

# El laboratorio de polvo cósmico del IAA

**PERMITE ESTUDIAR EL EFECTO DE LAS PARTÍCULAS DE POLVO EN AMBIENTES DIVERSOS, COMO LA TIERRA, LOS COMETAS O INCLUSO LOS CÚMULOS ESTELARES**

Por Olga Muñoz (IAA-CSIC)

**EN ASTRONOMÍA, CUANDO HABLAMOS DE POLVO NO NOS REFERIMOS AL POLVO QUE SOLEMOS ENCONTRAR EN NUESTRAS CASAS.** El polvo de las casas está formado, entre otras cosas, por fibras textiles, pelos humanos y animales, pequeñas escamas de piel, esporas y demás. Los astrónomos llamamos polvo a pequeñas partículas en estado sólido compuestas, por ejemplo, de silicatos o distintos tipos de carbón.

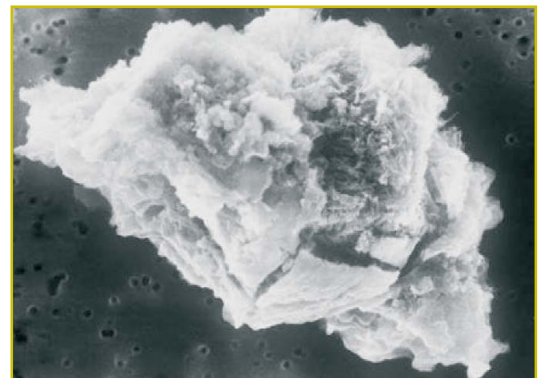
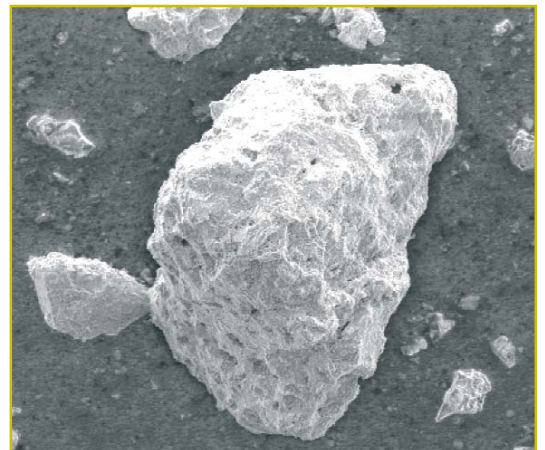
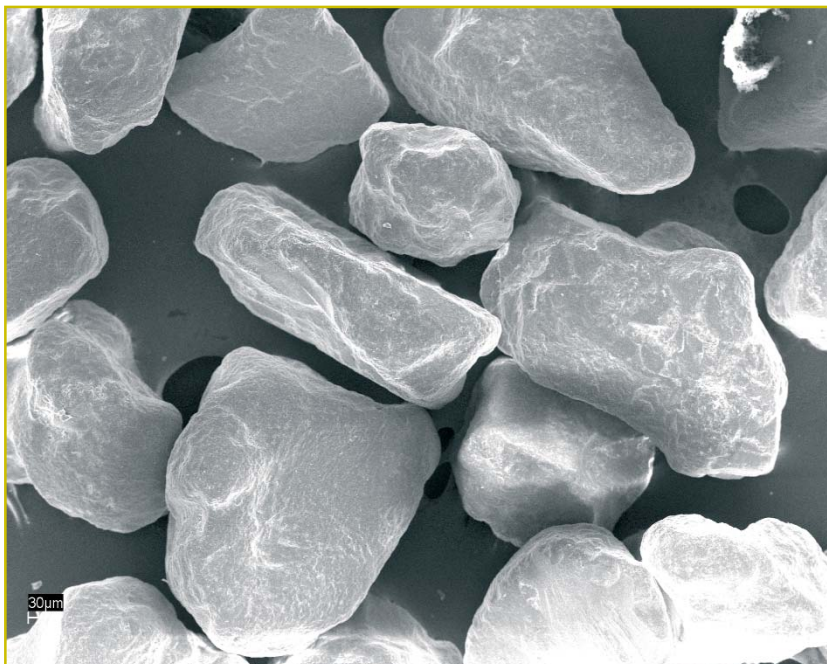
Podemos encontrar estas partículas en las atmósferas planetarias y cometarias, en el medio interplanetario, en nebulosas de reflexión, en atmósferas de enanas marrones, etc. En la atmósfera de la Tierra también podemos encontrar partículas de polvo en suspensión (conocidas como aerosoles) de distinto origen y composición. Por ejemplo, entre las fuentes más importantes de aerosoles terrestres podemos destacar las tormentas de polvo de los grandes

