

## PROYECTO DUSTER

# Estudiando el comportamiento del polvo lunar para preparar futuras misiones de exploración

**MIENTRAS LAS AGENCIAS ESPACIALES SE PREPARAN PARA VOLVER A LA LUNA, CIENCIA E INGENIERÍA SE ENFRENTAN AL RETO DE MITIGAR UN IMPORTANTE RIESGO MEDIOAMBIENTAL: EL POLVO**

Karolien Lefever, jefa del departamento de "Comunicación y Documentación" del Real Instituto Belga de Aeronomía Espacial (BIRA-IASB)

Sylvain Ranvier, científico del grupo de investigación "Acoplamiento magnetosferaiónosfera" del BIRA-IASB y coordinador del proyecto DUSTER

Rosario Sanz Mesa (gestora y divulgadora) y Julio Rodríguez Gómez (investigador principal en el IAA-CSIC, UDIT, IAA-CSIC)

Las partículas de polvo cargadas suponen un grave riesgo para la salud de la exploración humana y para los instrumentos espaciales.



*Polvo flotando e iluminado por un rayo de luz solar. Crédito: Foto Istock*

En la Tierra, este conglomerado de partículas diminutas, como ácaros, fibras, tierra y polen, se puede encontrar en todo tipo de superficies. Al sacudirlo, el polvo asentado puede quedar suspendido en el ambiente, y mientras algunos disfrutan viéndolo iluminado por la luz solar, otros simplemente se limitan a estornudar. Afortunadamente, podemos deshacernos fácilmente de él utilizando un paño o una aspiradora.

### POLVO EN LA LUNA

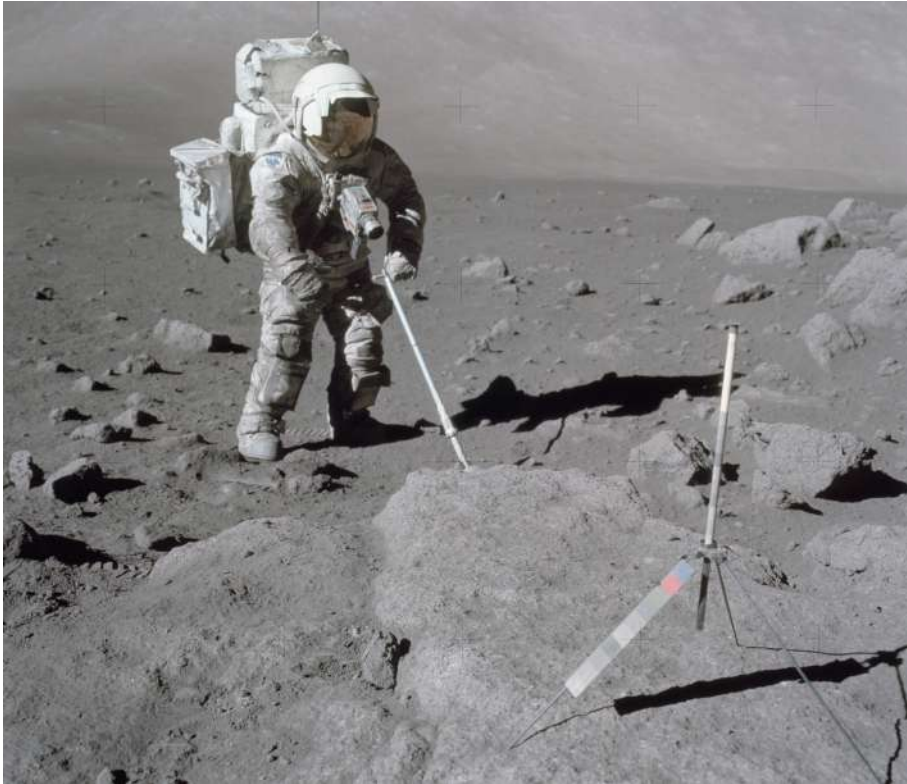
Pero incluso más allá de la Tierra, el polvo puede resultar desagradable y molesto. Cuando los astronautas de las misiones *Apollo* regresaron de nuestro satélite, se dieron cuenta de que el polvo lunar adherido a sus trajes espaciales era el responsable de su irritación de garganta y de las lágrimas en sus ojos.

