

LA INFLUENCIA DE LA CIUDAD SOBRE LAS PRECIPITACIONES: EL CASO DE MADRID

POR

FELIPE FERNÁNDEZ GARCÍA

Introducción

La ciudad como modificadora del clima regional ha dado lugar a una abundante bibliografía entre la que podemos incluir algunos estudios recientes sobre ciudades españolas (López Gómez y Fernández García, 1981; López Gómez y otros, 1988; Brunet, M., 1989).

De los diversos aspectos que conforman el denominado «subsistema climático urbano» es el relacionado con las modificaciones térmicas el más conocido y el que ha merecido mayor atención, con resultados bastante similares en los casos estudiados. No ocurre lo mismo con la influencia de la ciudad sobre las precipitaciones, un campo en el que, como señala Landsberg (1981, p. 187), se conocen las causas que determinan un incremento pluviométrico en la ciudad, pero no están claros los mecanismos. En efecto, el espacio construido, la isla de calor urbano y la rugosidad crean turbulencias de origen mecánico y térmico que acrecientan la actividad de los mecanismos pluviosos regionales

Este trabajo forma parte del proyecto sobre «El clima urbano de Madrid» del CICYT.

Felipe Fernández García. Departamento de Geografía. Universidad Autónoma. Madrid.

Estudios Geográficos
Tomo L.I, n.º 199-200, abril-septiembre 1990

sobre los espacios urbanos (Beessemoulin, 1980, p. 62; Landsberg, 1981, pp. 187-188). Todos los estudios realizados coinciden en señalar una mayor pluviometría de la ciudad respecto a las zonas rurales próximas en cantidades que oscilan entre un 5% y un 11% (Landsberg, 1981, p. 188); sin embargo, existen discordancias significativas a la hora de determinar la época del año en la que se alcanzan las máximas diferencias y en el papel que corresponde a cada uno de los factores antes mencionados. Así, en unos casos se aduce la contaminación como causa fundamental y en relación a ella se ha observado en algunas ciudades, como París (Detwiler, 1970) o Madrid (Catalá y otros, 1980), una mayor pluviometría en los días laborales; sin embargo, en otras ciudades como Tarragona (Brunet, 1989) esta distribución de las lluvias no tiene consistencia estadística, siendo contradictorios los resultados correspondientes a dos períodos de tiempo distintos. Por último, en unos casos la época cálida parece ser la más favorecida por las precipitaciones, como ocurre en New York, Parma o París; en otras, por el contrario, como Chicago o Wáshington, es en invierno cuando se alcanzan las máximas diferencias (Escourrou, 1981, p. 145).

En las notas que siguen analizaremos algunos de estos aspectos del clima urbano como una primera aproximación a este tema sumamente complejo, pero de gran interés. El estudio se centra en Madrid y las áreas suburbanas próximas y se inscribe en el marco del proyecto que sobre el clima de nuestra ciudad se vienen desarrollando desde hace varios años. Proyecto del que fue directora la doctora López Gómez y a cuyo empeño y dedicación tanto deben los resultados obtenidos.

Fuentes y metodología

La enorme variabilidad de las precipitaciones impide realizar medidas puntuales que, como ocurre con las temperaturas, sean representativas de las diferencias entre los espacios rurales y urbanos (véase A. López Gómez y otros, 1986). Por ello hemos de utilizar datos procedentes de estaciones de medida permanentes, pero éstas tienen el inconveniente de encontrarse situadas en espacios no urbanos, o cuando se sitúan dentro de la ciudad, las medidas no se realizan de manera similar a las de la Red Meteorológica Nacional. En nuestro estudio hemos utilizado tres observatorios de esta Red Meteorológica Nacional

(Retiro, Barajas y Getafe), todos ellos de primer orden, el primero situado en un parque claramente urbano y los otros dos en áreas periféricas suburbanas, al NE y al sur de la urbe madrileña (figura 1). Además, se ha utilizado los datos procedentes de 11 estaciones de la Red de Contaminación del Ayuntamiento, emplazadas dentro del perímetro urbano (figura 1). Con la información procedente de todas ellas realizamos un doble análisis: el de las diferencias pluviométricas existentes entre las zonas rurales y urbanas y el de las diferencias que aparecen dentro de la ciudad. En ambos casos existe una serie de problemas derivados de la longitud de las series disponibles, únicamente del 82 al 88 en los observatorios urbanos y de las condiciones de medida, que en estos últimos son diferentes a las de la Red Nacional (Ayuntamiento, 1982, pp. 9 y ss.). Por ello, hemos realizado una selección previa de estaciones urbanas, eligiendo de las 20 que componen la red únicamente las situadas dentro del núcleo urbano principal, cuyos datos han sido contrastados con los de Retiro a fin de establecer la fiabilidad de los mismos. Tras este análisis se han eliminado tres, Quevedo, Carlos V (Atocha) y Marañón, señaladas con un * en el mapa 1), cuyos datos difieren notablemente del conjunto, sin razón aparente, salvo la de su emplazamiento en zonas de arbolado denso, como es el caso de las dos últimas mencionadas.

