



CONAMA10
CONGRESO NACIONAL
DEL MEDIO AMBIENTE

COMUNICACIÓN TÉCNICA

Influencia de precursores químicos y variables climáticas sobre la concentración de ozono troposférico en Córdoba

Autor: Pablo Pavón Domínguez

Institución: Universidad de Córdoba

e-mail: g22padop@uco.es

Otros Autores: Pablo Pavón-Domínguez (Universidad de Córdoba); Ana Ariza-Villaverde (Universidad de Córdoba); Eduardo Gutiérrez de Ravé (Universidad de Córdoba); Francisco Jiménez-Hornero (Universidad de Córdoba); Nazaret Montilla-López (Universidad de Córdoba).

RESUMEN

El ozono troposférico es un contaminante secundario que afecta a la salud humana, la calidad ambiental y reduce los rendimientos agrícolas. Su formación se rige por una reacción reversible con óxidos de nitrógeno (NO_x) y compuestos orgánicos volátiles (COV) en presencia de radiación ultravioleta. La actividad industrial y las emisiones procedentes del tráfico rodado producen compuestos químicos que actúan como precursores en la formación de ozono, elevándose su concentración al combinarse con altas temperaturas.

El presente trabajo tiene como finalidad determinar la influencia que ejercen diferentes contaminantes primarios antropogénicos sobre las concentraciones diarias de ozono (medias y máximas) en ambientes urbanos. Asimismo, se estudia la influencia de determinados agentes atmosféricos (temperatura, humedad relativa, precipitación y régimen de viento) sobre la variación de las concentraciones de ozono.

Los datos de concentraciones de ozono y contaminantes químicos se obtienen de las dos estaciones de medida ubicadas en Córdoba por la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. La estación de Lepanto se encuentra cercana al casco histórico, en una de las principales avenidas de la ciudad, mientras que la estación de la Asomadilla está localizada en un parque periurbano del noroeste, próxima a una zona residencial. Los valores de las variables climáticas se han tomado de la estación agroclimática de Córdoba (Consejería de Agricultura y Pesca). El periodo analizado corresponde a los meses de abril y mayo entre los años 2006 y 2010.

En la primera fase del trabajo se utilizan test estadísticos de comparación de medias para constatar diferencias entre los valores de ozono medidos en cada una de las estaciones. Posteriormente se usa el test de correlación de Pearson a niveles de significación de 0.01 y 0.05 para el análisis de correlaciones entre variables. Finalmente, la correlación entre variables categóricas y niveles de ozono se comprueba mediante el estadístico χ^2 .

Los primeros resultados obtenidos muestran que los niveles de ozono en la estación periférica son significativamente superiores a los de la zona centro. Además, las variables químicas y meteorológicas inciden de diferente modo en las concentraciones de ozono medidas en cada una de las estaciones seleccionadas.

Palabras Clave: Ozono; contaminación urbana; serie temporal

Índice

1. INTRODUCCIÓN
2. METODOLOGÍA
 - 2.1. Localización y variables de estudio
 - 2.1.1. Ozono Troposférico
 - 2.1.2. Contaminantes Químicos
 - 2.1.3. Variables Climáticas
 - 2.2. Análisis de los datos
 - 2.2.1. Test de Correlación de Pearson
 - 2.2.2. Test de independencia de variables categórica. Chi-cuadrado.
3. RESULTADOS
 - 3.1. Descripción de las Concentraciones de Ozono
 - 3.2. Contaminantes Químicos
 - 3.2.1. Descripción de las Concentraciones de Contaminantes Químicos
 - 3.2.2. Concentraciones de Ozono y Contaminantes Químicos
 - 3.3. Variables Climáticas
 - 3.3.1. Temperatura
 - 3.3.2. Humedad Relativa
 - 3.3.3. Velocidad del Viento
 - 3.3.4. Radiación Solar
 - 3.3.5. Precipitación
 - 3.3.6. Concentraciones de Ozono y Variables Climáticas
 - 3.3.7. Concentraciones de Ozono y Eventos de Lluvia
 - 3.3.8. Concentraciones de Ozono y Dirección del Viento
4. CONCLUSIONES
5. REFERENCIAS
6. ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

1. INTRODUCCIÓN

El ozono troposférico es un contaminante secundario que produce efectos indeseables en el medio ambiente. Su formación está asociada a la actividad antropogénica (Bojkov, 1986; Volz y Kley, 1988), fundamentalmente debido al tráfico rodado y a la actividad industrial, y por este motivo, se ha convertido en uno de los contaminantes de mayor relevancia en nuestras ciudades. En la actualidad, los niveles de ozono se incluyen en la evaluación de la calidad atmosférica como agente contaminante de relevancia.

La Directiva 2002/3/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa al ozono, establece unos valores objetivo a largo plazo para alcanzar en el año 2010. Asimismo, fija unos umbrales de información y de alerta. En algunas zonas europeas, como sucede en la cuenca mediterránea, los niveles de ozono troposférico suelen presentar dificultades para su control. De hecho, es habitual que a lo largo del año se registren niveles de concentración superiores a los valores umbrales que fija esta Directiva.

El ozono se forma a partir de las emisiones de óxidos de nitrógeno NO_x y de compuestos orgánicos volátiles, según la reacción reversible $[\text{NO}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons \text{NO} + \text{O}_3]$ (e.g. Graedel y Crutzen, 1993). Sin embargo, predecir la concentración de ozono es un proceso complejo (Güsten et al., 1994) debido a que, además de la participación de precursores químicos (Sillman, 1999), en su formación y transporte influyen las condiciones meteorológicas (Bloomfield et al., 1996; Gardner y Dorling, 2000; Demuzere et al., 2009; Diem, 2009).

La reacción de formación del ozono es promovida por la radiación solar, por lo que se produce un ascenso en los niveles de ozono en las horas centrales del día y durante los meses estivales. Este hecho determina patrones de ozono diarios y estacionales muy marcados e influenciados por las características climáticas locales (e.g. Adame et al., 2007).

A través de la Red de Vigilancia y Control de la Contaminación Atmosférica de Andalucía, se realizan mediciones de diversos gases contaminantes, principalmente NO_2 , SO_2 , CO y partículas en suspensión. Estos agentes químicos se producen fundamentalmente por las emisiones de los vehículos y la actividad industrial. Los óxidos de nitrógeno se forman por la oxidación del nitrógeno atmosférico durante los procesos de combustión a altas temperaturas, las emisiones de óxidos de azufre, por su parte, se producen en las reacciones de combustión de combustibles fósiles (diesel). El monóxido de carbono, que es el contaminante del aire que se encuentra en mayor cantidad, se produce como consecuencia de la combustión incompleta de hidrocarburos. Finalmente, las partículas se clasifican en función de su masa y tamaño en sedimentables y de suspensión debido a su origen diverso.

Asimismo, la formación de ozono se ve favorecida durante el movimiento gaseoso de sus precursores en la atmósfera (Güsten y Heinrich, 1988), por lo que las condiciones ambientales determinan el transporte de las partículas de ozono (Guicherit y Van Dop, 1976), generando altas concentraciones en zonas cercanas a las de emisión de sus precursores (e.g. Kalabokas et al., 2000 y Dueñas et al., 2004). Además de afectar a la salud humana en las áreas rurales próximas a grandes urbes, la alta concentración de ozono en los niveles más bajos de la atmósfera provoca una reducción de la actividad fotosintética de las plantas, reduciendo considerablemente los rendimientos agrícolas.

Los procesos climáticos de naturaleza sinóptica intervienen de manera determinante en las concentraciones locales de ozono (e.g. Heidorn y Yap, 1986; Cheng et al., 2001). Andalucía es un área potencialmente vulnerable a la contaminación por ozono (Adame et al., 2007), dado que coexisten varios fenómenos meteorológicos (elevada radiación solar, altas temperaturas, etc.) junto con actividades antropogénicas en ciudades de tamaño medio y grande. La combinación de todos estos factores, los cuales poseen una naturaleza muy diversa, dificulta la predicción de los valores máximos de ozono.

Han sido muchos los modelos diseñados con el objetivo de predecir la concentración de ozono (e.g. Lengyel et al.; 2004; Al-Alawi et al., 2008). En este trabajo se pretende profundizar en el grado en el que todas estas variables -químicas y climáticas- intervienen en la formación de ozono. Para evaluar geográficamente la influencia de los agentes químicos y las condiciones meteorológicas sobre la concentración de ozono, se analiza la evolución de las concentraciones medias y máximas diarias en dos ubicaciones de la ciudad.

