

EVITAR LO INEVITABLE: LA MISIÓN DART,

Desde los albores de la humanidad el hombre se ha sentido sobrecogido al levantar la mirada en la oscuridad de una noche estrellada. Son muchos, y muy antiguos, los registros gráficos relacionados con cometas, estrellas fugaces y meteoritos, que inspiraron en nuestros antepasados a la vez miedo y curiosidad. Todos nos hemos preguntado en algún momento, al ver pasar ante nuestros ojos una estrella fugaz, qué pasaría si ese objeto fuera más grande, o si cayera junto a nosotros. Esta sensación de vulnerabilidad se acrecentó aún más, si cabe, con las primeras evidencias científicas de que eventos catastróficos de este tipo podrían haber ocasionado extinciones masivas en el pasado de nuestro planeta, como el que marcó el comienzo de la era Cenozoica.



Isabel Herreros

isabel.herreros@cab.inta-csic.es

Jens Ormö

ormoj@cab.inta-csic.es

Centro de Astrobiología, CSIC-INTA

Muchas obras cinematográficas han fantaseado con la posibilidad de defendernos de esta amenaza cósmica, mostrando cómo, llegado el momento, la humanidad saldría airoso de una situación como esta, pero ¿está esto tecnológicamente a nuestro alcance? Los asteroides son cuerpos celestes que, si bien tienen un tamaño muy reducido, se mueven a gran velocidad, por lo que incluso objetos relativamente pequeños, atravesando nuestra atmósfera e impactando contra el suelo, liberarían la energía equivalente a varios miles de bombas como la de Hiroshima. ¿Cuenta la humanidad hoy día con el conocimiento y la tecnología suficiente como para desviar un asteroide potencialmente peligroso para la supervivencia de nuestra especie? A esta pregunta ha dado respuesta recientemente la misión DART.

EL OBJETIVO DE LA MISIÓN

La misión DART de la NASA surge alrededor de 2015 con la idea de ser el primer experimento a escala planetaria que permita probar si con la tecnología disponible es posible desviar de su trayectoria un objeto celeste. El objetivo final de esta misión consistía en poner a punto una metodología que permitiera en el futuro desviar un asteroide potencialmente peligroso para la Tierra. Para ello, en noviembre de 2021, se lanzó una nave espacial, de apenas media tonelada, que viajaría varios meses a través del espacio, para finalmente impactar contra el pequeño satélite, Dimorphos, de un sistema binario de asteroides próximo a la Tierra, Didymos 65803.

UNA MISIÓN ÚNICA

No es la primera vez que el hombre envía un artefacto al espacio. Hasta la fecha, se han enviado misiones tripuladas a la Luna, se ha conseguido aterrizar en Marte varias veces, incluso se han recogido muestras de un pequeño asteroide (misión Hayabusa, 2003). La nave Voyager 1 (lanzada en los años 70) está ya camino del espacio interestelar... No obstante, hasta ahora el hombre ha explorado el espacio sin interferir en su comportamiento. Ha sido siempre un observador pasivo. Sin embargo, y por primera vez en la historia, el ser humano se enfrenta al gran reto de intervenir en el movimiento natural de un cuerpo celeste.

LA TRASCENDENCIA DE LA MISIÓN

En nuestro Sistema Solar hay multitud de asteroides y cometas, cuyas órbitas alrededor del Sol, o de otro planeta, interceptan continuamente la propia órbita

UN EXPERIMENTO PARA DESVIAR ASTEROIDES

Figura 1. Vista del asteroide Didymos en primer plano y su satélite Dimorphos al fondo, desde la cámara DRACO a bordo de la nave DART 2.5 minutos antes del impacto y a 920 km del objetivo. [NASA/Johns Hopkins APL].



de la Tierra, suponiendo un peligro para nuestra supervivencia. Estos objetos celestes cercanos a la Tierra se denominan NEOs (Near-Earth Objects).