La correlación existente entre las series estacionales y anuales de los observatorios urbanos y las registradas durante el mismo período en el Retiro es muy elevada, como puede observarse en el cuadro 1, con un nivel de significación superior al 98%, según las tablas de Bravais-Pearson, a pesar de la pequeña longitud de las series utilizadas. En función de estos resultados, podemos aceptar la fiabilidad de las mediciones realizadas en estos observatorios y atribuir las diferencias pluviométricas existentes entre éstos y los pertenecientes a la Red

CUADRO I
ECUACIONES DE REGRESIÓN ENTRE
LOS OBSERVATORIOS URBANOS Y EL DE RETIRO

Prec. invierno	$-3,556 + 1,20x; r^2 = 0,99$
Prec. primavera	$-7'889 + 1'17x; r^2 = 0,99$
Prec. otoño	$13'660 + 0'92x; r^2 = 0,96$
Prec. anual	$8'210 + 1'02x; r^2 = 0,94$

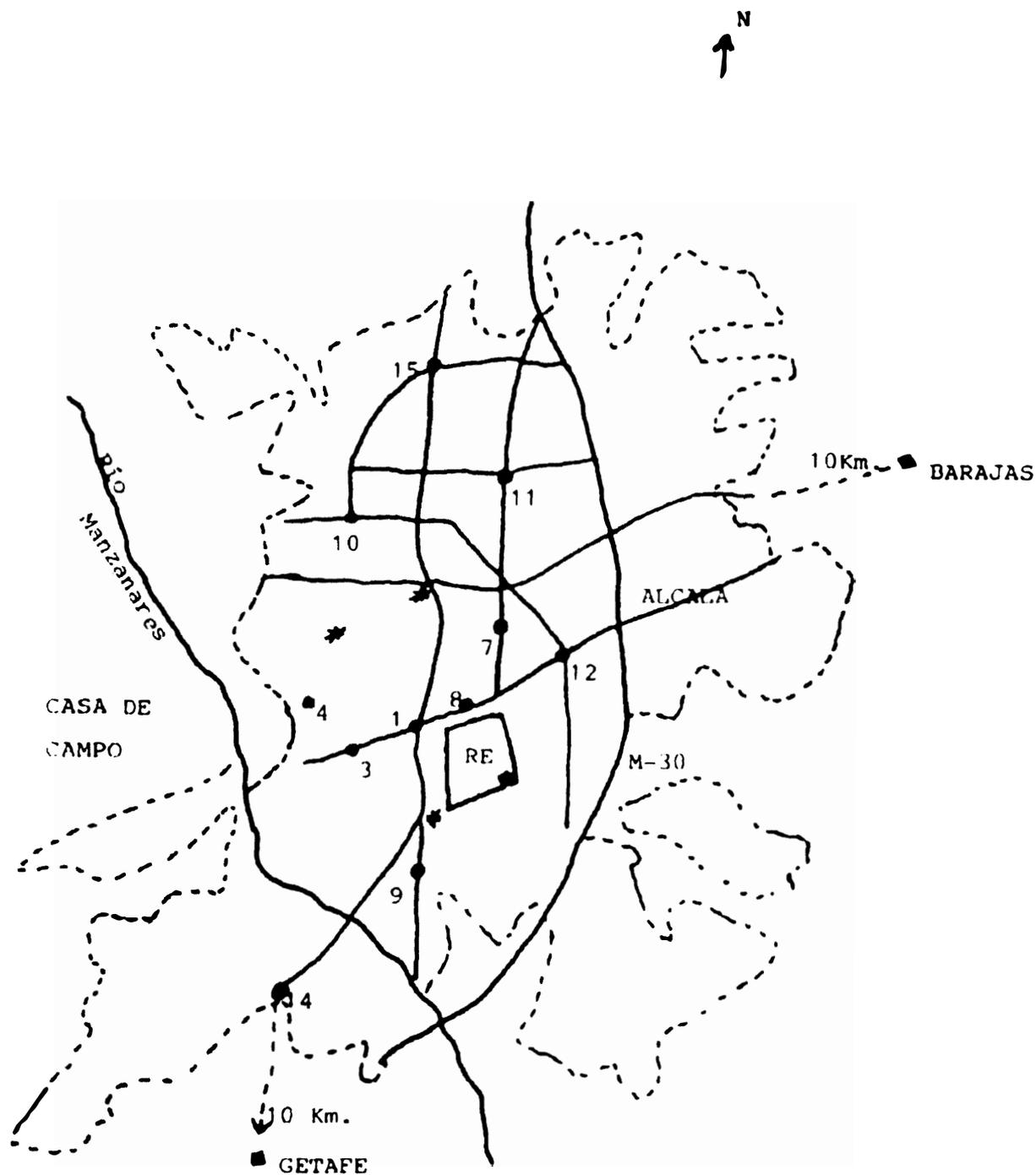


FIGURA 1.—Localización de los observatorios utilizados. 1: Calvo Sotelo.—3: Puerta del Sol.—4: Plaza de España.—7: Plaza de Salamanca.—8: Escuelas Aguirre.—9: Plaza de Luca de Tena.—10: Cuatro Caminos.—11: Ramón y Cajal.—12: Plaza de Roma.—15: Plaza de Castilla. RE. Retiro

Nacional (Retiro, Barajas o Getafe) a factores externos relacionados con su emplazamiento y, por tanto, representativas de la influencia de la ciudad sobre los mecanismos pluviosos regionales.

En segundo lugar hemos hallado la similitud entre los distintos puntos de observación, mediante la aplicación del análisis multivariado de agrupamiento (Cluster analysis). Las variables utilizadas han sido los totales anuales y estacionales de cada uno de los años disponibles, y el método, el de la distancia euclidiana entre los diferentes observatorios. El resultado ha sido la existencia de dos grupos diferenciados: uno formado por Barajas y Getafe y el otro por los observatorios de la Red Municipal y el de Retiro, lo que corrobora la individualización pluviométrica de la ciudad. La disposición de los distintos observatorios en relación a los ejes representativos de las variables utilizadas (figura 2) pone de manifiesto, además, la existencia de diferencias, no sólo entre la ciudad y las zonas exteriores, sino también dentro del área urbana. En efecto, Barajas y Getafe registran menores precipitaciones, excepto en verano, formando un grupo bastante homogéneo y diferenciado del resto, pero los observatorios urbanos presentan una gran dispersión, sobre todo en relación a las precipitaciones estacionales, lo que sugiere la existencia de varios espacios diferenciados pluviométricos dentro de la ciudad.

Las precipitaciones en el conjunto urbano

