



CONAMA10
CONGRESO NACIONAL
DEL MEDIO AMBIENTE

COMUNICACIÓN TÉCNICA

Valores semanales de calidad del aire en Burgos y provincia.

Autor: Alberto Minguito

Institución: Universidad de Burgos

e-mail: vtricio@ubu.es

Otros Autores: Ramón Vitoria Raymundo (Universidad de Burgos); Verónica Tricio Gómez (Universidad de Burgos)

RESUMEN

La solución a los actuales problemas de contaminación atmosférica constituye un paso fundamental para el desarrollo de la vida con sentido de sostenibilidad. Para enfrentar las problemáticas medioambientales presentes, en parte derivadas de la contaminación de las ciudades, se vienen utilizando en los últimos años diversas estrategias enfocadas a proyectos de Ciudades Saludables y en las Agendas 21 Locales. Todas ellas pasan por conocer los niveles de contaminación existentes en el ambiente atmosférico.

Las labores de monitoreo de los contaminantes atmosféricos forman parte del entramado de la red de calidad del aire que dispone la Junta de Castilla y León. El trabajo que presentamos utiliza como datos brutos los valores obtenidos desde dicha red en la provincia de Burgos. La metodología aplicada en el proceso experimental se basa en los datos quinceminutales procedentes de las estaciones de la red y el estudio abarca un periodo temporal de varios años. En la comunicación técnica se hará una descripción de los valores semanales de concentración para algunos contaminantes atmosféricos en Burgos y algunas ciudades de la provincia. Se compararán los resultados obtenidos en las distintas localizaciones y en los distintos días de la semana y se valorará la calidad ambiental obtenida.

Palabras Clave: Palabras claves: Contaminación atmosférica; calidad del aire; contaminantes atmosféricos, ozono, compuestos de nitrógeno.

INTRODUCCIÓN

Son reconocidos como valiosos dos instrumentos de gestión como son las agendas 21 locales y las ciudades saludables, ambos de carácter no vinculante que tienen como fundamento teórico el principio de la sostenibilidad local. Con estas herramientas se pueden abordar los graves problemas ambientales desde el enfoque de “pensar globalmente y actuar localmente”, dado que, sin perder de vista el objetivo global de la protección del medio, es a nivel local donde se pueden tomar decisiones más prácticas y, además, más participativas. La Agenda 21 surge del “Programa Global para el Desarrollo Sostenible en el siglo XXI”, enmarcado dentro de la “Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible”, celebrada en Río de Janeiro en Junio de 1992. En 1996 se adapta al ámbito urbano y nace, así, la Agenda 21 Local, articulada en dos conferencias 2000 y 2004 en la ciudad danesa de Aalborg. La idea de la Agenda 21 Local es clara: las grandes políticas son necesarias, pero igualmente lo es implicar a los agentes locales, a los ciudadanos, y para ello es imprescindible crear estados de opinión y actuación política en los pueblos y ciudades. El Ayuntamiento de Burgos comenzó el proceso de implantación de la Agenda 21 en 1998 realizándose el primer Diagnóstico Ambiental. El Pleno municipal firmó la Carta de Aalborg en marzo de 1999 y tras ello abordó su primer Plan de Acción en 2002 [1]. La Red Española de Ciudades Saludables (RECS), es una Sección de la Federación Española de Municipios y Provincias (FEMP) constituida en el año 1988 [2]. La actividad de la Sección está dirigida a la promoción y protección de la salud y al bienestar de los ciudadanos, en concordancia con los principios de actuación correspondientes al proyecto "Healthy Cities", de la Organización Mundial de la Salud. El ayuntamiento de Aranda de Duero y el Ayuntamiento de Burgos son miembros adheridos a esta Red [3].

La preocupación sobre la calidad del aire se ha generalizado más allá del ámbito científico y desde hace años también el Parlamento Europeo viene tomando iniciativas importantes, así el sexto programa de acción comunitario en materia de medio ambiente aprobado mediante la Decisión nº 1600/2002/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 22 de julio de 2002 [4] establece la necesidad de reducir los niveles de contaminación que limiten al mínimo los efectos perjudiciales para la salud humana, prestando especial atención a las poblaciones más vulnerables y al medio ambiente en su conjunto, de mejorar el control y la evaluación de la calidad del aire ambiente, incluido el depósito de contaminantes, y de proporcionar información a los ciudadanos. En particular en su *Artículo 7* que enumera los Objetivos y ámbitos prioritarios de actuación sobre el medio ambiente y la salud y la calidad de vida, entre sus objetivos está “*alcanzar niveles de calidad del aire que no den lugar a riesgos o efectos negativos significativos en la salud humana y el medio ambiente*”.

Un paso fundamental para el desarrollo de la vida con sentido de sostenibilidad consiste en dar solución a los actuales problemas de contaminación atmosférica provocada por las sustancias presentes en el aire que puedan tener efectos nocivos para la salud humana y el medio ambiente. Como se ha indicado en los párrafos precedentes, para enfrentar las problemáticas medioambientales presentes, en parte derivadas de la contaminación de las ciudades, se vienen utilizando en los últimos años diversas estrategias enfocadas a proyectos como los señalados. Todas ellas pasan por conocer los niveles de contaminación existentes en el ambiente atmosférico, por tanto todos los esfuerzos que se hagan para su prevención, detección y estudio, supondrán una ayuda al mejor

conocimiento de la problemática de la gravedad de los problemas de contaminación atmosférica.

La calidad del aire depende de la interacción entre una serie de factores naturales, tales como la climatología o la orografía, y de una serie de factores humanos como la densidad de población, el desarrollo industrial o los transportes, por lo que sigue siendo necesario detectar y analizar el fenómeno, legislar y poner remedio a los elevados niveles en la atmósfera de sustancias o energías perjudiciales.

Las tendencias recientes muestran el interés de continuar mejorando y ampliando las redes de medida de este contaminante y la legislación europea además de fijar unos valores objetivo para el ozono a largo plazo establece cómo y donde deben efectuarse las mediciones de los contaminantes

El objetivo general en este estudio es conocer el comportamiento de algunos contaminantes atmosférico en Burgos, una de las provincias de la comunidad de Castilla y León. Los objetivos específicos de este trabajo son, por un lado, el seguimiento de los valores de dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, ozono, partículas en suspensión y monóxido de carbono en el casco urbano y en los alrededores de Burgos y en otras dos ciudades de la provincia, Miranda de Ebro y Aranda de Duero; un segundo objetivo específico derivado del anterior es el análisis de la variación espacial y temporal que presentan dichos contaminantes en la provincia de Burgos.

