

COMET INTERCEPTOR:

Hace tan solo 35 años, la naturaleza de los cometas era sólo una hipótesis. Entonces, científicos e ingenieros, con el esfuerzo y dedicación que requieren las misiones espaciales, se encontraban comprometidos con el éxito de la primera misión de espacio profundo de la Agencia Espacial Europea (ESA), la misión Giotto al cometa Halley. Era el año 1986 y recién obtenida la imagen del núcleo del cometa más famoso de la historia, ya se empezaba a trabajar en la siguiente misión para explorar otro cometa: la misión Rosetta (ESA). Y de nuevo se repite la historia, apenas terminada esa misión, ya se ha empezado a trabajar en la siguiente: *Comet Interceptor*. Pero, ¿por qué plantear una nueva misión a un cometa?



Luisa Lara
lara@iaa.es



Pedro J. Gutiérrez
pedroj@iaa.es

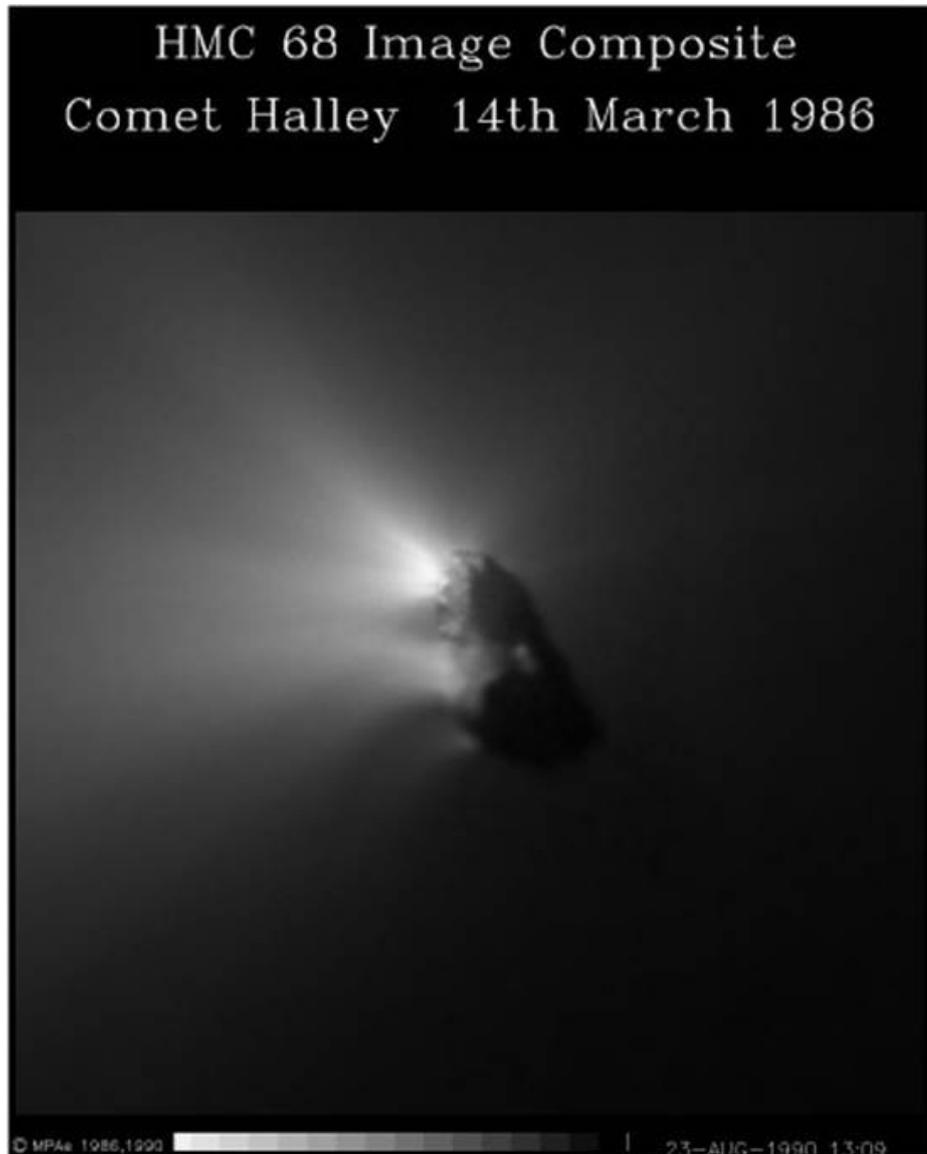
Instituto de Astrofísica de Andalucía

Con la ingenuidad de un niño, algunos de los científicos que nos dedicamos a la investigación del Sistema Solar, estamos permanentemente convencidos de que es ahora cuando empezamos a comprender cómo se formó y evolucionó nuestro sistema planetario. Así, sin darnos cuenta de la contradicción, aunque casi cada dato nos muestra que nuestro trabajo tiene algo de sisífico.