Los totales anuales registrados en los distintos observatorios urbanos se sitúan, en el período que estudiamos, por encima de los 400 mm. (figura 3), pero al compararlos con la media general del conjunto podemos diferenciar dos grupos que, en una primera aproximación, podrían ser representativos de tipologías urbanas diferenciadas. Así, el menos lluvioso, entre 400 y 500 mm. anuales, lo forman tres observatorios situados en las proximidades de parques urbanos como son el de Plaza de Roma (12), Plaza de España (4) y Ramón y Cajal (11), en las inmediaciones del parque de Berlín, y un cuarto, el de Salamanca (7), situado en la plaza del conocido barrio madrileño perteneciente al ensanche NE de la ciudad. Los más lluviosos, con totales anuales próximos a los 500 mm., se sitúan en zonas de mayor densidad urbana y trazado más irregular, como el de la Puerta del Sol (3) y el de la

Glorieta de Cuatro Caminos (11), o a lo largo del gran eje de comunicaciones que es la Castellana, casos de Calvo Sotelo (1) y Plaza de Castilla (15).

De hecho, volviendo a la figura 2, son estos observatorios los que más se alejan del centro de su grupo ocupando una posición intermedia entre éste y el formado por Barajas y Getafe, especialmente en el total anual y en las precipitaciones de otoño y primavera.

Parece, por tanto, que los parques son factores de diferenciación pluviométrica, como lo son de las temperaturas (López Gómez y Fernández García, 1986) dentro del área urbana. El caso de la Plaza de Salamanca pudiera estar relacionado con la proximidad del observatorio a un edificio de la Glorieta con fachadas cóncavas, que podría acentuar el efecto de pantalla. Esta aparente simplicidad, sin embargo, es bastante más compleja, puesto que existen observatorios próximos y de emplazamiento similar que no responden a estas características como ocurre, por citar sólo alguno, con el observatorio de Escuelas Aguirre (8) muy cercano al Retiro y con un total anual casi 100 mm. superior al de este último.

Las precipitaciones estacionales introducen nuevos matices y diferencias entre los observatorios urbanos (figura 4), de tal modo que en invierno los más lluviosos parecen coincidir con los situados en los márgenes externos del perímetro urbano considerado. En las demás estaciones la curva sigue a grandes rasgos el trazado de la anual. Todo parece indicar que los frentes, principales mecanismos lluviosos en invierno, ven disminuida su actividad a medida que penetran en el interior urbano, como parece suceder en París con flujos del Oeste y Suroeste (Escourrou, 1981, p. 147); estas zonas «centrales», por el contrario, actuarían de manera activa con situaciones de inestabilidad termodinámicas, más frecuentes en primavera y otoño, épocas en las que las máximas precipitaciones se registran los observatorios situados en ellas.

