

# DE “DON QUIJOTE” A LAS MISIONES HERA Y DART:

En su despacho, Andrea (Milani) está discutiendo animadamente con Paolo (Paolicchi) y Giovanni (Valsecchi). “¿Una nave espacial para desviar un asteroide?”, pregunto asombrado, “No, ¡dos!” contesta Andrea con esa sonrisa complacida de cuando te contaba una gran idea: “¡Como Don Quijote y Sancho Panza!”. Es el otoño de 2001 y en el Departamento de Matemáticas de la Universidad de Pisa se está gestando la idea de la misión espacial “Don Quijote”. Una nave (el *Hidalgo*) impactaría contra un asteroide cercano a la Tierra (*Near-Earth Asteroid*, NEA) mientras otra (*Sancho*) estudiaría los efectos de la colisión. La idea maduró en una propuesta a la Agencia Europea del Espacio (ESA) en 2003 y fue seleccionada, aunque desafortunadamente sufrió sucesivos aplazamientos hasta casi caer en el olvido.



Adriano Campo Bagatin  
Universidad de Alicante  
[acb@ua.es](mailto:acb@ua.es)

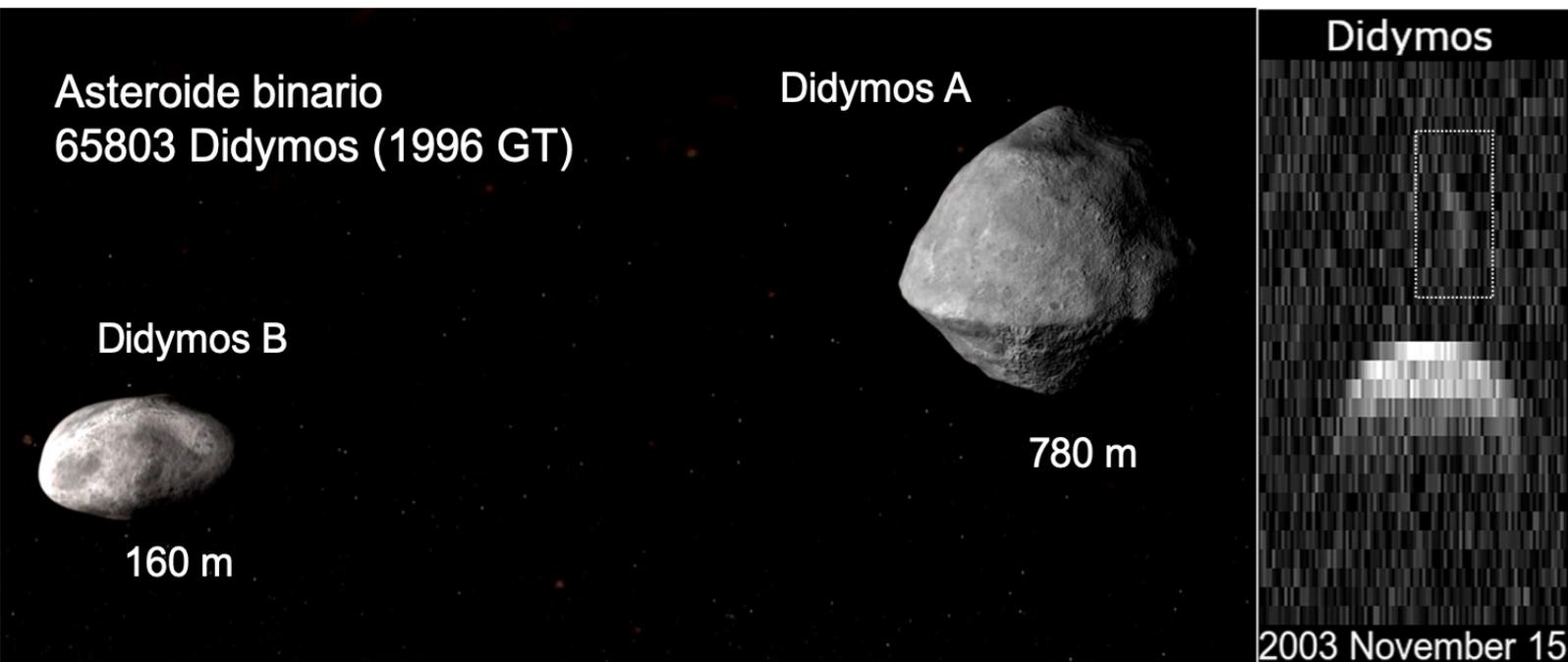


Julia de León Cruz  
Instituto de Astrofísica de Canarias  
[jmlc@iac.es](mailto:jmlc@iac.es)