DATOS DE PARTIDA Y LOCALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES DE MEDIDA

En este trabajo, presentamos resultados de la evolución de diversos contaminantes atmosféricos, para lo que hemos dispuesto de los datos de la red de contaminación atmosférica, estaciones de medida en inmisión, que el Gobierno de Castilla y León tiene instaladas en distintas ubicaciones de las ciudades de Burgos (BU), Miranda de Ebro (MIR) y Aranda de Duero (AR).



Fig. 1. Localización de las estaciones de medida

De acuerdo a las zonas en que se ha dividido la Comunidad Autónoma de Castilla y León basadas en lo indicado en la Directiva Marco de la Calidad del Aire Ambiente [5], la figura 1 muestra, a la izquierda la zonificación del territorio de Castilla y León y, a la derecha, la localización de las estaciones de medida en la provincia de Burgos.

Las estaciones constan de una serie de analizadores que miden determinados parámetros en continuo, con tiempos de respuesta diferentes, según el parámetro analizado [5]. Estos analizadores están conectados a un sistema informático que almacena los datos instantáneos, para calcular con ellos medias quinceminutales, excepto en el caso de las partículas que realiza una medida cada hora. Los valores estadísticos medios quinceminutales se presentan expresados en microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), excepto el monóxido de carbono (CO) expresado en miligramos por metro cúbico (mg/m^3). Las mediciones en continuo se hacen de diferentes contaminantes atmosféricos, fundamentalmente aquéllos cuyo control ha sido objeto de regulación legal (partículas en suspensión, dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, monóxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, benceno y ozono troposférico).

El R. D. 1073/2002, de 18 de octubre, sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente en relación con el dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, óxidos de nitrógeno, partículas, plomo, benceno y monóxido de carbono, presenta en su Anexo IX los criterios de determinación del número mínimo de puntos de muestreo para la medición fija de las concentraciones de los contaminantes citados con anterioridad. El número actual [5] de puntos de monitorización o control de la provincia de Burgos son: 4 estaciones en

Burgos, 1 en Aranda y 2 en Miranda, de manera que, salvo en Aranda, es mayor que el exigido en el citado Real Decreto. La figura 2 muestra, a la izquierda el exterior de una de las estaciones de medida situada en Burgos, estación BU4, que se encuentra en una zona verde, a las afueras de la ciudad, y, a la derecha, el interior de dicha estación remota, donde están instalados los analizadores.

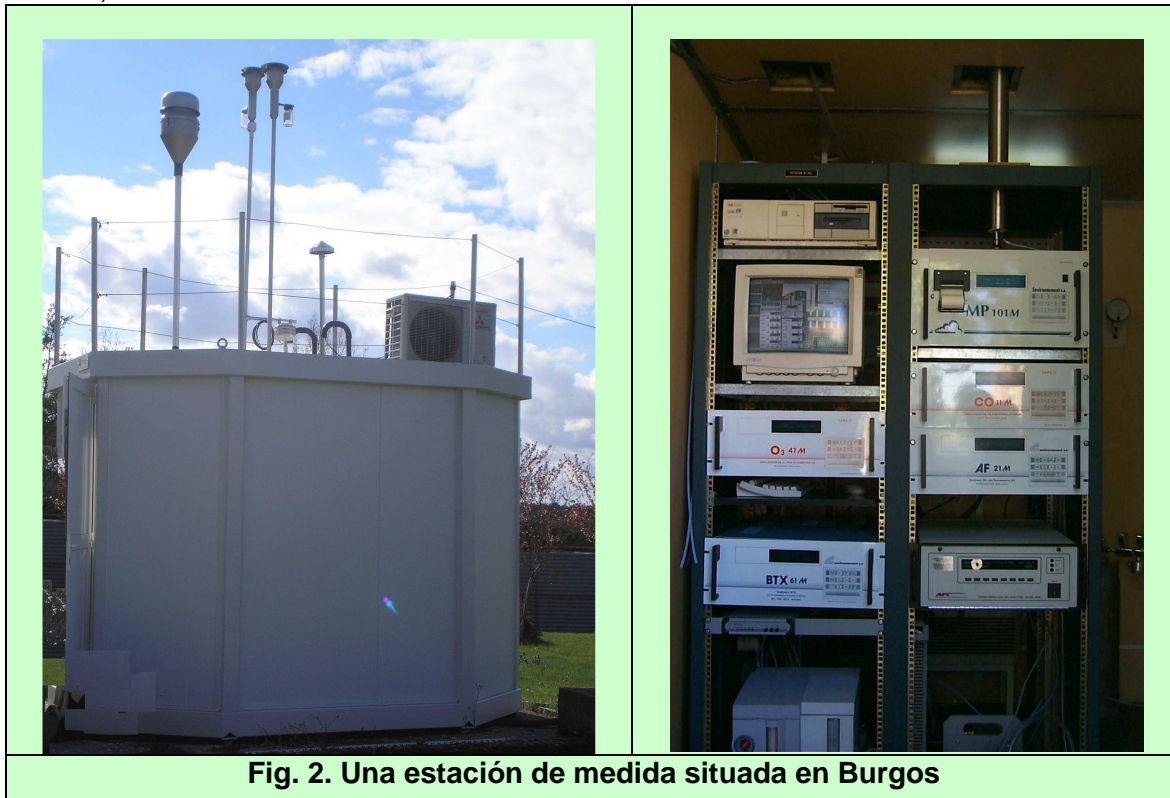


Fig. 2. Una estación de medida situada en Burgos

Para el análisis de cada contaminante se requiere un método de referencia específico, así, el método de referencia para el análisis de las partículas es el de *gravimetría*, aunque la técnica analítica que emplean los analizadores de las estaciones es la de *atenuación radiactiva β* , que es un método equivalente al de referencia. Para el análisis del dióxido de azufre (SO_2) es el de *fluorescencia ultravioleta*. El método de *absorción ultravioleta* es el empleado para el análisis del ozono (O_3). Para el análisis de los óxidos de nitrógeno - dióxido de nitrógeno (NO_2) y monóxido de nitrógeno (NO)- es el de *quimioluminiscencia*. El método de referencia para el análisis del monóxido de carbono (CO) es el de *absorción infrarroja*.