2. METODOLOGÍA

2.1. Localización y variables de estudio.

El presente trabajo se ha realizado en Córdoba, ciudad situada en el sur de España (Fig. 1). Los datos utilizados corresponden a mediciones registradas durante los meses de primavera (abril y mayo) entre los años 2006 a 2010. Los datos de ozono y agentes químicos han sido obtenidos en dos estaciones de medición de la calidad del aire, mientras que los datos meteorológicos proceden de la estación agroclimática.

Fig. 1 Plano localización de Córdoba.



Fuente: Google Earth

El clima en Córdoba es mediterráneo con notable influencia continental. Durante la primavera, las temperaturas comienzan un ascenso paulatino, con una media de 24°C, pudiéndose alcanzar medias diarias inferiores a 15°C y máximas cercanas a los 36°C, existiendo una gran amplitud térmica a lo largo del día. Una de las características más importante de la climatología en Córdoba es la irregularidad de su precipitación,

combinándose prolongados periodos sin lluvias con fuertes precipitaciones, principalmente en las estaciones de primavera y otoño. La precipitación media anual es de 500 mm. La humedad relativa en primavera, a causa de las altas temperaturas y de la precipitación, oscila notablemente entre días con un 80% de media y días con un 12%.

Durante la primavera y el verano, los vientos predominantes en la ciudad de Córdoba proceden del suroeste. Estos vientos se introducen desde el Atlántico a través del Valle del Guadalquivir, influyendo en el movimiento y transporte de los gases atmosféricos.

2.1.1. Ozono Troposférico.

Las series de concentración de ozono han sido obtenidas a partir de los datos facilitados por la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. Los meses objeto de estudio son Abril y Mayo (primavera) durante los años 2006 a 2010.

La Consejería de Medio Ambiente realiza mediciones de ozono a través de la Red de Vigilancia y Control de la Contaminación Atmosférica en Andalucía. En la capital cordobesa se encuentran actualmente operativas dos estaciones de medición, una de ellas situada en Lepanto ($37^{\circ} 53' N$, $4^{\circ} 45' W$) en un distrito del este cercano al centro y con alta densidad de tráfico, y la otra en la Asomadilla ($37^{\circ} 54' N$, $4^{\circ} 46' W$), en un parque periurbano del noreste, elevado sobre el nivel de la ciudad y próximo a una zona residencial (Fig. 2).

Fig. 2 Plano localización de las estaciones de medición en Córdoba.



Fuente: Google Earth

Los datos registrados en estas estaciones son mediciones de la concentración de ozono con una frecuencia de 10 minutos. Estos datos han sido agrupados para obtener, por un lado, medias diarias y por otro, máximas de ozono diario. En total son 305 datos diarios para cada variable (media y máxima) y para cada una de las estaciones (Lepanto y Asomadilla).

2.1.2. Contaminantes Químicos.

Las concentraciones de NO₂, CO, SO₂ y partículas también se obtienen de las estaciones de medición de contaminantes atmosféricos (Fig. 1). Los datos se toman en series de 10 min y, al igual que en el caso del ozono, han sido agrupados para la obtención de valores medios diarios.

2.1.3. Variables Climáticas.

La Junta de Andalucía dispone de una estación meteorológica en Córdoba dentro de la Red de Estaciones Agroclimáticas de Andalucía, de la que se obtienen los datos diarios de las variables de estudio: temperatura media, temperatura máxima, temperatura mínima, amplitud de térmica, humedad relativa media, humedad relativa máxima, humedad relativa mínima, rango de la humedad relativa, velocidad del viento, dirección del viento, radiación solar y precipitación. La estación meteorológica se encuentra situada en el suroeste de la capital (37° 51' N, 4° 48' W) a 117 m sobre el nivel del mar (Fig. 1).

2.2. Análisis de los datos.

2.2.1. Test de Correlación de Pearson.

El coeficiente de correlación de Pearson (r) entre las concentraciones diarias de ozono y, por un lado, las concentraciones de contaminantes químicos, y por otro las variables climáticas, se calcula para un nivel de significación $\alpha = 0.05$.

Posteriormente se estima el coeficiente de determinación (R^2) entre aquellos variables con un coeficiente de correlación estadísticamente significativo. Este coeficiente representa el porcentaje de la variación de los valores de concentración de ozono que es explicado por los diferentes valores de las variables químicas. El método seleccionado para realizar la regresión múltiple fue el método de pasos sucesivos.

2.2.2. Test de independencia de variables categóricas. Chi-cuadrado.

Para la evaluación de la dependencia entre variables categóricas utilizamos el test de chi-cuadrado. En este caso pretendemos conocer, por un lado, si la precipitación interviene en la regulación de los niveles de ozono medios y máximos y por otra parte, si la dirección predominante del viento incide en la formación y transporte de las partículas de ozono en la ciudad de Córdoba.

Las variables “ozono medio” y “ozono máximo” son para este caso categorizadas en tres estratos de concentración: nivel bajo, nivel medio y nivel alto. Para ello se consideran conjuntamente los valores diarios de ambas estaciones y se procede a categorizar como nivel bajo el 15% de los datos, como nivel medio el 70% y como nivel alto el 15% restante.

La precipitación diaria en Córdoba es categorizada en una variable dicotómica denominada “Evento de Lluvia”. Esta variable toma valor 1 en aquellos días en los que se registra una precipitación superior a 5 mm, mientras que toma valor 0 aquellos en los que la precipitación es inferior a 5 mm.

Para la categorización de la variable “Dirección del Viento” se asigna valor 1 a aquellos días en los que el viento predominante procede del noreste (0° a 90°), valor 2 a los que proceden del sureste (90° a 180°), valor 3 a los que proceden del suroeste (180° a 270°) y valor 4 a los procedentes del noroeste (270° a 360°).

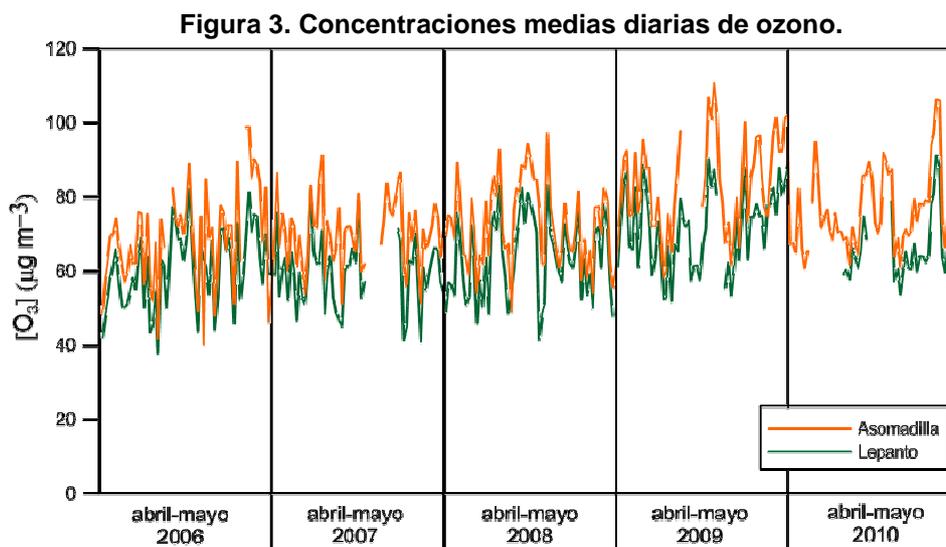
A continuación se calculan las frecuencias esperadas en las tablas de contingencia y se obtiene el estadístico chi-cuadrado (χ^2) para cada uno de los casos. Se considera un nivel de significación mínimo de $\alpha = 0.005$. Los grados de libertad (gl) de la matriz se calculan mediante el siguiente producto: $(h - 1) \times (k - 1)$ (siendo h y k el número de filas y columnas). La regla de decisión para este contraste de hipótesis será:

H_0 : Hipótesis nula/Independencia	$C_0: (0 < \chi^2_\alpha < \chi^2_{(gl)})$	No significativo
H_1 : Hipótesis alternativa	$C_1: (0 < \chi^2_\alpha < \chi^2_{(gl)})$	Significativo

3. RESULTADOS

3.1. Descripción de las Concentraciones de Ozono

En la figura 3 se muestran los registros medios diarios de concentración de ozono troposférico en las dos estaciones de estudio (Asomadilla y Lepanto). Ambas series muestran en los periodos considerados una tendencia al alza de la concentración, intuyéndose que las concentraciones registradas en las dos estaciones se encuentran estrechamente relacionadas. Asimismo, puede observarse que la estación de la Asomadilla muestra concentraciones medias diarias más elevadas que las registradas en la estación de Lepanto.



