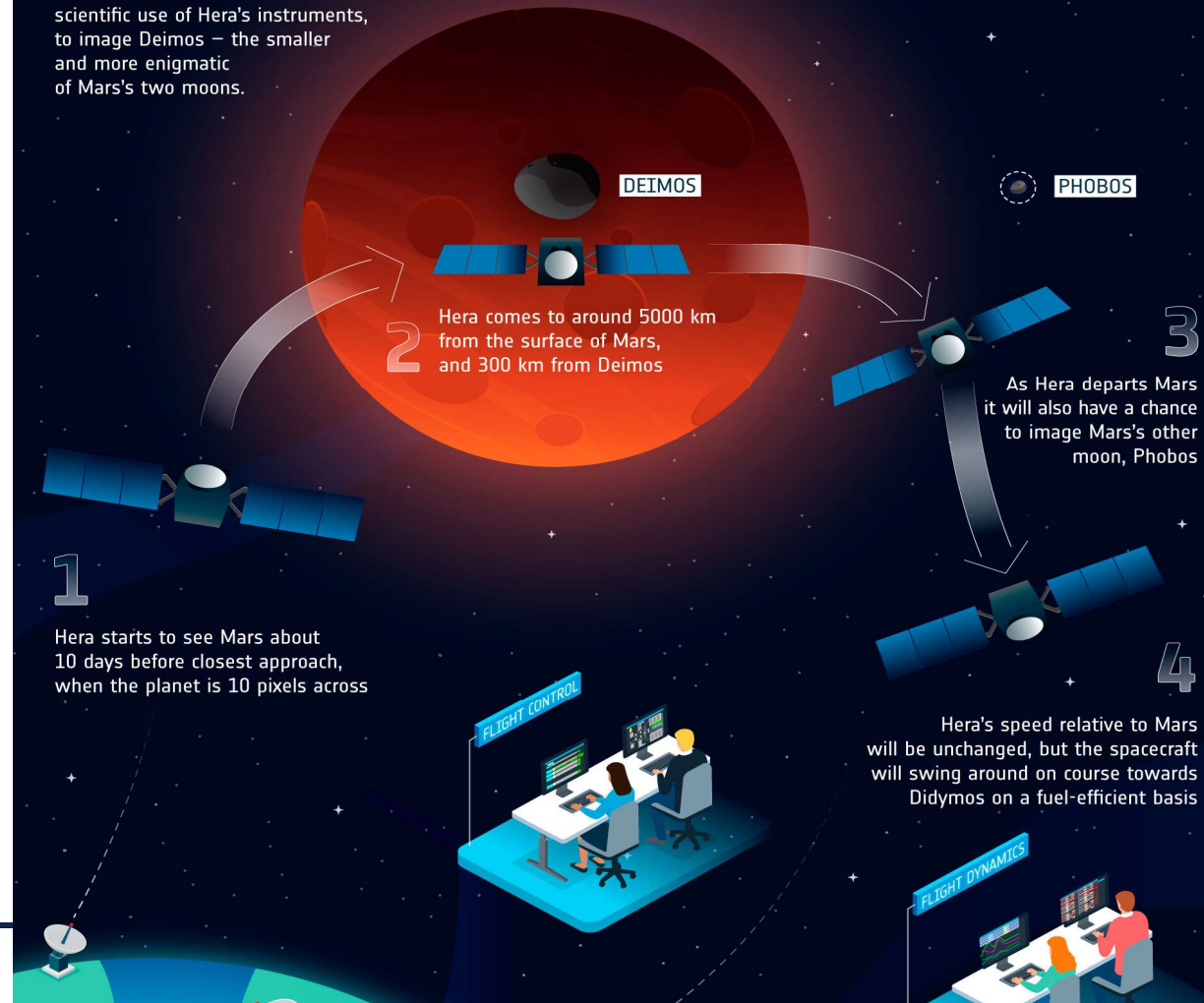
EL FLYBY A MART

- El 12 de Març de 2025 la sonda Hera va passar fregant Mart i el seu satèl·lit Deimos
- • Es buscava l'impuls gravitatori final, per impulsar la nau cap al sistema de Didymos
- Hi arribarem d'aquí a quasi dos anys: el 28-12-2026
- Serà una missió espacial per provar tecnologia d'avantguarda en condicions realment desafiants, donades les petites dimensions i la duplicitat del sistema de Didymos

