

Iberulitos: partículas atmosféricas “gigantes” potencialmente inhalables

Iberulites: giant atmospheric particles potentially inhalable

Jesús Párraga Martínez¹, Gabriel Delgado Calvo-Flores¹, Juan Manuel Martín-García¹, Francisco José Olmo Reyes², Rafael Delgado Calvo-Flores¹

¹ Grupo de Investigación en Ciencias del Suelo y Geofarmacología. Departamento de Edafología y Química Agrícola, Facultad de Farmacia Universidad de Granada

² Departamento de Física Aplicada, Universidad de Granada

Resumen

Objetivos: Estudiar en Granada (área metropolitana) las partículas atmosféricas sedimentables con énfasis en los iberulitos (partículas agregadas gigantes de génesis atmosférica potencialmente inhalables), durante el verano de 2010 en el que se produjeron 14 eventos de entrada de aire africano.

Métodos: Las partículas sedimentables fueron muestreadas en régimen de “dry deposition”. Los iberulitos fueron aislados de las partículas sedimentables, en el campo de un estereomicroscopio, con ayuda de una aguja. La granulometría se determinó mediante láser, la mineralogía con difracción de Rayos-X y la morfología y composición elemental con microscopía electrónica de barrido y microanálisis acoplado.

Resultados: La tasa de deposición media de partículas sedimentables fue de 57 mg m⁻² día⁻¹. El 84% (en volumen) de las partículas sedimentables tiene un tamaño entre 6 y 125 µm con 16% de partículas <10 µm, 4,1% <2,5 µm y 1,5% <1 µm. En todas las muestras de partículas sedimentables se encontraron iberulitos en un porcentaje de 3,3 ± 2,5, su forma cuasiesférica y su color rojizo. El diámetro medio de los iberulitos es de 87,9 ± 27,6 µm; el de sus partículas constituyentes está entre 0,5 y 7 µm. La composición mineralógica de las partículas sedimentables es una mezcla de dolomita, calcita, cuarzo, filosilicatos, feldespatos, yeso, halita y hematitas. La composición mineralógica de los iberulitos es diferente. En las partículas sedimentables se han detectado fibras, polen y ácaros. En los iberulitos se han descrito brocosomas, frústulas de diatomeas restos de plancton, esporas bacterianas y posiblemente virus.

Conclusiones: las partículas sedimentables proceden de suelos africanos y locales. Los iberulitos son generados en la atmósfera a partir de partículas minerales y restos de material biológico, de origen africano. La presencia de este material biológico convierte a los iberulitos en potenciales vectores de microorganismos patógenos y en agentes alérgicos.

Abstract

Objectives: To analyze the sedimentable atmospheric particulate matter and “Iberulites” (a giant aggregate particle always found in the PMS, with atmospheric genesis and inhalable) during the summer months of 2010, in which there were 14 African dust events at Granada city.

Methods: The sedimentable particles were sampled in regime of “dry deposition”. Iberulites were isolated from sedimentable particles in the field of a stereomicroscope with the aid of a needle. The particle size was determined by laser, the mineralogical composition with X-ray diffraction and the morphology and the elemental composition with scanning electron microscopy and microanalysis coupled.

Results: The average rate of deposition of sedimentable particles was 57 mg m⁻² day⁻¹. The 84% (by volume) of the sedimentable particles has a size between 6 and 125 µm with a 16% of particles <10 µm, 4.1 % <2.5 µm and 1.5 % <1 µm. In all the samples of sedimentable particles, Iberulites were found in a percentage of 3.3 ± 2.5. Iberulites are spherical in shape and its color is reddish. The average diameter of Iberulites is 87.9 ± 27.6 µm, its constituent particles are between 0.5 and 7 µm. The mineralogical composition of the sedimentable particles is a mix of dolomite, calcite, quartz, phyllosilicates, feldspar, gypsum, halite and hematite. The mineralogical composition of Iberulites differs from the total sedimentable particles. In the sedimentable particles, fibers, pollen and dust mites have been detected. In Iberulites we observed biological particles like remains of diatoms, marine nanoplankton, bacteria, brochosomes and it is possible that there is virus.

Conclusions: The sedimentable particles come from local and African soils. Iberulites are generated in the atmosphere from mineral and biological particles coming from African soils. The existence of biological material transported from Africa makes Iberulites as potential vectors of pathogens and allergens.

Palabras clave: Iberulitos, polvo atmosférico de origen sahariano, polvo atmosférico sedimentable, materia particulada, minerales en la atmósfera, transporte atmosférico de material biológico.

Keywords: Iberulites, saharan dust event, sedimentable atmospheric dust, particulate matter, minerals in the atmosphere, atmospheric transport of biological material.

INTRODUCCIÓN

La atmósfera terrestre es cada vez más polvorienta. Así, la tasa de polvo (*particulate matter*, PM) se ha duplicado en los últimos 50 años, influenciando el clima y la salud humana (1). Podríamos afirmar que la Atmósfera está más sucia por las PM y los gases contaminantes (2, 3).

El polvo atmosférico está constituido principalmente por partículas sólidas microscópicas que provienen de suelos, ambientes marinos, volcanes, y también de actividades antropogénicas (fuegos y quema de combustibles). Como PM se encuentran minerales, fibras, carbones, nanoplancton marino, polen, e incluso bacterias y virus (4, 5).