### POLVO EN LA TIERRA

El polvo es omnipresente y puede llegar a ser una verdadera pesadilla.



*Representación artística de un astronauta trabajando en la superficie lunar durante una futura misión Artemis. Crédito: NASA*



*El astronauta del Apolo 17 Harrison Schmitt recogiendo una muestra de suelo, con el traje espacial cubierto de polvo. Crédito: Imagen de la NASA AS17-145-22157*

En la Luna, el polvo está compuesto por partículas diminutas, afiladas y abrasivas de roca lunar triturada en partículas más pequeñas debido al impacto de meteoritos y micrometeoritos. Cargadas electrostáticamente, estas partículas se adhieren a todas las superficies, desde los trajes espaciales hasta la electrónica y la óptica, e incluso pueden infiltrarse en los pulmones de los astronautas.

A diferencia de la Tierra, en la Luna no es tan sencillo deshacerse de estas partículas. A pesar de los intentos de las tripulaciones de barrer el polvo abrasivo y afilado de sus trajes espaciales con cepillos o manos, ninguno de los métodos resultó eficaz. La baja gravedad lunar - una sexta parte de la que tenemos en la Tierra - hace que las diminutas partículas permanezcan suspendidas durante más tiempo y puedan penetrar más profundamente en los pulmones.

La presencia de estas partículas cargadas, que también se encuentran en Marte, cometas y asteroides, plantea un verdadero desafío para las futuras misiones de exploración - tanto tripuladas como robóticas - a diferentes cuerpos del sistema solar, incluido nuestro satélite. Además de comprometer la salud de los astronautas por irritación e inhalación, el polvo lunar tiene muchos otros efectos perniciosos para los instrumentos, como el desgarro del traje espacial, el oscurecimiento de la visión externa por depositarse en las lentes de las cámaras y visores, falsas lecturas de los instrumentos, recubrimiento y contaminación por polvo, pérdida de tracción, obstrucción

de los mecanismos, abrasión, problemas de control térmico (radiadores sobrecalentados), fallos en las juntas y degradación de los paneles solares, entre otros.

### **DIFERENCIAS ENTRE EL SUELO TERRESTRE Y EL LUNAR**

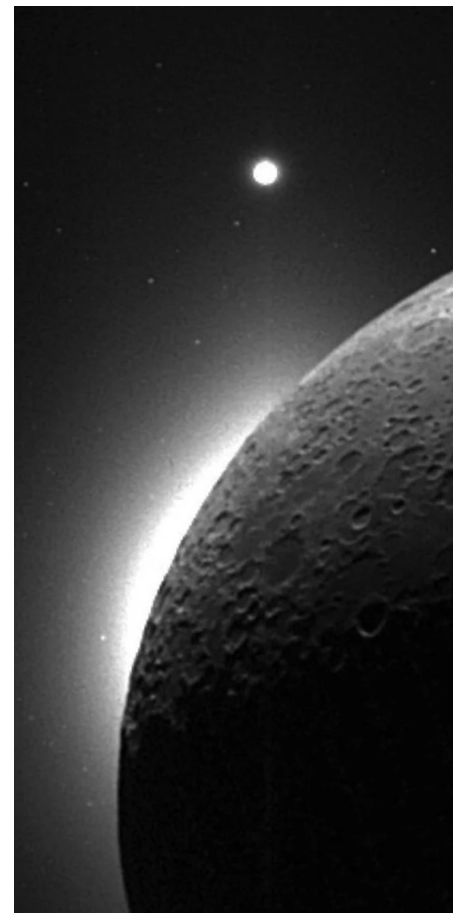
Aunque utilizamos la misma terminología, existen notables diferencias entre el suelo terrestre y el lunar. En la Tierra, el suelo se forma mediante procesos biológicos, físicos (erosión del agua y del viento) o químicos, mientras que el suelo lunar carece de materia orgánica y se forma estrictamente por trituración mecánica a partir de meteoroides y la interacción con el viento solar y otras partículas energéticas.

