

particulada en Las Palmas de Gran Canaria

José A. López Cancio, José M. Limiñana Cañal*, Juan F. Santana Rodríguez,
Pedro Santana Alemán, Rosa E. Navarro Trujillo.

Grupo de Estudios Atmosférico(G.E.A.). ULPGC. Campus Universitario de Tafira, 35017. Las Palmas de Gran Canaria.

Distribution of particulate matter(PM) size in Las Palmas de Gran Canaria

Distribució per mides de la matèria particulada en Las Palmas de Gran Canària

Recibido: 4 de enero de 2008; aceptado: 10 de marzo de 2008

RESUMEN

En este trabajo se presenta la distribución por tamaños de la materia particulada (MP) en la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria. La experiencia se llevó a cabo entre junio de 2002 y marzo de 2003. A tal efecto se han utilizado captadores de alto volumen equipados con impactadores en cascada, que permiten una separación, en filtros de fibra de vidrio, de la materia recogida en seis fracciones de tamaño. Al final del muestreo se dispuso de 42 muestras válidas para el análisis. La materia particulada se determinó gravimétricamente. Se estableció la distribución de la concentración másica en función de los diámetros de corte. Se utilizan los diagramas de Lundgreen para establecer la distribución por tamaños y la evolución estacional e histórica. Se estudian las fracciones fina y gruesa del aerosol así como su evolución temporal e histórica.

Palabras clave: Aerosol. Materia particulada. Distribución por tamaños. Las Palmas de Gran Canaria.

SUMMARY

In this work size distribution of particulate matter(PM) in Las Palmas de Gran Canaria is presented. Experimental measurements were made from June 2002 to march 2003. High volume pumping system equipped with cascade impactors able to separate, on glass fiber filters, six size fractions was used. A total of 42 samples were used. The particulate matter was determined gravimetrically. Mass concentrations distribution as function of cut-off dia-

eters were established. Using Lundgreen diagrams size distribution and seasonal and historic evolution were established. Fine and large aerosols and their temporal and historic evolution were studied.

Key words: Aerosol. Particulate matter. Size distribution. Las Palmas de Gran Canaria (Canary Islands).

RESUM

En aquest treball, es presenta la distribució per mides de la matèria particulada (MP) en la ciutat de Las Palmas de Gran Canària. L'experiència es realitza entre juny de 2002 i març de 2003. Per a això, s'han utilitzat captadors d'alt volum equipats amb impactadors en cascada, que permeten una separació, en filtres de fibra de vidre, de la matèria recollida en sis fraccions de mida. Al final del mostreig, es disposa de 42 mostres vàlides per a l'anàlisi. La matèria particulada es determina gravimètricament. S'estableix la distribució de la concentració màssica en funció dels diàmetres de tall. S'utilitzen els diagrames de Lundgreen per establir la distribució per mides i l'evolució estacional i històrica. S'estudien les fraccions fina i gruixuda de l'aerosol, així com la seva evolució temporal i històrica.

Mots clau: Aerosol. Matèria particulada. Distribució per mides. Las Palmas de Gran Canària.

* Departamento de Ciencias Clínicas, ULPGC

1. INTRODUCCIÓN

Las últimas investigaciones sobre la MP indican que el incremento de mortalidad^(1,2) y morbilidad^(3,4,5) en los humanos está asociado con niveles de materia particulada mucho más bajos que los previamente supuestos. El establecimiento de estos niveles es una de las tareas prioritarias que se han impuesto los países más avanzados. Por otro lado las nuevas investigaciones se dirigen a poner de manifiesto qué fracción de tamaño, y qué componente dentro de ella, son los responsables de cada efecto tóxico.