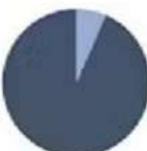
HERA'S MARS FLYBY



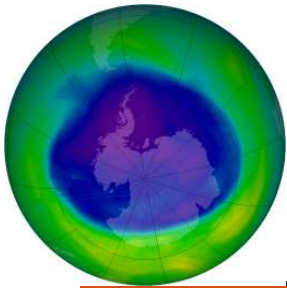
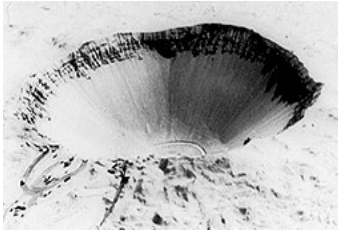
On 12 March 2025 ESA's Hera mission for planetary defence performs a flyby of Mars. Mars's gravity will shift the spacecraft's trajectory towards the Didymos binary asteroid system, shortening its trip by months and saving substantial fuel. This manoeuvre also marks the first scientific use of Hera's instruments, to image Deimos – the smaller and more enigmatic of Mars's two moons.



EL RISC D'IMPACTE EN XIFRES

					
Com de gran?	10 metres	50 metres	140 metres	1.000 metres	10.000 metres
Com de freqüent?	~1 per dècada	~1 per mil·leni	~1 cada 20.000 anys	~1 cada 700.000 anys	~1 cada 100 milions d'anys
Com de perillós?	Bòlid molt lluminós amb ona de xoc capaç de trencar vidres	Devastació local, efectes regionals que poden deixar un cràter o no (si es fragmenta)	Excavació d'un cràter d'impacte d'1 o 2 km de diàmetre, destrucció sobre àrees i regions extenses	Cràter d'impacte d'uns 10 km de diàmetre, devastació global i possible col·lapse de la civilització	Cràter d'uns 100 km de diàmetre, devastació global i extincions en massa de la vida
Energia aproximada d'impacte (megatons)	0.1	10	300	100,000	100,000,000
Quants n'hi ha?	~45 milions	~120,000	~25,000	~900	4
% descobert ara	0.03%	7%	40%	95%	100%
					
	● Descoberts ● Per descobrir				

CONSEQÜÈNCIES D'UN IMPACTE



- Destrucció total en la proximitat del cràter:
 - Zona unes 30 vegades superior al $D_{\text{asteroide}}$
- Gran tsunami si caigués al mar
 - Catastrofe dispersa a regions costaneres
- El pols i la cendra arribats a l'estratosfera obscuririen el Sol
 - Canvi climàtic a curt/mitjà termini
 - Conseqüències sobre agricultura, ramaderia i pesca a escala global
- Incendis pel material incandescent
 - Material de la reentrada pot mantenir alta T
- Enverinament de la biosfera
 - Sulfats, àcid nítric, destrucció de la capa d'ozó
- Terratremols associats a l'impacte

TUNGUSKA: Extensió de bosc devastat 2.150 km²



Fotos (Kulik et al.,
expedició l'any 1927)





Nous reptes observacionals: Observatori del Montsec

La infraestructura científica i
la seva aplicació a l'estudi
d'asteroides i cometes

montsec.ieec.cat

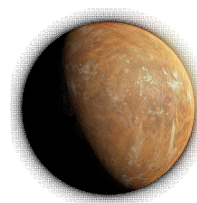
Telescopi Joan Oró (TJO)

- Operat per l'IEEC
- 0.8 m Ritchey-Chrétien
- LAIA camera with Johnson-Cousins & SDSS filters
- Espectrògraf ARES de resolució mitjana
- Operació robòtica & planificador intel·ligent en temps real
- Telescopi multi propòsit: ciència i seguiment de ferralla espacial
- Obert a programes de recerca científica (2 crides semestrals)
- Nou sistema API d'alertes observacionals de resposta ràpida (2-3 min).