CONTAMINANTES ANALIZADOS Y PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Entre los contaminantes presentes en el aire que se miden en las estaciones de la red de Castilla y León en la provincia de Burgos, hemos seleccionado para este estudio los siguientes: partículas en suspensión, dióxido de azufre, monóxido de carbono, ozono, monóxido de nitrógeno y dióxido de nitrógeno, todos ellos representativos del estado de la atmósfera.

Cada contaminante atmosférico presenta diferencias en el tiempo específico de exposición, la concentración dada y los efectos sobre la salud, la vegetación o los objetos. Los valores de inmisión de un determinado contaminante y su evolución a lo largo del tiempo dependen de diversos factores como los niveles de emisión, su transporte en la atmósfera, su reactividad o su volatilidad. En cuanto a la reactividad, la mayor parte de los contaminantes, NO_x , SO_2 , CO , O_3 y otros como los VOCs no estudiados aquí, están involucrados en una serie de complejos ciclos de reacciones químicas.

Los estudios realizados sobre contaminación atmosférica muestran cómo los contaminantes se distribuyen a lo largo del tiempo siguiendo ciclos característicos, estos ciclos están vinculados fundamentalmente a los patrones climáticos de la tierra, entre ellos cabe destacar el ciclo día/noche, ya que la radiación solar es el motor de todas las reacciones fotoquímicas que tienen lugar en la atmósfera y contribuye de manera decisiva en la evolución temporal de dichos contaminantes. No obstante hay que tener en cuenta otros aspectos que puedan influir en los niveles de inmisión, como los patrones climáticos estacionales, los fenómenos meteorológicos puntuales o los diferentes niveles de emisión de contaminantes a lo largo del tiempo. Los cambios en las emisiones de la mayor parte de los contaminantes gaseosos están directa o indirectamente vinculadas a cambios en el tráfico y en las emisiones industriales. En general las emisiones antropogénicas predominantes de NO_x , CO y VOC provienen de las emisiones de los vehículos a motor. El SO_2 puede ser generado en centrales de energía, el origen de las partículas en suspensión puede ser muy variado, tráfico, emisiones industriales, polvo y tierra arrastrados por el viento, polvo de la construcción, spray marino o quema de biomasa. El ozono por el contrario es un contaminante secundario y su principal origen es fotoquímico. Las emisiones provenientes del tráfico tienen mayor incidencia a primera y última hora del día coincidiendo con las horas punta, por lo que la distribución de muchos de los contaminantes atmosféricos a lo largo del día es bimodal con su pico mayor a primera hora de la mañana y el pico secundario a última hora.

Uno de los ciclos humanos que no tiene ninguna vinculación con ciclos naturales es el ciclo semanal, y su estudio puede proporcionar pistas de cómo influyen las emisiones antropogénicas a la contaminación. Normalmente las emisiones antropogénicas son diferentes en los días de diario que en los días festivos, el resultado es una distinta concentración de contaminantes a diario que en fin de semana y eso es lo que se conoce como efecto fin de semana.

En este trabajo hemos hecho el seguimiento y la comparación de los valores semanales de concentración de los contaminantes seleccionados, en las tres localizaciones de la provincia donde se realizan las mediciones, Burgos, Miranda de Ebro y Aranda de Duero.

La separación de las agrupaciones de los días de la semana los hemos dividido en días laborables (weekday) y días fin de semana (weekend), El grupo de los días laborables se han establecido de lunes a viernes y el grupo de los días de fin de semana son el sábado y el domingo.

La metodología aplicada en el proceso experimental se basa en los datos experimentales brutos quinceminutales procedentes de las estaciones citadas. Se ha seguido el siguiente

procedimiento para el cálculo de los valores de los diferentes contaminantes en los distintos periodos de tiempo:

En primer lugar, a partir de los datos quinceminutales se han elaborado las medias horarias con cuatro datos: 15, 30, 45 y 60 minutos.

A continuación se han separado los valores correspondientes a días laborables y fines de semana.

Para finalizar se han elaborado los 24 valores correspondientes a las medias horarias diarias de los diferentes años (separados ya en laborables y fines de semana). Igualmente se han creado esos valores medios para los diferentes meses.

El estudio realizado abarca un intervalo temporal de seis años, desde el año 2003 hasta el año 2008.

RESULTADOS

Las Tablas 1, 2 y 3 muestran los valores medios horarios anuales para las PM10, en las estaciones AR, MI1 y BU3, respectivamente. Se han representado para alguno de los años en los que se ha hecho el estudio.

Tabla 1. Valores medios horarios anuales para PM10 en la estación AR							
PM10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Hora	AR 2005		AR 2006		AR 2008		
	Weekday	Weekend	Weekday	Weekend	Weekday	Weekend	
01:00	18,49	25,42	19,27	20,30	22,76	25,81	
02:00	17,05	23,64	17,21	18,50	22,35	25,70	
03:00	14,92	19,17	14,74	16,48	19,49	23,20	
04:00	14,16	18,98	13,62	15,74	18,93	21,08	
05:00	14,70	17,38	13,97	15,16	19,24	20,11	
06:00	17,23	18,19	17,45	15,75	22,19	20,91	
07:00	20,50	20,58	21,85	18,70	26,19	22,72	
08:00	26,78	21,62	28,00	19,32	31,30	22,76	
09:00	29,37	22,97	33,17	20,31	33,10	24,64	
10:00	31,59	24,94	33,68	24,36	33,25	27,40	
11:00	31,35	25,34	32,38	23,77	33,75	27,37	
12:00	29,60	25,71	30,97	23,04	32,81	26,47	
13:00	28,35	24,11	30,94	21,87	31,98	25,72	
14:00	25,50	22,58	29,91	21,36	29,10	24,62	
15:00	24,00	22,12	30,06	19,12	28,31	24,18	
16:00	25,67	19,85	29,93	18,83	28,72	22,62	
17:00	26,32	20,16	32,20	23,65	28,71	22,63	
18:00	27,28	19,70	35,03	20,05	30,89	24,26	
19:00	30,36	24,57	38,28	22,57	34,62	27,92	
20:00	34,07	29,19	40,55	25,80	36,10	35,09	
21:00	36,89	29,58	41,69	27,97	39,84	39,23	
22:00	33,25	33,54	38,69	32,55	38,97	40,33	
23:00	27,62	31,28	30,91	29,31	33,00	38,05	
24:00	22,36	27,18	23,58	22,72	28,28	29,55	