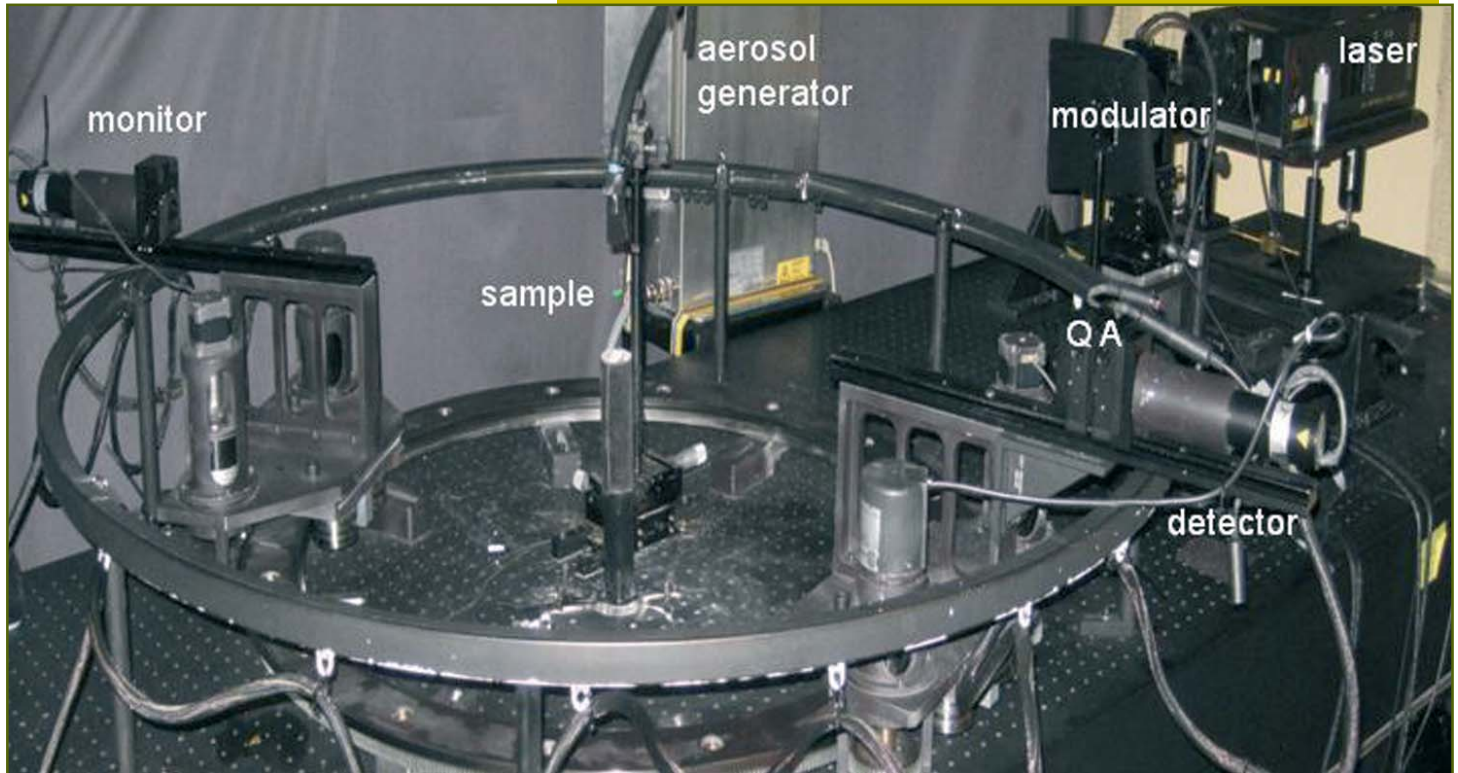
desiertos como el Sahara y el Gobi, las erupciones volcánicas o la contaminación.