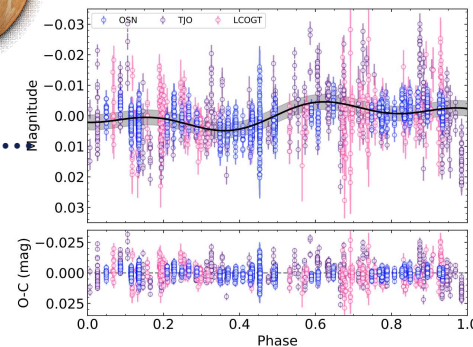


Recerca amb el TJO

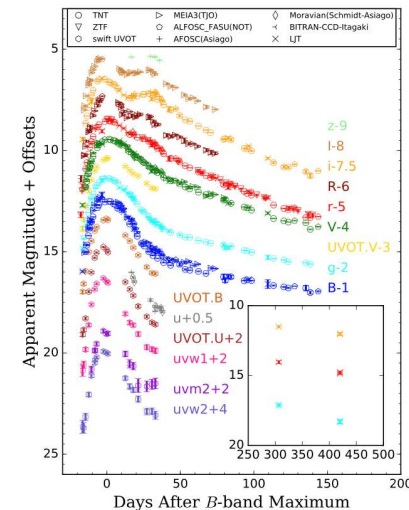
- Objectes del Sistema Solar: asteroides, cometes, etc..
- Exoplanetes (CARMENES, ARIEL, TESS)
- Seguiment de fonts transitòries per Gaia
- Estels Variables: eclipsants, polsants, evolucionades
- Variabilitat de nuclis galactics actius (MAGIC, CTA)
- Transient sources: SNe, X-ray binaries, Novae
- Alertes observacionals



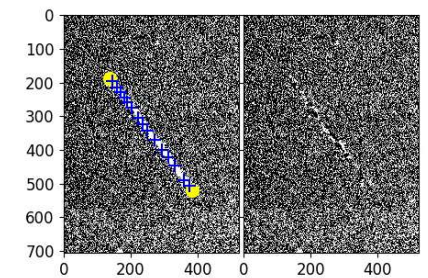
Planetary system Gl 486



SN Tipus Ia: 2019np



cometa interestel·lar
C/2019 Q4 (Borisov)



SST tracking observations

Recerca des del Odm

- > 200 usuaris (1/3 IEEC, 1/3 resta d'Espanya, 1/3 internacional)
- > 70 institucions fent-lo servir
- 10 – 15 publicacions arbitrades a l'any

MUR phase 2

Use this form to modify the observation proposal

Remember that you must provide all requested information to can validate and process your observation request