Analizados los resultados de la Tabla 1 en su conjunto, se observa una marcada diferencia entre los días laborables y los de fin de semana, en particular la variabilidad de los primeros es más marcada que en los segundos; se observa una tendencia de aumento de la concentración de las PM10 durante el día laborable, como se ve durante los años 2006 y 2008 cuyos valores son claramente superiores a los del año 2005. También, para los tres años que muestra dicha Tabla, los resultados ofrecen concentraciones de PM10 más elevadas durante el weekday a partir de las primeras horas de la mañana, pueden ser alrededor de las 6:00 horas y al menos hasta las 21:00 horas. Año a año se comprueba la existencia de dos franjas horarias en las que las concentraciones de PM10 son más elevadas, tanto para los weekday como para los weekend; así sucede para los días laborables por la mañana entre las 10:00 y las 11:00 y por la noche a las 21:00 horas, dándose un cierto retraso horario de estos máximos durante el weekend. Sin embargo son las primeras horas del día, entre las 4:00 y las 6:00 de la mañana, las que ofrecen para todos los días de la semana los valores más bajos de concentración de PM10, resultando ser 13,62 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ el valor más bajo de todos obtenido en el año 2006, tal como indica la Tabla 1.

Tabla 2. Valores medios horarios anuales para PM10 en la estación MIR1

PM10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Hora	MIR1 2005		MIR1 2006		MIR1 2008	
	Weekday	Weekend	Weekday	Weekend	Weekday	Weekend
01:00	33,69	33,79	31,01	30,04	18,87	19,46
02:00	31,91	32,30	30,07	28,49	17,83	17,38
03:00	32,23	30,89	27,34	28,68	16,86	17,48
04:00	30,76	32,82	26,36	28,56	16,28	15,63
05:00	34,24	30,71	28,91	26,82	18,08	15,53
06:00	39,63	32,14	29,59	28,98	19,95	17,27
07:00	47,77	35,18	35,06	30,58	24,06	17,45
08:00	54,27	36,60	40,53	30,60	29,99	18,82
09:00	66,90	36,76	46,72	32,82	34,52	21,91
10:00	62,24	39,84	50,50	35,15	37,82	24,34
11:00	61,25	38,29	51,04	34,18	42,26	27,54
12:00	61,04	41,54	51,28	35,99	44,78	31,35
13:00	64,31	41,19	50,04	40,05	42,71	28,76
14:00	55,07	38,45	47,83	36,49	37,64	24,30
15:00	54,24	35,49	48,69	36,73	37,18	22,07
16:00	62,68	37,83	49,65	35,34	38,09	20,80
17:00	63,15	40,46	54,11	33,94	38,66	21,26
18:00	63,25	43,95	53,32	34,53	36,77	21,74
19:00	58,16	42,30	53,09	34,38	33,65	23,91
20:00	54,98	40,32	46,31	33,53	30,06	24,31
21:00	51,43	38,95	42,34	34,19	28,76	24,36
22:00	47,72	40,92	38,87	35,90	27,21	23,67
23:00	41,45	39,33	35,83	33,94	23,91	23,33
24:00	37,48	34,74	33,70	32,11	21,24	21,03

En la ciudad de Miranda de Ebro están instaladas dos estaciones de medida, una de ellas MIR1 situada en la carretera Miranda-Logroño, y es para esa estación para la que se representan los valores de la Tabla 2. Analizados los resultados de dicha Tabla en su conjunto, se observa una marcada diferencia del valor de PM10 entre los días laborables y los de fin de semana siendo la concentración para este segundo grupo mucho más baja que para el primer grupo de días. Este resultado se muestra para cada año y durante todas las horas comprendidas aproximadamente entre las 4:00 y las 23:00 horas. A diferencia de la Tabla 1, la concentración nocturna es muy similar en los dos agrupamientos en que hemos dividido los días de la semana. También para los dos agrupamientos se aprecia un similar comportamiento a lo largo de los tres años representados, apreciándose una disminución en los valores comparativos de la concentración, siendo los más altos los obtenidos en el año 2005 y los más bajos los del año 2008.

La estación de medida BU3 es una de las cuatro estaciones que han estado instaladas en la ciudad de Burgos durante los años 2003 al 2008. La Tabla 3 muestra los valores de PM10, durante los años 2005 y 2008, calculados como promedio horario del día para la estación BU3, cuya ubicación es la del casco urbano de la ciudad, en la zona sur.

Tabla 3. Valores medios horarios anuales para PM10 en la estación BU3

PM10 μg/m ³ Hora	BU3 2005		BU3 2008	
	Weekday	Weekend	Weekday	Weekend
01:00	39,12	41,24	26,32	26,31
02:00	35,78	37,93	24,82	26,26
03:00	36,12	36,78	24,11	24,31
04:00	31,80	33,63	24,09	25,85
05:00	32,71	32,72	24,50	24,49
06:00	38,77	34,29	26,27	23,94
07:00	40,03	35,44	29,62	26,02
08:00	50,61	36,58	34,83	27,53
09:00	57,19	37,91	39,13	29,36
10:00	59,00	43,33	38,55	29,28
11:00	57,58	43,91	36,56	31,48
12:00	57,11	40,88	39,76	30,41
13:00	56,48	42,47	35,89	29,80
14:00	51,69	40,52	35,05	29,55
15:00	50,72	39,97	35,97	29,82
16:00	53,14	37,32	35,09	29,38
17:00	52,67	38,32	35,07	27,27
18:00	55,29	38,30	35,02	31,13
19:00	59,35	42,35	36,77	32,97
20:00	62,14	48,21	36,39	31,80
21:00	55,06	46,36	36,16	32,91
22:00	51,14	48,04	32,78	32,14
23:00	45,24	40,81	30,03	29,65
24:00	42,82	37,53	27,26	26,83