Unos diez años más tarde, la idea fue recuperada por parte de los ingenieros de ESA que participaron en la primera propuesta, además de investigadores europeos y estadounidenses, que comenzaron a fraguar una colaboración entre NASA y ESA para llevar a cabo el primer experimento de desviación de la órbita de un asteroide: *Asteroid Impact and Deflection Assessment (AIDA)*. En esos diez años había quedado clara la existencia de los asteroides binarios, es decir, asteroides con satélites; éstos, lejos de ser una población exótica, representan más del 15% de los NEAs. La separación típica entre sus componentes es del orden de pocos kilómetros y es posible estimar su masa a partir de la determinación del periodo orbital del secundario utilizando su curva de luz, típicamente de varias horas. El semieje mayor de la órbita del satélite es en promedio unas 100 millones de veces más pequeño que el semieje de la órbita de un NEA en torno al Sol. Modificando la idea original, es más eficiente realizar una colisión en el satélite de un asteroide binario, ya que la medición del cambio inducido en su periodo orbital será mucho más precisa.

Pero, ¿por qué motivo tiene interés estrellar 650 kg de hierro en un asteroide a 6.6 km/s? A principios de los años 80, Luis Álvarez y Eugene Shoemaker descubrieron el cráter de colisión del asteroide de unos 10 km que hace 65 millones de años puso en marcha una de las mayores extinciones masivas de la historia de nuestro planeta. Ya se conocían decenas de cráteres de impacto, pero ese descubrimiento puso de manifiesto que el riesgo de colisión es un problema real. Afortunadamente, diversas campañas de búsqueda y seguimiento de NEAs en las dos últimas décadas, han dejado claro que no hay ningún asteroide de ese tamaño que pueda colisionar con la Tierra en los próximos siglos. Además, tras el incremento en la búsqueda de estos objetos impulsado por el mandato del congreso USA en 1998, se estima que más del 90% de los NEAs mayores de 850 m ha sido descubierto, sin que tampoco represente actualmente un riesgo para la Tierra. Sin embargo, el riesgo de impacto está dominado por los NEAs de pocos centenas de metros, de los que hay decenas de miles, y de los que menos de una tercera parte de la población estimada es conocida. Un asteroide de ese tamaño no provocaría extinciones masivas, pero podría liberar una energía del orden de

# MITIGACIÓN DEL RIESGO DE IMPACTO ASTEROIDAL



(Didymos-system) Ilustración artística del asteroide binario 65803 Didymos (también denominado 1996 GT). A la derecha puede verse una imagen Doppler de Didymos obtenida con el radar de Goldstone, en el que Didymos B aparece como una traza por encima de la señal más intensa del primario (Naidu et al. 2020). Créditos: ESA.

1000 Megatones, equivalente a decenas de miles de veces la energía de las bombas atómicas que destruyeron Hiroshima y Nagasaki. Tal impacto provocaría una devastación a escala regional, con consecuencias desconocidas sobre el clima y la economía global. Estos episodios son esporádicos y *poissonianos*, y su probabilidad media de colisión se coloca en torno al 1% por siglo. Se trata de un ejemplo de suceso con una probabilidad relativamente baja pero con un alto riesgo intrínseco. Sin necesidad de preocuparse, es algo para lo que conviene estar preparados.

La próxima puesta en marcha de nuevos rastreos a baja magnitud absoluta, como [LSST](#), en el óptico, y [NEOCam](#), en el infrarrojo, ambos estadounidenses, responden en parte al nuevo mandato del Congreso de EEUU (2005), en el que se instaba a NASA a alcanzar la completitud del 90% para NEAs mayores de 140 m para 2020. Los retrasos, causados en buena parte por la crisis económica de la década anterior, no han permitido alcanzar