Pero es que no es para menos. En nuestro Sistema Solar sabemos que tenemos los planetas (ayer 9 y hoy 8), planetas que no son planetas, asteroides, cometas, cometas que son asteroides y al contrario, etc. Todo eso tiene su interés, el clasificar nos permite después desdibujar los límites aunque para lo primero ya necesitamos hasta la inteligencia artificial porque la nuestra no llega. Los números naturales son fáciles, pero no podemos olvidar que son un subconjunto de los reales y esos dan vértigo. Pues lo mismo con el Sistema Solar. Uno de los problemas a resolver es el tiempo, la secuencia temporal en la que los distintos procesos iban ocurriendo. El modelo que describe la formación del Sistema Solar debe tener en cuenta que Júpiter se debió formar muy rápido para acretar suficiente gas antes de que éste se dispersase pero no tanto como para impedir la circulación a gran escala que nos indican las muestras de polvo del cometa Wild 2 traídas por la sonda Stardust de la NASA. Esa circulación a gran escala también es necesaria para explicar la dispersión de razones deuterio/hidrógeno medidas en los cometas, agua que intercambió deuterio en las inmediaciones del Sol debió ser transportada más allá de Neptuno para provocar un decrecimiento de la razón D/H en la región transneptuniana. Después de unos cuantos Maños, el disco se limpia y una fase de relativa tranquilidad comienza. Las migraciones planetarias y la interacción gravitatoria de todo el sistema entran en acción y, al menos 450 Maños después, por la entrada en resonancia de Júpiter y Saturno, un período de inestabilidad comienza, produciendo el famoso Bombardeo Intenso Tardío que lanzó objetos helados hacia la parte interna del Sistema Solar a la vez que, en la parte externa, se generaban las distintas reservas de cometas. Los cometas transneptunianos forman el disco disperso, de donde proceden los cometas de corto período (como el 67P/Churyumov-Gerasimenko, objetivo de la misión Rosetta). Los cometas entre Saturno y Neptuno son desterrados a la nube de Oort, de donde proceden

LA CAZA ESPACIAL DE UN COMETA

Núcleo del cometa Halley visto por la cámara multicolor HMC de Giotto (ESA).
Fuente: <https://sci.esa.int/web/giotto/-/51183-the-nucleus-of-comet-halley>.
Copyright: ESA/MPS



los cometas nuevos, aquellos que se han mantenido alejados del perturbador entorno de la región planetaria. Parece ser que para seguir esa línea temporal nuestro Sistema Solar tuvo que contar con la magia de las inestabilidades gravitacionales, la de la formación del Universo pero aplicada a nuestra escala. Pequeñas irregularidades en la distribución de materia que se acumulan por atracción gravitatoria mutua y crecen rápidamente, desacoplándose del gas que las rodea. Por enésima vez consecutiva (¡estamos en racha!) habíamos conseguido superar la barrera del

metro, esa que nos dice que nuestro Sistema Solar no debe existir porque cuando los cuerpos alcanzan ese tamaño o se rompen o migran hacia el Sol. Y en esta ocasión lo habíamos hecho teniendo en cuenta el exigible rápido crecimiento de Júpiter, los distintos tipos de migraciones que vamos descubriendo (primero hacia la estrella y luego hacia fuera) y, además, explicábamos algunas de las anomalías, rarezas, del sistema solar externo, la existencia de algunos de esos objetos singulares con órbitas raras de verdad. Lo demás parece cuestión de pulir.