Es bien sabido que el tamaño de las partículas influye directamente en su capacidad para inducir efectos tóxicos en el organismo. En relación con ello, se presenta la evidencia de que los efectos agudos sobre la salud están directamente relacionados con la exposición en el medio ambiente urbano a la fracción inhalable de dicha materia particulada (masa de partículas de diámetro aerodinámico inferior a $10\ \mu\text{m}$)^(6,7,8). El organismo humano tiene sistemas de defensa contra las partículas salvo para aquellas de tamaños comprendidos entre $0,1$ y $1\ \mu\text{m}$ que llegan a los alvéolos pulmonares; por ello son preocupantes las técnicas que tratando de paliar los efectos del fenómeno contaminante se limitan a disminuir el tamaño de las partículas sin modificar la masa total, con lo cual se mejora el efecto visual pero a costa de incrementar el número de partículas de pequeño tamaño y con ello el riesgo de efectos tóxicos en el organismo.

La eliminación de las partículas en los alvéolos pulmonares es lenta, de años e incluso decenas de años. Durante el tiempo de permanencia las partículas pueden ejercer acciones patógenas relacionadas con su composición química y tamaño inferior al de la ventana^(9,10,11,12,13). Está probado que las emisiones de los motores diesel, ricas en partículas entre $0,1$ y $0,3\ \mu\text{m}$, contienen en la mezcla organosoluble compuestos de riesgo, que las hacen mutágenas y cancerígenas⁽¹⁴⁾.

De distintos estudios toxicológicos⁽¹⁴⁾ se deduce que las partículas ultrafinas (menores de $100\ \text{nm}$) aumentan la toxicidad por unidad de masa y que dicha toxicidad aumenta con la disminución del tamaño de las partículas. Seaton⁽¹⁵⁾ propuso la hipótesis de que la capacidad de las partículas ultrafinas para penetrar en las paredes del pulmón induce inflamación en las paredes del intersticio pulmonar, lo cual estimula la producción de trombos en la sangre, que

son responsables de la isquemia coronaria. Esta fuerte preocupación social por los efectos de la MP hacen preciso un análisis de la distribución de partículas por tamaños de nuestro aerosol.

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1. Lugar de muestreo

Las muestras se recogieron en dos puntos de la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria (LPGC) señaladas en la figura 1, la calle Bravo Murillo en la zona baja de la ciudad y de gran tráfico automóvil y la calle Profesor Lozano de la isleta, zona comercial y con influencias del Puerto, siendo ambos comparables en altura y no encontrándose ninguno de ellos en las cercanías de alguna fuente puntual de emisión particulada.

2.2. Toma de muestra

Fue realizada con un captador de alto volumen (CAV-P;MCV) equipado con un impactador en cascada de 5 etapas (Sierra modelo 235; Sierra Instruments Inc.) que permitió la separación, en filtros de fibra de vidrio (Whatman GF/A), de las partículas del aerosol en seis fracciones de tamaño de acuerdo con los siguientes diámetros aerodinámicos: primera etapa $>7,4\ \mu\text{m}$ ($10\ \mu\text{m}$), segunda etapa $7,4-3,8\ \mu\text{m}$ ($4,9\ \mu\text{m}$), tercera etapa $3,8-2\ \mu\text{m}$ ($2,7\ \mu\text{m}$), cuarta etapa $2-0,9\ \mu\text{m}$ ($1,3\ \mu\text{m}$), quinta etapa $0,9-0,3\ \mu\text{m}$ ($0,61\ \mu\text{m}$) y filtro final (backup) $<0,3\ \mu\text{m}$. Los valores entre paréntesis corresponden a los diámetros de corte del 50%, «cut-off». Finalizada la recogida de muestras los filtros fueron introducidos en papel de aluminio con el fin de evitar la acción de la luz y almacenados en el laboratorio, en espera de ser analizados, a una temperatura de $-20\ ^\circ\text{C}$ para minimizar pérdidas.

2.3. Periodo de muestreo

El periodo estudiado abarca 10 meses (entre junio de 2002 y marzo de 2003). Se tomaron entre dos y tres muestras mensuales de aerosol, disponiéndose al final del periodo de 42 muestras válidas para el análisis. Las muestras se toman durante 24 horas seguidas (desde las 8 de la mañana de un día hasta las 8 de la mañana del día siguiente), siendo el volumen de aire muestreado cada día de unos $1.200\ \text{m}^3$.