Gran parte del incremento de PM atmosférico se debe a que los suelos situados en desiertos y en zonas peridesérticas, sin apenas cobertura vegetal, son muy susceptibles a la erosión eólica. Asistimos a un avance de los desiertos en todo el mundo. Se estima que el Sahara crece unos 600 metros al año en la zona del Sahel (6).

El Norte de África es la región que más polvo de naturaleza mineral aporta al total de PM atmosférico, con una tasa anual de alrededor de 1500 Tg año⁻¹, muy importante si tenemos en cuenta que la tasa anual total, considerando todas las áreas fuente del Planeta, se estima en 2000 Tg año⁻¹ (7). El PM africano llega a depositarse en zonas muy lejanas: América del Sur (8), Europa del Norte (9), Atlántico Norte (10) y el Himalaya (11). Algunos modelos han estimado que la cantidad de PM africano transportada al Sur de Europa es de 80 a 120 Tg año⁻¹ (7, 10). España es una de las regiones mediterráneas que más aportes de PM sahariano recibe anualmente, incrementándose año tras año (12). Además, un cuarto de la superficie de España está inmersa en un proceso de desertificación (13) lo que agrava y aumenta la carga local de PM atmosférico y el riesgo de enfermedades asociadas.

Díaz-Hernández y Párraga (14) describen por primera vez en muestras de PM de origen sahariano recogidas en el sur de España, un tipo de partícula "gigante" generada en la atmósfera, de 60 a 190 µm de diámetro, de carácter microagregado, muy frágil y deleznable, a la que denominan *Iberulito*. Los iberulitos, por su carácter de partícula agregada, además de contener partículas minerales de tamaño inferior a 10 micras (PM10), potencialmente nocivas (15), pueden transportar en su interior material biológico (14), de ahí su interés desde el punto de vista sanitario, aunque hasta el momento presente no existen investigaciones que relacionen directamente la presencia de iberulitos en el polvo atmosférico con el desarrollo de distintas patologías en los seres humanos y en los animales.

Recientemente, se ha observado una relación entre intrusiones de PM sahariano y mortalidad senil (16), aunque el peligro de inhalar partículas minerales es conocido desde la antigüedad; Hipócrates y Plinio lo describen, Maimónides habla de la toxicidad del polvo en Córdoba, y Agrícola, en su libro "De Re Metallica" (año 1556), le dedica gran atención.

El objetivo de este trabajo es aislar y caracterizar desde los puntos de vista granulométrico, mineralógico y compositivo, la fracción del PM sedimentable (PMS) en la ciudad de Granada en los meses de junio, julio, agosto y septiembre del año 2010, durante los eventos de entrada de PM africano ligados a olas de calor. Del PMS total recogido, se aislarán y estudiarán con mayor relevancia los iberulitos. Como objetivo también se pretende informar a la clase médica, y sanitaria en general, de la existencia de los iberulitos, y de los posibles riesgos para la salud humana de los mismos, lo que abre una vía de investigación futura.

MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Muestreo de PM sedimentable (PMS)

Se recogieron 14 muestras de PMS, correspondientes a los 14 eventos de entrada de PM africano en el Sureste Español, detectados por CALIMA (17) en el verano de 2010 (Tabla 1). El lugar de muestreo fue la terraza de un edificio situado en el área

Mes	Eventos*	Días de intrusión
Junio	[2, 3] [7] [24, 25] [28 a 30]	8
Julio	(1 a 11) [17 a 25] [28 a 31]	24
Agosto	(1, 2) [7 a 13] [15, 16] [20 a 23] [26 a 31]	21
Septiembre	(1) [6] [13 a 15] [19, 20] [22, 23]	9
Total	14	62

Tabla 1. Intrusiones de polvo de origen africano en los meses del verano del año 2010 (datos AEMET)

*Entre corchetes los días del mes de cada evento. El paréntesis indica que el evento continúa en el mes siguiente.

metropolitana de Granada, entre los municipios de Granada, Armilla y Churriana; coordenadas geográficas: 37°08'59"N, 03°37'59"W; altitud 653 m. La terraza se halla a unos 10 m sobre el nivel del suelo; así se evitan los aportes directos del terreno y pavimentos circundantes.

El captador de PMS consiste en una bandeja rectangular de porcelana (para evitar las adherencias por la electricidad estática) de 25 x 15 cm y 5cm de profundidad (14). La bandeja fue protegida de las "lluvias de barro" (*wet deposition*), que podrían acompañar a las entradas de PM africano, mediante una lámina de plástico separada de la bandeja diez centímetros, lo que permite la captación de PMS en régimen de "deposición en seco" (*dry deposition*). La deposición en húmedo no es adecuada porque el agua destruye los iberulitos, dada su naturaleza de partícula policonstituida débilmente agregada. Las PMS fueron colectados con ayuda de un pincel de pelo suave para evitar la rotura de los iberulitos; se pesaron y almacenaron en viales de vidrio para evitar las adherencias debidas a la electricidad estática.

2.2 Preparación de las muestras de PMS

Las muestras de PMS total fueron tamizadas para eliminar insectos, fibras y otros fragmentos orgánicos, con un tamiz de luz de malla de 250 µm, porque el tamaño máximo de los iberulitos es siempre menor. Con una fracción de PMS <250 µm se procedió a la estimación de las cantidades relativas de los iberulitos empleando un estereomicroscopio Olympus B061 (100x). A partir de las imágenes captadas digitalmente mediante el programa *Análisis-getIT*, se realizó un conteo de una media de 500 partículas de cada evento. Los iberulitos fueron aislados uno a uno de la fracción del PMS <250 µm, en el campo del estereomicroscopio citado, empleando una aguja enmangada a cuya punta (≈200 micras) se adhieren por electricidad estática.