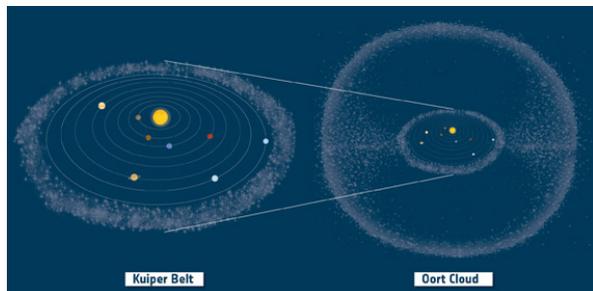


Ilustración mostrando la nube de Oort (derecha) y el cinturón de Kuiper (izquierda).

https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/ESA_s_new_mission_to_intercept_a_comet

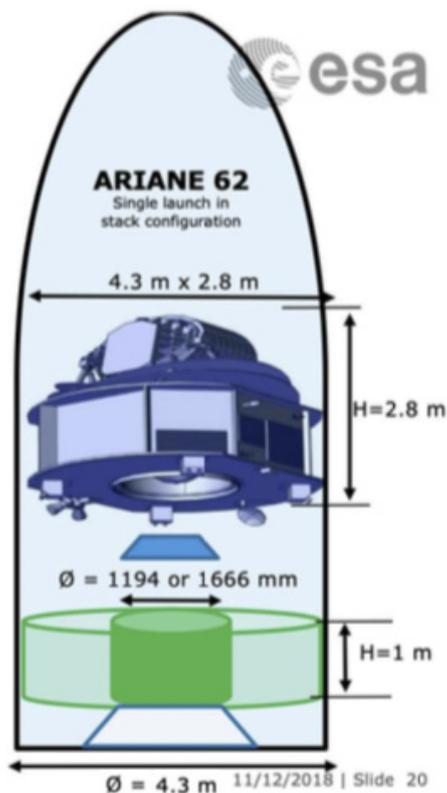


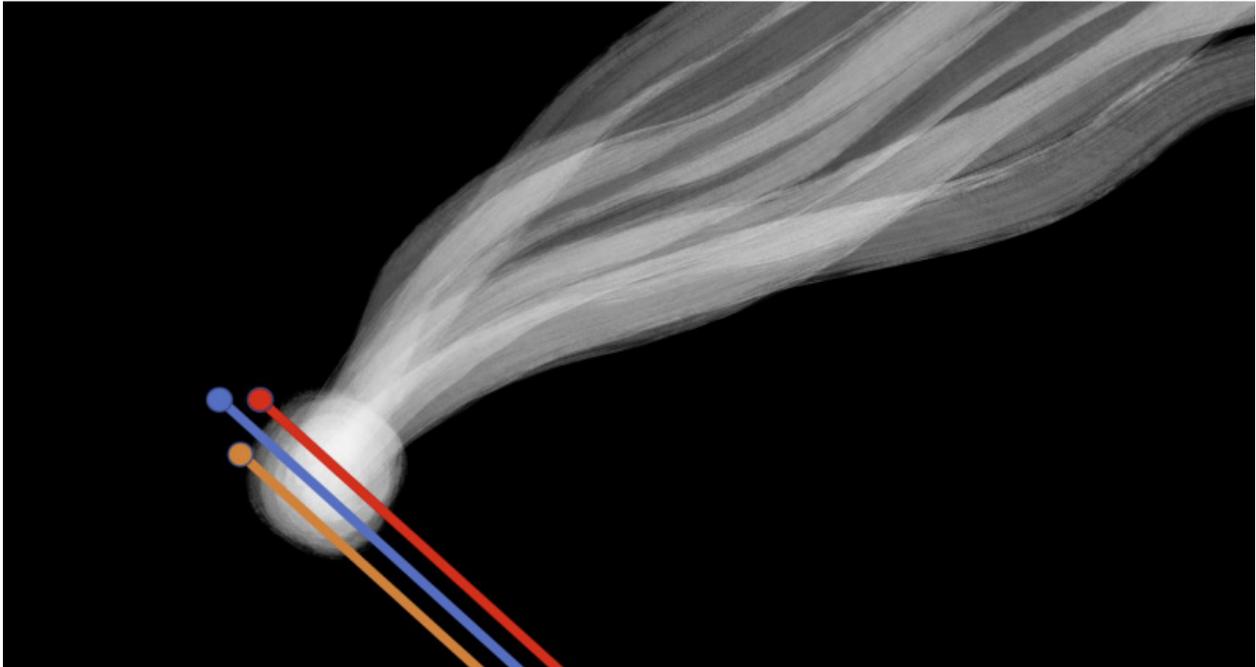
Imagen con intención ilustrativa del alojamiento de CI (abajo) y Ariel (arriba) en el cohete Ariane 6. La disposición final de las sondas puede ser diferente. Consorcio *Comet Interceptor*. Pl. Geraint Jones, University College London, UK. Fuente: <http://www.cometinterceptor.space>

Sin embargo, una dificultad que se nos plantea con esta descripción es que más allá de Neptuno, según lo que pensamos, algunos cuerpos (con tamaño del orden del de Plutón) también tuvieron que crecer muy rápido. Casi se puede decir que nacieron así, gorditos. Eso desató una dispersión de velocidades en los cuerpos de esa zona que debió dejar la región transneptuniana hecha unos zorros hasta que la gravedad y la presión de radiación pusieron algo de orden.