A diferencia de la Tierra, donde los guijarros se redondean con el tiempo debido a la exposición a elementos naturales, los suelos lunares no experimentan erosión significativa. Sin viento ni agua que desgasten sus bordes, los granos de suelo lunar permanecen extremadamente afilados y angulosos. Tan afilados como el cristal, pero finos como el polvo terrestre, estos granos pueden tener un tamaño inferior a 20 micras, lo que los hace extraordinariamente dañinos de maneras diferentes a como podemos observar en la Tierra.

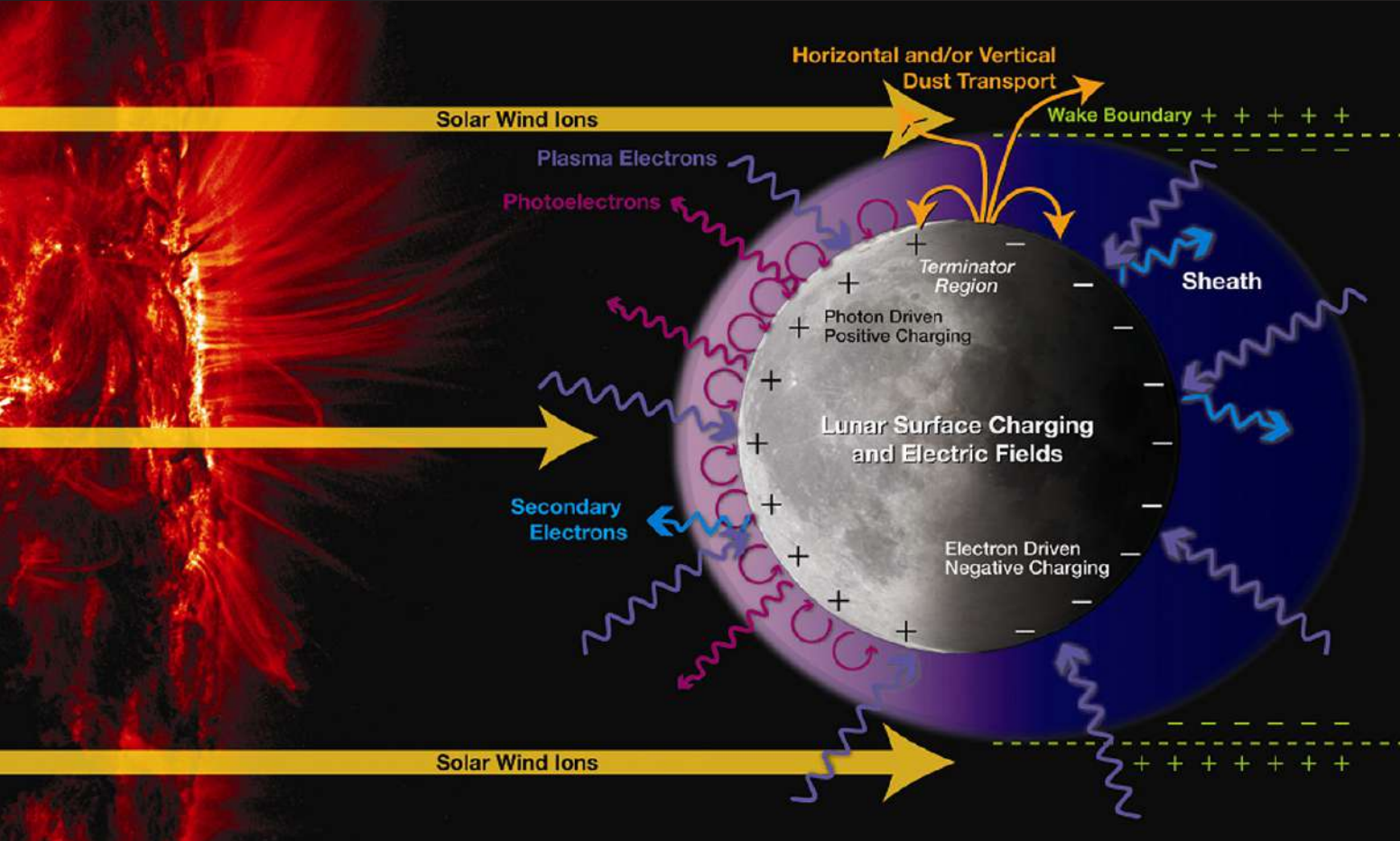
Otra diferencia con la Tierra es que el polvo lunar no está compactado. Cualquier actividad en la superficie puede levantar grandes