El tamaño de un NEO puede variar entre unos pocos metros a varios kilómetros de diámetro, y sus consecuencias en caso de impacto contra la Tierra son muy distintas. Cuando un objeto cósmico está en curso de colisión con la Tierra, viajará con al menos 11 km/s (la velocidad de escape de la

Tierra), pero lo más habitual es que lo haga a unos 18 km/s. A estas velocidades extremadamente altas, el impacto con la atmósfera terrestre iniciará la explosión del objeto. Dependiendo de la resistencia del material, i.e., si se trata de un asteroide de hierro o rocoso, los objetos de unas decenas de metros pueden desintegrarse por completo y arder en la atmósfera (si bien una onda expansiva y/o térmica podría llegar a la superficie terrestre), o fragmentarse en trozos más pequeños que

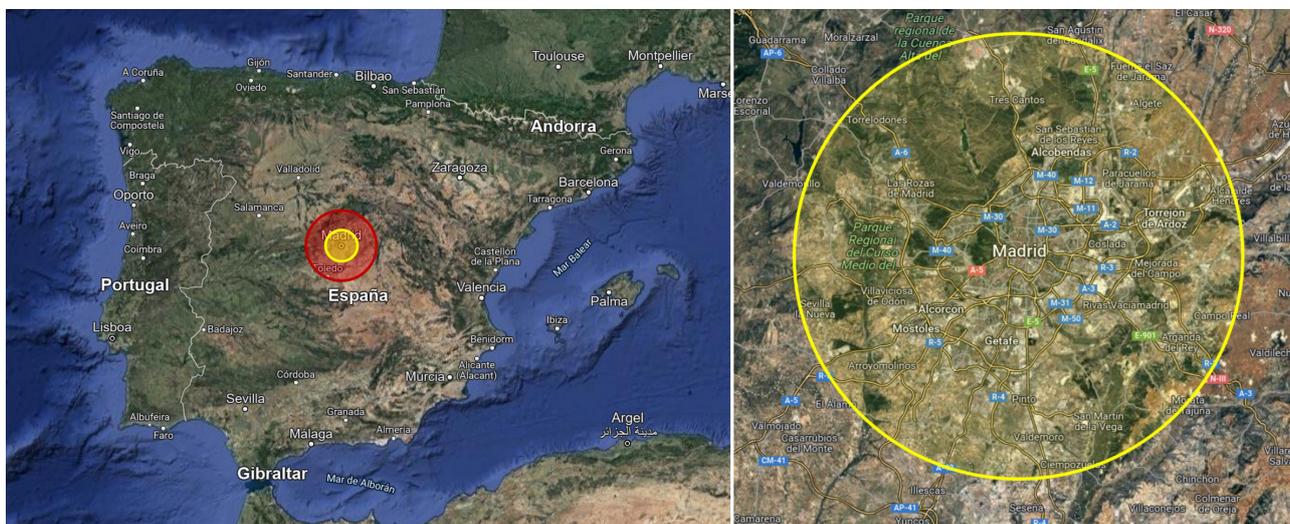


Figura 2. Ejemplo de colisión, en centro de la ciudad de Madrid, de un meteorito del mismo tipo y tamaño de Dimorphos: el círculo rojo en la figura superior muestra la extensión total afectada por la explosión; el círculo amarillo indica el área de devastación total. [Cálculos realizados con “Earth Impact Effects Program”].

llegarían al suelo con una velocidad muy reducida (pudiendo dar lugar a un grupo de pequeños cráteres de impacto). Si su tamaño es superior a unos 50-100 m, el objeto puede alcanzar la superficie con una velocidad cósmica mantenida (los objetos más pequeños suelen formar un grupo compacto), dando lugar a la formación de un cráter de impacto a hiper-velocidad de tamaño 10-15 veces mayor que el propio objeto. No obstante, el área afectada por la explosión de estos objetos al colisionar contra nosotros (i.e. aumento de presión y de temperatura, material eyectado a gran velocidad, terremotos, etc.) es mucho mayor que el tamaño del propio cráter, pudiendo ocasionar una devastación global, en el caso de un objeto de varios kilómetros de diámetro. Sin embargo, estos últimos son muy poco abundantes y su frecuencia de colisión contra la Tierra se estima en 1 cada 100-200 millones de años.