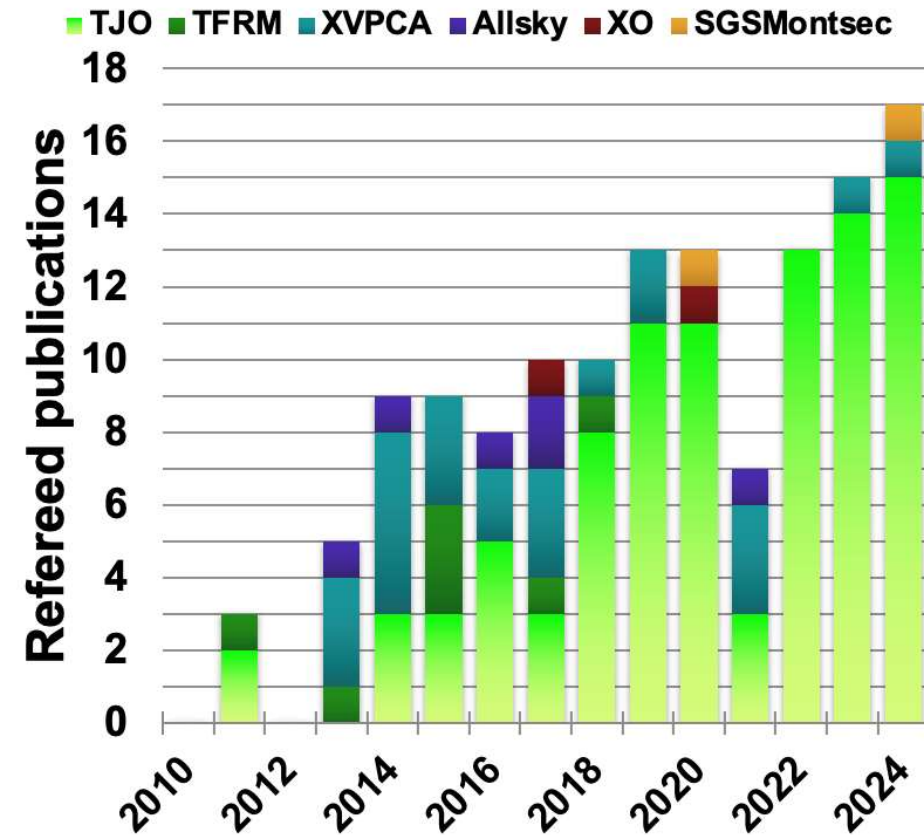
Step 1 Step 2 Step 3 Step 4

Observing constraints

Observing constrain 1

Sky brightness *	Bright	
Seeing *	Good	
Sky quality *	Photometric	
Solar elevation *	Night Time	