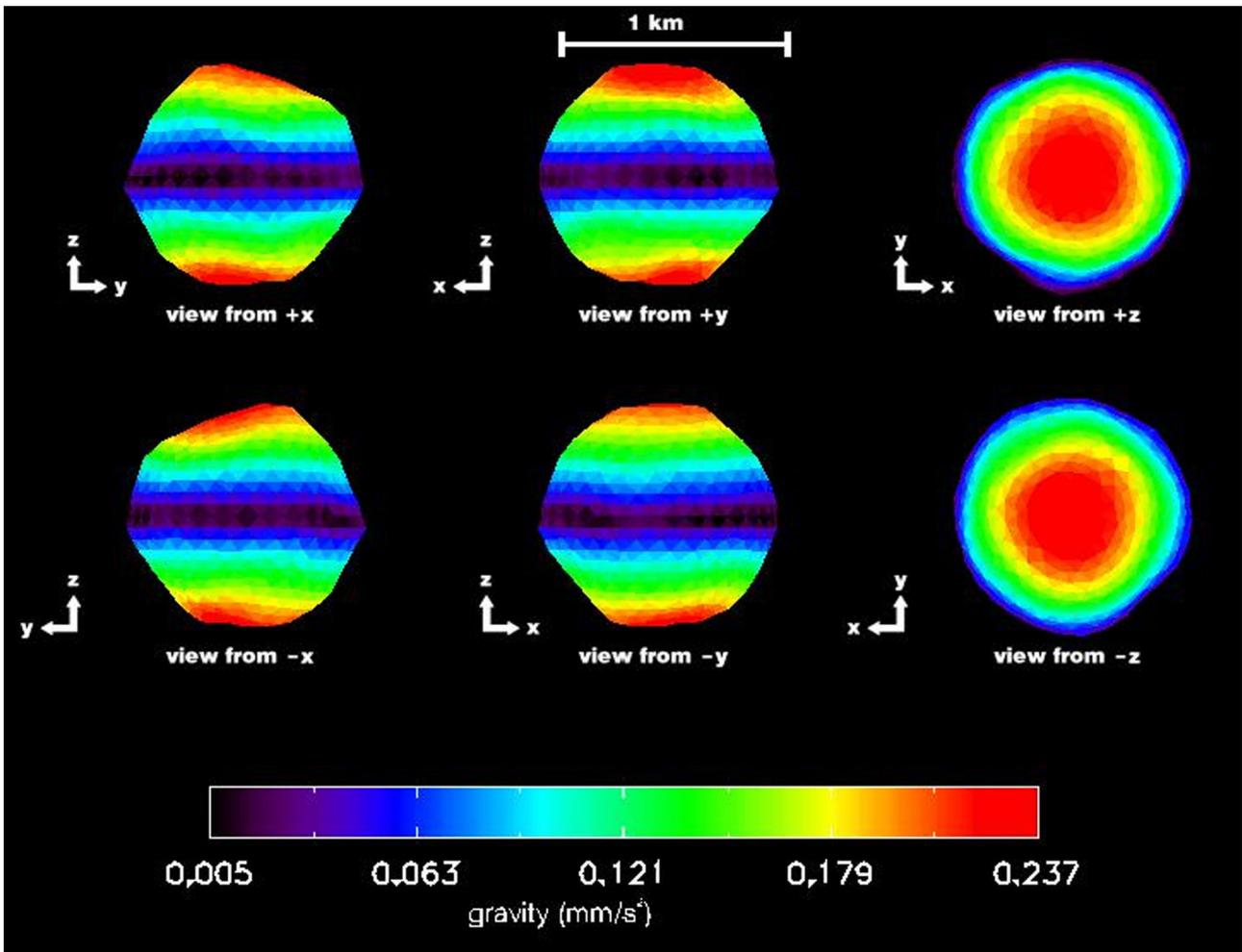
ese objetivo, que ahora se pospone a 2030. Esto significa que en la próxima década sabremos probablemente si hay algún NEA en ruta de colisión con la Tierra en este siglo, y cuál es.

A diferencia de otras catástrofes naturales, como los terremotos, las erupciones volcánicas o las pandemias, los rastreos observacionales hacen posible predecir las colisiones asteroidales con décadas de antelación. Entre los varios métodos planteados –más o menos realistas– de mitigación del riesgo, está la simple desviación del asteroide por medio de un impacto cinético, sin tan siquiera recurrir a explosivos. Cambiar la dirección de la velocidad de un NEA en apenas unas micras por segundo, con la necesaria antelación, puede ser suficiente para evitar una colisión sobre la Tierra. Actualmente, esta técnica parece ser la única viable, tanto desde un punto de vista tecnológico como en términos geo-políticos; pero nunca nadie ha realizado un experimento de colisión sobre un asteroide.