**En la Luna, el polvo está compuesto por partículas diminutas, afiladas y abrasivas de roca lunar triturada en partículas más pequeñas debido al impacto de meteoritos y micrometeoritos**

cantidades, incluso sin astronautas caminando por su superficie o sin un módulo lunar posándose en su suelo. Se han observado partículas y nubes de polvo flotando desde varios centímetros hasta metros por encima de la superficie, a pesar de la ausencia de viento o agua que provoque tal comportamiento. En la Luna, incluso partículas diminutas pueden transportarse a grandes distancias. Esta actividad del polvo lunar se atribuye a fuerzas electrostáticas. Fenómenos similares podrían producirse en otros cuerpos sin atmósfera, como cometas o asteroides.



*Cuando la misión Apolo orbitó la cara oculta de la Luna, vio un arco de luz increíblemente brillante que brillaba en el horizonte justo después de la puesta de sol. El punto brillante de la parte superior es el planeta Venus. Crédito: NASA*



Varios fenómenos de carga de polvo en la Luna. Crédito: NASA

## LA CARGA DEL POLVO

El polvo lunar puede presentar aspectos y comportamientos diferentes según su ubicación en la superficie con respecto a la posición del Sol.

Por ejemplo, la cara diurna de la Luna está expuesta a la radiación solar, que en el rango del ultravioleta (UV) y de los rayos X provoca la fotoemisión de electrones. Esto genera una ligera carga eléctrica positiva en el polvo de esta cara de la Luna, con un potencial de aproximadamente 10 V, lo que hace que se adhiera a todo tipo de superficies, de manera similar a como ocurre con la electricidad estática en la Tierra.

Por el contrario, en el lado nocturno, la superficie solo está influenciada por un entorno de plasma. La carga eléctrica principal de los granos de polvo se origina debido a la captación de electrones de dicho plasma, parcialmente mitigada por la emisión de electrones secundarios de la superficie. Esta emisión presenta un potencial negativo estimado entre -100 V y -200 V fuera de la magnetosfera lunar.

Cerca del terminador, la región que divide la zona iluminada por el sol de la sombreada, se producen fuertes campos eléctricos debido a la rápida transición de potenciales positivos a negativos. Las estructuras de mediana o pequeña escala, como cráteres o rocas, pueden amplificar este comportamiento. Este campo eléctrico podría ser la causa de la levitación electrostática y del transporte horizontal de los granos de polvo lunar, lo que conduciría a una deposición neta de polvo desde el hemisferio oscuro hacia el iluminado por el sol.

## EL PROYECTO DUSTER

Mientras agencias espaciales como la NASA se preparan para volver a la Luna, equipos internacionales de ciencia e ingeniería investigan a fondo las propiedades físicas del polvo lunar cercano a la superficie, con el fin de evaluar los riesgos de contaminación por dichos granos de polvo y encontrar formas de mitigar eficazmente sus peligros.