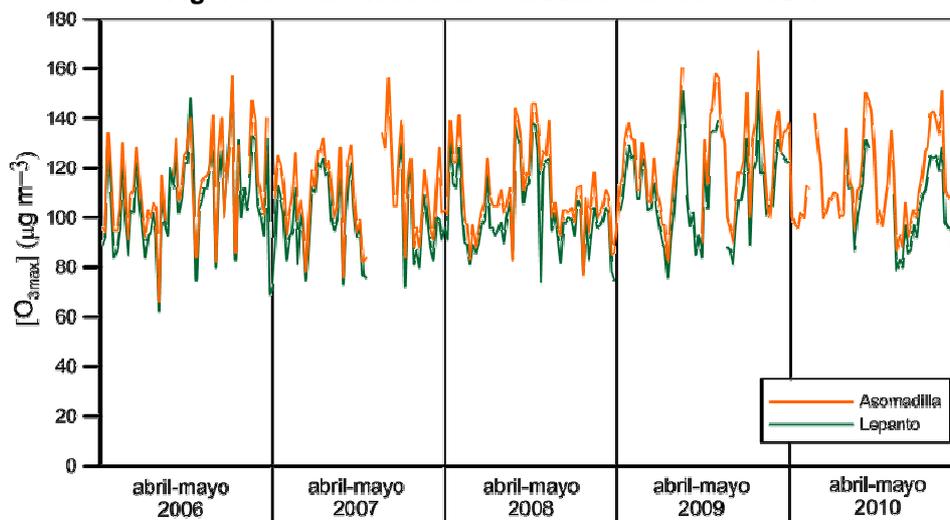
Si consideramos las concentraciones por años en las dos estaciones (Tabla 1) observamos que los valores medios son también más elevados en la estación de la Asomadilla. En consonancia con lo anteriormente expuesto, los valores medios han ido aumentando desde el año 2006, alcanzándose los valores más altos en el año 2009. Los valores máximos y mínimos son también superiores en la estación de la Asomadilla en cada uno de los periodos.

Tabla 1. Concentración de ozono media, máxima y mínima por estaciones y años.

Año	Estación	media	σ^2	max	min
		[O ₃] ($\mu\text{g m}^{-3}$)			
2006	Asomadilla	68.91	13.35	98.90	40.30
	Lepanto	60.64	10.27	82.10	37.80
2007	Asomadilla	70.37	8.91	91.30	51.00
	Lepanto	59.85	8.87	81.90	40.90
2008	Asomadilla	72.40	11.02	97.00	49.00
	Lepanto	63.11	11.03	83.20	40.50
2009	Asomadilla	83.46	12.87	110.50	58.00
	Lepanto	71.39	10.60	90.10	51.70
2010	Asomadilla	76.47	10.40	106.30	60.80
	Lepanto	66.26	8.61	91.20	53.80

La figura 4 representa los valores máximos diarios de ozono en las dos estaciones. Puede apreciarse que los niveles se muestran íntimamente relacionados y que no suelen diferir excesivamente entre las dos estaciones, sin embargo, los niveles más altos (extremos) se continúan registrando en la estación de la Asomadilla.

Figura 4. Concentraciones máximas diarias de ozono.



Con el objeto de evaluar el grado de interdependencia entre las concentraciones medias y máximas registradas en ambas estaciones, se procede a realizar un test de correlación lineal (Tabla 2). En la tabla se observa que tanto los valores medios diarios como los

máximos se encuentran directamente correlacionados con un nivel de significación superior a 0.99. Destaca que existe una correlación cercana a la unidad entre los valores máximos diarios registrados en ambas estaciones.

Tabla 2. Coeficientes de correlación entre concentraciones medias y máximas de ambas estaciones. ($\alpha > 0.99$)

r		[O ₃]	[O ₃] _{max}
		ASOMADILLA	
[O ₃]	LEPANTO	0.83	0.51
[O ₃] _{max}		0.62	0.95

3.2. Contaminantes Químicos

3.2.1. Descripción de las Concentraciones de Contaminantes Químicos

En cuanto a los contaminantes químicos considerados en el presente estudio (Tabla 3), puede observarse que en la estación de la Asomadilla se obtienen los niveles medios más altos, tanto de dióxido de azufre como de monóxido de carbono. Las concentraciones medias de partículas en suspensión suelen tener valores similares en ambas estaciones. Sólo en el caso del dióxido de nitrógeno se aprecian valores superiores en la estación de Lepanto, lo cual está en consonancia con una menor concentración media de ozono, según la reacción $[\text{NO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{NO} + \text{O}_3]$ (e.g. Graedel y Crutzen, 1993). A continuación también se representan gráficamente las concentraciones de contaminantes químicos de ambas estaciones (Fig. 5).

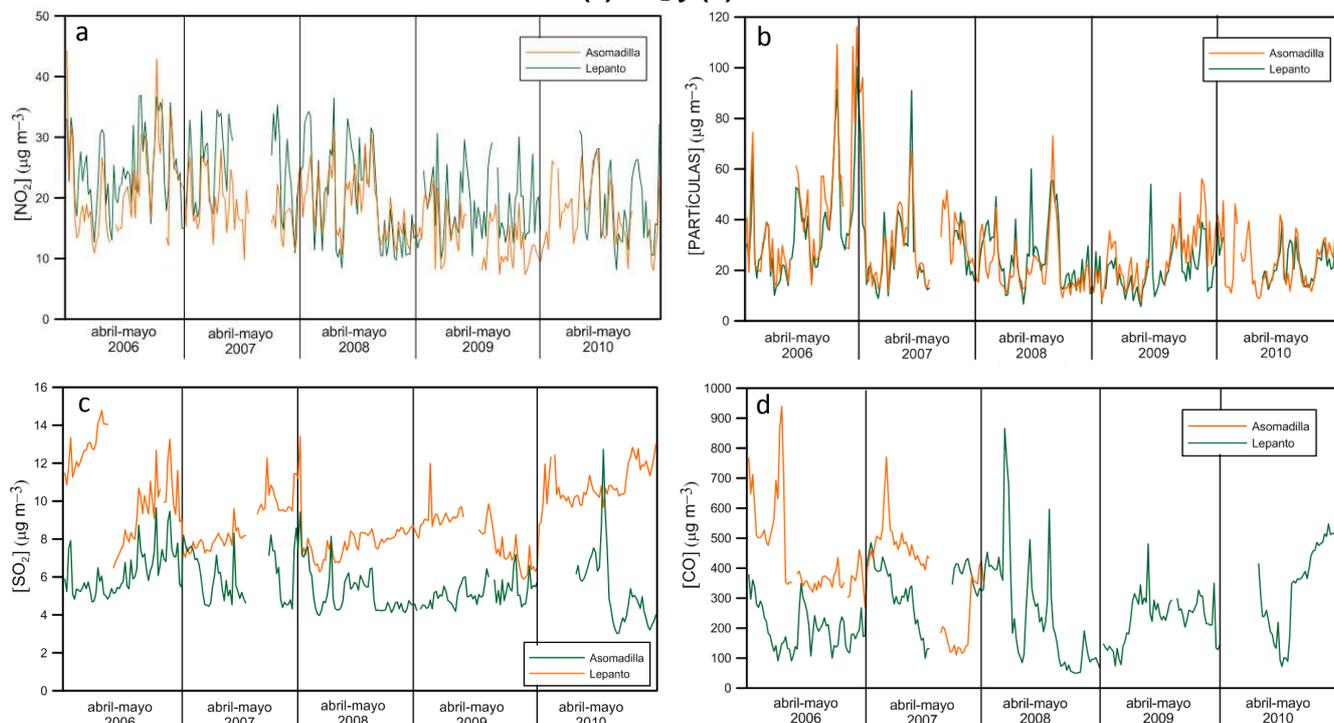
Tabla 3. Concentraciones medias de agente contaminantes por estaciones y años.