Lejos de ser un simple ejercicio académico, este no es un problema que se pueda resolver teóricamente. Un asteroide de pocas centenas de metros tiene una gravedad ridícula, del orden de una millonésima de la gravedad terrestre. Cuando un cuerpo de estas características sufre una colisión a varios km/s, los fragmentos que crea son expulsados al espacio con velocidad muy superior a su velocidad de escape (pocas decenas de cm/s). Parte de esa masa, con su alta velocidad, sale en sentido opuesto a la velocidad del proyectil, aumentando la cantidad de

movimiento impartida al asteroide en un factor totalmente desconocido: el 'factor de multiplicación' del momentum. Ese aumento puede llegar a ser varias veces el valor de la cantidad de movimiento original y depende de las características físicas del asteroide, de su composición y estructura, y hasta de la textura superficial del mismo, normalmente desconocidas. Conocer la efectividad de una colisión cinética sobre un asteroide es crucial para poder plantear cualquier estrategia futura de mitigación del riesgo basada en la desviación de su órbita.

(Gravity-Didymos) Magnitud de la gravedad local considerando la aceleración debida a la gravedad y el efecto de la rápida rotación del primario de Didymos y los valores nominales de sus parámetros físicos. La contribución de la aceleración centrífuga es realmente importante, y en el ecuador del asteroide prácticamente cancela la debida a la gravedad (Naidu et al. 2020).



El 28 de noviembre de 2019 se cumplía un año del fallecimiento de Andrea Milani, el 'padre conceptual' de AIDA, y en una de esas coincidencias de fechas tan oportunas, ese mismo día se aprobaba el plan de ESA 'Space19+', un amplio paquete de proyectos dirigidos a impulsar las actividades espaciales europeas, entre ellas la misión espacial [Hera](#). De este modo, la colaboración AIDA entre las misiones espaciales [DART](#) (*Double Asteroid Re-direction Test*, NASA) y [Hera](#) (ESA) es ahora una realidad.