2.4. Cuantificación

La concentración de partículas en cada etapa se determinó pesando los filtros antes y después de la recogida de muestras. Para asegurar valores consistentes de las masas recogidas, los filtros fueron equilibrados previamente al pesado bajo condiciones de temperatura ($20-25\ ^\circ\text{C}$) y humedad relativa ($40\pm 5\%$) controlada.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Concentraciones máxicas

En la tabla I se presentan los principales estadísticos de las concentraciones medias de MP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) hallados para la ciudad para cada uno de los diámetros de corte. Se observa que los diámetros con mayor peso, medidos por la media aritmética, son 10 y $0,01\ \mu\text{m}$, el primero de las partículas mayores relacionadas con el aerosol natural y el segundo de las mas pequeñas atribuidas a emisiones antropogénicas. Estos dos diámetros representan más del 60% del total.



Figura 1. Zona de toma de muestra.

TABLA I

Estadísticas de la concentración para cada diámetro de corte en Las Palmas de Gran Canaria, durante 2002/2003.

Diámetro (µm)	Ma	s	RIC	Md	Mg	C.V.
10,00	16,10	12,91	9,45	13,16	12,36	0,80
4,90	12,95	7,95	5,54	11,13	10,96	0,61
2,70	3,66	2,97	2,54	2,88	2,45	0,81
1,30	2,38	3,20	1,33	1,19	1,34	1,34
0,61	1,03	0,79	1,52	0,82	0,67	0,77
0,01	15,18	10,77	9,48	14,33	12,77	0,71

TABLA II

Evolución de la concentración media por diámetros de corte en Las Palmas de Gran Canaria.

Diámetro (µm)	Ma 1991 (µg/m³)	Ma 2002/03 (µg/m³)
10,00	6,70	16,10
4,90	31,00	12,95
2,70	5,50	3,66
1,30	4,20	2,38
0,61	2,80	1,03
0,01	23,00	15,18
Suma	73,20	51,30

Como indican los coeficientes de variación (C.V.) las partículas que presentan poblaciones más estables son las de 4,90 µm seguidas de las de 0,01 µm, y las de mayor fluctuación son las de 1,30 y 2,70 µm.

En la tabla II se muestran los resultados obtenidos en el presente muestreo junto con otros de 1991⁽¹⁶⁾. Se puede observar lo siguiente: se produce una drástica reducción de la cantidad total de materia particulada recogida en los impactadores, que pasa de 73,2 µg/m³ en 1991 a 51,30 µg/m³ en el presente muestreo, lo que representa un dato positivo en cuanto a contaminación particulada se refiere.

Las partículas mayores experimentan un aumento relativo, pasando del 9% del total en 1991 al 31% en el momento de este muestreo. El tamaño que ha sufrido un mayor descenso es 4,90 µm, pasando del 42% del total en 1991 al 25% en 2002/03; las partículas de 2,7; 1,3; y 0,61 µm han experimentado reducciones similares desde 1991. Finalmente, el peso de las partículas más pequeñas 0,01 µm se ha mantenido en torno al 30% del total.

3.2. Diagramas de Lundgreen

Otra manera de observar la distribución por tamaños del aerosol atmosférico es mediante los diagramas de Lundgreen, en ellos se representa el intervalo de diámetros aerodinámicos en cada etapa, frente al cociente concentración-logaritmo decimal de los diámetros máximo y mínimo de cada intervalo. En los mismos y de acuerdo con los estudios sobre aerosoles urbanos y de otros orígenes, se sitúan los límites superior e inferior para toda la población entre 30,0 y 0,08 µm^(16,17,18,19).

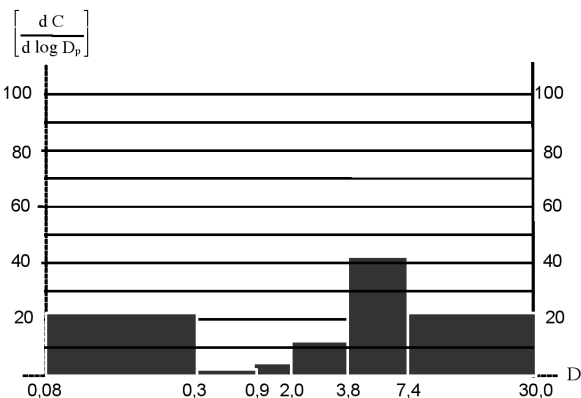


Figura 2. Distribución por tamaños de la MP en Las Palmas de Gran Canaria.