Y, ¿a qué se debe el interés por estudiar estas partículas de polvo? En el caso de la atmósfera de la Tierra, los aerosoles afectan directamente al clima por su interacción con la radiación solar y con la procedente de la superficie terrestre, y de una forma indirecta por su efecto en la microfísica de las nubes. Un efecto global de los aerosoles atmosféricos es el calentamiento o enfriamiento de la Tierra, y el efecto final dependerá en gran medida del tamaño de los aerosoles. El tamaño de las partículas debe ser similar a la longitud de onda de la radiación incidente (en este caso la solar) para que afecte significativamente a dicha radiación. Así, el calentamiento tendrá lugar cuando las partículas sean del orden de la micra o mayores, ya que las

## PARTÍCULAS DE POLVO

Fotografías de microscopio electrónico de diferentes partículas de polvo: ceniza volcánica del monte Saint Helens (debajo), arena del Sahara (debajo dcha), y ejemplo de una partícula de polvo interplanetario recogida en la atmósfera de la tierra (dcha). Fuente: NASA/JSC/CDLF.





partículas de ese tamaño tienden a bloquear la radiación emergente (infrarroja) que procede de la superficie terrestre, lo que calienta la superficie. Las partículas de menor tamaño tienden a bloquear la radiación incidente, provocando un enfriamiento. Por lo tanto, el conocimiento del tamaño de las partículas es vital en el estudio de los efectos globales de los aerosoles en la atmósfera.

La investigación de las propiedades de los aerosoles terrestres no es únicamente importante para los estudios de la atmósfera de la Tierra, sino también para estudios astronómicos, ya que las propiedades de las partículas minerales terrestres son similares a las partículas minerales que podemos encontrar en otros planetas y cuerpos del Sistema Solar, como los cometas y asteroides. Por lo tanto, su estudio también puede ser de utilidad para el estudio del balance radiativo de otras atmósferas del Sistema Solar. Además, el conocimiento de las propiedades físicas del polvo (geometría, tamaño y composición) nos puede dar mucha información sobre sus mecanismos de formación. Por ejemplo, en el caso de los cometas, nos puede desvelar datos sobre los mecanismos de eyección desde el núcleo o, en una nube protoplanetaria, sobre cuáles son los bloques primordiales a partir de los que se forman los planetas. Las medidas de satélite (en el caso terrestre) o las observaciones astronómicas nos proporcionan una herramienta única para la