Analizados los resultados de la Tabla 3 en su conjunto, se observa una marcada diferencia entre los días laborables y los de fin de semana, en particular la variabilidad de los primeros es más marcada que en los segundos; se observa una tendencia de disminución de la concentración de PM10 durante el día laborable, entre el año 2005 cuyos valores son claramente superiores a los del año 2008, tanto para las concentraciones de los weekday como de los weekend. Comparando los resultados en su conjunto con los obtenidos en las Tablas 1 y 2, se observa que en el año 2005 el valor promedio máximo alcanzado por la tarde en esta estación de Burgos, situada en el casco urbano da una concentración de $62,14 \mu\text{g}/\text{m}^3$, muy cercano al de la estación MIR1, de $63,25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, situada en la carretera de Miranda-Logroño, y ambas bastante más elevados que los promedios obtenidos $36,89 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para la estación de Aranda durante ese mismo año. En días fin de semana sin embargo los promedios más altos se han alcanzado en esa estación de Burgos durante el año 2005 siendo $48,21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el valor registrado más elevado, siendo los máximos $43,95 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $40,33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante el año 2005 en la estación MIR1 y durante el año 2008 en la estación AR.

Respecto a otro de los contaminantes analizados, el dióxido de azufre, SO_2 , han sido determinados los valores de concentración media horaria anual a lo largo de los seis años de estudio en todas las estaciones instaladas. Dos estaciones de Miranda de Ebro MIR1 y MIR2, ésta última situada en un parque de la ciudad. En la estación AR, que estuvo situada primeramente en el centro de la ciudad y posteriormente en un lugar más a las afueras. Por último, en cuatro estaciones de Burgos.

En la figura 3 se muestran los resultados para AR, MIR1, MIR2, y dos estaciones de Burgos que nombraremos BU1 y BU4, la primera de ellas situada en una zona muy transitada de tráfico y la segunda en una zona verde fuera de la ciudad.

En todos los casos mostrados en dicha figura 3, puede apreciarse que las concentraciones de este contaminante son reducidas, quedando bastante alejadas de los límites legales. Las tres estaciones situadas en los cascos urbanos muestran con nitidez como los valores de fin semana son más bajos que los valores de días laborables, excepción hecha de algunas situaciones en las que no se dan estos resultados, como son las primeras horas del día alrededor de la 1:00 ó 2:00 horas y como son algunas horas de la tarde en la estación MIR2 en los años 2005, 2007 y 2008, en cuyas horas pueden darse bastante aglomeración de vehículos en esa zona de la ciudad. Como ejemplo de estas situaciones, se puede tomar el que ofrece a las 18:00 el año 2005, con un valor medio en fin de semana de $0,88 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mayor que a esa hora en día laborable. Para estas tres estaciones, puede describirse el comportamiento como muy regular en las dos agrupaciones en las que se han dividido los días de la semana, tal como se aprecia en las representaciones gráficas correspondientes de la figura 3.