Lunar distance	40	
Airmass (min)	1	
Airmass (max)	2	
Hour angle (min)	0	
Hour angle (max)	24	

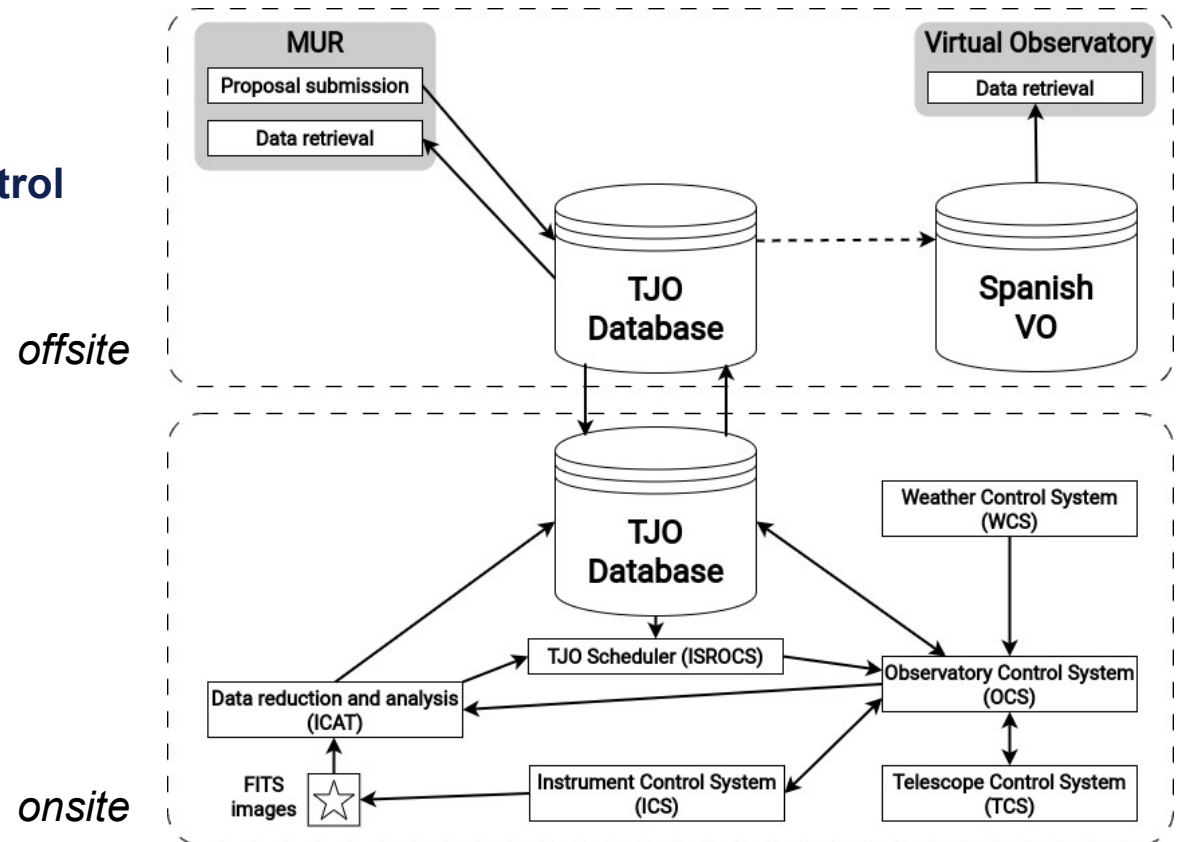
Add observing constrain



Arquitectura del sistema robòtic (TJO, TRAC, etc.)