Año	Estación	SO ₂	Partículas	NO ₂	CO
		[concentración media] ($\mu\text{g m}^{-3}$)			
TOTAL	Asomadilla	9.24	28.70	17.97	385.42 ⁽¹⁾
	Lepanto	5.58	26.47	21.40	261.80
2006	Asomadilla	10.75	44.61	21.57	441.05
	Lepanto	6.20	37.00	24.67	197.07
2007	Asomadilla	8.79	29.39	18.56	372.43
	Lepanto	6.08	26.38	25.79	333.42
2008	Asomadilla	7.76	20.53	18.58	(2)
	Lepanto	5.10	24.89	20.17	242.45
2009	Asomadilla	8.14	27.31	14.54	(2)
	Lepanto	5.16	20.64	19.98	230.80
2010	Asomadilla	10.85	22.43	17.03	(2)
	Lepanto	5.34	21.70	19.16	341.75

⁽¹⁾ Valor medio en el periodo 2006-2007.

⁽²⁾ No se disponen de mediciones para este periodo.

Figura 5. Concentraciones medias diarias de contaminantes químicos. (a) NO₂ (b) Partículas (c) SO₂ y (d) CO.



registros extremos. Este hecho puede constatarse con el mayor coeficiente de correlación entre los niveles de NO₂ y los niveles de partículas entre ambas estaciones (Tabla 3).

Tabla 3. Coeficientes de correlación entre concentraciones medias de contaminantes químicos de ambas estaciones. ($\alpha > 0.95$)

<i>r</i>		[SO ₂]	[PART]	[NO ₂]	[CO]
		ASOMADILLA			
[SO ₂]	LEPANTO	0.15	0.38	0.39	
[PART]			0.85	0.28	
[NO ₂]		0.13	0.37	0.64	
[CO]				0.15	

Las concentraciones de SO₂ y de CO presentan tendencias diferentes en cada una de las estaciones, por lo que el lugar de medición es determinante para estos agentes químicos. De la Tabla 3 también puede extraerse información sobre la correlación entre diferentes variables químicas. Como puede apreciarse, las concentraciones diarias de NO₂ en la estación de la Asomadilla se muestran correlacionadas con las concentraciones diarias de las variables químicas de la estación de Lepanto. Por el contrario, la concentración de CO no está correlacionada con el resto de variables, como consecuencia, su concentración es independiente del resto de agentes medidos en la otra estación.

3.2.2. Concentraciones de Ozono y Contaminantes Químicos

Los coeficientes de correlación ($\alpha > 0.05$) entre los niveles de ozono medios diarios y los niveles de concentración de químicos contaminantes se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Coeficientes de correlación entre concentraciones medias de ozono y contaminantes químicos por estaciones y años. ($\alpha > 0.05$).

Año	Estación	SO ₂	Partículas	NO ₂	CO	R ²
		[concentración media] ($\mu\text{g m}^{-3}$)				
2006-2010	Asomadilla			-0.24	-0.23	0.04
	Lepanto		0.16	0.52	0.23	0.29
2006	Asomadilla				-0.26	0.07
	Lepanto		0.27			0.07
2007	Asomadilla					
	Lepanto					
2008	Asomadilla				^a	
	Lepanto		-0.26	-0.43	-0.38	0.19
2009	Asomadilla		0.35		^a	0.12
	Lepanto		0.29		-0.31	0.28
2010	Asomadilla	0.37	0.29		^a	0.08
	Lepanto		0.45			0.21

^(a) No se disponen de mediciones de CO para este periodo.

En general, se aprecia una alta correlación entre las concentraciones de ozono y de partículas, asimismo, los niveles de CO se encuentran inversamente correlacionados con los niveles de ozono, siendo en ambos casos más evidente en la estación céntrica (Lepanto). En general, las emisiones de SO₂ y de NO₂ no muestran correlaciones estadísticamente significativas con las concentraciones medias de ozono.

Se muestran en la tabla 5 las correlaciones estadísticamente significativas ($\alpha > 0.05$) entre la **concentración máxima diaria de ozono** y las variables de contaminantes químicos.

Tabla 5. Coeficientes de correlación entre concentraciones máximas de ozono y contaminantes químicos por estaciones y años. ($\alpha > 0.05$).

Año	Estación	SO ₂	Partículas	NO ₂	CO	R ²
		[concentración media] ($\mu\text{g m}^{-3}$)				
2006-2010	Asomadilla		0.35	0.22		0.14
	Lepanto	0.33	0.30	0.34		0.15
2006	Asomadilla		0.43	0.35		0.25
	Lepanto	0.38	0.32	0.39		0.16
2007	Asomadilla		0.32			0.10
	Lepanto		0.41	0.41		0.17
2008	Asomadilla	0.29	0.47	0.46		0.71
	Lepanto	0.53	0.32	0.29		0.28
2009	Asomadilla		0.46	0.28		0.22
	Lepanto	0.59	0.54	0.41		0.41
2010	Asomadilla	0.53	0.42	0.35		0.42
	Lepanto	0.64	0.41	0.78		0.60

Como puede observarse, las concentraciones de partículas están directamente correlacionadas con las concentraciones máximas de ozono, hecho que se produce en ambas estaciones de medición.

Los niveles de NO_2 se muestran correlacionados directamente con las concentraciones máximas de ozono. A pesar de que la ecuación de Graedel and Crutzen (1993) establece que la relación entre ambas variables debe ser inversa, estos resultados muestran que aquellos días en los que la concentración de NO_2 es elevada se alcanzan también altos valores en las máximas de ozono, lo que nos indica que existe cierto desfase entre ambas mediciones para que tenga lugar la reacción de formación de ozono.

Las emisiones de SO_2 también se encuentran directamente correlacionadas con los niveles máximos de ozono. Los valores más elevados del coeficiente de correlación de Pearson para el NO_2 y el SO_2 se producen en la estación de Lepanto.

Si analizamos conjuntamente las tablas 4 y 5 podemos observar que los agentes químicos producidos por la actividad antropogénica poseen una influencia notable en las concentraciones de ozono, especialmente en los valores máximos. Concretamente, la concentración de NO_2 afecta de manera determinante a los valores extremos de ozono, mientras que su influencia sobre los valores medios no es significativa.

El CO ejerce influencia exclusivamente en la concentración media de ozono. Al contrario sucede con el SO_2 , que se muestra influyente exclusivamente en los valores máximos. La concentración de partículas, que se muestra como el agente más determinante, determina tanto los valores máximos como los valores medios de ozono.

En las tablas 4 y 5 se incluye el coeficiente de determinación (R^2) de la regresión múltiple llevada a cabo con aquellas variables correlacionadas a un nivel de significación mayor de 0.05. Los valores del coeficiente varían desde 0.04 hasta 0.71, lo que demuestra una enorme variabilidad en cuanto a la influencia que poseen en su conjunto las variables químicas estudiadas sobre el ozono troposférico.

En cada uno de los periodos considerados ninguna variable aparece de manera determinante en la regresión múltiple. En cualquier caso, se ha observado que el coeficiente de determinación suele ser más alto ($R^2 > 0.30$) cuando el NO_2 interviene en el modelo de regresión múltiple.

3.3. Variables Climáticas

3.3.1. Temperatura

En la tabla 6 se muestran diferentes variables de temperaturas diarias registradas en Córdoba. La temperatura media diaria entre los meses de Abril y Mayo ronda aproximadamente los 17°C . La media de la temperatura máxima diaria suele rondar los 25°C , alcanzándose valores superiores a los 35°C y descendiendo por debajo de los 15°C . La temperatura mínima, por su parte, oscila entre 19°C y 3°C . La amplitud térmica en Córdoba suele ser de 13°C , aunque puede llegar a oscilar por encima de los 25°C .

Tabla 6. Valores medios, máximos y mínimos de Temperatura por periodos.

Año	T _{max} (°C)				T _{min} (°C)			
	máximo	mínimo	media	σ ²	máximo	mínimo	media	σ ²
2006-2010	38.80	13.60	24.28	4.60	19.00	2.70	10.88	3.17
2006	38.80	17.20	26.19	4.56	19.00	7.50	12.68	2.85
2007	33.90	14.50	22.90	4.75	16.20	4.80	10.90	2.37
2008	30.50	13.60	23.28	3.84	15.90	3.40	10.40	2.89
2009	34.20	16.60	24.53	4.78	16.90	2.70	9.36	3.64
2010	35.20	16.90	24.42	4.44	15.60	3.80	11.12	3.06
Año	T _{med} (°C)				T _{rango} (°C)			
	máximo	mínimo	media	σ ²	máximo	mínimo	media	σ ²
2006-2010	27.80	8.70	17.44	3.39	29.70	3.40	13.40	4.39
2006	27.80	14.10	19.12	3.32	21.00	3.40	13.52	4.01
2007	24.20	8.70	16.60	3.31	21.30	3.80	12.00	4.27
2008	21.70	9.80	16.46	2.49	23.50	4.80	12.89	4.57
2009	26.20	11.40	17.34	3.83	29.70	6.70	15.16	4.71
2010	25.80	11.20	17.66	3.29	21.50	5.20	13.30	3.91

3.3.2. Humedad Relativa

La humedad relativa media en el periodo considerado es del 63%. Los valores extremos se alcanzan con máximas diarias superiores al 90% y mínimas inferiores al 15% (Tabla 7).