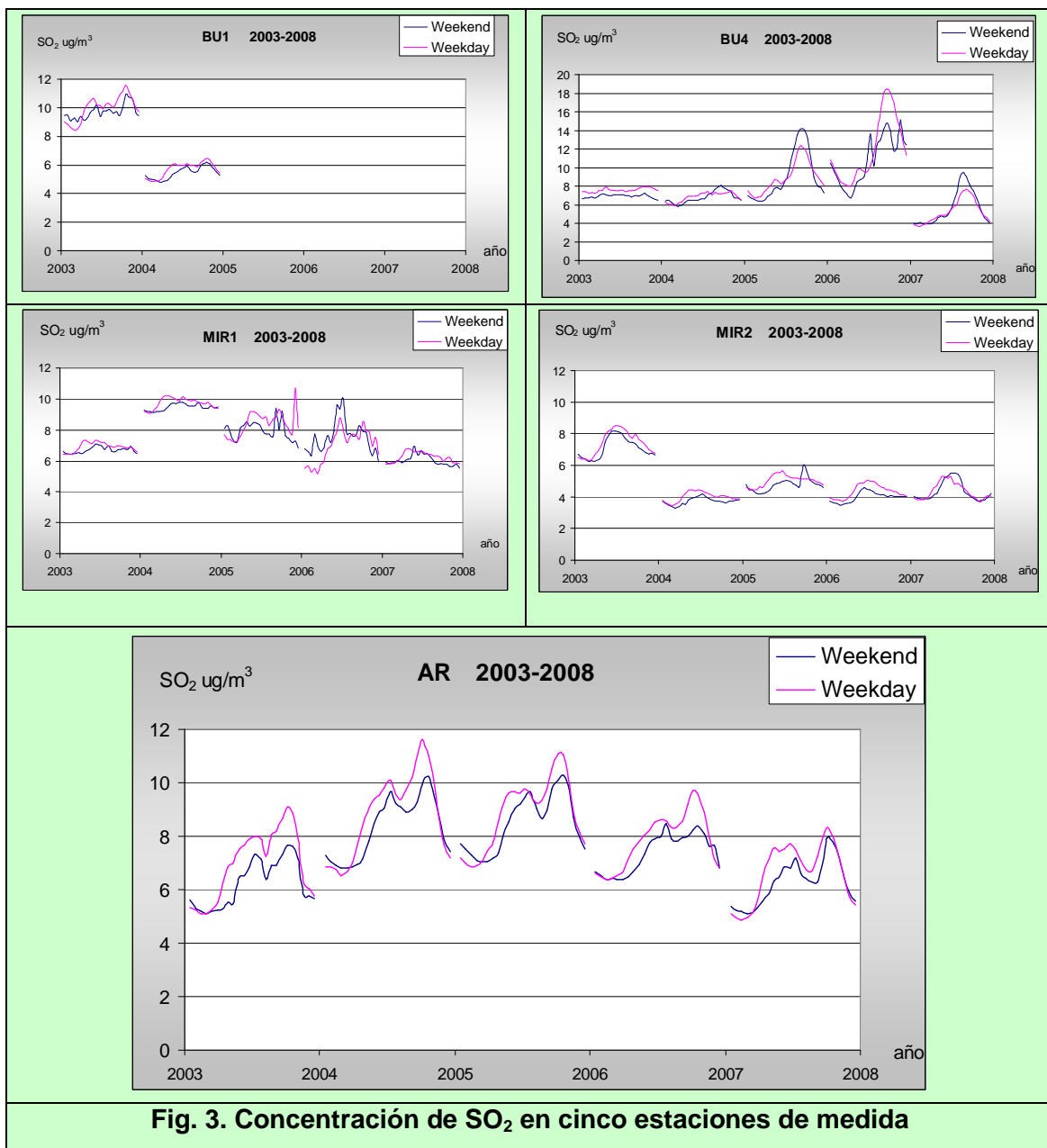


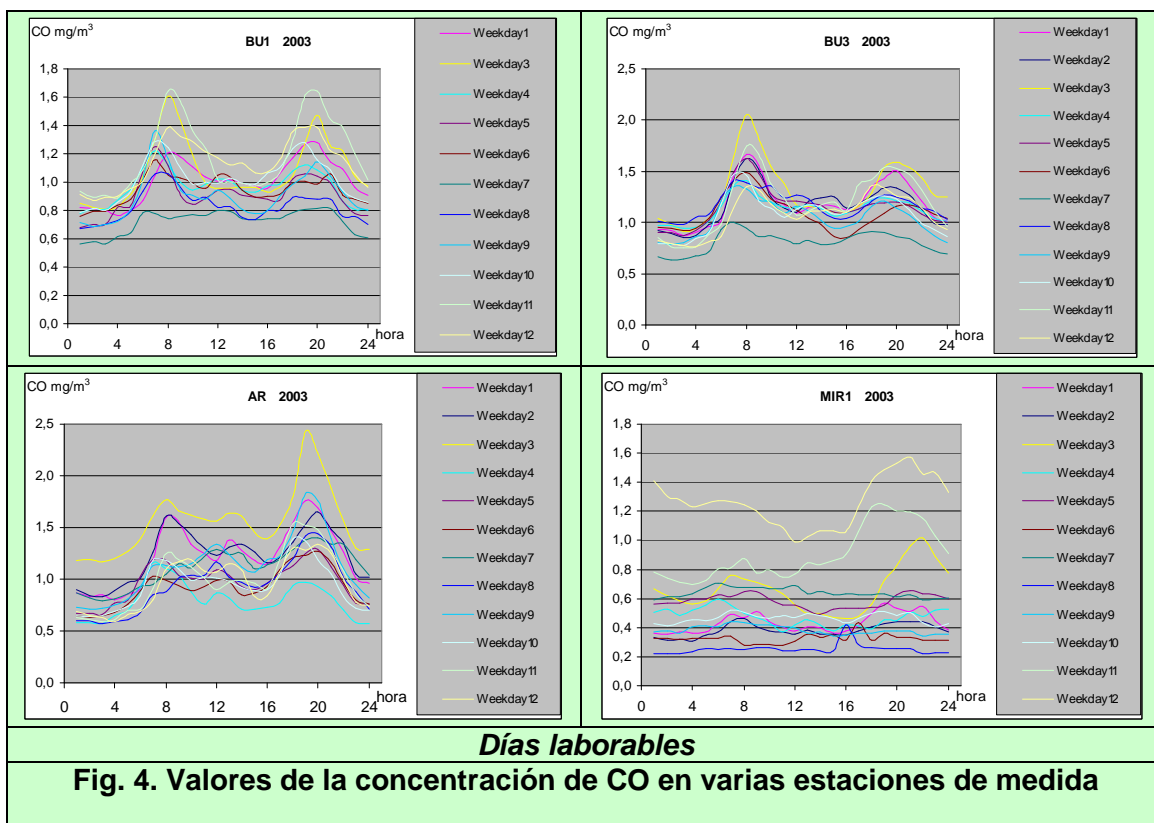
Fig. 3. Concentración de SO₂ en cinco estaciones de medida

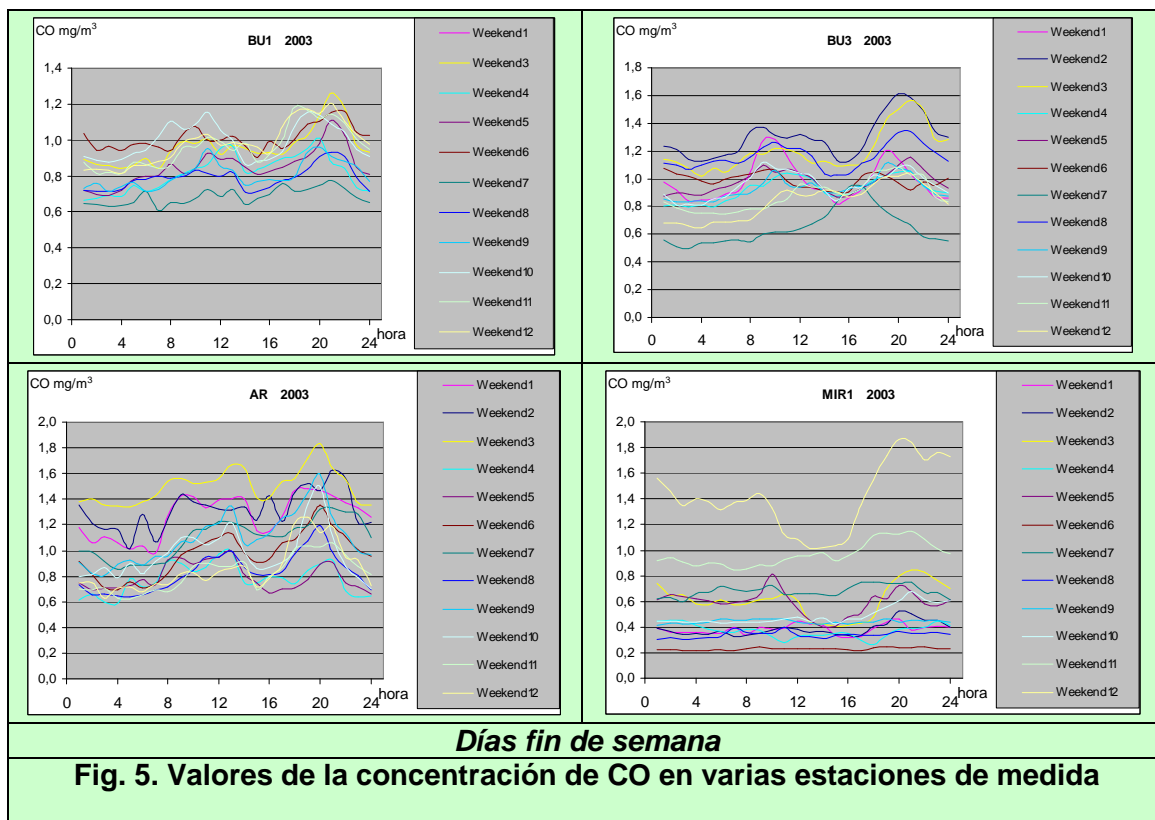
Resultados bastante distintos se encuentran en las estaciones que están situadas fuera de la ciudad, tal es el caso de MIR1 y BU4, que se muestran en dicha figura 3. En la estación BU4 se aprecia un importante incremento relativo frente a los otros años de estudio, tanto en días weekday como weekend, a partir del año 2005 hasta el 2007. Esta estación pudiera estar influenciada por la cercanía al aeropuerto de Burgos, que ha aumentado su actividad precisamente en esos años, aunque esta suposición necesitaría de confirmación en posteriores estudios. También presenta un particular perfil la gráfica correspondiente a la estación MIR1, que puede verse afectada de emisiones apreciables tanto en días laborables como en fin de semana, motivo por el cual se pueden dar mayores valores en estos últimos. Así se aprecia principalmente, entre las 11:00 y las