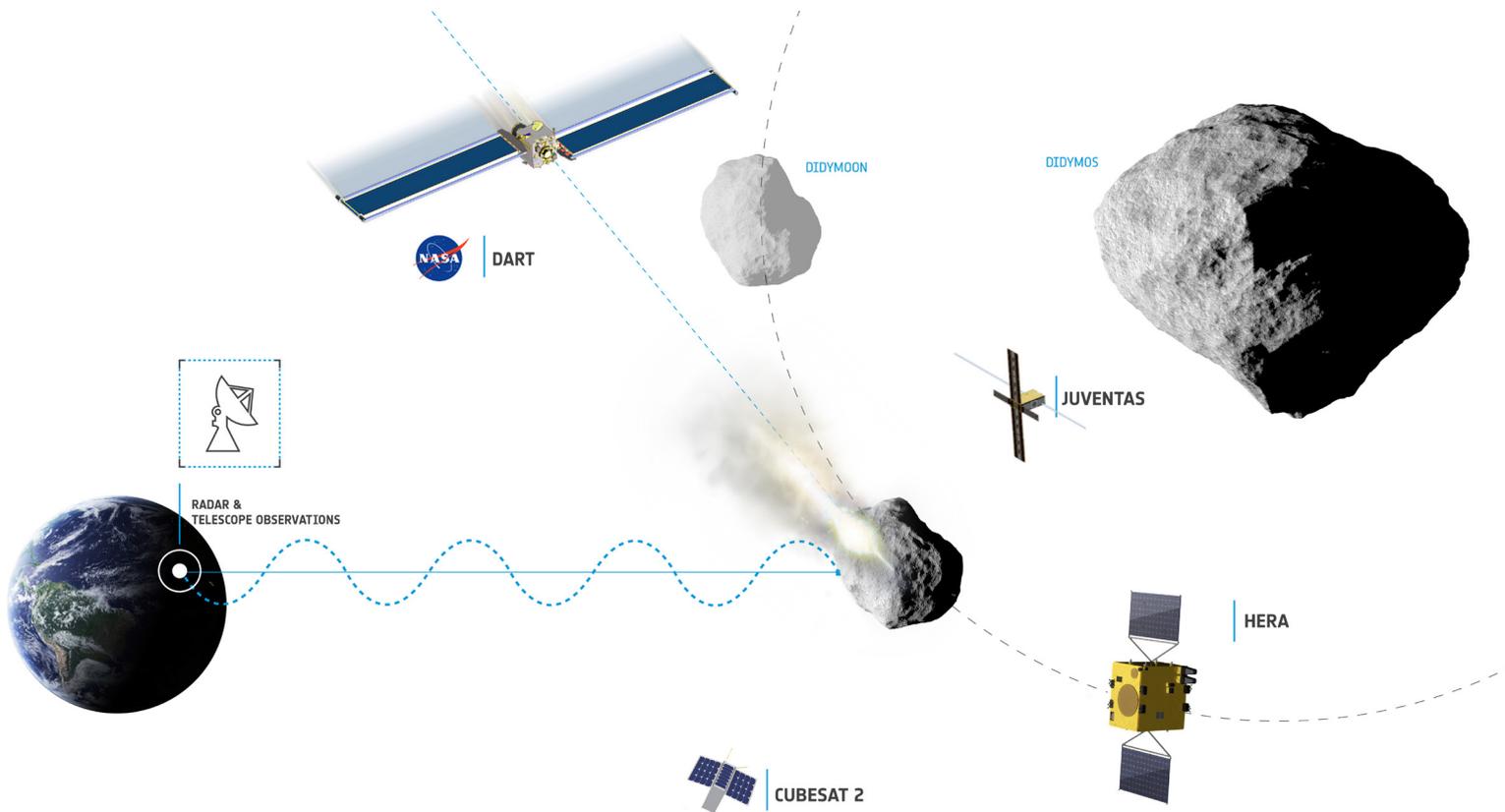
En julio de 2021, está previsto el lanzamiento de DART, una sonda de 650 kg cuya misión es colisionar a 6,6 km/s con el satélite del sistema binario (65803) Didymos en otoño de 2022. Didymos es un NEA de tipo rocoso, de 780 m de diámetro, con la típica forma de peonza característica de muchos de estos pequeños asteroides. Didymos rota en torno a su propio eje en apenas 2,26 horas, en el límite de la estabilidad para estos cuerpos, tanto que la gravedad aparente en su ecuador puede llegar a ser negativa (hacia fuera). Su compañero (Didymos B) orbita en torno a él a una distancia de 1,2 km empleando casi 12 horas en completar cada revolución. Sus 160 m de diámetro hacen de este cuerpo el blanco ideal de un experimento de desviación cinética. El objetivo es conseguir un cambio de varios minutos en su periodo orbital, medible desde Tierra. Al margen de las imágenes que DART pueda tomar en su acercamiento al objetivo final, no podrá ser testigo de nada de lo que ocurra a partir del instante de la colisión. Conseguir imágenes de la pluma de fragmentos eyectados en la colisión es, sin embargo, una información muy valiosa. El *cubeSat* LICIA (Agencia Espacial Italiana, ASI), se desvinculará de DART 10 días antes de la colisión para poder tomar fugaces imágenes de los instantes posteriores (pocos minutos).

Todo esto quedaría en un esfuerzo limitado sin la componente europea, [Hera](#). Más allá de la mera estimación del factor de multiplicación del momento, es necesario saber a qué factores estructurales es sensible ese factor. [Hera](#) deberá dar respuesta a una serie de preguntas de fundamental interés para dar validez y poner en contexto este experimento único. Además, contribuirá significativamente en nuestra comprensión de las características y la formación de los asteroides, los remanentes de los procesos de formación del sistema solar. ¿Qué

tamaño y tipo de cráter se ha formado? ¿Cómo han cambiado los parámetros de rotación y orbitales de Didymos B? ¿Ha quedado material eyectado orbitando al sistema? ¿Qué composición y estructura interna tienen los dos componentes de Didymos? ¿Cómo se forman estos sistemas binarios?

El lanzamiento de [Hera](#) está previsto para el mes de octubre de 2024 y su llegada a Didymos dos años después. Las dos misiones no son sincronas, como estaba previsto inicialmente, debido al retraso en la aprobación de [Hera](#), que no fue financiada en la reunión ministerial de 2016. Por una parte, la inclusión de LICIA en DART garantiza la cobertura de la fase transitoria en torno a la colisión. Por otra parte, el hecho de postergar 4 años la llegada de [Hera](#) tiene la ventaja de observar el sistema con la garantía de que éste ya se encuentre en una fase estacionaria (su "nueva normalidad") pudiendo así interpretar adecuadamente todos los efectos físicos y dinámicos a larga escala temporal (varias miles de revoluciones propias del sistema) inducidos por la colisión de DART.