Rosetta nos ha confirmado que los cometas, al menos el 67P/Churyumov-Gerasimenko, son cuerpos frágiles, muy porosos, con un alto contenido en volátiles y que no han sufrido ni colisiones catastróficas ni compactación. Es decir, los cometas han sabido esquivar los efectos de un entorno colisional y destructivo. Pero no sólo eso, de alguna manera evitaron sufrir el presumible calentamiento radiogénico que ha afectado a los cuerpos más grandes. Es decir, los cometas son unos supervivientes, que nos hacen pensar más en la teoría de la evolución y en el principio antrópico que en la ecuación de Smoluchowski y en la física del acrecimiento. Siempre se pueden lanzar hipótesis plausibles pero difíciles de demostrar: buscar otros emplazamientos de origen para los cometas o aceptar que los cometas se formaron más tarde que los principales cuerpos del Sistema Solar serían ejemplos. En todo ello jugaría un papel fundamental un dato que aún no tenemos: ¿cuánta masa había inicialmente en la región transneptuniana? Si nos pasamos, los cometas como los conocemos no deben existir, si nos quedamos cortos, a lo mejor perdemos cuerpos como Sedna o el mismo Plutón. En cualquier caso parece que, según lo que conocemos, la existencia de cometas, con sus características, es casi un milagro. Pero eso suena raro. Como objetos menos evolucionados del Sistema Solar, estamos convencidos que tienen información clave, más allá del ajuste de unos parámetros, para describir su propia formación y su relación con la formación del Sistema Solar de manera algo menos... artificial.

La mayoría de la información que tenemos de los cometas procede de los cometas de corto período y, principalmente, de los cometas de la familia de Júpiter, los que tienen un periodo alrededor de los 6 años. Esto es lógico porque son los más accesibles observacionalmente y los que permiten planificar mejor una misión espacial. Pero esos cometas han

Imagen ilustrativa del concepto de la misión *Comet Interceptor*. <http://www.cometinterceptor.space/>. Consorcio *Comet Interceptor*. PI. Geraint Jones, University College London, UK.



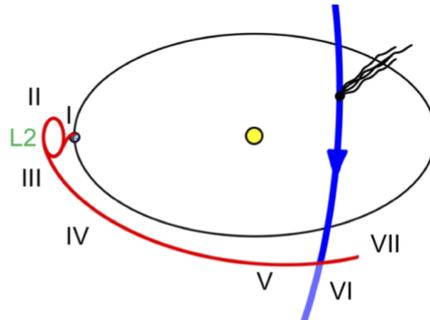
pasado muchas veces alrededor del Sol, están muy evolucionados. Para extraer datos sobre su interior, la información relevante sobre su formación, es necesario restar los efectos que el envejecimiento les ha producido (migración de los frentes de volátiles hacia el interior, formación de manto refractario en la superficie, etc.), efectos que Rosetta nos ha revelado como mucho más complejos de lo que inicialmente pensábamos. En la evolución del conocimiento cometario algunos pasos importantes se han dado con el estudio de los cometas nuevos, aquellos que visitan el Sistema Solar interno por primera vez, como ocurrió con el Hale-Bopp, que nos permitió triplicar el inventario de moléculas cometarias con su visita. Desde el punto de vista del investigador en cometas, lo ideal sería poder explorar uno de esos cometas nuevos con una sonda espacial. Una posibilidad para poder explorar in-situ un cometa nuevo es descubrirlo con la suficiente antelación para construir la sonda y poder dirigirla a su encuentro. Hace relativamente pocos años, esa posibilidad era inviable porque normalmente los cometas nuevos se descubrían



Comet Hale-Bopp. Fuente: By E. Kolmhofer, H. Raab; Johannes-Kepler-Observatory, Linz, Austria (<http://www.sternwarte.at>) - Own work, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=6756556>.