La contaminación, que a escala del conjunto urbano desempeña un importante papel, como veremos más adelante, no parece ser la causa fundamental de la diferenciación pluviométrica dentro de la ciudad; baste señalar que los valores registrados en Sol y Plaza de Castilla son similares a los de Plaza de Salamanca (E. Prieto). Un estudio más

LA INFLUENCIA DE LA CIUDAD...

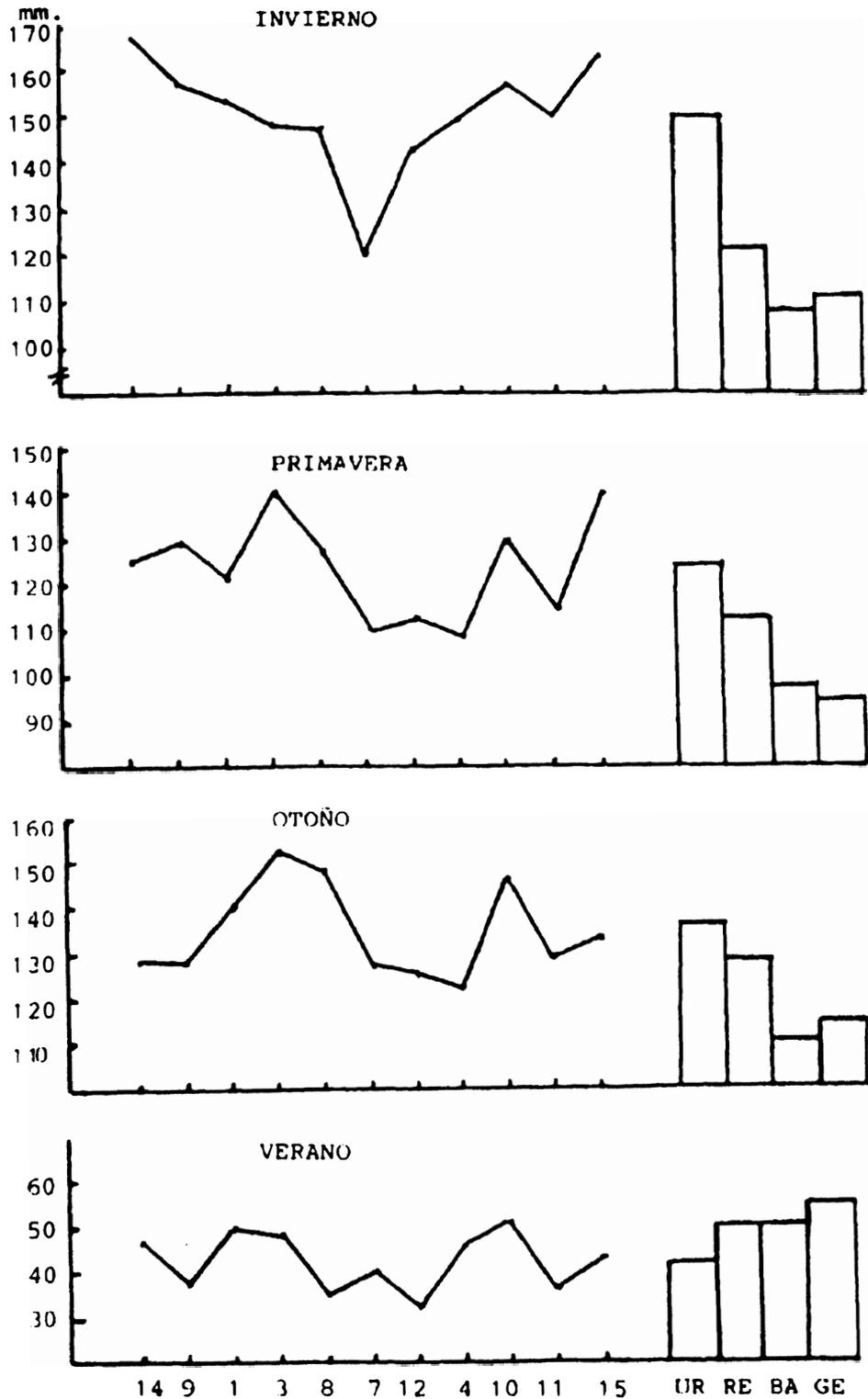


FIGURA 4.—Precipitaciones estacionales. Véanse leyenda figuras 1 y 2.

detallado en el que se contemplen variables como viento predominante en días de lluvia, volumen de precipitación con distintas situaciones sinópticas, volumen y trazado de las edificaciones, etc., nos permitirá establecer con más precisión las causas y mecanismos de estas diferencias intraurbanas, que el simple análisis de los datos que aquí realizamos pone en evidencia.