13:00 horas del año 2005, donde el valor medio llega a alcanzar $10,04 \mu\text{g}/\text{m}^3$ frente a $8,08 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de la media anual para los días laborables.

Se han calculado para el monóxido de carbono, CO, los valores de concentraciones durante cada uno de los meses de uno de los años de estudio y en concreto los resultados para las concentraciones medias horarias del año 2003 para cada uno de los meses del año se muestran en las figuras 4 y 5. Ambas figuras muestran los resultados obtenidos en cuatro de las estaciones de medida, tres están situadas en la ciudad, dos en Burgos, BU1 y BU3, y una en Aranda, AR; la cuarta, MIR1, situada en la carretera Miranda-Logroño, como ya se había dicho en párrafos anteriores.

Los valores de las concentraciones medias durante los días de diario están comprendidos en una estrecha franja de $0,2$ y $2,4 \text{ mg}/\text{m}^3$, en el conjunto de todos los meses del año, siendo los más altos los del mes de marzo en las estaciones AR y BU3. Los valores de las concentraciones medias durante los días de fin de semana están comprendidos en una estrecha franja más estrecha todavía de $0,2$ y $1,9 \text{ mg}/\text{m}^3$, en el conjunto de todos los meses del año, siendo los más altos los del mes de diciembre y marzo, en la estación MIR1 y en la estación AR, respectivamente.





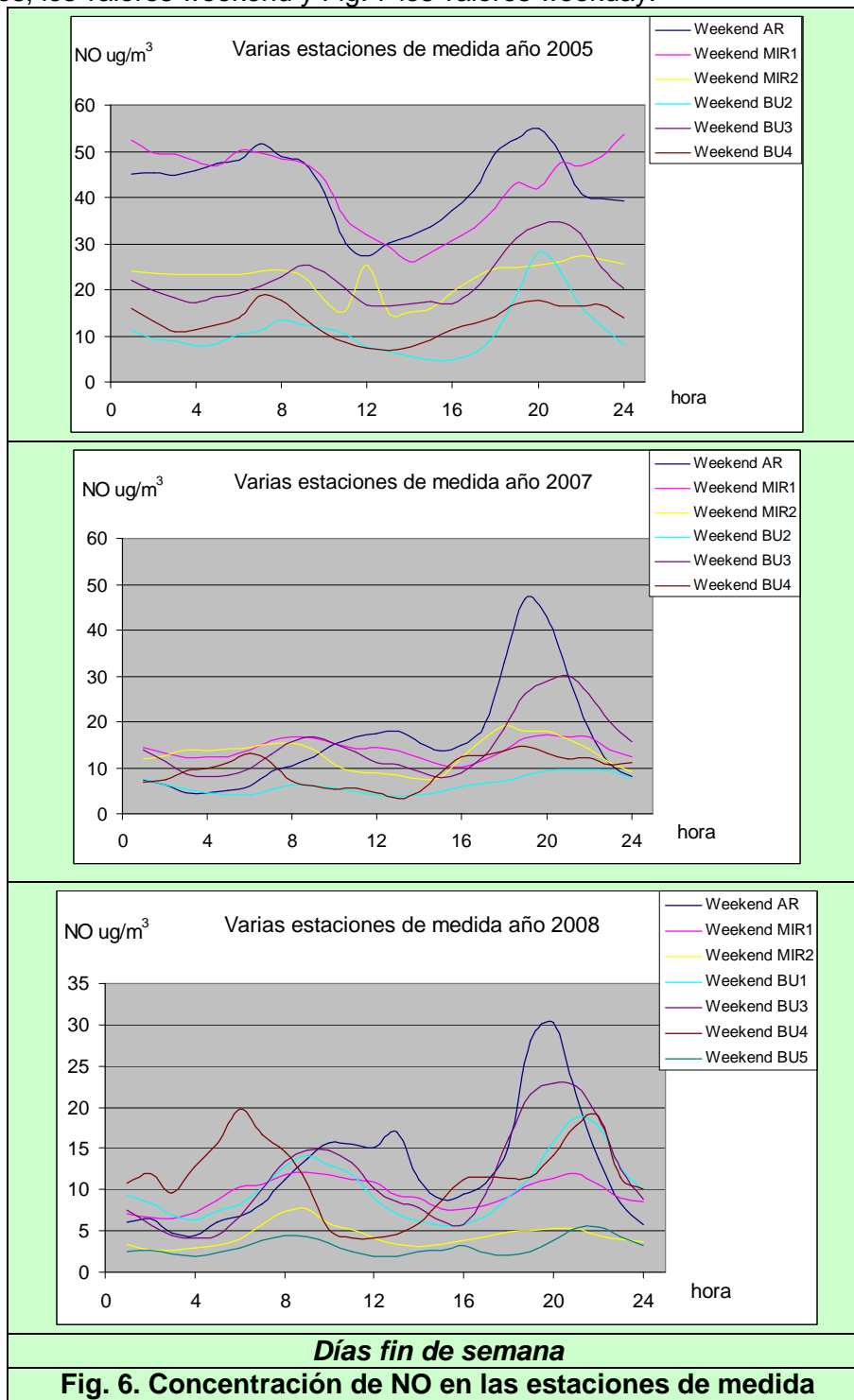
Cotejando los dos grupos de figuras, los valores de las concentraciones medias durante los días de diario son muy semejantes, apreciándose valores sólo ligeramente superiores a las de los fines de semana en las dos estaciones de la ciudad de Burgos. En todo caso no son significativas las concentraciones determinadas.