El tamaño de Dimorphos es de aproximadamente 160 m, pero a pesar de sus reducidas dimensiones, la colisión con un asteroide similar provocaría daños en un área equivalente a una provincia española (Figura 2), si bien el cráter resultante apenas tendría un kilómetro y medio de diámetro. Aunque la frecuencia

de colisión de un asteroide de este tamaño se estima en 1 cada 25000 años, existen aproximadamente 20000 NEOs de dimensiones similares potencialmente peligrosos para la Tierra. Es por esto que, ser capaces de desviar un asteroide con semejante potencial destructor marcaría sin duda un hito en la historia del desarrollo de nuestra tecnología espacial (Statler et al. 2022) y nos permitiría evitar las consecuencias de una amenaza inevitable.

LA CONFIRMACIÓN DE NUESTRA CAPACIDAD TECNOLÓGICA

La madrugada del pasado 27 de septiembre de 2022 (CET), la nave DART, tras una larga travesía de casi 10 meses, finalmente impactaba contra el asteroide Dimorphos. Una veintena de observatorios astronómicos situados alrededor del planeta confirmaban con sus observaciones la colisión. Y apenas unas horas después, se mostraba públicamente la primera imagen captada por una de las cámaras a bordo de la nave italiana LICIACube, compañera de travesía de DART (Figura 3).

Para poder medir la desviación de Dimorphos de su órbita natural mediante las observaciones de los telescopios terrestres, habría de medirse el cambio en el periodo orbital. Si el periodo orbital

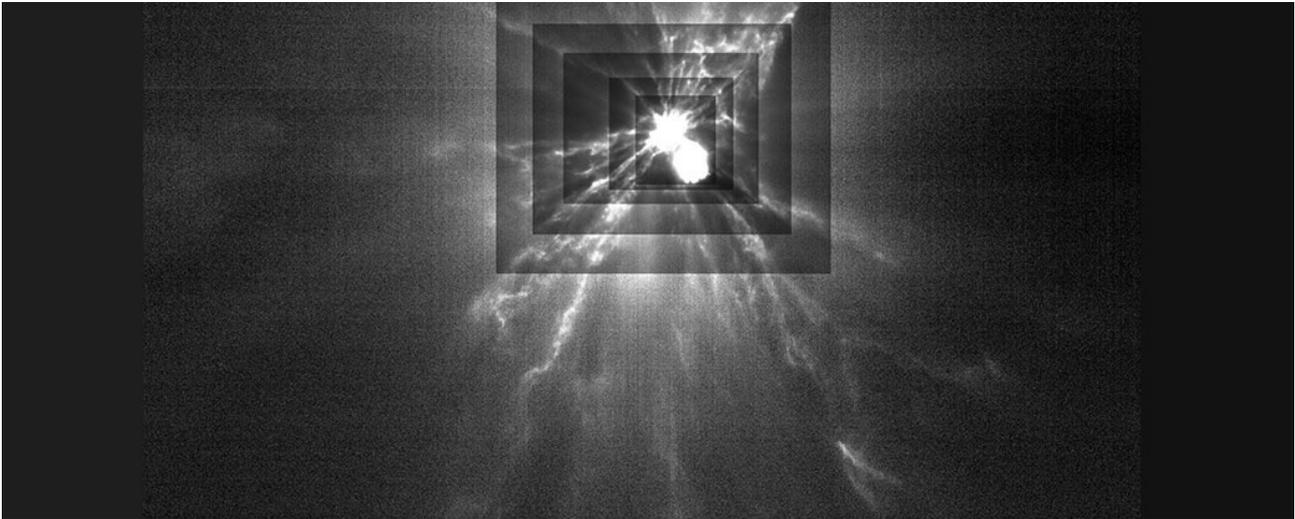


Figura 3. Imagen tomada por LICIAcube en el momento del impacto. Los recuadros han sido incluidos artificialmente a fin de aumentar el contraste en las distintas zonas de la imagen facilitando así la identificación de las estructuras filamentosas consecuencia del impacto. [ASI/NASA].

se redujera a consecuencia del impacto, esto significaría que Dimorphos se habría movido a una órbita interior más corta que la anterior, y la misión habría conseguido su objetivo.

Finalmente, el 11 de Octubre del 2022, apenas dos semanas después del impacto, la NASA anuncia oficialmente que el experimento a escala planetaria ha sido un éxito: el periodo orbital de Dimorphos se ha reducido en aproximadamente media hora (32 min), acercando Dimorphos al asteroide mayor una distancia de unos 22 metros.