Tabla 7. Valores medios, máximos y mínimos de Humedad Relativa por periodos.

Año	HR _{max} (%)				HR _{min} (%)			
	máximo	mínimo	media	σ ²	máximo	mínimo	media	σ ²
2006-2010	95.30	45.70	87.01	7.54	82.00	10.90	34.47	14.15
2006	95.30	60.70	88.20	8.28	78.10	10.90	35.26	14.36
2007	93.90	61.90	89.60	5.98	78.30	16.20	39.61	14.97
2008	93.10	70.60	89.23	4.26	82.00	12.10	38.39	14.13
2009	92.80	45.70	82.48	9.34	54.10	11.30	26.76	11.93
2010	92.90	65.80	85.65	6.52	72.50	16.00	32.65	11.76
Año	HR _{med} (%)				HR _{rango} (%)			
	máximo	mínimo	media	σ ²	máximo	mínimo	media	σ ²
2006-2010	91.50	30.40	62.68	12.70	73.40	10.60	52.54	11.46
2006	91.50	30.40	63.90	13.72	71.20	15.50	52.94	11.69
2007	89.00	43.40	67.82	11.65	73.40	14.90	49.99	13.67
2008	88.30	42.60	66.69	10.45	72.50	10.60	50.84	13.02
2009	81.80	30.90	55.52	12.04	73.10	20.70	55.72	8.23
2010	86.50	35.20	59.77	11.71	69.90	19.80	53.00	9.23

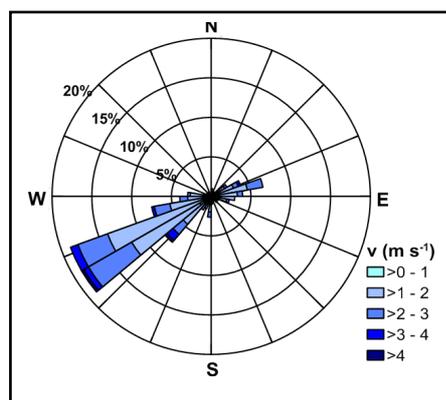
3.3.3. Velocidad del Viento

El viento en Córdoba en el periodo considerado (Abril-Mayo) tiene una velocidad media diaria de 1.75 m s^{-1} , alcanzando una velocidad máxima de 4.50 m s^{-1} y mínima de 0.60 m s^{-1} (Tabla 8). Los vientos predominantes en Córdoba fluyen a lo largo del Valle del Guadalquivir, destacando en importancia los procedentes del suroeste, como puede apreciarse en la Figura 6.

Tabla 8. Valores medios, máximos y mínimos de Velocidad del Viento por periodos.

Año	Velocidad Viento (m s^{-1})			
	máximo	mínimo	media	σ^2
2006-2010	4.50	0.60	1.75	0.62
2006	3.40	0.90	1.67	0.60
2007	3.20	0.90	1.74	0.51
2008	4.50	0.60	1.73	0.83
2009	3.20	0.90	1.85	0.54
2010	3.60	0.80	1.79	0.59

Figura 6. Rosa de los Vientos. Periodo 2006-2010.



3.4.4. Radiación Solar

La Radiación Solar (Tabla 9) no presenta variación interanual pues está muy condicionada por la época del año. La radiación media es de 22 MJ m^{-2} y oscila entre valores máximos por encima de los 30 MJ m^{-2} y valores mínimos cercanos a 2 MJ m^{-2} asociados con días nublados o lluviosos.

Tabla 9. Valores medios, máximos y mínimos de Radiación Solar por periodos.

Año	Radiación Solar (MJ m^{-2})			
	máximo	mínimo	media	σ^2
2006-2010	32.30	2.20	22.54	6.26
2006	31.80	2.20	22.52	6.09
2007	31.70	2.90	21.77	7.51
2008	30.50	2.70	20.92	6.25
2009	32.30	9.70	24.91	5.53
2010	28.90	7.60	22.38	5.35

3.3.5. Precipitación

La pluviometría en Córdoba es muy irregular y los registros de precipitación varían significativamente cada año. La precipitación máxima diaria registrada en el periodo de estudio fue de 56.6 mm . Para el cálculo de la media se ha estimado conveniente contabilizar sólo aquellos días en los que hubo precipitación (columna de "días de lluvia"). Como puede observarse, los días con precipitación son bastante escasos, salvo en el año 2008 en el que se superan los 30 días. La media de precipitación es de 5.78 mm .

Tabla 10. Valores medios, máximos y mínimos de Precipitación por periodos.

Año	Precipitación (mm)				
	máximo	mínimo	Días de Lluvia	media ⁽¹⁾	σ^2
2006-2010	56.60	0.20	110	5.78	6.52
2006	23.60	0.20	17	4.65	4.16
2007	49.40	0.20	28	5.84	7.75
2008	56.60	0.20	32	7.83	10.62
2009	16.00	0.20	17	3.82	3.12
2010	19.00	0.20	16	4.86	3.32

3.3.6. Concentraciones de Ozono y Variables Climáticas

En la tabla 11 se resumen los coeficientes de correlación ($\alpha > 0.05$) entre los niveles de **ozono medios diarios** y las variables climáticas consideradas en el estudio.

Tabla 11. Coeficientes de correlación entre concentraciones medias de ozono y variables climáticas por estaciones y años. ($\alpha > 0.05$)

Año	Estación	T _{max}	T _{min}	T _{rango}	T _{med}	HR _{max}	HR _{min}	HR _{rango}	HR _{med}	V. Viento	Rad. S.	Precip.	R ²
		temperatura (°C)				humedad relativa (%)				(m s ⁻¹)	(w m ⁻²)	(mm)	
2006-2010	Asomadilla	0.31		0.37	0.25	-0.57	-0.50	0.24	-0.59	0.12	0.39	-0.16	0.41
	Lepanto	0.14				-0.32	-0.25		-0.32	0.21	0.24		0.17
2006	Asomadilla	0.32		0.27	0.29	-0.50	-0.45		-0.52		0.36		0.27
	Lepanto	0.29	0.33		0.33	-0.34			-0.29	0.27			0.17
2007	Asomadilla					-0.27	-0.46	0.39	-0.47		0.43	-0.33	0.22
	Lepanto												
2008	Asomadilla					-0.41			-0.34				0.17
	Lepanto												
2009	Asomadilla	0.59		0.53	0.54	-0.57	-0.62		-0.68		0.47	-0.40	0.51
	Lepanto	0.46		0.34	0.41	-0.44	-0.50		-0.55		0.36	-0.33	0.30
2010	Asomadilla	0.44		0.45	0.38	-0.73	-0.53		-0.65		0.51	-0.29	0.54
	Lepanto	0.40		0.40	0.36	-0.65	-0.47		-0.56		0.46	-0.35	0.43

Dentro del grupo de las variables de temperatura, la máxima es la que más correlaciones significativas muestra, seguidas de la temperatura media y del rango de temperatura (amplitud térmica). Todas ellas, como era de esperar, tienen una correlación positiva con la concentración media de ozono. La temperatura mínima parece no intervenir en la concentración media de ozono.

Las variables de humedad relativa están inversamente correlacionadas con la concentración media de ozono, siendo la humedad relativa máxima y la humedad relativa media las que presentan valores más altos del coeficiente de correlación. La humedad relativa se encuentra altamente correlacionada con los valores medios de ozono de la estación de la Asomadilla (periférica).

Mientras que la variable velocidad del viento no suele ofrecer valores significativos de correlación, la radiación si parece intervenir en los niveles de ozono medio. La precipitación muestra algunas correlaciones significativas, destacando que su relación es inversa.

En general, la estación de la Asomadilla se encuentra más influenciada por las variables climáticas, siendo además los valores del coeficiente de correlación más elevados que los de la estación de Lepanto. Es también destacable el hecho de que en los años 2007 y 2008 no existan correlaciones significativas en la estación de Lepanto (céntrica).