Para llevar a cabo estas investigaciones, la nave estará equipada con un conjunto de instrumentos diseñados específicamente para tal propósito. La sonda, propulsada mediante la energía generada por sus paneles solares y un sistema de propulsión por hidrazina, es bastante ligera (pesará unos 660 kg, 1100 kg una vez llena de combustible) si se compara con las casi 3 toneladas de la sonda [Rosetta](#), también de ESA, enviada para estudiar el cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko. El instrumento principal a bordo de [Hera](#) es la *Asteroid Framing Camera* (AFC), del que la nave llevará dos unidades, y que se usará tanto para tareas de guiado y navegación como para realizar observaciones científicas. Consta de un detector de 1024x1024 píxeles, un telescopio que proporciona un campo de visión de 5°.5x5°.5 y un conjunto de 7 filtros de color más uno pancromático que cubren un rango en longitud de onda desde 400 nm hasta 1 µm. Este instrumento es gemelo del que se usó en la misión [Dawn](#) de NASA para estudiar el asteroide Vesta y el planeta enano Ceres, proporcionando imágenes de alta resolución y colores que permitieron estudiar la composición superficial de estos objetos.



(AIDA-layout) Esquema de la colaboración AIDA, integrada por dos naves independientes: DART (NASA) y Hera (ESA). Créditos: ESA – Science Office.

Hera estará también equipada con un haz de láser pulsado o lidar compacto – también llamado micro-lidar. Este láser, que opera a una longitud de onda de  $1.5 \mu\text{m}$  y una frecuencia de 10 Hz, cubrirá un área de 1 m de diámetro a una distancia de la superficie de 1 km, y es la base del instrumento *Planetary micro-Altimeter* (PALT). PALT realizará medidas altimétricas de la superficie de Didymos B y dará soporte al cartografiado científico y a las operaciones en las cercanías del asteroide.

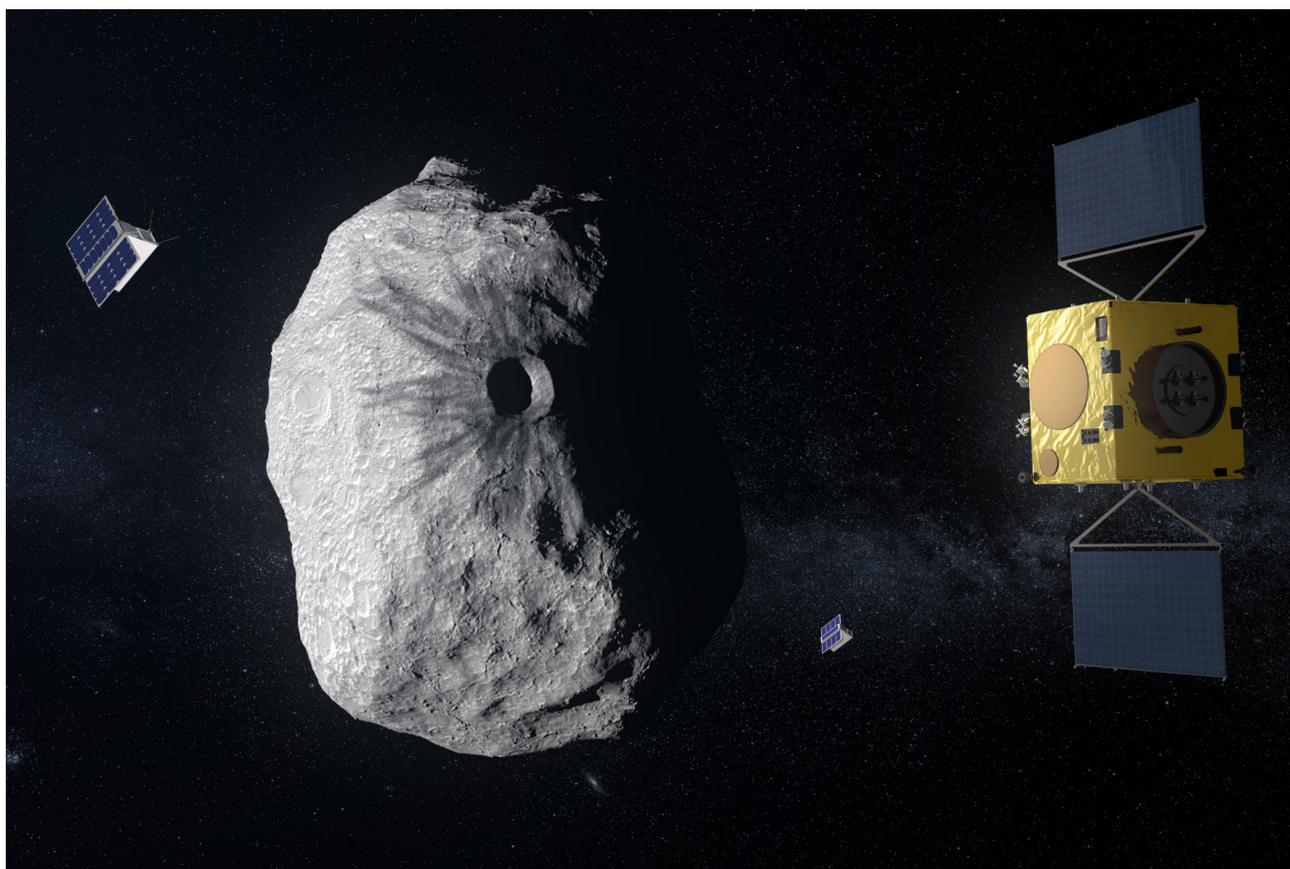
Además de las cámaras en el rango óptico, la nave contará con un instrumento en el rango infrarrojo, el *Thermal InfraRed Instrument* (TIRI), y al igual que en el caso de la AFC, la sonda portará dos unidades. Se trata de una versión mejorada del instrumento TIR que se encuentra a bordo de la