Observatory **unattended** operations and data maintenance:

- **ISROCS (STARS based):** scheduling
- **OCS:** observations execution
- **ICAT:** data reduction and quality control



Telescopi Fabra-ROA Montsec (TFRM)

- Fabra-ROA Montsec robotic Telescope (TFRM)
 - 0.5 m Backer-Nunn Camera with wide Field of View
 - Operated by the RACAB, the ROA and the UB
 - Multi-purpose telescope: science & space debris (SST)
 - Exoplanet search, high-energy sources (binaries), solar system objects (TNOs, trojans), M-dwarf flares, etc.
 - 30% of observation time public through MUR.



Hispasat 36W-1 (left) & “Fregat upper stage” (right), 2017/01/28



Allsky & surveillance cameras

- FRIPON All-Sky & surveillance cameras
 - Sky monitoring (meteor and fireball detection)
 - Operated by the IEEC

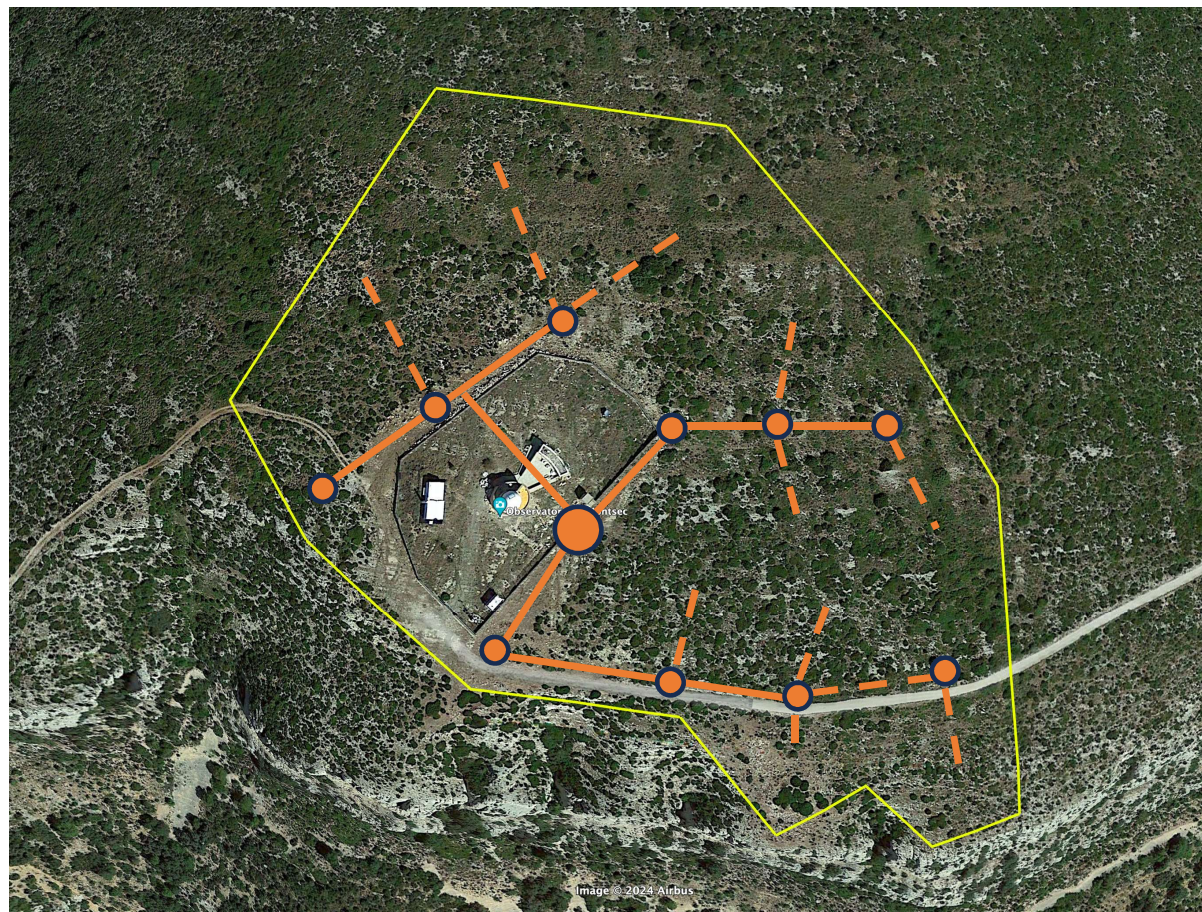
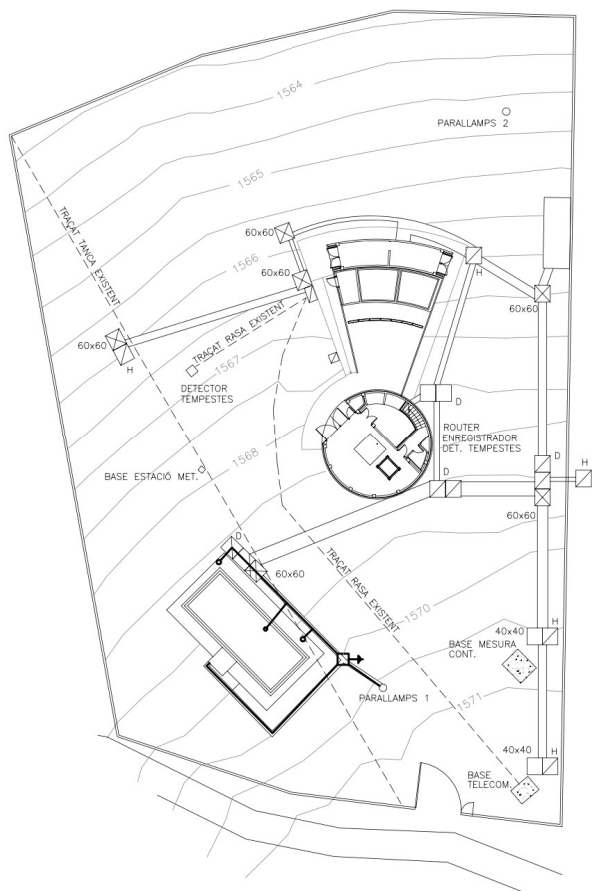