## ¿CÓMO FUNCIONA EL LABORATORIO?

Lo que hacemos en nuestro laboratorio de polvo cósmico es simular la interacción de la radiación incidente (solar o de cualquier estrella) con la nube de polvo del cuerpo de interés. La luz dispersada por esa nube de polvo es lo que recogemos con nuestros telescopios en determinadas regiones del espectro electromagnético. En nuestro caso la fuente de luz es un haz láser de argón-kriptón que puede emitir luz en cinco longitudes de onda diferentes, todas ellas en el visible (483 nm, 488 nm, 520 nm, 568 nm, 647 nm). Un generador de aerosoles produce la nube de partículas de polvo de interés que es llevada hacia el volumen de scattering (zona de intersección láser-polvo) mediante un chorro de aire a presión. Es decir, no hay ninguna vasija que contenga la muestra, con lo que evitamos reflexiones indeseables que podrían falsear nuestras medidas. Nuestro "telescopio" en el laboratorio es lo que llamamos el detector, en este caso un tubo fotomultiplicador. Dicho detector se mueve a lo largo de un anillo cubriendo un rango de ángulos de fase desde 3 a 177 grados. La óptica (modulador electro óptico, polarizador y lámina cuarto de onda) junto con la *detección lockin* nos permite medir no solo la intensidad de la radiación dispersada en función del ángulo de fase, sino también todos los posibles estados de polarización de la luz dispersada por la nube de partículas, es decir, la 4x4 matriz de scattering en función del ángulo de fase. Esto nos permitirá relacionar las características de la radiación dispersada con las propiedades físicas de las partículas que estudiamos: geometría, tamaño, composición y estructura (compacta o agregada). En la imagen superior vemos el laboratorio de polvo cósmico. En la parte central del anillo se encuentra el tubo negro de donde procede el chorro de partículas de polvo. La mancha verde es la interacción del láser (emitiendo a 520 nm) y el polvo. El detector se encuentra situado a la derecha. Otro fotomultiplicador, el monitor, se sitúa en una posición fija durante las medidas para corregir las fluctuaciones en la señal debidas al chorro continuo de partículas de polvo.

observación de la distribución global de las partículas de polvo y el estudio de su efecto en el balance radiativo del cuerpo de interés. Para ello necesitamos conocer cómo se transforma la luz de la estrella al atravesar la nube de polvo. Es decir, necesitamos saber lo que se conoce como la

matriz de *scattering* (dispersión) de la nube de polvo. Esa matriz de scattering dependerá de la dirección en la que se encuentre el observador y de las propiedades físicas de las partículas de polvo: tamaños, geometrías, composición y estructura (si son partículas compactas o



agregados). Por lo tanto, la interpretación adecuada de las observaciones astronómicas nos dará información sobre las propiedades físicas del polvo que estamos observando.

Hasta aquí hemos contado por qué estamos tan interesados en estudiar cómo las partículas de polvo dispersan la luz. La siguiente pregunta lógica buscaría el porqué de un estudio experimental: ¿por qué no desarrollar códigos capaces de reproducir el patrón de scattering de las partículas de polvo? En el caso de que las partículas de polvo tuviesen geometría esférica su patrón de scattering podría calcularse fácilmente aplicando la teoría de Lorenz-Mie usando uno de los numerosos

códigos disponibles en internet. Sin embargo, en la mayoría de los casos de interés, la asunción de que las partículas son esféricas es completamente irrealista. Al principio de este artículo presentamos imágenes de microscopio electrónico de algunos ejemplos de partículas de polvo que podemos encontrar en la atmósfera terrestre o en otras regiones del Sistema Solar. El problema que nos encontramos reside en que no existe ningún método de cálculo que proporcione la solución exacta para el scattering de luz producido por partículas de polvo cubriendo todo el rango de geometrías y tamaños que podemos encontrar en la naturaleza. Por lo tanto, el estudio experimental es hasta la

fecha la única herramienta con la que contamos para interpretar adecuadamente los datos de brillo y polarización tanto de los satélites terrestres como de las observaciones astronómicas de regiones del espacio donde haya polvo.

REFERENCIAS

Muñoz, O. et al. *Experimental determination of scattering matrices of olivine and Allende meteorite particles.* A&A2000;360:777-788.  
 Muñoz, O. et al. *The new IAA Light scattering apparatus.* JQSRT 2010; 111: 187-196.  
 Volten H. et al. *Experimental light scattering by fluffy aggregates of magnesiosilica, ferrosilica, and alumina cosmic dust analogs.* A&A2007;470(1):377-386.