2.3 Distribución de tamaño de partícula en PMS total e iberulitos

Se determinó por triplicado con ayuda de un analizador láser, Malvern Mastersizer (rango de 0,01 a 3500 µm). Los iberulitos (mezcla de todos los eventos muestreados) fueron desagregados en etanol, para evitar la disolución de los minerales muy solubles (cloruros) en el agua, mediante una sonda de ultrasonidos.

2.4 Composición mineralógica del PMS total y de los iberulitos

Se analizó por difracción de Rayos X (método de polvo) en un Brucker AXS D8 Advance; radiación Cu-Kα. Las muestras se rodaron entre 3 y 70° 2θ; velocidad de rodaje, 2° min⁻¹. Los difractogramas fueron interpretados con el programa X Powder (18). Por su escasa cantidad, la muestra de iberulitos fue mezcla de los 14 eventos.

2.5 Morfología de los iberulitos. Análisis elemental (EDX)

Los iberulitos fueron observados con microscopio electrónico de barrido (SEM, Hitachi S-510) equipado con microanálisis de rayos X (Rontec-EDX). Se emplearon dos técnicas: a) modo convencional con electrones secundarios; metalización con oro y b) con electrones retrodispersados (en lámina delgada); metalización con carbono. Se midió el diámetro medio de los iberulitos con el programa *ImageJ*.

RESULTADOS

3.1 Datos climáticos en el periodo de muestreo e intrusiones de PM africano

Los datos meteorológicos (Tabla 2) indican que la precipitación fue superior a la media de los años 2004 a 2011 y la temperatura algo inferior. El verano del 2010 fue un poco más fresco y lluvioso. En el periodo de muestreo se detectaron por la AEMET 14 eventos de intrusión de PM de origen africano (Tabla 1). La mayor incidencia corresponde a los meses de julio (24 días) y agosto (21 días). Por tanto, en el 51 % de los días del periodo muestreado hubo PM de origen africano (17).

	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Media (2010)*	Media (2004-2011)*
Precipitación (mm)	20,7	0,0	9,8	13,8	11,1	7,26
Tª media (°C)	20,5	26,0	25,6	20,4	23,1	23,6

Tabla 2. Datos meteorológicos en los meses del verano del año 2010 (datos AEMET)

*Valores medios correspondientes a los meses de verano.

3.2 Tasas de deposición de PMS y porcentaje de iberulitos en PMS

La tasa de deposición media de PMS en régimen de "dry deposition", en los 14 eventos, fue de 57 mg m⁻² día⁻¹. El porcentaje de iberulitos en el PMS total es variable; media de 3,3 ± 2,5. El mayor porcentaje corresponde al evento de 17 a 25 de julio (Tabla 1), con un 9,7%; conforme avanza el verano el porcentaje disminuye hasta alcanzar un mínimo de 0,9 % en la muestra de 13 a 15 de septiembre (Tabla 1).

3.3 Características granulométricas del PMS total e iberulitos

El 84% (en volumen) de las partículas del PMS total (como media de los 14 eventos muestreados), tiene un tamaño entre 6 y 125 µm. No obstante, hay un 16% de partículas menores de 10 µm, 4,1% menores de 2,5 µm y 1,5% menores de 1 µm. El tamaño más frecuente de las partículas menores constituyentes de los iberulitos, se encuentra entre 0,5 y 7 µm, aunque algunas alcanzan 20 µm y en muy pocos casos 30 µm.

3.4 Morfología de los iberulitos

La forma externa de los iberulitos es mayormente cuasiesférica (Fig. 1a, b, d, f). Algunos (escasos) aprovechan un filamento de origen vegetal como soporte para su desarrollo, creciendo simétricamente sobre el propio filamento (Fig. 1c). Su color es rojizo (Fig. 1d) porque las partículas minerales constituyentes tienen depositada en la superficie óxidos de hierro, concretamente hematites como se comprueba con el análisis mineralógico. El diámetro medio de los iberulitos es variable (Fig. 1a); media de 87,9 ± 27,6 µm. Algunos iberulitos alcanzan un tamaño de 150 µm (Fig. 1e), o mayor.

En los iberulitos se pueden describir tres estructuras: núcleo, corteza y vortex (Fig. 1b, d, e). El "núcleo", constituido por las partículas de mayor tamaño poco compactadas, presenta una elevada porosidad. La "corteza", está constituida por partículas de menor tamaño (arcilla, <2 µm), es más compacta y protege a la partícula; es la que impide la desagregación en seco y permite la persistencia en el aire del iberulito. El "vórtex" es un pequeño "cráter" generado en el proceso de formación del iberulito. La corteza está engrosada en la zona del vórtex.

3.5. Material biológico en PMS total e iberulitos

En el PMS total se han detectado fibras, polen y ácaros. En el núcleo y en la corteza de los iberulitos se han descrito también partículas de origen biológico como, brocosomas, frústulas de diatomeas céntricas (concretamente del género *Melosira* sp., Fig. 1f) restos de plancton marino o lacustre (Fig. 1g), esporas bacterianas (Fig. 1h), etc. La clasificación específica no ha sido posible en todos los casos, dado el estado de los vestigios y su pequeña cantidad.