ODM AllSky 2024-04-17T19:33:53.189 UTC

2023 CX1



El creixement previst de l'OdM



Telescopi Ràpid d'Ample Camp (TRAC)

- CERCAGINYS III call for cooperative equipment
- 19 proposals, 5 awarded (2 IEEC!)
- 190 k€ for a new wide-field fast telescope at Montsec
- +20 k€ cofunding by IEEC for equipment
- +105 k€ cofunding by IEEC, i2CAT & IFAE for personnel
- Cooperation scheme:

IEEC^R
Institut d'Estudis
Espacials de Catalunya

IFAE^R
Institut de Física d'Altes Energies

i2cat⁹

Amb el finançament de:



Generalitat de Catalunya
Departament de Recerca
i Universitats

CERCA
Research Centres
of Catalonia



Telescopi Ràpid d'Ample Camp (TRAC)

- Operated by IEEC (cooperation IFAE & i2CAT)
- 0.4 m f/2.4 astrograph
- Fast DDM mount (50 deg/s)
- Clamshell dome
- CMOS large format camera, no filter
- FOV 3.5 x 2.5 deg
- Robotic operation & intelligent real-time planner
- Open multi-purpose telescope: science & space tech
- Operations starting late-2025

Amb el finançament de:



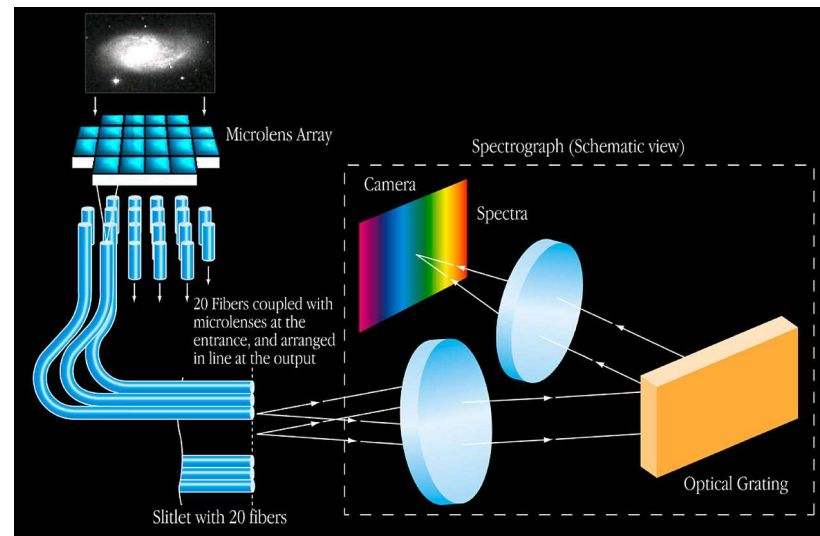
Generalitat de Catalunya
Departament de Recerca
i Universitats

CERCA
Research Centres
of Catalonia

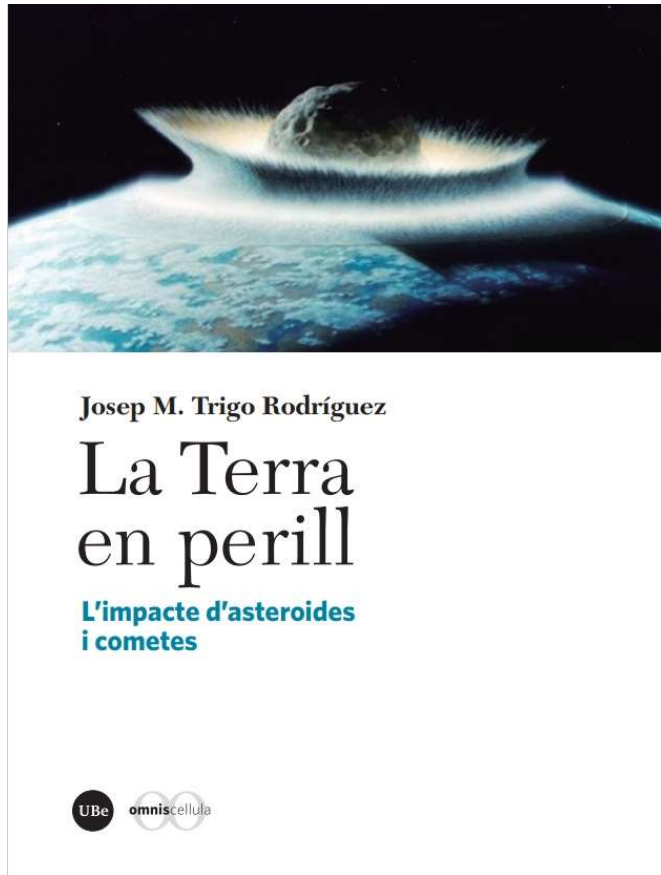


Montsec 2.5m telescope

- Proposta enviada a la Generalitat de Catalunya el Setembre de 2022:
 - Telescopi Ritchey-Chrétien 2-2.5 m
 - Espectrògraf Multi-fibra amb una unitat de camp integrada (IFU) amb resolució de 500-1000
 - Des de mesures de velocitat radial a caracterització de variables i objectes transitoris. Instrument multi-propòsit
 - Pressupost de 20 M€