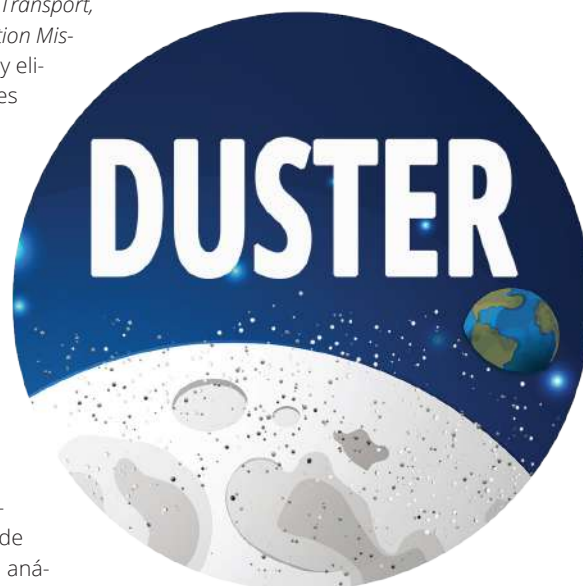
Un equipo dirigido por el Real Instituto Belga de Aeronomía Espacial (BIRA-IASB) ha unido esfuerzos con ONERA, el Laboratorio Aeroespacial Francés (Francia); el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC, España) y Thales Alenia Space - España (TAS-E, España) en el proyecto 'Horizon Europe DUSTER'.

*DUSTER*, acrónimo de 'Dust Study, Transport, and Electrostatic Removal for Exploration Missions' (Estudio del polvo, transporte y eliminación electrostática para misiones de exploración), tiene como objetivo principal estudiar la carga electrostática y la adherencia de los granos de polvo en el regolito lunar, la fina capa de polvo que cubre la superficie de nuestro satélite.

Este estudio es crucial para comprender el transporte de los granos de polvo en la superficie de cuerpos sin fenómenos atmosféricos. A partir de experimentos en laboratorio, *DUSTER* desarrollará un modelo de ingeniería de un instrumento capaz de realizar el análisis de estos fenómenos.

***DUSTER* tiene como objetivo principal estudiar la carga electrostática y la adherencia de los granos de polvo en el regolito lunar**

Además, buscará generar la tecnología necesaria para mover electrostáticamente los granos de polvo de forma controlada, dando así un primer paso hacia un dispositivo para la limpieza de superficies.



## PRUEBAS EN UN ENTORNO ESPACIAL SIMULADO

Los primeros pasos del proyecto *DUSTER* están enfocados en el estudio de la carga de polvo en laboratorio simulando de manera exhaustiva las condiciones del entorno espacial. Para ello, la instalación DROP (*Dust Regolith Or Particles*) en ONERA Toulouse recrea las condiciones del entorno lunar con la mayor fidelidad posible (ver imagen 1).