Aparece claro, sin embargo, que todos los observatorios situados en el entorno urbano, incluido Retiro, registran precipitaciones superiores a los dos extraurbanos, Barajas y Getafe (figuras 2 y 3). Estas diferencias se mantienen en todas las estaciones, salvo en verano, época durante la cual las zonas rurales, especialmente Getafe, registran una pluviometría mayor.

Las diferencias urbano-rurales

En Madrid, en efecto, se observa un comportamiento pluviométrico similar al observado en otras ciudades con totales anuales siempre superiores a los de las áreas próximas al mismo tiempo que aparecen las contradicciones, a que hicimos referencia, en lo relativo a los valores estacionales y a la cuantía de tales diferencias que es bastante variable.

Así en el período 82-88 (cuadro II) los totales anuales de Barajas y Getafe son un 17% y un 19% inferiores a las del conjunto urbano y las diferencias son aún más acusadas en primavera, invierno y otoño con porcentajes que oscilan entre un 16% y un 28%. En verano la relación se invierte y son los observatorios extraurbanos los más lluviosos, aunque las diferencias absolutas son muy pequeñas, dada la escasez pluviométrica del estío en nuestra zona.

En relación a Retiro (cuadro II), las diferencias son menores, entre el 9% y el 11% en los totales anuales y entre un 13% y un 16% en los estacionales, valores más próximos a los señalados en otros estudios, que generalmente toman como referencia parques urbanos (véase Escourrou, 1981, y Landsberg, 1981), y más próximos, también, a los que corresponderían a la pluviometría «normal» de nuestra zona, según se desprende al tomar como punto de referencia a las series de 1961 al 1988 (cuadro III): se mantiene la tendencia anterior con lluvias más elevadas en la ciudad, pero en porcentajes menores a la primavera y el otoño y las lluvias estivales son superiores en Barajas y Getafe.

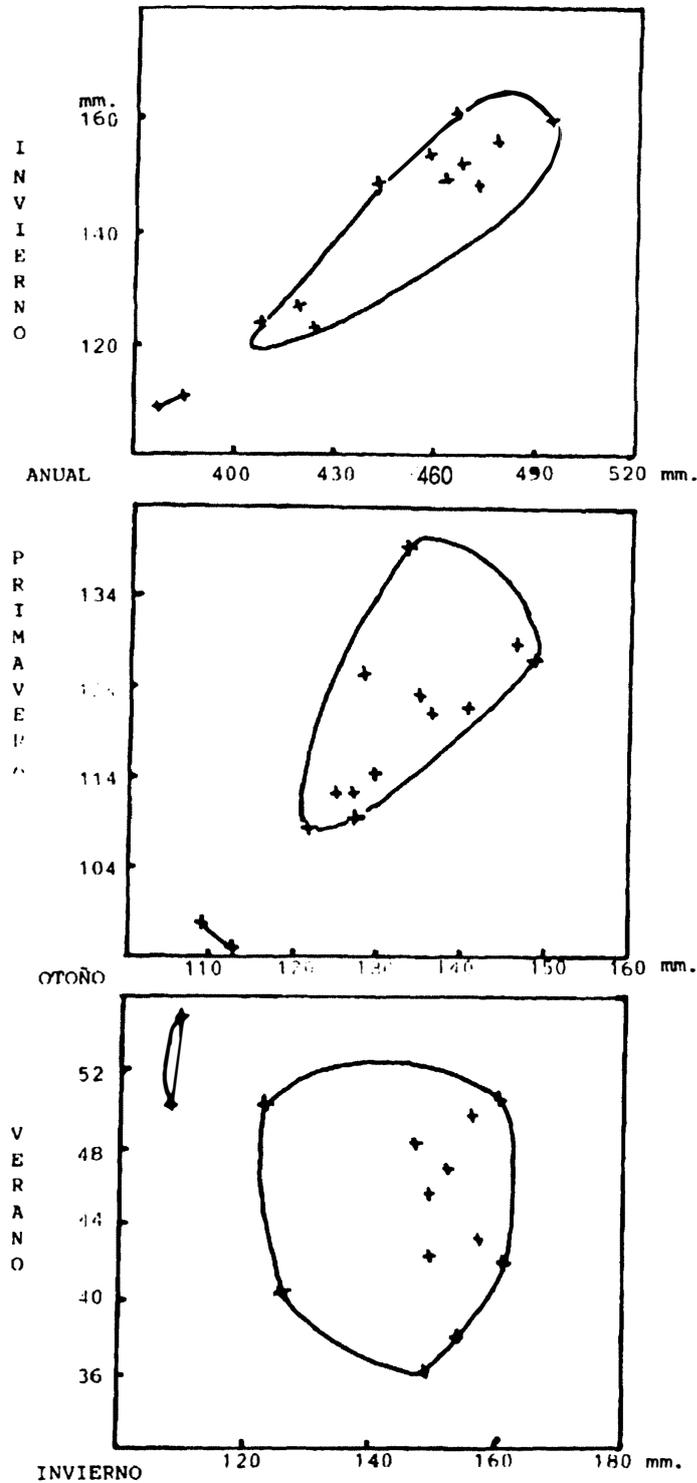


FIGURA 2.—Diferenciación entre el conjunto urbano y extraurbano según el análisis de cluster, y distribución de los observatorios en relación a las variables pluviométricas