LA TERRA EN PERILL: l' impacte d'asteroides i cometes



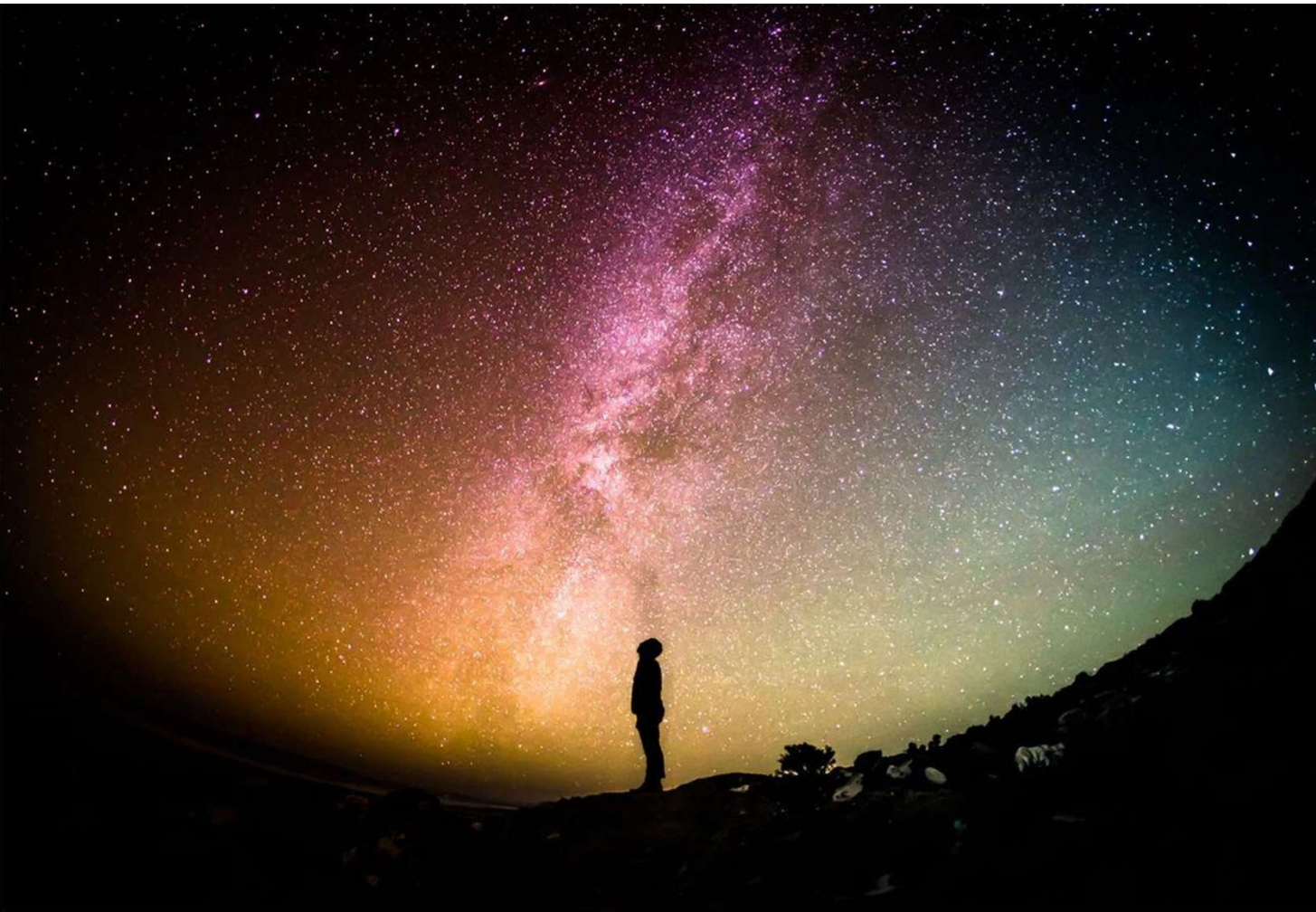
- **Editat per Edicions UB**

- Col·lecció Catàlisi
- Català o castellà (anglès a *Springer*)

- **Divulga les fonts del perill amb asteroides i les missions per estudiar-los**

ÍNDEX

- **Cap. 1. Boles de foc que anuncien caigudes de meteorits**
- **Cap. 2. Els cossos progenitors de meteorits i les seves rutes cap a la Terra**
- **Cap. 3. L'origen i la natura dels cometes**
- **Cap. 4. El risc associat als cometes de període curt: quin és el seu origen?**
- **Cap. 5. Quantificant la natura i magnitud del perill d'impacte amb asteroides**
- **Cap. 6. Cràters i extincions en el registre geològic**



Gràcies!
Thank you!
¡Gracias!

DO LOOK UP! MIREU A DALT!

Seguiu com sempre mirant el cel amb curiositat, fotografiant, gravant i apuntant tot el que hi veieu

spm@ice.csic.es

Per romandre informats, recordeu les iniciatives divulgatives:

- Divulcat: <https://divulcat.cat>

I, en castellà, Conversation.es