Por otra parte, la tabla 12 nos muestra los valores del coeficiente de correlación con un nivel de significación $\alpha > 0.05$ para la **concentración máxima de ozono**. Como puede apreciarse, al igual que sucedía en el caso de la correlación con los agentes químicos contaminantes, existe mayor número de correlaciones que en el caso de los niveles medios de ozono.

Tabla 12. Coeficientes de correlación entre concentraciones máximas de ozono y variables climáticas por estaciones y años. ($\alpha > 0.95$)

Año	Estación	T _{max}	T _{min}	T _{rango}	T _{med}	HR _{max}	HR _{min}	HR _{rango}	HR _{med}	V. Viento	Rad. S.	Precip.	R ²
		temperatura (°C)				humedad relativa (%)				(m s ⁻¹)	(w m ⁻²)	(mm)	
2006-2010	Asomadilla	0.60		0.66	0.46	-0.40	-0.62	0.51	-0.58	-0.23	0.51	-0.29	0.49
	Lepanto	0.57		0.64	0.43	-0.36	-0.63	0.55	-0.57	-0.25	0.48	-0.27	0.47
2006	Asomadilla	0.60		0.66	0.44	-0.30	-0.59	0.51	-0.48		0.53		0.43
	Lepanto	0.60		0.62	0.24		-0.53	0.51	-0.40		0.50		0.38
2007	Asomadilla	0.44		0.62			-0.60	0.66	-0.45		0.59	-0.45	0.44
	Lepanto	0.40		0.58			-0.61	0.63	-0.49		0.55	-0.47	0.39
2008	Asomadilla	0.63		0.68	0.41	-0.36	-0.61	0.54	-0.66	-0.42	0.36		0.46
	Lepanto	0.61		0.66	0.38	-0.28	-0.63	0.59	-0.64	-0.42	0.39		0.43
2009	Asomadilla	0.66		0.65	0.58	-0.48	-0.64	0.36	-0.64		0.51	-0.35	0.50
	Lepanto	0.63		0.62	0.56	-0.51	-0.69	0.43	-0.68		0.45	-0.28	0.52
2010	Asomadilla	0.72		0.66	0.59	-0.47	-0.59	0.41	-0.55	-0.31	0.47	-0.34	0.66
	Lepanto	0.69		0.68	0.58	-0.50	-0.63	0.47	-0.61	-0.44	0.40	-0.49	0.60

En el caso de la temperatura destaca que la variable que muestra mayores valores de correlación es la amplitud térmica diaria (T_{rango}). Asimismo, la temperatura máxima y la temperatura media, aunque en menor medida que la anterior, presentan también altos niveles de correlación. La Temperatura mínima no muestra correlaciones significativas.

Destaca tanto el número de correlaciones estadísticamente significativas de la concentración máxima de ozono y las variables de la humedad relativa como el alto valor de los coeficientes de correlación. Por un lado, a mayores valores de la humedad relativa máxima los niveles altos de ozono descienden, mientras que a menores niveles de la humedad relativa mínima, mayor es la concentración máxima de ozono.

La variable velocidad del viento presenta algunas correlaciones significativas (años 2008 y 2010) con un carácter decreciente. La velocidad del viento parece actuar, en determinados periodos, como agente disuasorio en la formación de ozono, impidiendo que los valores de este gas aumenten notablemente en la ciudad. El mismo comportamiento disuasorio de la formación de altas concentraciones de ozono presenta la precipitación (años 2007, 2009 y 2010).

La radiación solar, por su parte, actúa como agente promotor de la formación de altos niveles de ozono. Esta variable presenta niveles de correlación significativos en todos los periodos y para cada una de las estaciones, por lo que se muestra como una variable con una notable importancia en los valores máximos de ozono.

Si establecemos una comparación entre las tablas 11 y 12 se puede apreciar que las variables climáticas, al igual que sucedía con los agentes contaminantes, muestran más correlaciones y valores más altos de éstas cuando la variable que interviene es la concentración máxima de ozono diaria frente a la concentración media.

Tampoco en este caso los coeficientes de determinación (R^2) de la regresión múltiple ofrecen un conjunto de variables definidas que intervengan conjuntamente en los niveles de concentración de ozono. Sólo cabría reseñar que los niveles más altos del coeficiente de determinación ($R^2 > 0.47$) se alcanzan cuando interviene la temperatura máxima en el modelo.

3.3.7. Concentraciones de Ozono y Eventos de Lluvia

El test de chi-cuadrado confirma que no existe correlación entre la **concentración media de ozono** y la existencia de un evento de lluvia en ninguna de las dos estaciones consideradas. Tanto en Lepanto ($\chi^2 = 3.634$) como en la Asomadilla ($\chi^2 = 5.622$) se acepta la hipótesis nula o de independencia entre ambas variables.

Por el contrario, los valores obtenidos para el caso del **ozono máximo** muestran una relación de interdependencia en las dos estaciones (Tablas 13 y 14).

Tabla 13. Tabla de Contingencia. Evento de lluvia y concentración máxima de ozono

Evento	No lluvia	Fr. Observada	[O ₃] _{max} Lepanto			[O ₃] _{max} Asomadilla		
			Bajo	Medio	Alto	Bajo	Medio	Alto
		Fr. Esperada	42.00	172.00	23.00	15.00	183.00	56.00
		Fr. Esperada	49.80	166.40	20.80	19.70	184.00	50.30
	Lluvia	Fr. Observada	13.00	12.00	0.00	7.00	22.00	0.00
		Fr. Esperada	5.20	17.60	2.20	2.30	21.00	5.70
		Total	55.00	184.00	23.00	22.00	205.00	56.00

Tabla 14. Pruebas de chi-cuadrado. Evento de lluvia y concentración máxima de ozono

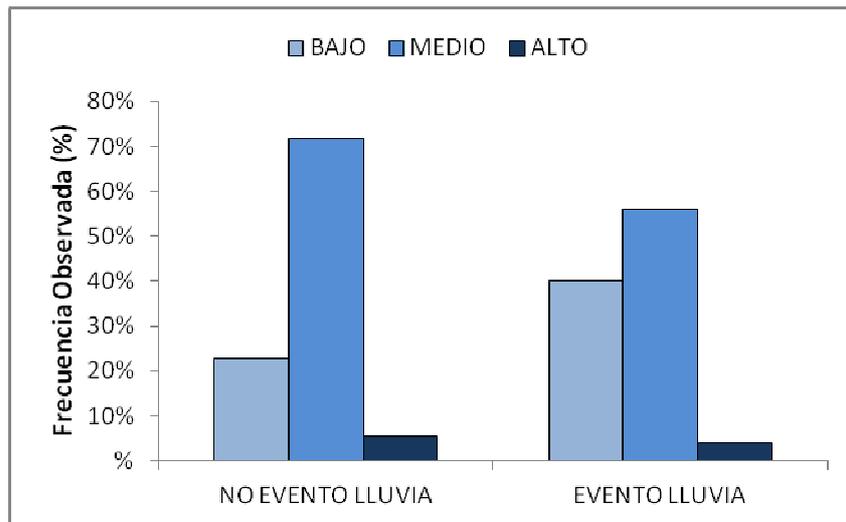
	[O ₃] _{max} Lepanto	[O ₃] _{max} Asomadilla
χ^2 Pearson	17.029 ^a	17.576 ^a
grados de libertad	2	2
Razón de Verosimilitud	16.134	19.776
Sig. Asintótica (bilateral)	0.000	0.000

^a 1 celda (16.7%) posee una frecuencia observada inferior a 5.

Con los valores de chi-cuadrado obtenidos en Lepanto ($\chi^2 = 17.029$) y en la Asomadilla ($\chi^2 = 17.576$) se rechaza la hipótesis nula a un nivel de significación $\alpha = 0.0005$, y asumimos que ambas variables categóricas muestran una relación de dependencia.