3.2.1. Distribución por tamaños

El diagrama de la figura 2 corresponde a las muestras tomadas en Las Palmas de Gran Canaria y representa una distribución bimodal típica de los aerosoles urbanos^(20, 21, 22, 23, 24), con uno de los modos en el intervalo de tamaños (0,08-0,30) µm y el otro en (3,8 - 7,4) µm. No obstante existe una diferencia entre nuestro aerosol y el que se puede considerar como típico en tales poblaciones y es que en estas últimas los dos modos suelen presentar alturas similares. Las partículas del intervalo (0,08-0,30) µm son atribuidas generalmente a fuentes de origen antropogénico. Por su parte el segundo modo del intervalo 3,8 y 7,4 µm, es típico de aerosoles en los que abundan los procesos de atrición mecánica, brisas marinas y otras fuentes de origen natural, en conjunción con los procesos de abrasión de los neumáticos en el asfalto.

En nuestro caso el modo recogido en el intervalo 3,8 y 7,4 µm tiene mayor altura que el del otro intervalo indicándose con ello el importante papel que juega el proceso natural en nuestra ciudad. En efecto en Las Palmas de Gran Canaria, la fuente de origen natural más importante es el mar, y el movimiento de las olas introduce pequeñas gotas de agua salada en la atmósfera, que cuando se evaporan dejan partículas sólidas de sales suspendidas en el aire.

3.2.3. Evolución estacional

En la figura 3 se recoge la evolución estacional de la distribución por tamaños del aerosol atmosférico en la ciudad de LPGC durante el periodo de muestreo. De la observación de los mismos se puede percibir:

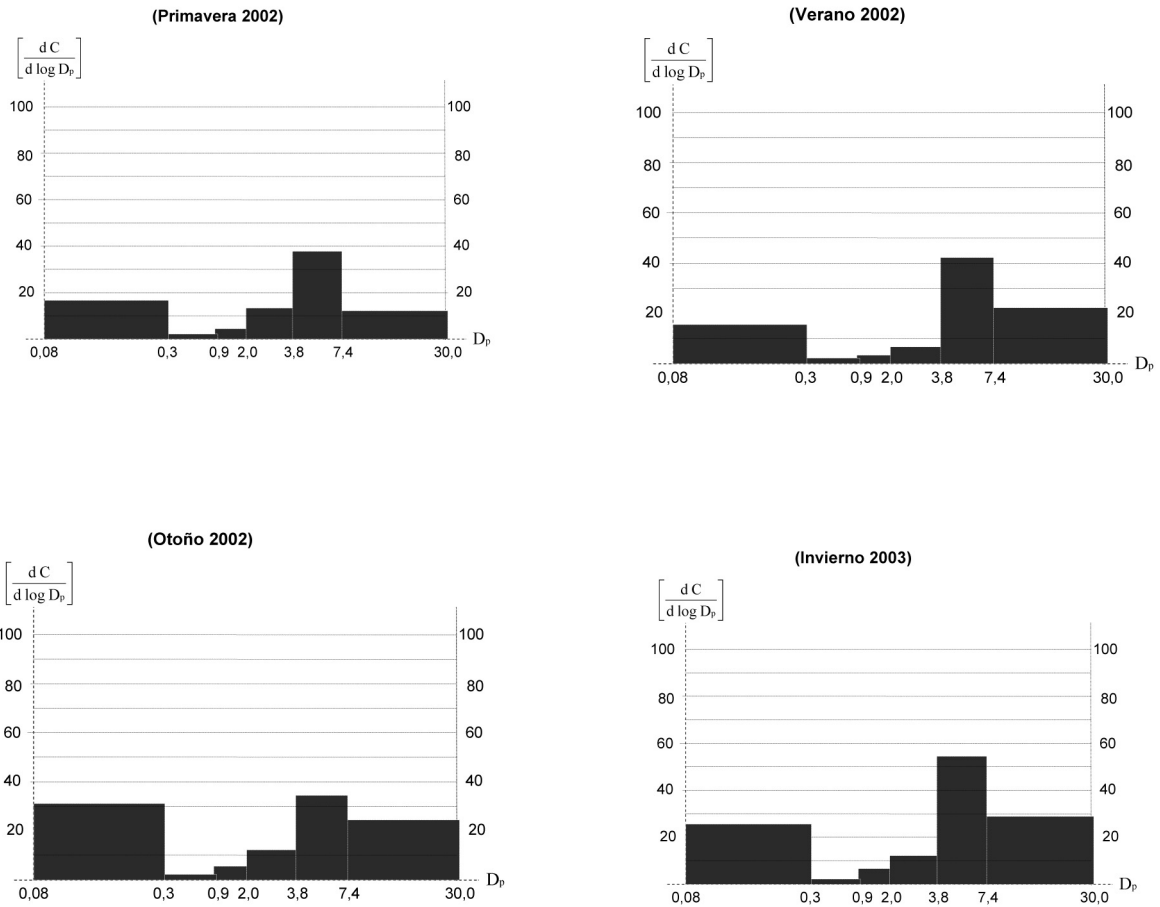


Figura 3. Evolución estacional de la distribución por tamaños del aerosol en Las Palmas de Gran Canaria.

El modo (3,8-7,4) μm es dominante en todas las estaciones y presenta sus valores máximos durante el invierno. Otoño e invierno son las estaciones en que la distribución más se corresponde con la de un aerosol antropogénico; en tanto que en verano e invierno se presentan las mayores influencias tropogénicas.

3.2.4. Evolución histórica

En la figura 4, se expone la distribución por tamaños de la MP de Las Palmas de Gran Canaria, durante 1991/1992⁽¹⁶⁾ y 2002/2003, periodo de muestreo de este trabajo. De su comparación se puede deducir lo siguiente:

En 2002/2003 se produce una disminución importante de los diámetros más pequeños (0,08-0,3) μm , que se reducen a la mitad. En dicho periodo se produce asimismo una disminución muy importante de los diámetros intermedios (3,8-7,4) μm que se reducen en más del 50%. Asimismo se produce un aumento importante de los diámetros mayores (7,4-30,0) μm que se incrementa al doble.

Se puede concluir que la calidad del aire de nuestra ciudad, atendiendo al criterio de la concentración de partículas más pequeñas (las más peligrosas para los seres vivos) ha mejorado sensible-

mente, probablemente gracias a las mejoras introducidas en los combustibles, las condiciones de combustión de los vehículos, y la calidad de los neumáticos. Por otra parte el aumento del porcentaje de partículas de mayor tamaño (7,4-30) μm sería debido al aumento de intrusiones anuales procedentes del continente africano a consecuencia de su acelerada desertización.

4. AEROSOL GRUESOS Y FINOS

Es frecuente dividir las partículas del aerosol en dos grupos de acuerdo a sus diámetros aerodinámicos, haciendo la distinción entre partículas «finas» y partículas «grue-

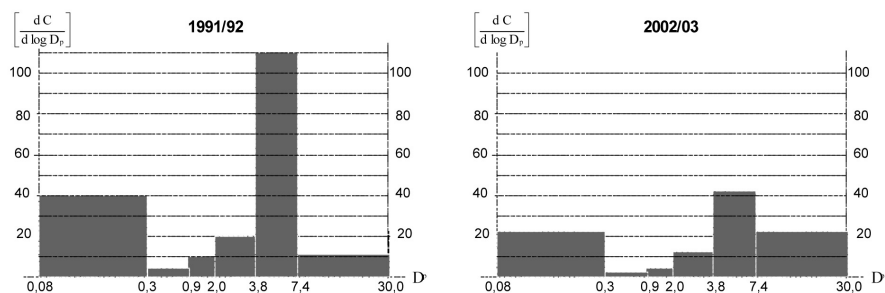


Figura 4. Distribución por tamaños de la MP en Las Palmas de Gran Canaria para los años 1991/92 y 2002/03.

sas» en función de que el diámetro sea menor o mayor que uno preestablecido. Los diámetros de separación entre los dos grupos mas utilizados son $2 \mu\text{m}$ ^(25, 26) en atención a los procesos de formación del aerosol o $2,5 \mu\text{m}$ ^(27, 28) en función de su peligrosidad para los seres humanos. En el caso presente se ha elegido el primero ya que disponemos de datos anteriores del aerosol de la ciudad.

