

# Estudio medioambiental en el Palacio Real de Madrid

## Environmental study of the Royal Palace in Madrid

M.C. López de Azcona (\*), F. Mingarro Martín (\*\*) y R. Fort González (\*)

(\*) Instituto de Geología Económica, C.S.I.C. 28040 Madrid

(\*\*) Dpto. Petrología y Geoquímica, Fac. CC. Geológicas, U.C.M. 28040 Madrid

### ABSTRACT

*SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub> contents and suspended particles have been measured in the Environmental Monitoring Station installed in the Royal Palace of Madrid. The analysis of these major air pollutants has been carried out during 1994-1995. In addition, several parameters such as pressure, temperature, wind direction and speed, as well as rain were measured in the Meteorological Station emplaced at the roof of the Palace.*

*The main goal of this study is to evaluate the importance of these environmental factors in order to ascertain their role in the degradation and blackening of the Palace materials. This will place a base for cleaning and other conservation tools after a kinetics assessment of the behaviour of the several products involved in the restoration.*

**Key words:** Environmental Monitoring Station, pollutants, cleaning, conservation, cultural heritage.

Geogaceta, 20 (5) (1996), 1155-1158  
ISSN:0213683X

### Introducción

Debido a las características urbanísticas en que se encuentra situado el Palacio Real, con su fachada principal paralela a la calle de Bailén, (Fig. 1) zona que casi puede considerarse una vía rápida de comunicación en Madrid, nos pareció el lugar idóneo por ser el más contaminado, para situar en el mismo Palacio una estación automática medioambiental, con objeto de conocer con exactitud los contaminantes y la meteorología que está actuando sobre las piedras, y su evolución a lo largo de tres años, en que como mínimo pueden determinarse estados medios significativos (Mingarro Martín *et al.*, 1992).

Aunque existe una Estación de Contaminación en la Plaza de España, controlada por el Ayuntamiento de Madrid, la distancia de ésta a la nuestra es tan sólo de unos 600 metros, pero no es lo mismo obtener datos en una punto entre zonas ajardinadas, que en otro, donde el tráfico diario es grande, ya que lo que se pretende analizar es un microambiente propio del Monumento.

A las anteriores circunstancias, se añadía, que ya en 1994, estaba en proyecto el paso subterráneo por la calle de Bailén, en la zona que va desde el comienzo de los Jardines de Sabatini hasta cerca de la entrada a la Catedral de la Almudena, por lo que resultaba del máximo interés, tener controlado el medioambiente que había antes, durante y después de las obras, que está pensado terminen hacia diciembre de 1996.

Los datos tomados a lo largo de esos años, junto con unos estudios en paralelo que se están realizando sobre productos conservantes e hidrofugantes a utilizar en las calizas y granitos de Palacio, serán de gran provecho para cuando finalicen las obras del aparcamiento y paso subterráneo, se aborde la limpieza de las fachadas del Palacio Real y su conservación más idónea.

### Estación medioambiental

El conjunto del Equipo, compuesto por la Estación de Contaminación y la Estación Meteorológica, por un acuerdo de colaboración con la Subdirección General de Patrimonio Arquitectónico de Palacio Real, se colocó en la zona E, en la planta baja, dando a la calle de Bailén, situando los captadores a una altura de 3,03 m. del suelo; en este punto, el suelo está a 642,3 m. sobre el nivel del mar.

Los contaminantes que se determinan en la Estación son: SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> y partículas en suspensión. Los parámetros meteorológicos medidos son: Presión, Temperatura, velocidad y dirección del viento y cantidad de lluvia. Los datos para cada parámetro se median cada minuto durante las 24 horas del día, a excepción de la velocidad y dirección del viento, que lo hace cada segundo. Estos resultados son procesados semanalmente para obtener los valores medios de cada día y a las diferentes horas para cada uno de los parámetros analizados. Las visitas periódicas, por lo gene-

ral una vez en semana, son fundamentales para el control y puesta a punto de los equipos.