En relación a las causas de tal incremento pluviométrico podemos señalar que el factor térmico queda relegado a una posición secundaria, al menos en la estación invernal. En efecto, en esta época la intensidad de la isla de calor es máxima, pero precisamente en los días de gran estabilidad atmosférica y se reduce hasta desaparecer en los días con tiempo ciclónico predominante (López G. y F. Fernández, 1984, y López G. y otros, 1986). Por ello, en invierno el aumento de las lluvias ha de relacionarse con la contaminación y los efectos mecánicos del espacio construido sobre los frentes, principales mecanismos de precipitación en esta época. En las demás estaciones, la contaminación es bastante menos acusada (L. Gómez y Fernández García, 1981) y las precipitaciones de tipo termodinámico las más frecuentes por lo que el caldeoamiento urbano podría ser un factor adicional en el aumento de las precipitaciones urbanas.

El análisis los días de niebla y lluvia en Retiro y Barajas parece ratificar lo que acabamos de decir.

Los días de lluvia y la intensidad pluviométrica

El aumento de los días de niebla en la ciudad, así como el de días de precipitación débil, son los dos casos más representativos de la influencia de la contaminación sobre la humedad y las precipitaciones.

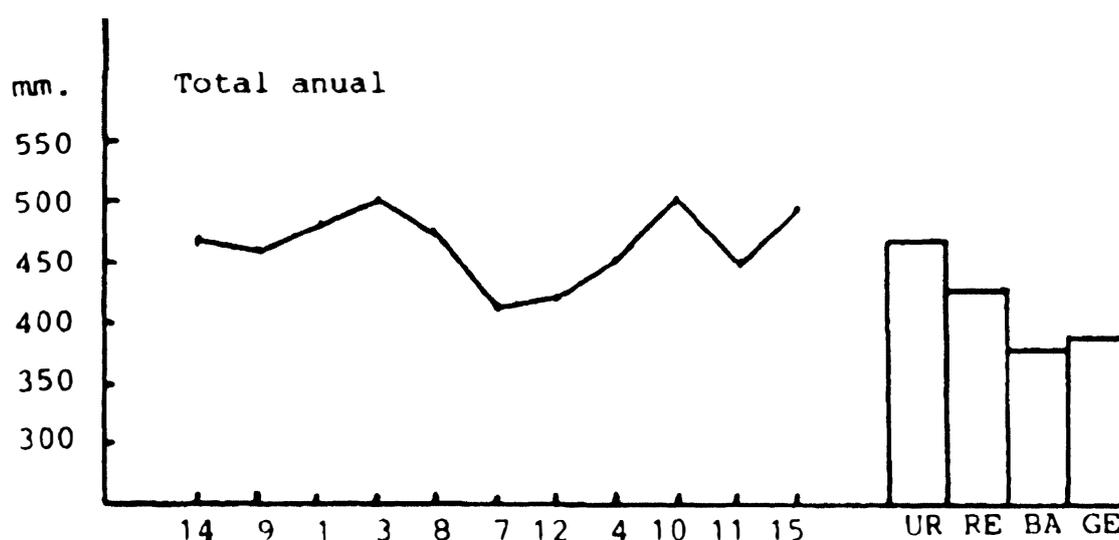


FIGURA 3.—Precipitaciones anuales (1982-88): UR, media del conjunto urbano.—RE, Retiro.—BA, Barajas.—GE, Getafe.—1.7 ... véase leyenda figura 1

LA INFLUENCIA DE LA CIUDAD...