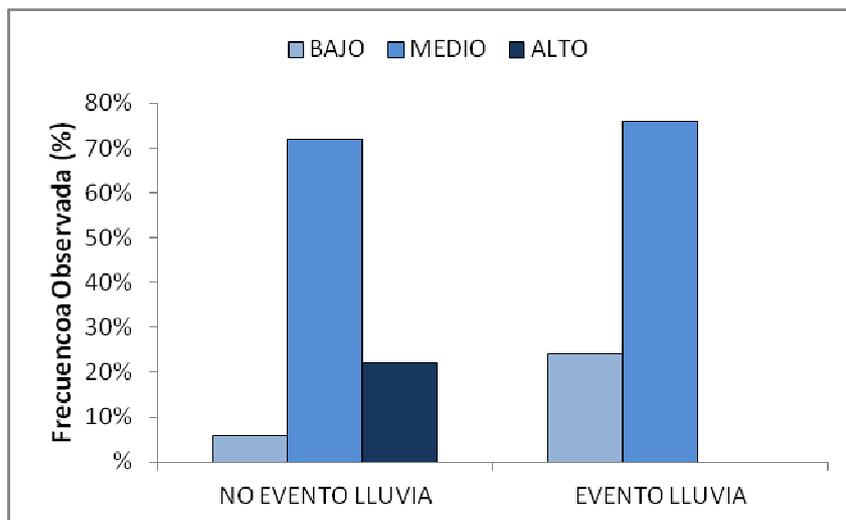
Esta relación de dependencia es observable en el gráfico de frecuencias de Lepanto (Fig. 7), en la que puede apreciarse que en aquellos días en los que existe un evento de lluvia, los niveles bajos de máximas de ozono aumentan en detrimento de los niveles medios. Parece ser que los días de lluvia actúan mitigando las concentraciones extremadamente altas de ozono.

Figura 7. Gráfico de Frecuencias. Evento de lluvia y concentración máxima de ozono. Lepanto.



En el caso de la estación de la Asomadilla (Fig. 8) se observa que los días con evento de lluvia no se alcanzan valores extremadamente altos de máximas de ozono, mientras que los valores más bajos aumentan considerablemente, permaneciendo los valores medios sin variaciones relevantes.

Figura 8. Gráfico de Frecuencias. Evento de lluvia y concentración máxima de ozono. Asomadilla.



3.3.8. Concentraciones de Ozono y Dirección del Viento

El test de chi-cuadrado también nos confirma en este caso que no existe correlación entre la **concentración media de ozono** y la dirección del viento en ninguna de las dos estaciones consideradas. Tanto en Lepanto ($\chi^2 = 8.822$) como en la Asomadilla ($\chi^2 = 6.337$) se acepta la hipótesis nula o de independencia entre ambas variables.

Por el contrario, los valores obtenidos para el caso del **ozono máximo** muestran una relación de dependencia en las dos estaciones. Sin embargo, el porcentaje de celdas con frecuencias esperadas inferiores a 5 es muy elevado, por lo que se procede a aglutinar las categorías de procedencia del viento en una variable dicotómica: valor 1 si el viento procede del suroeste (vientos predominantes durante primavera y verano) y valor 0 si el viento procede del resto de direcciones. De este modo podemos evaluar la existencia de correlación entre la influencia del viento predominante en primavera sobre los niveles máximos de ozono. En este caso los resultados de significación son estadísticamente significativos a un nivel de significación de $\alpha = 0.0005$ en la estación de Lepanto y de $\alpha = 0.005$ en la estación de la Asomadilla (Tablas 13 y 14).

Tabla 15. Tabla de Contingencia. Dirección del viento y concentración máxima de ozono

			[O ₃] _{max} Lepanto			[O ₃] _{max} Asomadilla		
			Bajo	Medio	Alto	Bajo	Medio	Alto
Procedencia Viento	No Suroeste	Fr. Observada	7.00	66.00	14.00	3.00	71.00	31.00
		Fr. Esperada	18.30	61.10	706.00	8.20	76.10	20.80
	Suroeste	Fr. Observada	48.00	118.00	9.00	19.00	134.00	25.00
		Fr. Esperada	36.70	122.90	15.40	13.80	128.90	35.20
Total			55.00	184.00	23.00	22.00	205.00	56.00

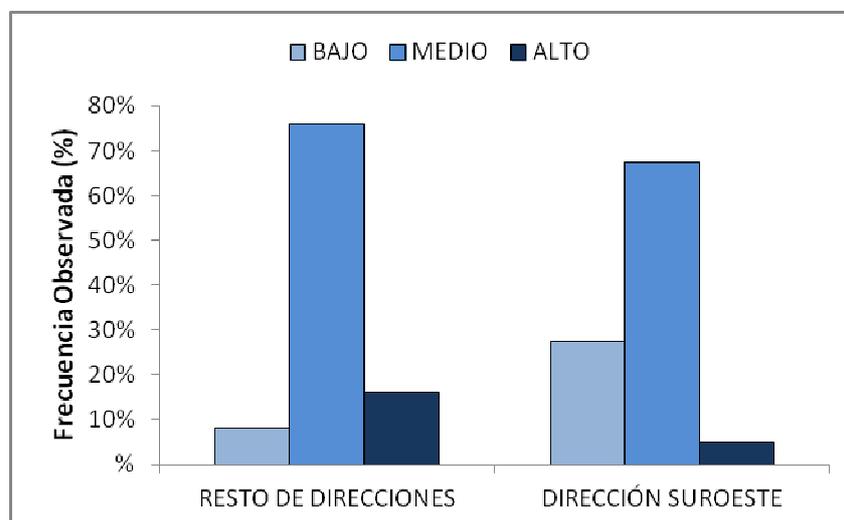
Tabla 16. Pruebas de chi-cuadrado. Dirección del viento y concentración máxima de ozono

	[O ₃] _{max} Lepanto	[O ₃] _{max} Asomadilla
χ^2 Pearson	18.924 ^a	13.723 ^a
grados de libertad	2	2
Razón de Verosimilitud	20.171	14.25
Sig. Asintótica (bilateral)	0.000	0.001

^a 0 celdas (0%) posee una frecuencia observada inferior a 5.

En la figura 9 se muestra el gráfico de frecuencias correspondiente a la estación de Lepanto.

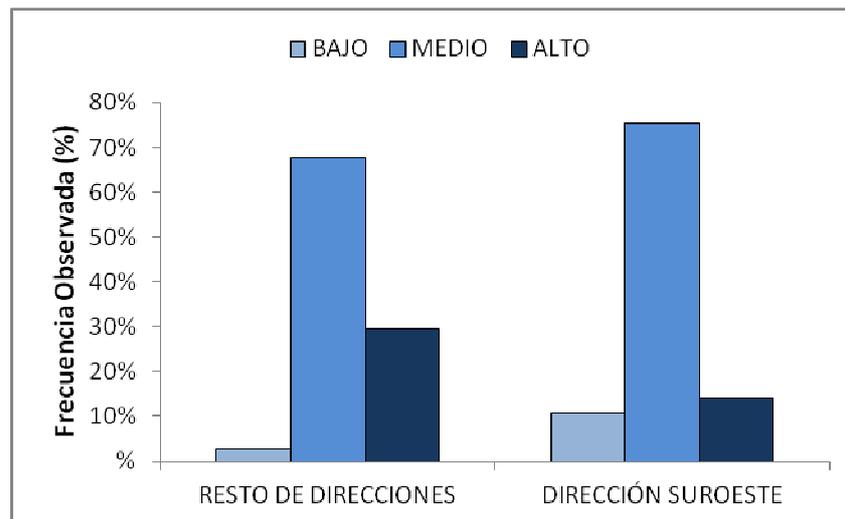
Figura 9. Gráfico de Frecuencias. Dirección del viento y concentración máxima de ozono. Lepanto.



En ella (Fig. 9) se comprueba que el viento procedente del suroeste está asociado a un descenso en los niveles máximos de ozono, aumentando notablemente la proporción de días en los que los niveles máximos de ozono están catalogados como bajos.

En la siguiente figura (Fig. 10) la procedencia del viento en la capital también se muestra relacionada con los niveles máximos de ozono, de modo que aquellos días en los que el viento en Córdoba procede de dirección suroeste se produce un descenso considerable en los niveles altos de las máximas de ozono respecto a los días en los que la dirección del viento es diferente.

Figura 10. Gráfico de Frecuencias. Dirección del viento y concentración máxima de ozono. Asomadilla.



4. CONCLUSIONES

La concentración de ozono viene determinada por el emplazamiento en el que se realice la medición, observándose que en primavera los niveles medios son más altos en la estación periférica del noreste (Asomadilla) que en la emplazada en el interior de la ciudad (Lepanto). Además, se ha comprobado que los niveles de ozono registrados han aumentado paulatinamente desde el año 2006 en Córdoba. Se demuestra que valores máximos se encuentran altamente correlacionados entre las dos estaciones. Por tanto, los valores medios diarios dependen del emplazamiento de la medición, mientras que los valores máximos poseen un comportamiento más homogéneo en el espacio y afectan por igual a toda la ciudad.