Aunque los estudios se comenzaron en el año 1993, los datos que se presentan, pertenecen a los años 1994 y 1995, ya que los 6 meses de finales del 1993, se dedicaron a ajustes de equipos, programación, instalación de prefiltros en los captadores, ya que los contenidos altos en partículas ensuciaba y dificultaba el tratamiento de los

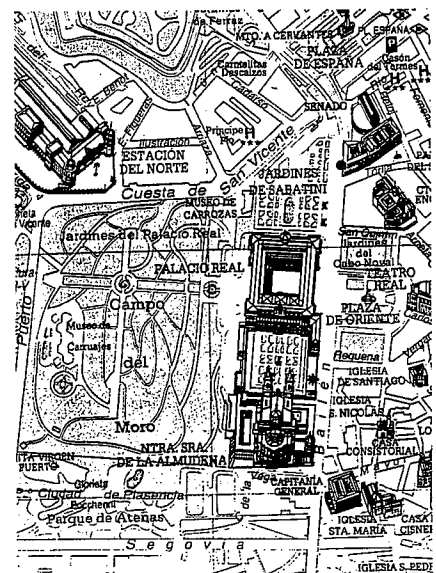


Fig. 1.- Plano de Situación del Palacio Real

Fig. 1.- Location map of the Royal Palace

otros contaminantes, obstruyendo el conducto de los equipos.

Las identificaciones de los contaminantes se hacen con las siguientes técnicas: NO por Quimioluminiscencia, NO<sub>2</sub> por Absorción del infrarrojo, CO<sub>2</sub> también por Absorción del infrarrojo, O<sub>3</sub> por Absorción ultravioleta y las partículas por Gravimetría en una Balanza inercial.

A efectos de comparación de nuestros datos con los obtenidos por el Ayuntamiento, en la Estación de la Plaza de España, queremos hacer varias aclaraciones referentes a la ubicación de nuestro Equipo. Los captadores están a 3 metros del suelo y pegados a la misma fachada E, prácticamente a 1/3 de la altura total, existiendo un semáforo justo delante de los captadores, que retiene periódicamente la circulación a tan sólo 6 metros y a pocos metros del aparcamiento de los autobuses de turistas que suben y bajan para visitar el Palacio y la Catedral.

El análisis de Tolueno, Benceno, Formaldehídos en el entorno del Palacio Real se determinó utilizando el sistema OPSIS. Este equipo nos permitía también conocer el contenido de Ozono y de los dióxidos de azufre y nitrógeno, pudiendo ser comparados con los obtenidos con la Estación automática.

Este sistema analítico de gases, permite la determinación cuantitativa a media o larga distancia, en lugar de la puntual obtenida con la Estación Medioambiental.

La firma ESSA (Equipos y Sistemas, S.A.), nos cedió un Equipo de estas características durante los meses de julio a noviembre del año 1994; dicho equipo, ya había estado colocado en periodos de 15 días en el Paseo del Prado de Madrid y en el Aeropuerto de Barajas también de Madrid.

Consta el equipo de un emisor de luz con lámpara de xenon de 150 W en haz concentrado del espectro visible, entre las longitudes de onda largas del infrarrojo y las cortas del ultravioleta. Este emisor se colocó en la Cúpula del Edificio del Patrimonio Cultural de la Autonomía de Madrid en la esquina de la calle Bailén y la Plaza de España (Pº de San Vicente).

En la terraza del Palacio Real, y sobre la Estación Medioambiental, se situó el equipo receptor, a una distancia del emisor de 523 m., y a una altura de 9,60 m. del suelo, para salvar la cota de los árboles, y demás obstáculos; es decir a 6,57 m. sobre los captadores de dicha Estación.

Para una mejor interpretación de los resultados, se han comparado los obtenidos con el mismo Equipo OPSIS en el Paseo del Prado en Abril y en el Aeropuerto de Barajas en Mayo del año 1993 con los nuestros, registrados en los meses de Julio a Noviembre del año 1994.

### Análisis de resultados

En la Tabla 1 se muestran los resultados medios de los distintos contaminantes y de los parámetros meteorológicos para los años estudiados.

La dirección predominante del viento es S y S-SE siendo la velocidad media de 2 km/h. de forma que el aire arrastra y casi pega contra la fachada los contaminantes, siendo ésta, una de las zonas más empujadas del Monumento. Se puede decir que hemos seleccionado, para instalar la Estación, el peor sitio de Palacio, donde se recoge la mayor abundancia de polución, ya que nuestra idea era precisamente analizar el microambiente en donde los contaminantes fueran mayores.

Como rasgos generales, debemos indicar que durante todo el año predomina el NO sobre el NO<sub>2</sub> aunque dicha relación se invierte en el época estival. Las cantidades obtenidas en Palacio, son tres veces mayores que las obtenidas en Plaza de España. Hay que hacer notar que en esta última estación se presenta un fuerte decrecimiento en los meses estivales, mientras que en Palacio, esos descensos son mínimos, lo cual queremos interpretar como un descenso de tráfico en aquella zona, mientras que en Palacio aumenta por las visitas turísticas y el último año por las obras que se comenzaron a realizar en el futuro aparcamiento de la Opera.