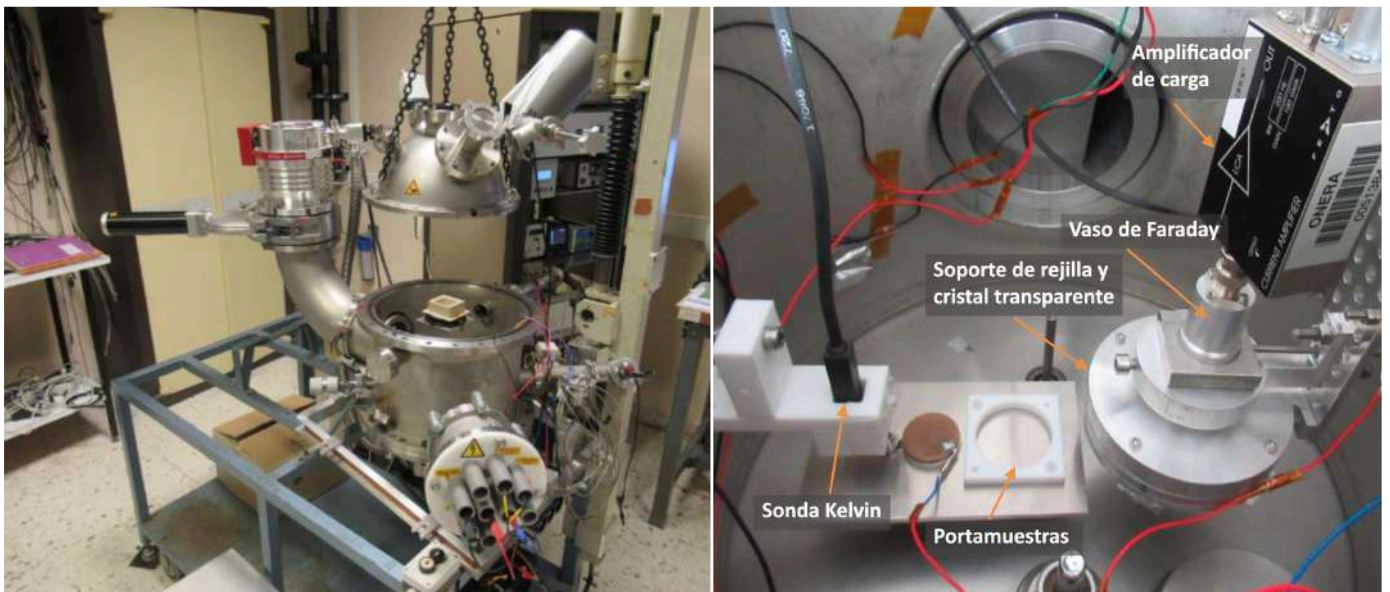
Esta cámara de vacío cuenta con una bomba turbomolecular que posibilita la realización de ensayos a presiones extremadamen-

te bajas, similares a las de nuestro satélite. Para simular la irradiación solar en el suelo lunar, se emplea un haz de fotones ultravioleta al vacío (VUV) con la misma energía y flujo solar, incidiendo directamente en la capa de polvo. El potencial medio del polvo después de la irradiación VUV se mide mediante una sonda Kelvin sin contacto. Posteriormente, el polvo atraído por la rejilla y los electrodos se recoge en un vaso de Faraday (ver imagen 2).

Con esta configuración, se realizan mediciones de diversas magnitudes físicas, incluyendo el campo eléctrico necesario para mover los granos cargados, la carga eléctrica que transportan dichos granos en movimiento,

los parámetros de carga y el campo eléctrico en la superficie de la capa de polvo. Para realizar estas pruebas, ONERA ha seleccionado un análogo de polvo lunar denominado JDC-1A (Johnson Space Center - One A), consistente en un triturado de roca basáltica.

Los primeros resultados obtenidos por el proyecto son muy alentadores. Indican que es factible en laboratorio atraer los granos de polvo con fuerzas electrostáticas, medir una corriente mientras entran y salen del vaso de Faraday e inferir la cantidad de carga eléctrica que transportan dichos granos de polvo. Se trata, sin duda, de un hito importante para el proyecto.



**Imagen 1:** La cámara Dust Regolith Or Particles (DROP) de ONERA (Toulouse), que se utiliza para realizar los experimentos de laboratorio. Crédito: ONERA

**Imagen 2:** Configuración del detector de polvo para el proyecto DUSTER. Un vistazo al interior de la cámara DROP. El soporte de polvo lunar mide 5x5 cm<sup>2</sup> con un orificio central para las muestras de polvo lunar. La rejilla utilizada para atraer las partículas de polvo está pegada a su soporte. El cristal transparente se utiliza para observar la deposición de polvo. El vaso de Faraday mide la corriente, que luego es amplificada. A la izquierda también puede verse la sonda Kelvin, utilizada para medir el potencial del polvo. Crédito: Figura adaptada de ONERA

## UN PROTOTIPO DE INSTRUMENTO PARA MEDICIONES IN SITU

Basándose en los resultados obtenidos en el laboratorio, se procederá a diseñar, fabricar y probar un prototipo de instrumento en un entorno controlado. Este instrumento estará destinado a analizar in situ, en la superficie lunar, las propiedades mecánicas y eléctricas del polvo, así como el transporte electrostático, una vez instalado en un pequeño módulo de aterrizaje lunar.