DART Y EL LABORATORIO DE IMPACTOS DEL CENTRO DE ASTROBIOLOGÍA (CAB)

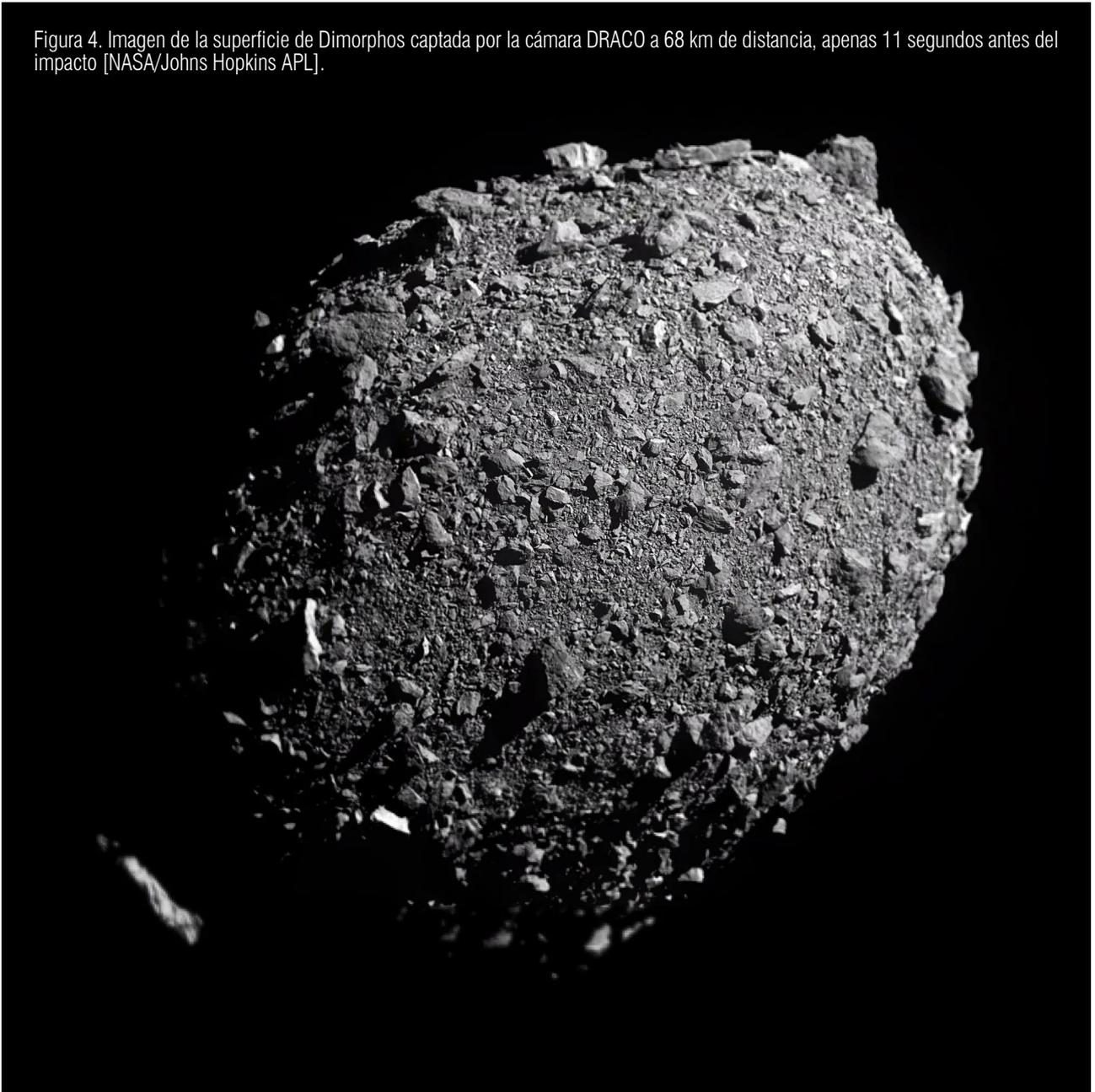
Las técnicas de cálculo numérico y simulación nos permiten reproducir cualquier proceso natural gobernado por una, o varias, ecuaciones matemáticas. Se han convertido en una forma muy eficiente de realizar “experimentos virtuales”, permitiendo el ahorro de los elevados costes de instalaciones y equipamiento de laboratorio. Lo que es más, los modelos numéricos nos permiten estudiar procesos físicos en condiciones extremas, en muchos casos irreproducibles en un laboratorio, como es el caso del impacto de la misión DART, en condiciones de vacío y microgravedad.