3.6. Composición mineralógica

La composición mineralógica del PMS total (<250µm) corresponde a una mezcla de carbonatos (dolomita y calcita), silicatos (cuarzo, filosilicatos y feldespatos), sulfatos (yeso), haluros (halita) y óxidos (hematites) (Tabla 3). La hematites no se encuentra en forma de partículas minerales discretas sino como nanopartículas que revisten a los granos de otros minerales: cuarzo, carbonatos, filosilicatos, etc. La composición mineralógica de los iberulitos difiere de la del PMS total. En los primeros domina el cuarzo (52 %), en el segundo los filosilicatos (27 %). Esto podría indicarnos que todas las partículas del PMS no tienen igual origen.

Mineral	Fórmula	PMS total (%)	Iberulitos (%)
Dolomita	CaMg(CO ₃) ₂	21	5
Cuarzo	SiO ₂	24	52
Calcita	CaCO ₃	9	17
Yeso	CaSO ₄ ·x2H ₂ O	5	6
Filosilicatos*	Variable	27	10
Halita	NaCl	2	6
Hematites	Fe ₂ O ₃	1	3
Feldespatos	Variable	11	1
Otros minerales		Trazas**	Trazas**

Tabla 3. Composición mineralógica media (14 muestras) del PMS total y de los iberulitos.

* Filossilicatos: una mezcla de illita (dominante), caolinita, clorita y esmectitas.

**Detectables, pero no cuantificables.

La distribución de los minerales en los iberulitos (investigada con SEM-EDX) es característica. En núcleo está formado principalmente por cuarzo y carbonatos (los de mayor tamaño). Los filosilicatos (tamaño arcilla) son los componentes principales de la corteza. En los límites externos del iberulito aparecen yeso y halita.

DISCUSIÓN

En todas las muestras de PMS se encontraron iberulitos, partícula no descrita hasta el año 2008 (14) y cuya incidencia sanitaria está aún por determinar. En los eventos de julio se recogieron los mayores porcentajes de estas partículas; en los de septiembre las cantidades fueron las menores. Con excepciones, el porcentaje de iberulitos en PMS total disminuye conforme avanza el verano. Las razones de ello son desconocidas, ya que la génesis de los iberulitos es un tema que requiere de más investigación. Es posible que se deba a las diferentes condiciones meteorológicas en las áreas fuente del PM africano y en las zonas de formación de los iberulitos.

De acuerdo con Díaz-Hernández y Párraga (14) y otros autores (19), podemos deducir que los iberulitos se forman en la troposfera mediante un proceso (Fig. 2) que puede durar varios días. Como consecuencia de su génesis los iberulitos son una coasociación con geometría axial de granos minerales de pequeño tamaño (media de 0,5 a 7 µm) junto con materiales orgánicos, estructurados en un núcleo interno formado por los granos más gruesos (hasta 20 µm o incluso más), una corteza periférica arcillosa (tamaño de partícula muy fino), y un vórtex (Fig. 1b, e). Los iberulitos son muy frágiles y se disgregan fácilmente en agua.

Los iberulitos se comportan como esferas voladoras por su baja densidad, consecuencia de su elevada porosidad (estimada en las imágenes en un 40-50 %, Fig. 1e), que les permite permanecer varios días en la atmósfera desafiando a la gravedad, a pesar de su gran tamaño, porque las partículas mayores de 10 µm caen rápidamente por deposición gravitacional (20). De esta forma se explica su viaje desde África a Granada, a otras zonas del mediterráneo, o a la Península Arábiga (19).