La división en grupos resulta apropiada cuando se trata de estudiar el origen de las partículas atmosféricas ya que, mientras la fracción fina procede fundamentalmente de procesos antropogénicos, la fracción gruesa es típica de los procesos naturales.

Con el fin de describir la población global por el tamaño de sus partículas se han recogido en la tabla III los diámetros medianos de masa (DMM) de ambos tipos de partículas (aerosol fino y grueso).

Los datos reflejados permiten ver que el aerosol fino presenta un valor medio de $0,35 \mu\text{m}$ en tanto que el del aerosol grueso es de $6,5 \mu\text{m}$. Ambos son típicos de zonas urbanas.

4.1. Evolución histórica del aerosol «fino» y «grueso»

A efectos de conocer la evolución del aerosol en la última década se representan en la figura 5 los porcentajes de cada clase de aerosol junto con los obtenidos en 1991/12⁽¹⁶⁾. Se observa lo siguiente:

En 2002/03 se ha producido una disminución destacada del aerosol fino. Ello representa una notable mejora de la contaminación particulada ya comentado con anterioridad. La proporción en 2002/03 de cada clase de aerosol se aproxima bastante a 1/3 para el «fino» y 2/3 para el «grueso», proporciones que se consideran normales⁽²⁸⁾ para un aerosol urbano.

5. CONCLUSIONES

- Se ha establecido la distribución de las concentraciones medias de MP en función de los diámetros de corte, encontrándose que los de mayor peso son $10 \mu\text{m}$ y $0,01 \mu\text{m}$, el primero atribuible a las partículas generadas de forma natural y el segundo de las generadas por el hombre. Las poblaciones más estables son $4,9 \mu\text{m}$ y $0,01 \mu\text{m}$.
- Se han comparado los valores del muestreo con los obtenidos en 1991, observándose que:
 - Se produce una reducción importante de la cantidad total de materia particulada recogida que pasa de $73,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 1991/92 a $51,30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2002/03.
 - Las partículas mayores, $10,00 \mu\text{m}$, experimentan un aumento notable respecto al total, pasando del 9% en 1991/92 al 31% en 2002/03.
 - Las partículas de $4,90 \mu\text{m}$ son las que sufren la mayor disminución respecto al total, pasando del 42% en 1991/92 al 25% en 2002/03.
 - El peso de las partículas pequeñas, $0,01 \mu\text{m}$, se ha mantenido en torno al 30% del total.
- En base a los diagramas de Lundgreen se puede concluir:
 - En 2002/2003 el aerosol de Las Palmas de Gran Canaria presenta una distribución bimodal con modos entre $0,08 \mu\text{m}$ y $0,30 \mu\text{m}$, y entre $3,8$ y $7,4 \mu\text{m}$, típica de los aerosoles urbanos. El modo $(3,8-7,4) \mu\text{m}$ tiene mayor altura que el otro, lo que indica el papel destacado que juegan las partículas naturales, especialmente el mar.

- La evolución estacional muestra que el modo $(3,8-7,4) \mu\text{m}$ es dominante en todas las estaciones, con máximos durante el invierno.
- La evolución histórica por su parte muestra que en 2002/03 se ha producido una disminución importante de los diámetros más pequeños $(0,08-0,3) \mu\text{m}$. De ello se puede inducir que se ha producido una mejora en la calidad del aerosol debido probablemente a las mejoras en combustibles, condiciones de combustión y la calidad de los neumáticos.
- Se ha clasificado el aerosol en «fino» y «grueso» y a la vista de los valores para los DMM se puede concluir:
 - El aerosol «fino» presenta un valor medio de $0,35 \mu\text{m}$ y el «grueso» de $6,5 \mu\text{m}$, ambos valores típicos de zonas urbanas.
 - De la evolución histórica, que en 2002 la proporción de ambas fracciones es de 1/3 para el «fino» y 2/3 para el «grueso», que se consideran normales para un aerosol urbano.