No obstante, para que los resultados de un modelo sean realmente fiables, hay que validarlo comparando los resultados numéricos con experimentos reales. Es por este motivo que el Laboratorio de Impactos del CAB ha jugado un papel tan relevante en la misión DART, pues en él se han realizado los ensayos de validación de algunos de los modelos numéricos utilizados por el grupo de investigación de la misión (Stickle et al., 2022).

El Laboratorio de Impactos del CAB (Figura 5) fue diseñado por el Dr. Ormö y construido a principios de los años 2000 en las instalaciones del INTA. El laboratorio está concebido para experimentos de impacto a baja velocidad. Consiste en un cañón de gas comprimido de 20 mm de calibre que puede disparar proyectiles de diversos materiales y composición a velocidades de hasta 420 m/s con diferentes ángulos de inclinación.

Los experimentos se graban con dos cámaras de alta velocidad situadas a diferentes distancias y posiciones, y los cráteres resultantes se pueden escanear con posterioridad en 3D con resoluciones milimétricas. Una característica especial de este laboratorio es que los experimentos pueden realizarse en una

Figura 4. Imagen de la superficie de Dimorphos captada por la cámara DRACO a 68 km de distancia, apenas 11 segundos antes del impacto [NASA/Johns Hopkins APL].



configuración tal que se puede estudiar con detalle la formación del cráter en sección, lo cual resulta extremadamente útil a la hora de comparar los resultados experimentales con los de los modelos numéricos.

Los asteroides como Dimorphos, del tipo “pila de escombros” (o rubble-piles en inglés), consisten en un agregado heterogéneo de material rocoso y regolito. Este es el caso de otros asteroides objeto de anteriores misiones espaciales como Ryugu (misión Hayabusa 2, JAXA) y Bennu (misión OSIRIS-Rex, NASA).

La heterogeneidad de este tipo de objetos hace especialmente complicado predecir el efecto de la colisión haciendo uso de los modelos numéricos. Por ello son fundamentales los experimentos de laboratorio.

En el Laboratorio de Impactos hemos llevado a cabo varios experimentos teniendo en cuenta el efecto de la heterogeneidad, porosidad, cohesión y fricción del material objeto del impacto. Los experimentos se han realizado con velocidades de impacto de unos 400 m/s sobre un material compuesto por arena fina de playa y esferas cerámicas porosas de mayor tamaño embebidas en la arena en distintas configuraciones.

Los resultados de los experimentos confirmaron que la presencia de elementos de distinto tamaño en el material objeto de impacto tiene efecto tanto en la eyección de material como en la forma del cráter, disminuyendo la transferencia de momento, esto es, la eficiencia del impacto. Por otro lado, cuando no son golpeadas directamente por el proyectil, las esferas incorporadas

Figura 5. Laboratorio de Impactos del CAB: cámara de simulación de 7 m de diámetro (imagen izquierda) y cañón de aire comprimido de 20 mm de calibre con el que se realizan los disparos (imagen derecha) [Modificada de [Sturkell and Örmö, 2022](#)].