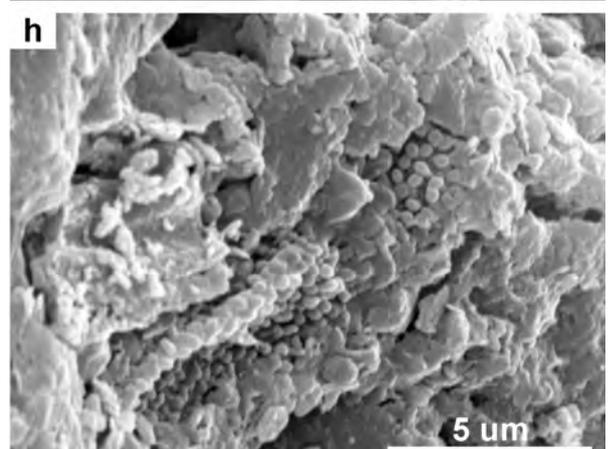
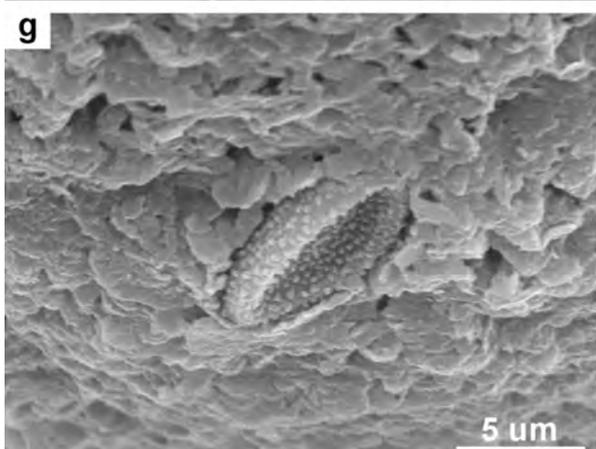
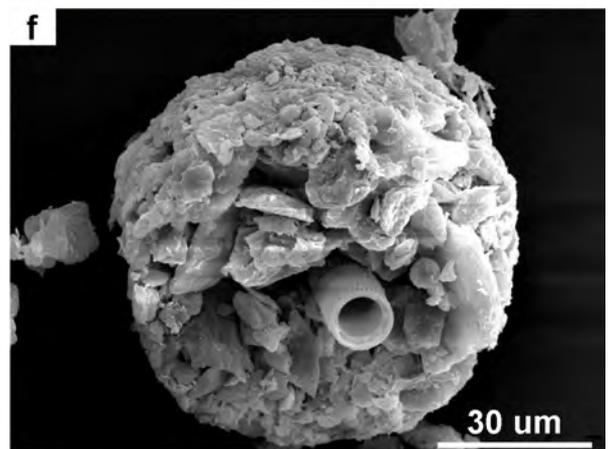
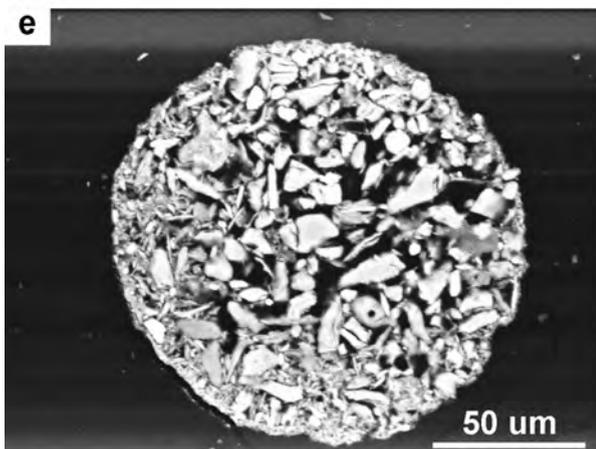
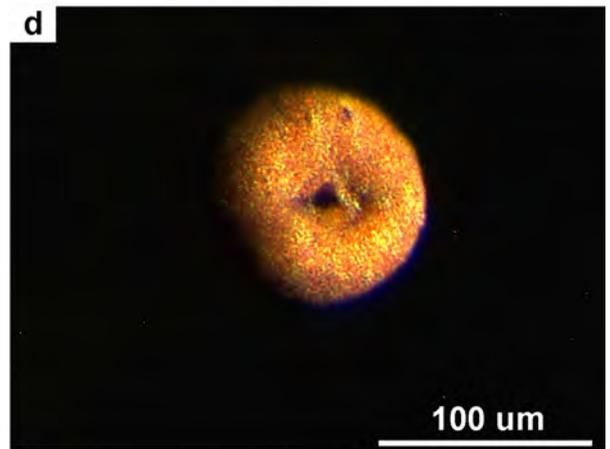
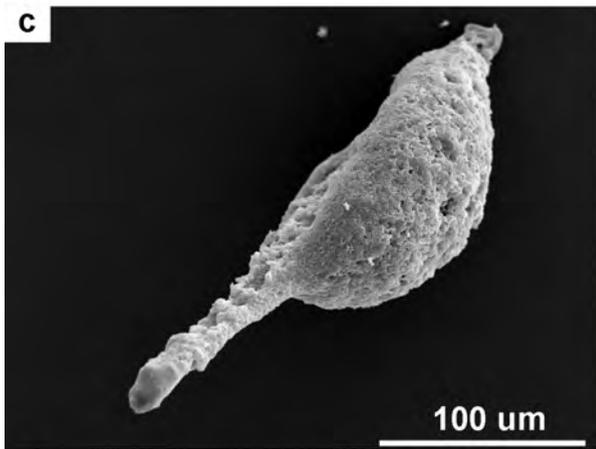
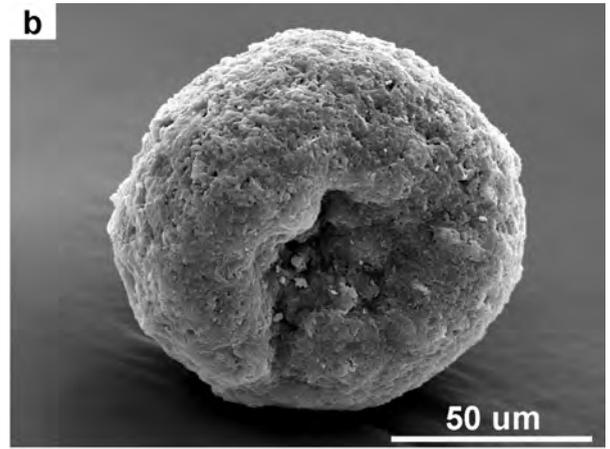
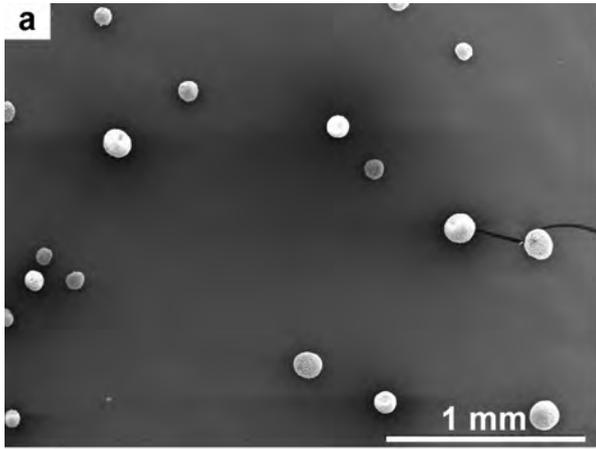