COMET INTERCEPTOR: LA CAZA ESPACIAL DE UN COMETA

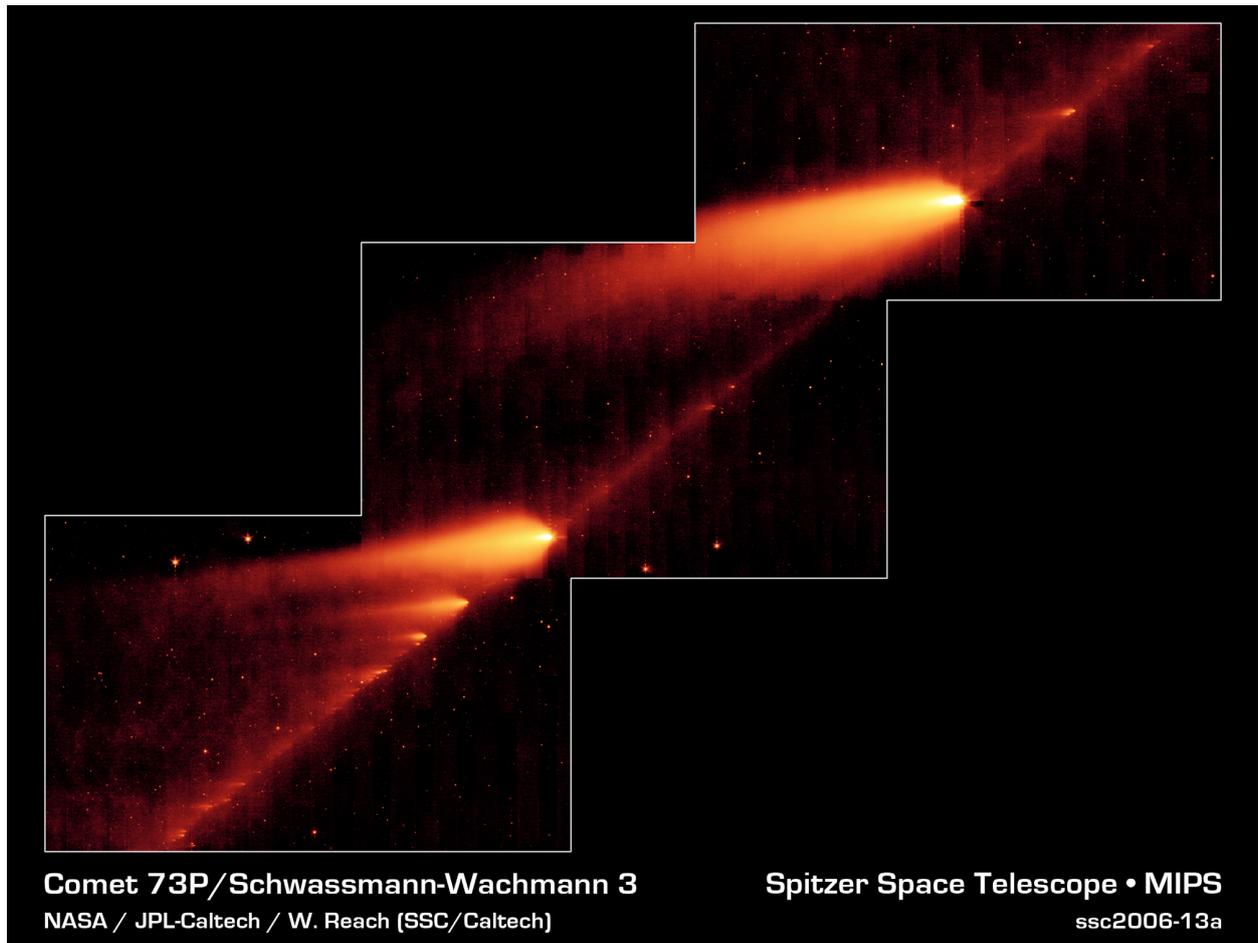
- I. Lanzamiento y llegada a L2
- II. Estacionamiento en L2
- III. Salida desde L2
- IV. Viaje y pruebas de instrumentos.



- V. Separación de las minisondas
- VI. Encuentro
- VII. Envío de datos y estudio del viento solar, si es posible.

Fases de la misión CI. Figura adaptada de la propuesta *Comet Interceptor*. Consorcio *Comet Interceptor*. PI. Geraint Jones, University College London, UK.