Este instrumento, además, deberá tener la capacidad de extraer de manera controlada los granos de polvo que componen el regolito natural. Con este propósito, dicho instrumento estará compuesto por tres sensores clave: una sonda Langmuir, una sonda de campo eléctrico y un colector de polvo que consta de un electrodo de alta tensión

acoplado a un medidor de cargas (electrómetro).

Las sondas de Langmuir y de campo eléctrico medirán el plasma del entorno y el campo eléctrico cerca de la superficie, mientras que el colector de polvo aplicará una fuerza controlada sobre el polvo cargado para atraerlo y medir la corriente resultante del movimiento de las partículas de polvo cargadas en el vaso de Faraday.

Los parámetros resultantes determinarán el campo eléctrico necesario para atraer y recoger el polvo en función de las condiciones ambientales (iluminación, densidad del plasma y temperatura), lo que permitirá diseñar dispositivos de mitigación del polvo electrostático y colectores de muestras de polvo para una amplia gama de entornos, tanto para nuestro satélite, como para otros cuerpos del sistema solar como Marte, cometas o asteroides.

El proyecto DUSTER ha recibido financiación del programa HORIZON de Investigación e Innovación de la Unión Europea en virtud del acuerdo de subvención n° 101082466.



Referencia: [duster.aeronomie.be](http://duster.aeronomie.be)

## El papel del IAA-CSIC en *DUSTER*

El IAA es responsable del ordenador de a bordo, el software de control y la mecánica del instrumento *DUSTER*

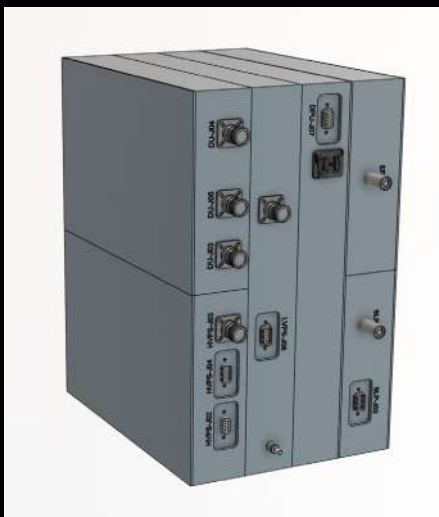
Dentro del proyecto *DUSTER*, el IAA-CSIC se encarga del diseño de la caja de electrónica donde se albergarán las tarjetas de procesamiento y control del instrumento (también desarrolladas por el IAA-CSIC), la electrónica de adaptación a las tres sondas (desarrolladas por BIRA-IASB) y las fuentes de alimentación de alta, media y baja tensión (diseñadas por TAS-E). Esta caja protege a las tarjetas electrónicas de interferencias electromagnéticas externas o de otro dispositivo electrónico.

El IAA-CSIC también diseñará el *hardware*, *firmware* y *software* de la tarjeta de control y procesamiento del instrumento, así como un simulador de comunicación de la nave espacial o aterrizador con el instrumento *DUSTER*, responsable de transmitir los telecomandos y recibir las telemetrías.

El IAA-CSIC es también responsable de la integración de la electrónica con las tarjetas de BIRA-IASB y TAS-E, y ofrecerá soporte en los tests de compatibilidad electromagnética e interferencia electromagnética que se realizarán en Thales Alenia Space - España. Finalmente, se realizará una verificación funcional del *software* y *hardware* en el laboratorio.



Desarrollo del software de control y simulador de nave espacial mandando telecomandos y recibiendo telemetrías Créditos: IAA-CSIC



3D de la caja de electrónica del instrumento *DUSTER*. Créditos: IAA-CSIC