Figura 1. Iberulitos. Imágenes SEM (electrones secundarios o retrorodispersados) y de estereomicroscopio. a) Campo de iberulitos típicos (pseudoesféricos) de tamaño comprendido entre 80 y 150 μm . b) Iberulito redondeado típico. Se aprecia el vórtex y la corteza de partículas muy finas (arcillas) engrosada en dicho vórtex. c) Iberulito fusiforme generado por agregación de partículas alrededor de una fibra vegetal. d) Iberulito típico de un tamaño aproximado de 100 μm . Destaca el color rojizo. Se aprecia el vórtex en el primer plano. Imagen de estereomicroscopio. e) Plano ecuatorial de un iberulito de gran tamaño (135 μm). Núcleo formado por partículas gruesas (alguna > de 20 μm), con una alta porosidad (\approx 50%). Corteza de partículas finas (más finas cuanto más superficiales), poco porosa. Imagen SEM de electrones retrorodispersados, lámina delgada, metalización con carbono. f) Iberulito roto. En el centro se observa una frústula de alga diatomea de origen lacustre, procedente, posiblemente, de la depresión de Bodelé (Chad). g) Cocolitofórido de origen marino (nanoplacton) incrustado en la superficie arcillosa de un iberulito. h) Esporas bacterianas ubicadas en una microgrieta de la superficie de un iberulito.

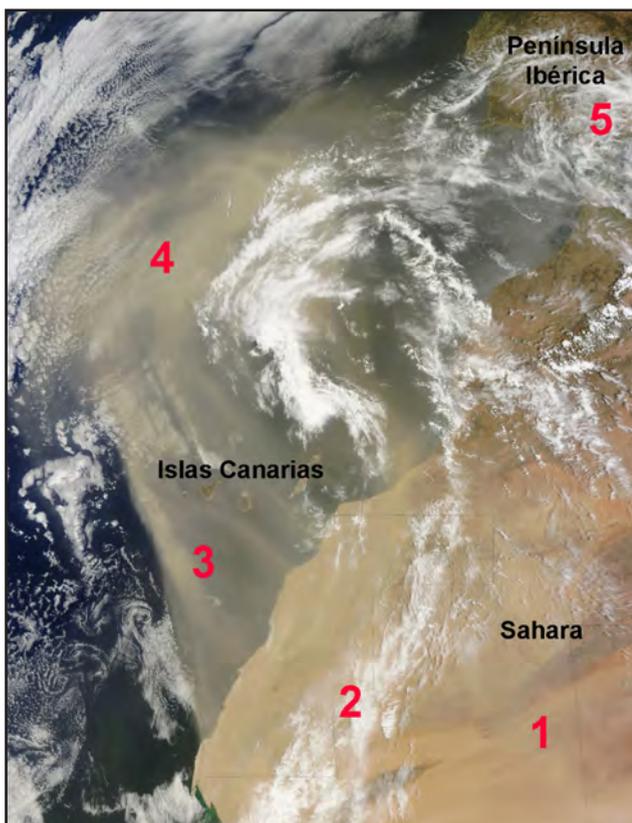


Figura 2. Génesis de los iberulitos. "Pluma" de polvo desde África hasta España. Foto de color natural, capturada por el espectroradiómetro MODIS (satélite Terra, NASA,) el 25 de junio de 2012. El polvo partió de Argelia y Mali, viajó hacia el oeste, se internó en el Océano Atlántico y giró hacia el este en dirección a la Península Ibérica. Etapas en la formación de los iberulitos: 1. Inyección de grandes cantidades de polvo sahariano a la atmósfera y elevación de los granos minerales menores de 10 μm a las capas altas de la troposfera por la Saharan Air Layer. 2. Las partículas de polvo captan vapor de agua y se convierten en núcleos de condensación de nubes, formando minúsculas gotitas de agua que se unen por colisiones entre ellas y evolucionan a grandes gotas precursoras de los iberulitos, de un radio máximo de 500 micras (por encima de ese radio estallan y se desintegran). Esto se puede producir cerca o sobre zonas marítimas o donde haya más vapor. 3. Procesado atmosférico que incluye pérdida de agua del "preiberulito", formación de un vórtex, y maduración final del Iberulito. 4. Vuelo y transporte a grandes distancias por sus características hidrodinámicas. En ese transporte pueden incorporarse plancton, bacterias, polen, virus, etc. 5. Deposición en la Península Ibérica y otras regiones mediterráneas.

En la composición mineralógica (Tabla 3) se aprecian diferencias entre el PMS total y los iberulitos, no en los tipos de minerales presentes, sino en las proporciones de los mismos. El tipo de minerales presentes, sobre todo los filosilicatos, indica para ambos (PMS total e iberulitos) una procedencia edáfica, bien de suelos locales, o lejanos.

En los iberulitos domina el cuarzo y las proporciones de hematites, aunque pequeñas, son mayores que las del PMS total. El color rojo de los iberulitos (Fig. 1d) deriva, por tanto, de su contenido en hematites que reviste a otras partículas minerales. Todo esto sugiere que sus constituyentes proceden de los suelos del Sahara y Sahel. Estos suelos se caracterizan, según Lafon et al. (21), por generar polvo rojizo rico en partículas de óxidos de hierro y partículas de otros minerales (cuarzo, filosilicatos, calcita...) con óxidos de hierro adheridos. La presencia de esqueletos de diatomeas (Fig. 1f), podría indicar que parte del PM africano que genera los iberulitos procede de la depresión de Bodelé (Chad), donde abundan las diatomitas (rocas silíceas formadas por microfósiles de diatomeas) y una de las áreas más activas en la generación de PM, del mundo (22).