Respecto al Ozono, aún no siendo excesivas las cantidades a lo largo del año, sí se observa un notable aumento en los me-

ses estivales, tenemos datos del mes de julio de 1995, cercanos a los 800 µg/m<sup>3</sup>, según se puede apreciar en los gráficos que se acompañan, esto pone de manifiesto el efecto fotoquímico y justifica el predominio del NO<sub>2</sub> sobre el NO, como consecuencia de la oxidación del último; queremos indicar que se aprecia una cierta correlación inversa entre el Ozono y el NO+NO<sub>2</sub>, cuando aumenta el primero disminuye el segundo (Fig.1).

En lo referente al dióxido de azufre, se aprecia un gran incremento en el año 1995 respecto al 1994, esto puede atribuirse a las obras que durante todo el año se han estado realizando, ya que la maquinaria pesada, recorría la zona prácticamente durante todo el año, la media de invierno es de 111,6 µg/m<sup>3</sup> frente a la de la Plaza de España que era de 23,5 µg/m<sup>3</sup>.

De todas formas, hay que destacar las grandes oscilaciones de este compuesto, que evidencia la marcha de las obras, y así, en junio del año 1995, la máxima absoluta registrada fue de 967,1 µg/m<sup>3</sup>, con mínimos próximos a cero µg/m<sup>3</sup>, habiendo incluso comprobado, que muchos de los máximos se registran a partir de las 8 de la tarde, cuando el tráfico y turismo es menor, pero se incrementa el acceso de la maquinaria a las zonas de trabajo.

En lo referente a las partículas en suspensión, también presentan diferencia de un año a otro, con ligeros aumentos en el 1995 que son aproximadamente un 14,16% superiores a los registrados en Plaza de España. En Palacio, el valor máximo absoluto, corresponde al mes de noviembre, con

	1994			1995		
	MED	MAX	MIN	MED	MAX	MIN
SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	85,8	156,3	32,4	137,5	455,9	4,0
NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	161,6	275,9	60,7	226,0	479,5	52,2
NO (µg/m <sup>3</sup> )	232,9	501,5	36,4	230,2	355,3	46,7
PAR (µg/m <sup>3</sup> )	75,3	138,9	28,0	85,8	162,5	31,9
CO <sub>2</sub> (ppm)	759,9	876,5	581,5	767,5	852,6	713,4
O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	12,7	29,6	5,8	11,9	28,5	5,2
HR (%)	49,3	74,5	30,8	45,5	70,8	22,8
TEM (°C)	16,3	20,7	11,1	17,8	25,8	11,9
DIR. Viento ( G)	148,9	216,8	99,5	152,1	221,0	90,1
VEL. Viento (Km/h)	2,0	3,9	1,0	2,0	4,1	0,9
PB (mm Hg)	708	716	700	713	718	706

MED= Valor medio de las medias diarias MAX y MIN= Valores medios de las máximas y mínimas de las medias diarias

Tabla 1- Parámetros de contaminación ambiental y meteorología en Palacio Real

Table 1- Weathering pollution data and climate in the Royal Palace

298,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y el mínimo a Enero con sólo 15,1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Hay que destacar una gran correlación y paralelismo entre el contenido de partículas y el dióxido de azufre, incluso cuantitativamente con el óxido de nitrógeno, pero las concentraciones son inversas, si las comparamos con el Ozono, aunque esta última no sea tan marcada.

Las partículas en suspensión, son esencialmente procedentes de la mala combustión de los hidrocarburos, y lógicamente, corresponden a compuestos de carbono hidrogenado, lo cual se evidencia por su carácter hidrófobo, y consiguientemente su concentración no varía mucho los días de lluvia, ya que sólo pueden ser eliminadas mecánicamente.

Debe de destacarse que el monóxido de nitrógeno, procede fundamentalmente de la combustión de vehículos, no sólo se oxida por la presencia de ozono en oxígeno, para dar un contaminante secundario, sino al igual que en la oxidación de los hidrocarburos alofénicos de los tubos de escape se oxida, para dar peróxido, que también oxida al monóxido de nitrógeno y radicales, que en su presencia y con oxígeno, originan formaldehidos.