CUADRO II
PRECIPITACIONES 1982-1988

	Urbano	Retiro	Barajas	Getafe
Anual.....	449	410	364	373
Invierno.....	149	121	108	111
Primavera.....	123	112	29	94
Verano.....	42	50	50	55
Otoño.....	135	127	109	113

DIFERENCIAS PLUVIOMÉTRICAS

	Del total urbano		Respecto a Retiro	
	Barajas	Getafe	Barajas	Getafe
Anual.....	-85 (19%)	-76 (17%)	-46 (11%)	-37 (9%)
Invierno.....	-41 (28%)	-38 (26%)	-13 (11%)	-10 (8%)
Primavera.....	-26 (21%)	+13 (31%)	0	+5 (10%)
Otoño.....	-26 (19%)	-22 (16%)	-18 (14%)	-16 (11%)

FUENTE: *Elaboración propia con datos del INM y Servicio de Contaminación del Ayuntamiento de Madrid.*

Las nieblas más frecuentes en nuestra zona son las de radiación, relaciones con anticiclones dinámicos situados sobre la Meseta, especialmente en invierno, por lo que afecta por igual a las zonas urbanas y rurales. En la ciudad, además, son estas situaciones de gran estabilidad las que favorecen la isla de calor, a pesar de lo cual el número de días de niebla es más del doble en Retiro (cuadro IV), lo que sólo puede ser explicado por los elevados índices de contaminación que se alcanzan en estas época, como señalamos anteriormente.

Los días de lluvia son, asimismo, bastante más elevados en Retiro que en las áreas suburbanas con una media anual, en el período 1961-68, de 101 días, frente a los 79 de Barajas y a los 77 de Getafe. En todos los observatorios estudiados predominan los días de intensidad pluviométrica inferior a 5 mm., que representan más del 50% de todos los días de lluvia, mientras que los de intensidad alta, superiores a 15 mm., oscilan entre el 6% y el 14% (cuadro V).

CUADRO III
PRECIPITACIONES DEL PERÍODO 1961-88

	Urbano (*)	Retiro	Barajas	Getafe
Anual	474	457	416	418
Invierno	142	144	133	131
Primavera	141	127	113	120
Verano	38	50	44	53
Otoño	141	139	122	116

* Calculados según la ecuación de regresión del cuadro 1.

ERENCIAS PLUVIOMÉTRICAS

	Del total urbano		Respecto a Retiro	
	Barajas	Getafe	Barajas	Getafe
Anual	—58 (12%)	—39 (8%)	—41 (8%)	—39 (7%)
Invierno	—9 (6%)	—13 (9%)	—11 (8%)	—13 (9%)
Primavera	—28 (20%)	—7 (5%)	—14 (10%)	—7 (5%)
Verano	6 (15%)	3 (8%)	—6 (12%)	3 (6%)
Otoño	—19 (13%)	—23 (16%)	—17 (12%)	—23 (16%)

Interesa destacar, sin embargo, cómo en el observatorio urbano ambos grupos alcanzan porcentajes superiores a los registrados en Barajas, frente a los comprendidos entre 5 y 15, que son más frecuentes en este último. Todo ello parece afianzar la doble influencia mecánica y térmica que la ciudad ejerce sobre los mecanismos lluviosos de tipo

CUADRO IV
DÍAS DE NIEBLA. MEDIA DEL PERÍODO 1961-1988

	Retiro	Barajas	Getafe
Invierno	25	14	14
Primavera	8	1	2
Verano	1	0	0
Otoño	11	5	6
Anual	45	20	22

FUENTE: *Elaboración con datos del INM.*

regional, así como la importancia de la contaminación en el aumento de las precipitaciones urbanas. En efecto, aunque en las distintas estaciones del año se mantiene esta tendencia, las máximas diferencias en los días de lluvia débil corresponden al invierno y otoño, períodos de máxima contaminación y predominio de situaciones meteorológicas de carácter frontal; en las demás estaciones aumentan las situaciones de tipo convectivo, los factores térmicos adquieren mayor protagonismo y las intensidades altas son más frecuentes.

CUADRO V
DISTRIBUCIÓN DE LOS DÍAS DE PRECIPITACIÓN
SEGÚN LA INTENSIDAD (EN % DEL TOTAL)

mm/día	anual		invierno		Primavera		Verano		Otoño	
	Bar.	Ret.	Bar.	Ret.	Bar.	Ret.	Bar.	Ret.	Bar.	Ret.
1-5	59	62	59	63	61	60	67	69	52	59
5-10	23	19	24	21	23	21	22	14	21	15
10-15	11	9	11	8	10	9	4	7	17	12
sup. a 15	7	10	6	8	6	10	7	10	10	14

FUENTE: *Elaboración a partir hojas quincenales de precipitaciones del INM.*

Consideraciones finales

Lo que acabamos de exponer demuestra que en Madrid, igual que existe una isla de calor, se produce un aumento de las precipitaciones en relación a las áreas suburbanas próximas. La contaminación y el efecto mecánico de los espacios construidos sobre los mecanismos pluviosos regionales parecen ser las causas más importantes durante el invierno, puesto que la isla de calor se debilita considerablemente en los períodos de inestabilidad frontal. En primavera y otoño, por el contrario, los factores térmicos y mecánicos (rozamiento, turbulencias...) incrementarían el efecto de las situaciones dinámicas productoras de precipitaciones. En verano la irregularidad y escasez son los rasgos típicos de la zona, las diferencias son muy pequeñas, aunque muestran una tendencia al aumento en las zonas extraurbanas, en las que el recalentamiento superficial es muy intenso, dada la continentalidad del espacio en que nos encontramos.