6. BIBLIOGRAFÍA

- (1). Archer, V.E. (1990). «Air Pollution and fatal lung disease in three Utah countries». *Arch. Environ.*, 45: 325-334.
- (2). Dockery, D.W.; Pope3, C.A.; Xu, X.; Spengler, J.D.; Nare, J.H.; Fay, M.E.; Ferres, B.G.; Speizer, F.E. (1993). «An association between air pollution and mortality in six cities». *N. Engl. J. Med.*, 329(24): 1753-59.
- (3). Sunyer, J.; Saez, M.; Murillo, C.; Castellsague, J.; Martínez, F. (1993). «Air Pollution and emergency room admissions for chronic obstructive pulmonary disease: a 5 years study». *Am. J. Epidemiol.*, 137: 701-705.
- (4). Ostro, B.; Lipsett, M.; Mann, J.; Krupenick, A.; Harrington, W. (1993). «Air pollution respiratory morbidity among adults in Southern California». *Am. J. Epidemiol.*, 137: 691-700.
- (5). Pope, C.A.; Kanner, R.E. (1993). «Acute effects of PM10 pollution on pulmonary function of smokers with mild to moderate chronic obstructive pulmonary disease». *Am. Rev. Respir. Dis.*, 147: 1336-1340.

TABLA III

Diámetros medianos de masa (DMM) para el aerosol de Las Palmas de Gran Canaria.

	AEROSOL FINO (diámetro aerodinámico < $2 \mu\text{m}$)	AEROSOL GRUESO (diámetro aerodinámico > $2 \mu\text{m}$)
DMM(μm)	0,35	6,50
Rango	0,21	5,17
DEG(*)	1,37	1,50

(*) Desviación estándar geométrica.

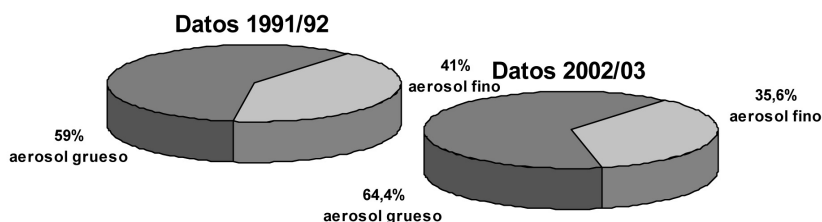


Figura 5. Evolución del aerosol (fino y grueso) de Las Palmas de Gran Canaria.