Así, en el aumento del monóxido (combustión de vehículos), disminuye la cantidad de hidrocarburos, aumentando la proporción de ozono y dióxido de nitrógeno. Dado que el dióxido de nitrógeno, reacciona fácilmente con el ozono y el agua, para originar el ácido nítrico, es éste, en forma de aerosol, el principal causante del nebluno, oxidante fotoquímico, junto con el ácido sulfúrico, procedente de la combinación del trióxido de azufre y el agua.

Este trióxido de azufre, originado por la oxidación del dióxido procede de la combustión de hidrocarburos, especialmente Fuel-oil y Diesel, así como del gas natural. Dicha oxidación, se realiza por la presencia de ozono, de manera fotoquímica, con radiación ultravioleta, de 294-388 nm, así como en la presencia, muy importante en nuestro caso, de los óxidos de nitrógeno, e incluso favorecido por la presencia de monóxido de carbono y radicales peroxiácidos de hidrocarburos olefinicos.

Los resultados de la estación de contaminación colocada en el Palacio Real dan una mayor concentración de contaminantes primarios y secundarios que los existentes en la Plaza de España, que corresponden a una zona despejada y ajardinada. Estos valores pueden parecer escandalosos si se comparan con los admitidos sanitariamente, pero recordemos que se están obteniendo en una zona muy concreta para determinar el microambiente del Edificio, ya que lo que estamos intentando estudiar es la "salud del Monumento".

Con las anteriores indicaciones se intenta justificar la elevada concentración de contaminantes primarios y secundarios en el entorno de Palacio Real, siempre que se comparen con la Estación más próxima de Plaza de España.

Un contaminante muy especial es el Dióxido de carbono, contaminante que al no ser tóxico no se determina en las estaciones convencionales. Su procedencia, evidentemente es por la combustión de hidrocarburos, o cualquier otro combustible. El monóxido a bajas temperaturas se transforma rápidamente en dióxido, especialmente en presencia de humedad, concentrándose entonces, en las capas bajas de la troposfera, formando nieblas fotoquímicas, así como aerosoles de ácido carbónico, que también contribuyen a rebajar la acidez del agua de lluvia.

Hay que considerar, que las lluvias áci-

JULIO 1995

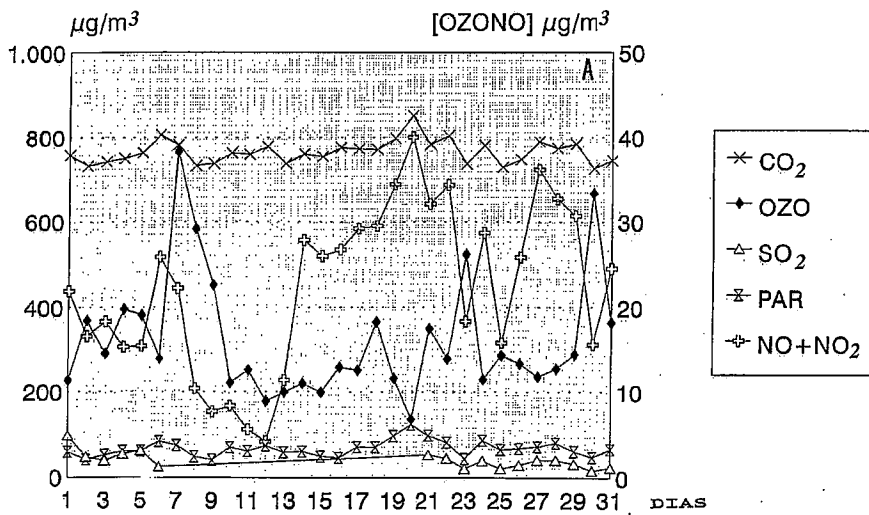


Fig. 2A- Evolución de la contaminación media diaria en Julio de 1995 en el entorno de Palacio Real.  $\text{CO}_2$  expresado en ppm.

Fig. 2A- Evolution of the mean pollution in December, 1995, data from the surroundings of the Royal Palace.  $\text{CO}_2$  expressed in ppm.