Esta mayor pluviometría se ve acompañada por un número de días de precipitación, también, más elevado, que afecta a los grupos de intensidades débiles, por debajo de 5 mm/día, y a los de intensidades altas. La dinámica atmosférica regional impone su ritmo, pero los mecanismos urbanos (contaminación, rozamiento y calentamiento) actúan sobre todos los tipos de tiempo productores de precipitaciones.

Dentro de la ciudad se producen, así mismo, diferencias pluviométricas que podrían estar relacionadas con las características de la zona donde se ubican los distintos observatorios y el mayor o menor protagonismo de los factores urbanos que actúan sobre los tipos de tiempo perturbados.

Determinar la mayor o menor importancia de cada uno de estos mecanismos, así como la influencia de los distintos espacios urbanos, exige un estudio más detallado del que aquí hemos realizado, por lo que sólo apuntamos como hipótesis de trabajo estas consideraciones finales.

BIBLIOGRAFÍA

- AYUNTAMIENTO DE MADRID (1982): *Plan de Saneamiento Atmosférico. Red Automática de Control*, Madrid, Delegación de Saneamiento y Medio Ambiente, 79 pp.
- BESSEMOULIN, P. (1980): «Urbanisation et Météorologie», *Météorologie*, VI, 23, pp. 51-67.
- BRUNET INDIA, M. (1989): *Los efectos de la urbanización en el clima local. Un ensayo de climatología urbana: el caso de Tarragona*, tesis doctoral, Departamento de Geografía, Universidad de Barcelona, 3 tomos.
- CATALÁ y otros (1980): «Atmospheric pollution by particulate matter and weekly regime of rain in Madrid», Clermont-Ferrand, *VII Coloquio sobre Física de las nubes*, pp. 597-598.
- CHAGNON, S. A., y otros (1976): «A hypothesis for urban rainfall anomalies», *J. App. Meteorol.*, 17, 5, pp. 578-586.
- CHAGNON, S. A. (1979): «Rainfall changes in summer caused by St. Louis», *Science*, 205, pp. 402-404.
- DETTWILER, J. (1970): «Incidence possible de l'activité industrielle sur les précipitations à Paris», Ginebra, *O.M.M. nota técnica 108*, pp. 361-362.
- ESCOURROU, G. (1981): *Climat et environnement. Les facteurs locaux du climat*, París, Masson, 182 pp.
- LANDSBERG, H. (1981): *Urban climate*, New York, Academic Press, pp. 178-210.
- LÓPEZ GÓMEZ, A. y FERNÁNDEZ GARCÍA, F. (1984): «La isla de calor en Madrid. Avance de un estudio de clima urbano», *Estudios Geográficos*, 174, pp. 5-34.
- LÓPEZ GÓMEZ, A., y otros (1988): *El clima urbano de Madrid: La isla de calor*, Madrid, I.E.G.A., C.S.I.C., 199 pp.

LA INFLUENCIA DE LA CIUDAD...

PRIETO, E.: *La contaminación en Madrid entre 1979 y 1988*. Universidad Autónoma de Madrid, Memoria de Licenciatura (en realización. Cortesía de la autora).

RESUMEN.—*La influencia de la ciudad sobre las precipitaciones: el caso de Madrid.* Se analiza la influencia de Madrid sobre las precipitaciones. Se observa que en la ciudad las precipitaciones aumentan entre un 11% y un 20%. Las diferencias son máximas en invierno y se relacionan con un aumento de los días de precipitación débil, inferiores a 5 mm/día, y alta, superiores a 15 mm/día.

PALABRAS CLAVE.—Clima urbano. Humedad. Precipitaciones. Madrid.

ABSTRACT.—*The urban precipitation. The example of Madrid.* In these notes we study the urban effects on precipitation. In Madrid, the city is more rainy than the surroundings, in a ratio that ranges between 11% and 20%. The maximum urban-rural differences being reached in winter. The most rain are produced on intensity days below 5 mm. and above 15 mm.

KEY WORDS.—Urban climate. Precipitation. Madrid.

RESUMÉ.—*L'influence de l'urbanisation sur les précipitations a Madrid.* Nous étudions l'influence de l'urbanisation sur les précipitations. A Madrid la ville est plus arrosée que la périphérie avec différences oscillant entre un 11% y 20% et le maximum de différence est en hiver. Les jours de précipitations sont, aussi, plus élevé en ville et l'intensité inférieure a 5 mm. et supérieures, a 15 mm. sont les plus fréquentes.

MOTS CLÉ.—Climat urbaine. Humidité. Précipitations. Madrid.