La presencia de cuarzo (sílice cristalina) en PMS total y en los iberulitos, en ambos casos superior al 20%, aumenta el riesgo por inhalación, sobre todo teniendo en cuenta que un elevado número de las partículas constituyentes de los iberulitos son PM10 (media de 0,5 a 7 μm). La monografía de la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (23) dedicada al cuarzo, polvo y silicatos en general, establece que la exposición e inhalación de estos minerales, se asocian al cáncer de pulmón.

Se ha demostrado que la inhalación de partículas solubles en fluidos pulmonares ocasiona el paso de compuestos tóxicos hacia el sistema circulatorio, causando además toxicidad pulmonar (24). Sin embargo, no hay estudios clínicos de toxicidad pulmonar por partículas poco solubles como son la mayoría de las constituyentes del PMS e iberulitos (silicatos y carbonatos). Se debe tener en cuenta que los componentes finos (PM2,5) del PMS e iberulitos podrían penetrar fácilmente en las vías respiratorias y alcanzar los alvéolos en donde quedarían retenidas en el parénquima pulmonar, en al menos un 50 %, tal como señalan Valavanidis et al. (15).

En el PMS total y en los iberulitos se ha encontrado material de origen biológico. En PMS se encontraron pólenes y ácaros, cuyos efectos sobre la salud humana comprenden diversas manifestaciones clínicas: oculares (conjuntivitis), digestivas (alergias alimentarias) o respiratorias (asma y/o rinitis) (25).

En los iberulitos se ha detectado nanoplacton (marino o lacustre) (Fig. 1f, g), esporas bacterianas alojadas en micrositos (Fig. 1h.) y es altamente probable que contengan virus. Como antes se ha indicado, las partículas constituyentes de los iberulitos se originan en los suelos desérticos y semidesérticos del Sahara-Sahel. Estos suelos, a pesar de su escasez de agua, son el hábitat de comunidades muy diversas de algas, bacterias, hongos y virus, que sobreviven a las condiciones climáticas extremas porque se adsorben en los coloides del suelo (complejos organominerales de arcilla y humus) que les proporcionan condiciones microclimáticas más favorables (humedad, nutrientes y control de temperatura). Estos microorganismos arrastrados por los fuertes vientos saharianos hasta la atmósfera, sufrirían daños por las radiaciones UV y las temperaturas extremas. Sin embargo, se ha demostrado que muchos microorganismos de estos suelos son transportados a largas distancias, incluso intercontinentalmente. Así, existen indicios que relacionan las epidemias de meningitis en el Sahel con las tormentas saharianas de polvo, que afectan anualmente a más de 200.000 personas (26). Asimismo, los habitantes de las regiones que sufren más impacto de tormentas de polvo (Medio Oriente, Caribe, región mediterránea, etc.) tienen las mayores tasas de incidencia de asma y de enfermedades circulatorias y respiratorias, por inhalación de alérgenos, aunque también de partículas minerales de pequeño tamaño (27). Podríamos emitir la hipótesis, ya que no existe bibliografía al respecto, de que los microorganismos edáficos "refugiados" en los iberulitos a modo de coraza protectora, se transportarían a largas distancias. Este

papel de los iberulitos como lanzadera se parecería a la acción de algunos vectores clásicos como es el caso del mosquito culicoide, transmisor del virus de la lengua azul (serotipo 2 y 4) que infecta principalmente al ganado del sur de Europa, y que viene en el polvo norteafricano (28, 29).

CONCLUSIONES

Del estudio de las características granulométricas, mineralógicas, compositivas y morfológicas del polvo sedimentable (PMS) en un punto muestral del área metropolitana de Granada, durante las 14 intrusiones de aire africano en el verano de 2010, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

En todas las muestras de PMS se han encontrado "iberulitos", una partícula agregada gigante de origen africano. La fácil disgregabilidad en medios acuosos, el pequeño tamaño de sus partículas individuales (<10 µm) y la naturaleza silícica (cuarzo) de la mayoría de ellas, hacen a los iberulitos potencialmente peligrosos por inhalación. No obstante, su mayor riesgo reside en que son capaces de transportar en su interior, o adheridos a su superficie, material biológico como bacterias, posiblemente virus, restos de otros organismos, etc. y esto los convierte en vectores potenciales para algunas enfermedades.

La mineralogía del PMS total revela que el origen del PM atmosférico no es sólo africano, sino que también procede de los suelos de las áreas locales. La presencia de cantidades importantes de cuarzo (sílice cristalina) en PMS aumenta la peligrosidad de inhalación del polvo atmosférico.

Agradecimientos. Este trabajo ha sido financiado parcialmente por la Junta de Andalucía a través de los proyectos P08-RNM-3568 y P10-RNM-6299. Al Centro de Instrumentación Científica de la Universidad de Granada.