DICIEMBRE 1995

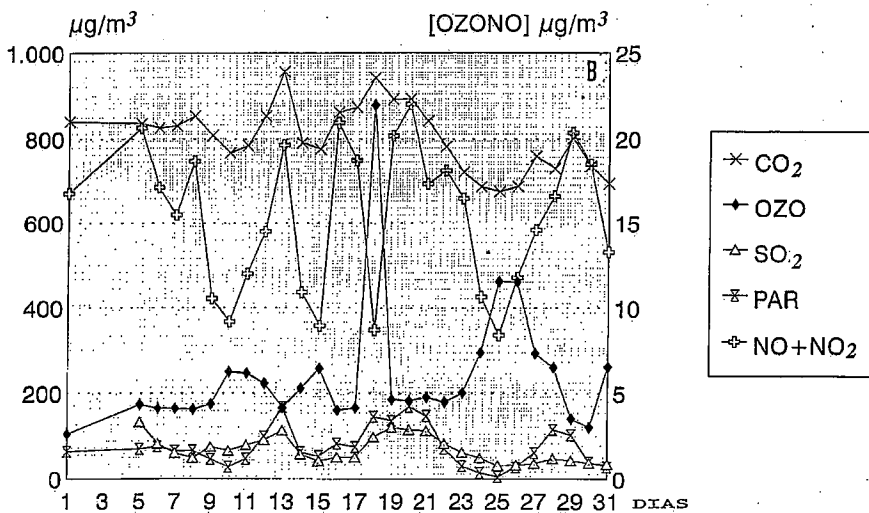


Fig. 2B- Evolución de la contaminación media diaria en Julio de 1995 en el entorno de Palacio Real.  $\text{CO}_2$  expresado en ppm.

Fig. 2B- Evolution of the mean pollution in December, 1995, data from the surroundings of the Royal Palace.  $\text{CO}_2$  expressed in ppm.

das, aún no siendo excesivas desde el punto de vista de contaminación ácida, con valores de pH inferiores a 6,65, los materiales pétreos, fundamentalmente los carbonáticos, empiezan a disolverse, con valores de pH inferiores a 7,5, por lo que a este respecto, todas las lluvias pueden considerarse ácidas aún con la atmósfera sin contaminar.

Se debe de indicar, la importancia de dicho contaminante en la zona de estudio, correspondiente a un microambiente, donde en el año 1994, se obtuvieron valores medios del orden de 759 ppm mientras que en el año 1995 la media anual era de 767 ppm, dato que se podría también justificar en parte, porque la temperatura media anual fue de 16,26 °C, mientras que en 1995 era

	PALACIO REAL		P° DEL PRADO		BARAJAS	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
BENCENO	57	22	48	1	16	0
TOLUENO	175	41	100	15	63	0
FORMALDEHIDO	21	11	21	0	25	0
SO <sub>2</sub>	71	13	69	4	28	1
NO <sub>2</sub>	144	57	120	15	101	5
O <sub>3</sub>	79	41	100	25	100	30

Tabla 2- Datos de contaminación determinados con el sistema OPSIS

Table 2- Pollution data analysed with the System OPSIS

Es posible que a ese aumento del dióxido de carbono, de un año a otro, pueda contribuir la posible presencia de un efecto invernadero de carácter microclimático en las proximidades de los edificios, dada una mayor concentración y formación de una capa de este gas, que absorbe las longitudes de onda más largas del infrarrojo (Wark K. *et al.*, 1990).

En la tabla 2, se expresan los máximos y mínimos absolutos de los tres puntos en que estuvo situado el OPSIS.

Si consideramos los valores de óxido de nitrógeno, azufre y ozono, que nos daba la Estación y los suministrados por el OPSIS; resulta que los valores de la Estación,

jes menores. En Barajas se registran cantidades también mayores en ozono, pero más parecidas a las de P° del Prado.

Respecto al Benceno, los resultados de Bailén y el Prado, son análogos, en Barajas mucho más bajos. El Tolueno, es mayor en Bailén que en el Prado. En Barajas se obtienen los valores más pequeños. Los Formaldehídos se comportan de igual forma en las tres zonas aunque los mínimos más altos se localizan en el Palacio Real.

Todo ello, pone de manifiesto, considerando también los valores registrados en la Estación de Palacio, que la contaminación atmosférica, procede esencialmente en Bailén de la combustión de Fuel-oil y Diesel de

aleatorio.

4.- Debería ser obligatorio colocar este tipo de instalaciones en los grandes monumentos del Patrimonio arquitectónico.

5.- Es imprescindible registrar la microcontaminación ambiental, no sólo para comprender el tipo de deterioro monumental, sino también desde el punto de vista de la salubridad, pues es en los edificios y monumentos, donde habitan las personas, especialmente, al considerar las variaciones de contaminantes secundarios, de tipo cancerígeno, y las repercusiones ocasionadas por cambios de combustibles o tipos de circulación.