Imagen infrarroja del telescopio espacial Spitzer de la NASA mostrando el roto cometa 73P / Schwassman-Wachmann 3, que comenzó a separarse en 1995 durante uno de sus viajes alrededor del sol. Desde entonces, el cometa ha seguido desintegrándose en docenas de fragmentos, al menos 36 de los cuales pueden verse aquí.



cuando estaban a 1 año de su perihelio, poco tiempo. Ahora la situación es mejor y algunos se descubren cuando están a más de 10 UA del Sol, es decir, varios años antes de que sus órbitas los acerquen hasta nosotros. La estimación actual es que se pueden detectar unos 3 ó 4 cometas a esa distancia por año, aunque no necesariamente sabremos si son nuevos hasta que se determine con exactitud su órbita. Posiblemente la situación mejore aún más con la puesta en funcionamiento del LSST (*Large Synoptic Survey Telescope*), que nos permitirá la detección temprana de esos cometas cuando se encuentren todavía a una gran distancia de nuestra órbita. Otra posibilidad para poder explorar in-situ un cometa nuevo es construir la sonda y esperar a que aparezca. La ESA y ARIEL nos han ofrecido esa oportunidad.

En Julio del 2018, la ESA lanzó una llamada de oportunidad para una misión Fast (en atención a la planificación, que debía ser rápida), una sonda de tamaño modesto, para ser lanzada hacia el punto lagrangiano L2 como compañera de ARIEL, cuyo lanzamiento está previsto para 2028. Así se gestó *Comet Interceptor*, una propuesta liderada por el Prof. Geraint Jones (*University College London, UK*) y el Dr. Colin Snodgrass (*U. Edinburgh, UK*) con la colaboración de un gran número de investigadores. Se pensó en diseñar y construir un sistema multisonda que esperase en L2 la llegada de un cometa nuevo al que dirigirse. Al esperar en el punto lagrangiano, el consumo de combustible sería mínimo. El hecho de que la sonda espere en L2 tiene también la ventaja de que sus objetivos no dependen de la fecha de lanzamiento y no se vean afectados por posibles retrasos. Cuando un cometa nuevo se descubra, la sonda abandonará L2 para encontrarse con el cometa cuando éste esté a una distancia aproximada de 1 UA del Sol, con un período de viaje de unos 2-3 años. En su viaje hacia el cometa, se liberarán dos minisondas. La sonda principal seguirá una trayectoria diseñada para realizar un sobrevuelo seguro, a varios miles de km del núcleo, mientras que las dos minisondas seguirán distintas trayectorias, atravesando la coma para acercarse considerablemente al núcleo. Los momentos de separación serán definidos en función de distintos parámetros, incluyendo la actividad que desarrolle el cometa y las distancias de separación deseadas de los tres elementos entre sí y con respecto al núcleo. Esta exploración multipunto nos garantiza

obtener información de la estructura tridimensional de la coma y el núcleo del cometa aún realizando un simple sobrevuelo, discriminando efectos espaciales y temporales. La sonda principal, además de realizar sus propias observaciones, recogerá los datos de las minisondas que quedarán almacenados hasta que sea posible y seguro transmitirlos hacia la Tierra. Después del encuentro con el cometa, si es posible, se planea continuar realizando observaciones del viento solar, durante un tiempo limitado, aprovechando la capacidad multipunto de la misión. Esta planificación tiene una importante ventaja. El hecho de “arriesgar” con observaciones cercanas la integridad de las minisondas no implica perder los datos y su contenido científico, ya que estos se transmitirán a la sonda principal, en trayectoria segura.

Aunque la visita de un cometa nuevo que explorar con *Comet Interceptor* está estadísticamente garantizada, la propuesta incluye otras dos posibilidades de respaldo. La primera alternativa sería la exploración de algún objeto interestelar que nos visite, como los recientes Oumuamua y Borisov, algo cuyo interés científico es evidente y que constituiría una oportunidad única de estudio. La segunda opción de respaldo sería la exploración de un cometa de la familia de Jupiter. Aunque aún no está definido, actualmente se baraja la posibilidad de considerar al cometa 73P/Schwassmann-Wachmann 3 como objetivo de respaldo en el caso de que, por algún motivo, *Comet Interceptor* no pueda dirigirse a un cometa nuevo. 73P es un cometa singular puesto que se puede considerar un cuerpo en desintegración. En su paso orbital de 1995, el núcleo original se fragmentó, al menos, en tres partes, aunque posteriormente se han identificado más fragmentos. Actualmente hay identificados más de 60 fragmentos. Si sobrevive, la exploración de ese cometa nos ofrecería la posibilidad única de “acceder” al interior de un núcleo cometario.