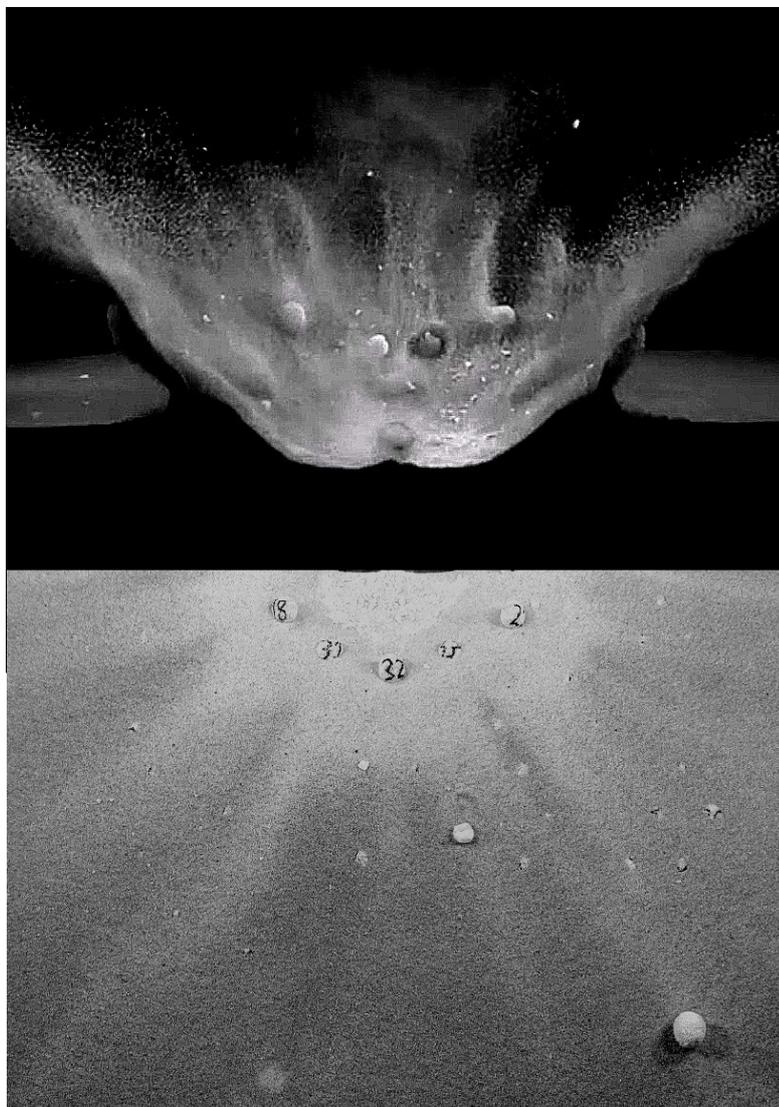
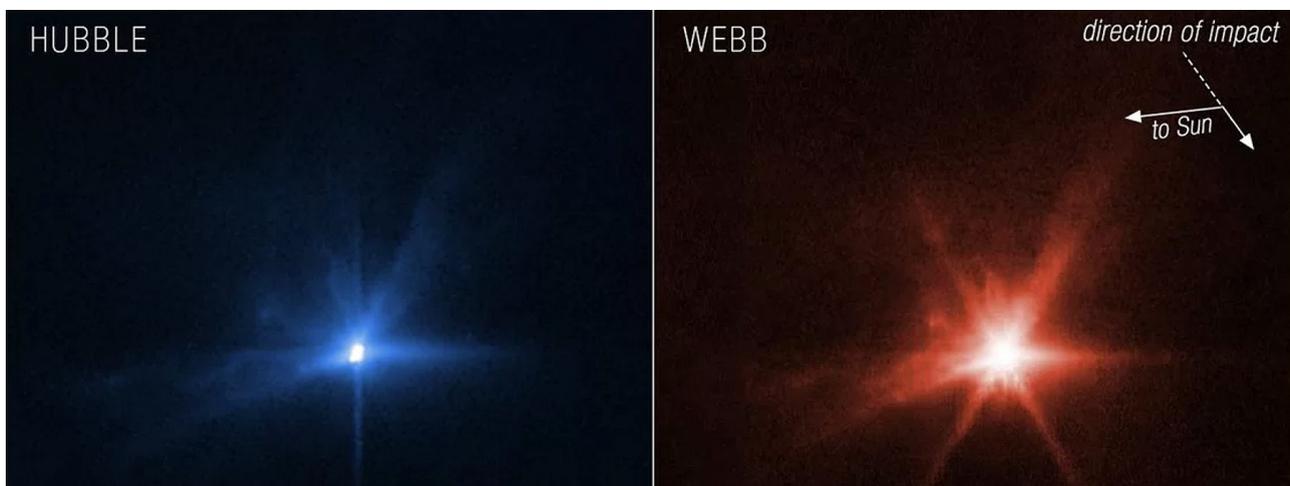


Figura 6. Experimento en el Laboratorio de Impactos del CAB: Vista lateral del impacto en material heterogéneo y formación de estructuras filamentosas en el material eyectado (imagen superior); sistema de rayos formado por la deposición del material expulsado durante el impacto (imagen inferior) [Imágenes modificadas de Ormö et al., 2022].