nave *Hayabusa2* y que ha sido desarrollado por la Agencia Espacial Japonesa (JAXA). Con su detector de  $1024 \times 768$  píxeles y una resolución de  $0.23 \text{ mrad/píxel}$ , proporcionará información espectral en el rango de las 8 a las  $14 \mu\text{m}$  mediante un conjunto de 6 filtros. El instrumento TIRI realizará mapas de temperatura de la superficie de Didymos B, que serán usados para delimitar propiedades como la distribución del tamaño de las partículas o la porosidad de su superficie.

LICIA no será el único *cubesat* que se utilice para observar a Didymos; Hera transportará dos *cubesats* que servirán para probar las comunicaciones entre los satélites y Hera (*Inter-satellite link*, ISL) por primera vez en Europa, así como para complementar los datos que proporcione la instrumentación

a bordo de la nave. Los satélites incluirán instrumentos tales como un espectrómetro de masa para determinar la presencia y abundancia de distintos elementos químicos en la superficie de Didymos B, un gravímetro para medir su gravedad, o una antena de baja frecuencia (*Low Frequency Radar*, LFR) para estudiar su interior. Estas últimas mediciones darán soporte a las medidas que se realicen con las dos antenas de radar ubicadas en la nave principal. Este experimento de ciencia en longitudes de onda de radio empleará las comunicaciones entre Hera y la Tierra para medir la masas de los dos componentes del sistema binario, así como las posibles variaciones en la masa interna del secundario, Didymos B.

En conclusión: la colaboración AIDA, entre las misiones DART y Hera, marcará sin duda un antes y un después en la exploración espacial. Por primera vez se realizará un experimento de desviación de un asteroide, se conocerá al más pequeño jamás visitado y al primer sistema binario explorado, utilizando tecnología nunca empleada en este contexto. Se verificarán décadas de estudios sobre colisiones y se comprobarán las predicciones sobre la estructura interna de estos pequeños cuerpos, fundamentales para comprender la formación y evolución del Sistema Solar. Y se hará uniendo teoría, observación y tecnología, porque como bien decía el Hidalgo Don Quijote: “En los casos arduos y dificultosos, en un mismo punto han de andar el consejo y la obra”.



(Hera-at-Didymos). La misión Hera, aprobada en noviembre de 2019, será la primera misión en visitar un asteroide binario, Didymos. Su objetivo será estudiar el objeto secundario (Didymos B) tras el impacto que llevará a cabo a la misión DART de NASA. Créditos: ESA – Science Office.