AVANZADO

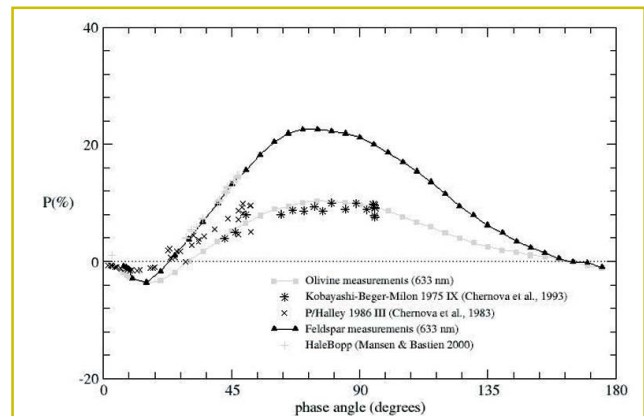
POLVO COMETARIO

¿Qué tipo de muestras medimos en el laboratorio? Cuando queremos estudiar aerosoles terrestres solemos trabajar con muestras reales. Es decir, arena del desierto (recogida a distancias suficientemente grandes del desierto como para que la muestra sea representativa de lo que podemos encontrar en la atmósfera), cenizas volcánicas, etc. Y en el caso de los cuerpos astronómicos, solemos trabajar con lo que se conoce como análogos, esto es, una muestra terrestre que presente las mismas características espectrales que el polvo del cuerpo astronómico de interés.

En la gráfica presentamos un ejemplo de la aplicación directa de las medidas del laboratorio de polvo cósmico para la interpretación de las observaciones astronómicas. En este caso el cuerpo de interés son los cometas. Sabemos que la coma de un cometa es una nube de gas y partículas sólidas que son expulsadas desde el núcleo. Un cometa que no esté demasiado alejado del Sol puede tener también una cola de polvo y otra de plasma, como vemos en la imagen del Hale Bopp. El polvo de la coma y de la cola es iluminado por el Sol y esta radiación solar es dispersada por el polvo en todas las direcciones. Las observaciones del brillo de los cometas presentan una

complejidad extrema por su gran variabilidad temporal: el núcleo expulsa polvo de forma continua, por lo que si queremos hacer observaciones a distintos ángulos de fase conforme el cometa se va moviendo en su órbita, la calibración de las observaciones es sumamente complicada porque el número de partículas de polvo (y por tanto el brillo) del cometa variará a cada instante.

Afortunadamente, el grado de polarización lineal de la luz dispersada por las partículas en la coma no depende del número de partículas de polvo en el momento de la observación. Esto ha permitido obtener observaciones bastante precisas del grado de polarización lineal en función del ángulo de fase de una gran cantidad de cometas. La curiosidad de estas observaciones reside en que todas ellas, independientemente del tipo de cometa, presentan una forma típica de campana con un máximo alrededor de 90 grados (ángulo de fase) con una pequeña rama negativa a pequeños ángulos de fase. La única diferencia encontrada entre unos cometas y otros consistía en que el máximo a 90 grados podía variar entre un 10-15 por ciento y un 25-30 por ciento dependiendo del cometa. La geometría y la estructura de las partículas de polvo cometario han sido y siguen siendo tema de



Medidas de polarización lineal para olivino y feldespato. Las medidas experimentales se comparan con observaciones de distintos cometas.

debate. Durante mucho tiempo se venía proponiendo que las partículas de polvo cometario eran agregados porosos pero, como han demostrado las medidas de laboratorio, este tipo de agregados producirían máximos de polarización demasiado altos para explicar las observaciones de los cometas. Sin embargo, las medidas de laboratorio han demostra-

do que las partículas irregulares compactas pueden reproducir las observaciones de polarización lineal de los cometas (gráfica). Como también indican las medidas de laboratorio, las diferencias en el máximo del grado de polarización lineal observadas en distintos cometas son atribuibles a diferencias en los tamaños de las partículas.