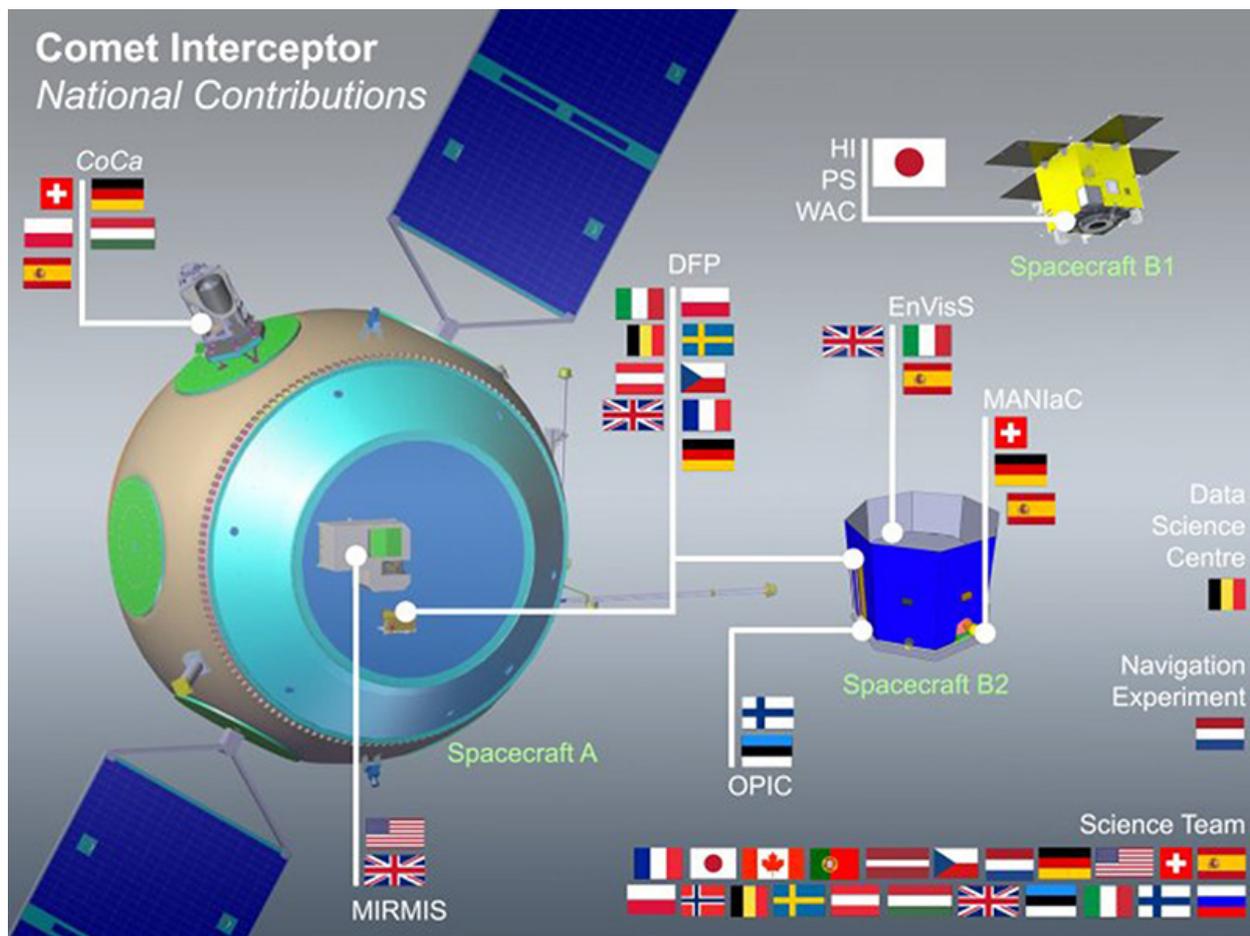
Los principales desafíos de *Comet Interceptor* son 3. Primero, la misión tiene que diseñarse para encontrar cometas en un amplio intervalo de trayectorias y velocidades posibles. El peor escenario sería un cometa en órbita retrograda, que supondría velocidades de sobrevuelo superiores a los 70 km/s. Ello se tiene que tener en cuenta considerando que la masa total, incluyendo combustible, es ya de 650 kg. Segundo, la misión debe llevarse a cabo en un tiempo inferior a los