- ⁽⁶⁾. Wilsom, W.E.; Suh, H.H. (1997). «Fine particles and coarse particles: concentration relationships relevant to epidemiologic studies». *J. Air Waste Management Association*, 47: 1238-1249.
- ⁽⁷⁾. Godlesky, J.J.; Verrier, R.L.; Loutrakis, P. And Catalano, P. (2000). «Mechanisms of Morbidity and Mortality from Exposure to Ambient Air Particles». *Research Report 91*. Health Effects Institute, Cambridge MA.
- ⁽⁸⁾. Gordon, T.; Nadzieko, C.; Chen L.C. and Schlesinger, R. (2000). «Effects of Concentrated Ambient Particles in Rats and Hamsters: An Exploratory Study». *Research Report 93*. Health Effects Institute, Cambridge MA.
- ⁽⁹⁾. Donaldson, K.; MacNee, W. (1998). «The mechanism of lung injury caused by PM10». In *Issues in Environmental Science and Technology*, 10, Hester, R.E.; Harrison, R.M., editors. Royal Society of Chemistry: 21-32.
- ⁽¹⁰⁾. Marty, J.C.; Tissie, M.J.; Saliot, A. (1984) «Gaseous and particulate PAH from the marine atmosphere». *Atmos Environ.*, 10: 2183.
- ⁽¹¹⁾. Mc Veety, B.D.; Hites, R.A. (1988). «Atmospheric deposition of PAH to water surfaces: a mass balance». *Atmos Environ.*, 10: 2183.
- ⁽¹²⁾. Schwartz, J.; Slater, D.; Larson, T.; Pierson, W. (1993). «Particulate air pollution and emergency room: Visits for asthma in Seattle». *Am. Rev. Respir. Dis.*, 147: 826.
- ⁽¹³⁾. Sims, P.; Grover, P.L. (1981). «Involvement of dihydrodiols and diol epoxides in the metabolic activation of polycyclic hydrocarbons other than benzo[a] pyrene». In: Gelboin HV and Ts'o POP ed. *Polycyclic hydrocarbons and cancer*, vol.3. Academic Press, New York, pp. 117-181.
- ⁽¹⁴⁾. Lyall, R.J.; Hooper, M.A.; Mainwaring, S.J. (1988). «PAH in Latrobe Valley». *Atmos. Environ.*, vol. 22: 2549-2555.
- ⁽¹⁵⁾. Seaton, A.; Macnee, W., et al. (1995). «Particulate air pollution and acute health effects». *Lancet*, 345(8943): 176-178.
- ⁽¹⁶⁾. Vera Castellano, A. (1992). «Estudio del Aerosol Particulado en la Ciudad de Las Palmas de Gran Canaria». Tesis Doctoral. Depart. Ingeniería de Procesos. ULPGC.
- ⁽¹⁷⁾. Navarro Trujillo, R. (2002). «Estudio de las partículas del aire en muestras medioambientales». Tesis Doctoral. Depart. Ingeniería de Procesos. ULPGC.
- ⁽¹⁸⁾. Slinn, W.G.N. (1981). «Air Sea Exchange of Gases and particles». Liss P.S.; Slinn W.G.N., Eds; D. Reidel: Dordrechh.
- ⁽¹⁹⁾. Whitby, K.T.; Husar, R.B.; Liu, B.Y.H. (1972). «The aerosol distribution of the Los Angeles smog». *J. Colloid Interface Sci.*, Vol. 39: 177-204.
- ⁽²⁰⁾. Aceves, M.; Grimalt, J. (1993). «Seasonally dependent size distribution of aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons in urban aerosols from densely populated areas». *Environmental Science and Technology*, 27: 2896-2908.
- ⁽²¹⁾. Baek, S.O.; Goldstone, M.E.; Kirk, P.W.W.; Lester, J.N.; Perry, R. (1991). «Phase distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in the urban atmosphere». *Chemosphere*, 22: 503-520.
- ⁽²²⁾. Holsen, T.M.; Noll, K.E.; Liu, S.; Lee, W. (1991). «Dry deposition of PCBs in urban areas». *Environmental Science and Technology*, 25: 1075-1081.
- ⁽²³⁾. Lim, H.H.; Harrison, R.M.; Harrad, S. (1999). «The contribution of Traffic to Atmospheric Concentrations of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons». *Environmental Science and Technology*, 33: 3538-3542.
- ⁽²⁴⁾. Warneck, P. (1988). «Chemistry of the natural atmosphere». International Geophysics Series 41, Academic Press: San Diego, CA.
- ⁽²⁵⁾. Whitby, K.T.; Sverdrup, G.M. (1980). «California Aerosols: Their Physical and Chemical Characteristics». *Adv. Environ. Sci. Technol.*, 10, 477.
- ⁽²⁶⁾. Whitby, K.T. (1978). «The Physical Characterization of Sulfur Aerosols». *Atmos. Environ.*, 12: 135-159.
- ⁽²⁷⁾. Lippmann, M. (1998). «The 1997 US EPA standards for particulate matter and ozone». In *Issues in Environmental Science and Technology*, 10, Hester R.E.; Harrison R.M., editors. Royal Society of Chemistry, 75-79.
- ⁽²⁸⁾. Mezzaros E. (1981). «Atmospheric Chemistry: Fundamental Aspects». Elsevier Scientific Publishing Comp. Amsterdam.