REFERENCIAS

- Mahowald N, Luo Ch. A less dusty future? *Geophys Res Letters* 2003; 30(17): 1903
- Donkelaar A, Martin R, Brauer M, et al. Global estimates of ambient fine particulate matter concentrations from satellite-based aerosol optical depth: development and application. *Environ Health Perspect*. 2010; 118(6): 847-855
- Daniel Vallero. *Fundamentals of Air Pollution*. Academic Press; 2010
- Griffin DW. Atmospheric movement of microorganisms in clouds of desert dust and implications for human health. *Clin Microb Rev* 2007; 20 (3): 459-477
- Jaenicke R. Abundance of cellular material and proteins in the atmosphere. *Science* 2005; 308: 73
- United Nations University 2007; Earth Summit +5; UN conventional to combat Desertification, DPI/1870/SD
- Guerzoni S, Chester R. *The impact of desert dust across the Mediterranean*. Kluwer, Dordrecht, The Netherlands; 1996
- Swap R, Garstang M, Macko S, Talbot R. The long range transport of southern African aerosols to the tropical South Atlantic. *J Geophys Res* 1996; 102: 28501-28509
- Calatrini F, Guarnieri F, Becagli S, et al. Desert dust outbreaks over Mediterranean Basin: A modeling, observational, and synoptic analysis approach. *Adv Meteor* 2012; doi: 10.1155/2012/246874
- Franzen LG, Hjelmroos M, Karlberg P, Brorstrom-Lunden E, Juntto S, Savolainen A. The yellow snow episode of northern Fennoscandia, March 1991: a case study of long distance transport of soil, pollen and stable organic compounds. *Atmos Environ* 1994; 22: 3587-3604
- Prospero JM. Long range transport of mineral the dust in the global atmosphere: impact of African dust on the environment of the southeastern United States. *Proc Natl Acad Sci USA* 1999; 96: 3396-3403
- Carrico CM, Bergin MH, Shrestha AS, Dibb JE, Gomes L, Harry JM. The importance of carbon and mineral dust to seasonal aerosol in the Nepal Himalaya. *Atmos Environ* 2003; 37: 2811-2824
- Van den Berg E. España, el desierto que avanza. *National Geographic* 2008 Junio; 22 (6): 34-53
- Díaz Hernández JL, Párraga J. The nature and tropospheric formation of iberulites: Pinkish mineral microspherulites. *Geochim et Cosmochim Acta* 2008; 72: 3883-3906
- Valavanidis A, Fiotakis K, Mlachogianni T. Airborne particulate matter and human health. Toxicological assessment and importance of size and composition of particles for oxidative damage and carcinogenic mechanisms. *J Env Sci Health Part C* 2008; 26: 339-362
- Jiménez E, Linares C, Martínez D, Díaz J. Role of Saharan dust in the relationship between particulate matter and short-term daily mortality among the elderly in Madrid (Spain), *Sci Total Env* 2010; 408: 5729-5736
- CALIMA (Caracterización de aerosoles originados por intrusiones de masas de aire africanas). Datos suministrados como fruto del Acuerdo de encomienda de Gestión entre el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente y la Agencia Estatal Consejo Superior de Investigaciones Científicas, para la realización de trabajos relacionados con el estudio y evaluación de la contaminación atmosférica por material particulado y metales en España (www.calima.es)
- Martín J D. X Powder. Quantitative and Qualitative Powder X-ray Diffraction Analysis, version 2004.04. Orion Network Communication, Granada. Available from: <http://www.Xpowder.com>
- Pósfai M, Axisa D, Tompa E, Frenay E, Bruinjes R, Buseck P. Interactions of mineral dust with pollution and clouds: An individual-particle TEM study of atmospheric aerosol from Saudi Arabia. *Atm. Res.* 2012; doi: 10.1016/j.atmres.2012.12.001
- Seinfeld J H, Pandis S N. *Atmospheric Chemistry and Physics: From air pollution to climate change*. Wiley: New Jersey; 2006
- Lafon S, Rajot JL, Alfaro S, Gaudichet A. Quantification of iron oxides in desert aerosol. *Atmos Environ* 2004; 38:1211-1218
- Avila A, Queralt-Mitjans I, Alarcon M. Mineralogical composition of African dust delivered by red rains over northeastern Spain. *J Geophys Res* 1997; 102 (D18):21977
- IARC (International Agency for Research on Cancer). Silica, some silicates, coal dust and para-Aramid Fibres, IARC Monographs, vol. 68, 1997
- Adamson I, Prieditis H, Vicent R. Pulmonary toxicity of an atmospheric particulate sample is due to the soluble fraction. *Toxicol Appl Pharmacol* 1999; 157: 43-50
- González Macías M, Balboa de Paz F, Rueda Esteban S. Prevalencia de la sensibilización a neuroalérgenos en nuestro medio. *Acta pediátrica* 2007; 65(9):441-444
- Cuevas E, Pérez C, Baldasano JM, Camino C, Alonso-Pérez S, Basart S. Long-term retrospective analysis of dust and AI with meningitis epidemics data, MACC O-INT WP3. (Meningitis linked to mineral dust transport in the Sahel). 2nd. Delivery Report. 1-50; 2011
- Gyan K, Henry W, Lacaille A, et al. African dust clouds are associated with increased paediatric asthma accident and emergency admissions on the Caribbean island of Trinidad. *Int J Biometeorol* 2005; 29:371-376
- Mellor S, Carpenter S, Harrup L, Baylis M, Mertens P. Bluetongue in Europe and the Mediterranean Basin. History of occurrence prior to 2006. *Prev Veter Med* 2008; 87: 4-20
- Creamean JM, Susky K, Rosenfeld D, et al. Dust and biological aerosols from the Sahara and Asia influence precipitation in the Western U.S. *Sciencexpress/* [http://www.sciencemag.org/content/early/recent/28 february 2013/ page 10/ 10.1126/science.1227279](http://www.sciencemag.org/content/early/recent/28%20february%202013/page/10/10.1126/science.1227279)