Los agentes químicos ejercen más influencia en las concentraciones máximas de ozono, detectándose que el NO₂ y las partículas son los contaminantes más determinantes, estableciéndose una relación de correlación directa. El NO₂, a su vez, está presente en

los modelos de regresión lineal múltiple con mayores valores del coeficiente de determinación ($R^2 > 0.30$).

La humedad relativa mínima y la amplitud térmica son las variables que más intervienen en los niveles máximos de ozono, en correlaciones inversas y directas, respectivamente. Por otra parte, no se observan diferencias destacables en los valores de las correlaciones de los registros de ozono máximo en las dos estaciones (Asomadilla y Lepanto), por lo que la influencia de las variables climáticas sobre los valores extremos de ozono actúan de una forma más global en la ciudad, hecho que no sucede con los niveles medios de ozono. La radiación solar ejerce una influencia positiva sobre las concentraciones máximas de ozono, mientras que la precipitación actúa descendiendo los niveles. Cabría reseñar que los niveles más altos del coeficiente de determinación ($R^2 > 0.47$) se alcanzan cuando interviene la temperatura máxima en el modelo.

Si establecemos una comparativa entre las estaciones de la Asomadilla y de Lepanto puede observarse que los vientos predominantes en primavera influyen de manera más determinante en la estación de Lepanto, reduciendo en mayor medida los niveles máximos de ozono, debido a la llegada de vientos cargados de humedad procedentes del Océano Atlántico.

Agradecimientos. Los autores agradecen el apoyo prestado por la Consejería de Economía, Innovación y Ciencia (Junta de Andalucía) en el Proyecto RNM-3989. Nuestro agradecimiento también a las Consejería de Medio Ambiente y Agricultura y Pesca (Junta de Andalucía) por los datos meteorológicos y de calidad ambiental facilitados.

5. BIBLIOGRAFÍA

J.A. Adame, A. Lozano, J.P. Bolívar, B.A. De la Morena, J. Contreras y F. Godoy (2007). Behavior, distribution and variability of surface ozone at an arid region in the south of Iberian Peninsula (Seville, Spain). *Chemosphere* 70, 841-849.

S.M. Al-Alawi, S.A. Abdul-Wahab y C.S. Bakheit (2008). Combining principal component regression and artificial neural networks for more accurate predictions of ground-level ozone. *Environmental Modelling & Software* 23, 396-403.

P. Bloomfield, J.A. Royle, L.J. Steinberg y Q. Yang (1996). Accounting for meteorological effects in measuring urban ozone level and trends. *Atmospheric Environment* 30, 17, 3067-3077.

R. Bojkov (1986). Surface ozone during the second half of the nineteenth century. *Journal of Climatology and Applied Meteorology* 25, 343-252.

W.L. Cheng, J.L. Pai, B.J. Tsuang y C.L. Chen (2001). Synoptic patterns in relation to ozone concentrations in west-central Taiwan. *Meteorology & Atmospheric Physics* 78, 1-2, 11-21.

M. Demuzere, R.M. Trigo, J.V. De Arellano y N.P.M. Van Lipzig. (2009). The impact of weather and atmospheric circulation on O₃ and PM₁₀ levels at a rural mid-latitude site. *Atmospheric Chemistry and Physics* 9, 8, 2695-2714.

J.E. Diem (2009). Atmospheric characteristics conducive to high-ozone days in the Atlanta metropolitan area. *Atmospheric Environment* 43, 3902-3909.

C. Dueñas, M.C. Fernández, S. Cañete, J. Carretero y E. Liger (2004). Analyses of ozone in urban and rural sites in Málaga (Spain). *Chemosphere* 56, 631-639.

M.W. Gardner y S.R. Dorling (2000). Meteorologically adjusted trends in UK daily maximum surface ozone concentrations. *Atmospheric Environment* 34, 2, 171-176.

T.E. Graedel y P.J. Crutzen (1993). *Atmospheric change: An Earth system perspective*. New York: W.H. Freeman and Company.

R. Guicherit y H. Van Dop (1976). Photochemical production of ozone in western Europe (1971-1975) and its relation to meteorology. *Atmospheric Environment* 11, 145-155.

H. Günsten y G. Heinrich (1988). Photochemical formation and transport of ozone in Athens, Greece. *Atmospheric Environment* 22, 9, 1855-1861.

H. Güsten, G. Heinrich, J. Weppner, M.M. Abdel-Aal, F.A. Abdel-Hay, A.B. Ramadan, F.S. Tawfik, D.M. Ahmed, G.K.Y. Hassan, T. Cvitaš, J. Jeftic y L. Klasinc (1994). Ozone formation in the greater Cairo area. *The Science of the Total Environment* 155, 285-295.

K.C. Heidorn y D.Yap (1986). A synoptic climatology for surface ozone concentrations in Southern Ontario, 1976–1981. *Atmospheric Environment* 20, 695-703.

P.D. Kalabokas, L.G. Viras, J.G. Bartzis y C.C. Repapis (2000). Mediterranean rural ozone characteristics around the urban area of Athens. *Atmospheric Environment* 34, 5199-5208.

A. Lengyel, K. Héberger, L. Paksy, O. Bánhidi y R. Rajkó (2004). Prediction of ozone concentration in ambient air using multivariate methods. *Chemosphere* 57, 889-896.

S. Sillman (1999). The relation between ozone, NO_x and hydrocarbons in urban and polluted rural environments. *Atmospheric Environment* 33, 1821-1845.

M. Volz y D. Kley (1988). Evaluation of the Montsouris series of ozone measurements made in the nineteenth century. *Nature* 332, 240-242.

6. ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Índice de Tablas

Tabla 1. Concentración de ozono media, máxima y mínima por estaciones y años.

- Tabla 2. Coeficientes de correlación entre concentraciones medias y máximas de ambas estaciones. ($\alpha > 0.99$)
- Tabla 3. Coeficientes de correlación entre concentraciones medias de contaminantes químicos de ambas estaciones. ($\alpha > 0.95$)
- Tabla 4. Coeficientes de correlación entre concentraciones medias de ozono y contaminantes químicos por estaciones y años. ($\alpha > 0.95$).
- Tabla 5. Coeficientes de correlación entre concentraciones máximas de ozono y contaminantes químicos por estaciones y años. ($\alpha > 0.95$).
- Tabla 6. Valores medios, máximos y mínimos de Temperatura por periodos.
- Tabla 7. Valores medios, máximos y mínimos de humedad relativa por periodos.
- Tabla 8. Valores medios, máximos y mínimos de Velocidad del Viento por periodos.
- Tabla 9. Valores medios, máximos y mínimos de Radiación Solar por periodos.
- Tabla 10. Valores medios, máximos y mínimos de Precipitación por periodos.
- Tabla 11. Coeficientes de correlación entre concentraciones medias de ozono y variables climáticas por estaciones y años. ($\alpha > 0.95$)
- Tabla 12. Coeficientes de correlación entre concentraciones máximas de ozono y variables climáticas por estaciones y años. ($\alpha > 0.95$)
- Tabla 13. Tabla de Contingencia. Evento de lluvia y concentración máxima de ozono
- Tabla 14. Pruebas de chi-cuadrado. Evento de lluvia y concentración máxima de ozono
- Tabla 15. Tabla de Contingencia. Dirección del viento y concentración máxima de ozono
- Tabla 16. Pruebas de chi-cuadrado. Dirección del viento y concentración máxima de ozono

Índice de Figuras

- Figura 1. Plano localización de Córdoba.
- Figura 2. Plano localización de las estaciones de medición en Córdoba.
- Figura 3. Concentraciones medias diarias de ozono.
- Figura 4. Concentraciones máximas diarias de ozono.
- Figura 5. Concentraciones medias diarias de contaminantes químicos. (a) NO_2 , (b) Partículas, (c) SO_2 y (d) CO .
- Figura 6. Rosa de los Vientos. Periodo 2006-2010
- Figura 7. Gráfico de Frecuencias. Evento de lluvia y concentración máxima de ozono. Lepanto.
- Figura 8. Gráfico de Frecuencias. Evento de lluvia y concentración máxima de ozono. Asomadilla.
- Figura 9. Gráfico de Frecuencias. Dirección del viento y concentración máxima de ozono. Lepanto.
- Figura 10. Gráfico de Frecuencias. Dirección del viento y concentración máxima de ozono. Asomadilla.