5 años. Para completar la misión en 5 años, sería necesario que el objetivo se descubriese, a más tardar, 2 ó 3 años después de su llegada al punto L2. Actualmente hay tiempo suficiente considerando la tasa de descubrimientos actuales de cometas nuevos y las distancias a las que los detectamos. El tercero, obviamente, es mantener los costes bajos. La contribución de la ESA, excluyendo el lanzador que sale “gratis” al compartirse el lanzamiento con ARIEL, es de 150 M€. Para reducir costes, las minisondas viajarían en “caída libre”, aunque estabilizadas por giro, no contarían con sistemas de control orbital, seguirán sus propias orbitas keplerianas. Con respecto a la instrumentación, para asegurar una implementación de ésta en el plazo récord de máximo 6 años (los modelos de vuelo han

de estar listos a finales del 2025 o principios del 2026) se propuso hacer uso de conceptos de instrumentos con alto nivel de disponibilidad tecnológica (TRL entre 5 –validado en entorno relevante– y 9 –sistema probado en vuelo en operaciones exitosas), incluyendo herencia de tecnología probada.

En Junio de 2019, *Comet Interceptor* fue seleccionada por ESA como su primera misión tipo F, confirmándose la participación de JAXA, la agencia espacial japonesa, en la construcción de una de las minisondas. Actualmente se trabaja en el análisis de las necesidades concurrentes de la misión y en su definición consistente, incluyendo la instrumentación y las cooperaciones necesarias.

Contribuciones iniciales a la instrumentación de *Comet Interceptor* y su alojamiento en cada una de las naves A, B1 y B2. La distribución final puede diferir de lo mostrado. Fuente: Adaptada de <http://www.cometinterceptor.space/> Consorcio *Comet Interceptor*. Pl. Geraint Jones, University College London, UK.



La instrumentación de la misión, como es habitual, correrá a cargo de los países miembros y agencias colaboradoras formando un consorcio que, actualmente, aglutina a 17 países. Aún en valoración, *Comet Interceptor* contará con 9 instrumentos. La sonda principal irá equipada con CoCa (*Comet Camera*), una cámara visible/infrarrojo cercano para obtener imágenes de alta resolución del núcleo del cometa en distintas longitudes de onda; con MIRMIS (*Multispectral InfraRed Molecular and Ices Sensor*), un espectrógrafo infrarrojo cercano/térmico para medir la emisión térmica del núcleo y estudiar la composición molecular de la coma; con DFP (*Dust, Field and Plasma*), un instrumento con sensores de polvo, plasma y campos y con MANIaC (*Mass Analyzer for Neutrals and Ions at Comets*) un espectrómetro de masas. La minisonda proporcionada por JAXA contará con HI (*Hydrogen Imager*), una cámara para el ultravioleta lejano; con PS (*Plasma Suite*), un instrumento para analizar el plasma y con WAC (*Wide Angle Camera*), una cámara visible de campo ancho. La otra minisonda, proporcionada por ESA, contará con un instrumento similar al DFP de la sonda principal; con EnVisS (*Entire Visible Sky coma mapper*) una cámara visible multiespectral con filtros polarimétricos y con OPIC (*Optical Imager for Comets*), una cámara visible/infrarrojo cercano para cartografiar el núcleo y los chorros de polvo a diferentes longitudes de onda. En la actual propuesta, España, a través del Instituto de Astrofísica de Andalucía-CSIC, estaría participando en el diseño de cuatro de esos instrumentos: CoCa, MANIaC, EnVisS y OPIC, aportando subsistemas como la fuente de alimentación y la unidad de procesamiento de datos. El grupo español, liderado por la Dra. Luisa M^a Lara, estaría integrado por José M^a Castro, Miguel Herranz, Jaime Jiménez, Ignacio Martínez y Julio Rodrigo como equipo técnico y por Daniel Guirado, Pedro Gutiérrez, Olga Muñoz, Fernando Moreno y Luisa Lara, como equipo científico.

Esperemos que esta misión continúe su camino y alcance el objetivo de explorar *in situ* un cometa verdaderamente prístino, lo que ayudará a entender la diversidad entre los cometas. En ello estamos.



Logo preliminar de la misión. Consorcio *Comet Interceptor*. Pl. Geraint Jones, University College London, UK.