Figura 7. Imágenes tomadas por los telescopios espaciales HST (Hubble Space Telescope) y JWST (James Webb Telescope) en el momento del impacto [ASI/NASA, NASA, ESA, CSA, Jian-Yang Li (PSI), Cristina Thomas (Northern Arizona University), Ian Wong (NASA-GSFC)].



en la arena se desplazan, pero no se fragmentan. Esto sugiere que los impactos en este tipo de asteroides redistribuirán el material de su superficie, lo que podría resultar en la segregación de los componentes superficiales según su tamaño. Este resultado permite explicar los patrones de acumulación de elementos de mayor tamaño observados alrededor de los cráteres de Ryugu y Bennu, lo cual resulta útil para comprender el motivo de su aspecto actual.

Los experimentos llevados a cabo en el CAB, en el marco de la misión DART y cuyos resultados se han publicado en la revista científica "Earth and Planetary Science Letters" (Ormö et al., 2022), permitieron la validación de uno de los códigos más utilizados en la misión para simular el impacto DART (Bern SPH).

Además, gracias a los experimentos en materiales heterogéneos llevados a cabo en el Laboratorio de Impactos, fuimos capaces de observar y predecir la formación de las estructuras filamentosas (Figura 6) que meses más tarde fueron observadas en el momento del impacto DART tanto por el LICIAcube (Figura 3) como por los telescopios espaciales HST (Hubble Space Telescope) y JWST (James Webb Telescope) (Figura 7), consecuencia de la agrupación del material eyectado en forma de "rayos", debido a la diferencia de tamaño entre las partículas de la superficie del asteroide Dimorphos (Figura 4).

EL FUTURO DE LA MISIÓN

Una vez confirmada nuestra capacidad de defensa real ante la amenaza de un NEO del tamaño de Dimorphos, habrá que estudiar de forma exhaustiva los detalles del impacto, y comprobar hasta qué punto las predicciones de los modelos concuerdan con lo observado. Esto nos permitirá incrementar nuestro conocimiento sobre las leyes físicas que rigen la transferencia de momento en colisiones inelásticas con eyección de material, así como ahondar en nuestro conocimiento sobre la formación de los cráteres de impacto, uno de los accidentes geográficos más común en los cuerpos planetarios.

La forma y tamaño del cráter resultante en Dimorphos arrojará información detallada sobre la composición y comportamiento de este tipo de asteroides tan abundantes en nuestro Sistema Solar, lo cual es crucial para entender el origen de nuestro propio planeta.

Sin embargo, estos últimos datos no podrán obtenerse desde los observatorios terrestres. Será necesario enviar de nuevo una nave espacial hasta Dimorphos, para poder estudiar el resultado del impacto DART con detalle. Ese es el objetivo de la misión Hera, de la Agencia Espacial Europea (ESA), que enviará una nave de reconocimiento en 2024, la cual nos permitirá, tras su llegada a Dimorphos en 2026, seguir indagando en los resultados de la pionera misión DART.

REFERENCIAS

- Statler et al., 2022, "After DART: Using the First Full-scale Test of a Kinetic Impactor to Inform a Future Planetary Defense Mission", Planet. Sci. J. 3 244; <https://doi.org/10.3847/PSJ/ac94c1>
- Stickle et al., 2022, "Effects of Impact and Target Parameters on the Results of a Kinetic Impactor: Predictions for the Double Asteroid Redirection Test (DART) Mission", Planet. Sci. J. 3 248; <https://doi.org/10.3847/PSJ/ac91cc>
- Collins, Melosh and Marcus, 2010, "Earth Impact Effects Program – Damage Map Version", Copyright: Imperial College London; <https://impact.ese.ic.ac.uk/ImpactEarth/ImpactEffectsMap/> (acceso: 17/11/2022)
- Ormö et al., 2022, "Boulder exhumation and segregation by impacts on rubble-pile asteroids", Earth and Planetary Science Letters, Volume 594, 15 September 2022, 117713; <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2022.117713>
- Sturkell and Ormö, 2022, "Som ett skott i labbet", Geologiskt forum, 113: 4-9.