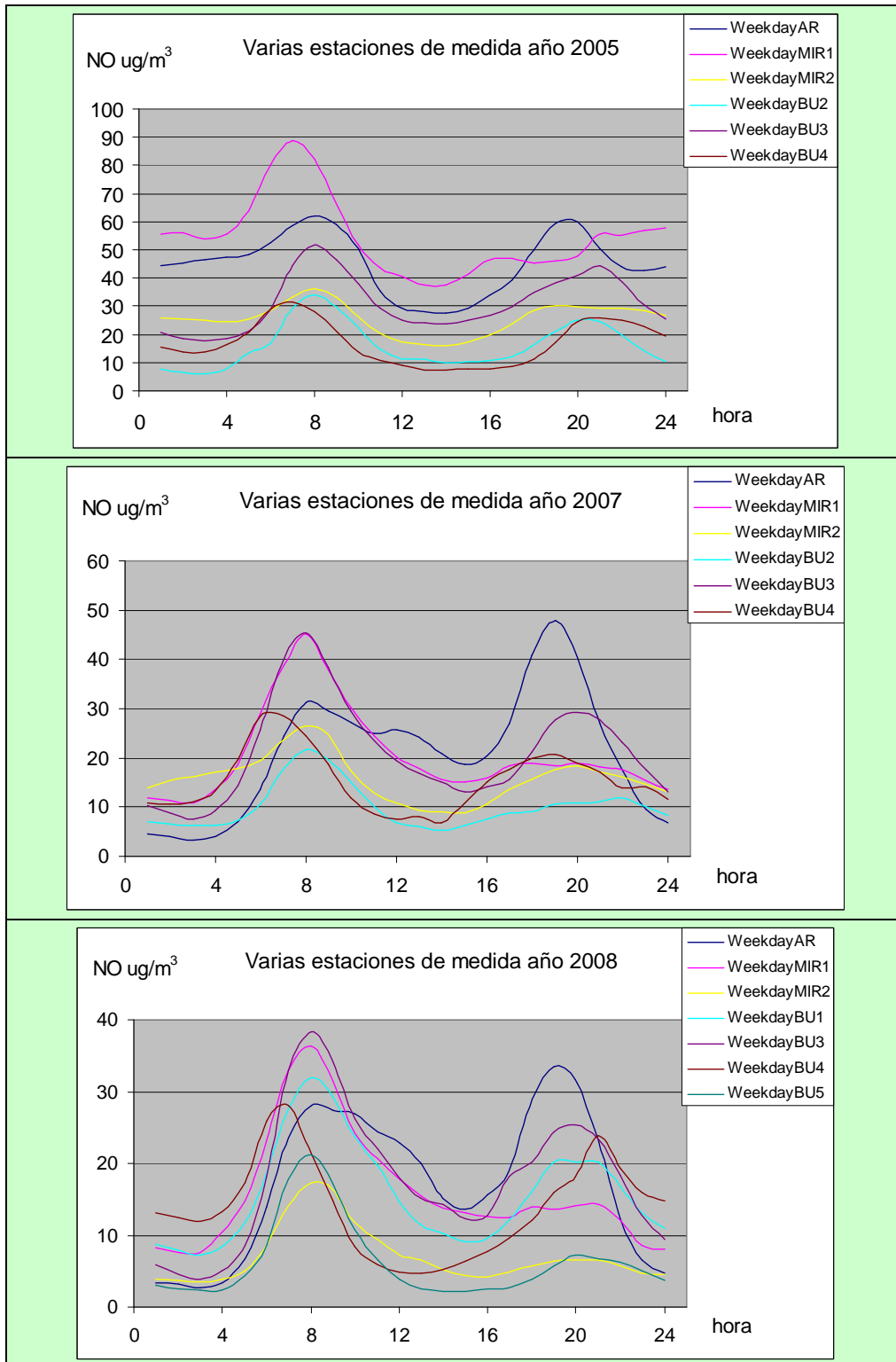
En las gráficas de la figura 4 y de la figura 5 se pueden observar, para las estaciones situadas en la ciudad, el pico de primeras horas de la mañana, alrededor de las 8:00 horas en los valores diarios, desplazado más tarde y menos marcado los fines de semana y en ambos casos el pico de por la tarde alrededor de las 19:00 horas. Los valores obtenidos en la estación MIR1, a las afueras de la ciudad muestran valores más dispersos y sin regularidad marcada. Estudiando la evolución de este contaminante a lo largo de los meses observamos concentraciones más elevadas durante los meses fríos, en algunos casos con concentraciones muy altas de CO durante los fines de semana alrededor del pico de las 19:00 horas coincidiendo con concentraciones igualmente altas de otros contaminantes como SO₂ NO_x o partículas en suspensión.

De los principales compuestos contaminantes de nitrógeno presentes en la atmósfera que son las formas oxidadas NO, NO₂ y HNO₃, relacionadas químicamente entre sí por una serie de reacciones cíclicas, hemos comentado anteriormente que nosotros hemos analizado el comportamiento del monóxido y del dióxido de nitrógeno. La suma de NO y NO₂ se suele denotar por NO_x, y su fuente principal es la reacción entre el oxígeno y el nitrógeno del aire empleado en procesos de combustión a temperaturas elevadas. Aproximadamente el 90%-95% de los óxidos de nitrógeno efluentes de la combustión son

NO. La formación del NO₂ suele producirse en la atmósfera a partir del NO con especies más reactivas que el oxígeno, como el ozono o los radicales peroxilo.

La comparación de los resultados de concentración del contaminante NO entre las distintas localizaciones donde se tienen ubicadas las estaciones de medida de la calidad del aire, se pueden apreciar directamente de las figuras 6 y 7. Fig. 6 muestra, para tres de los años, los valores weekend y Fig. 7 los valores weekday.

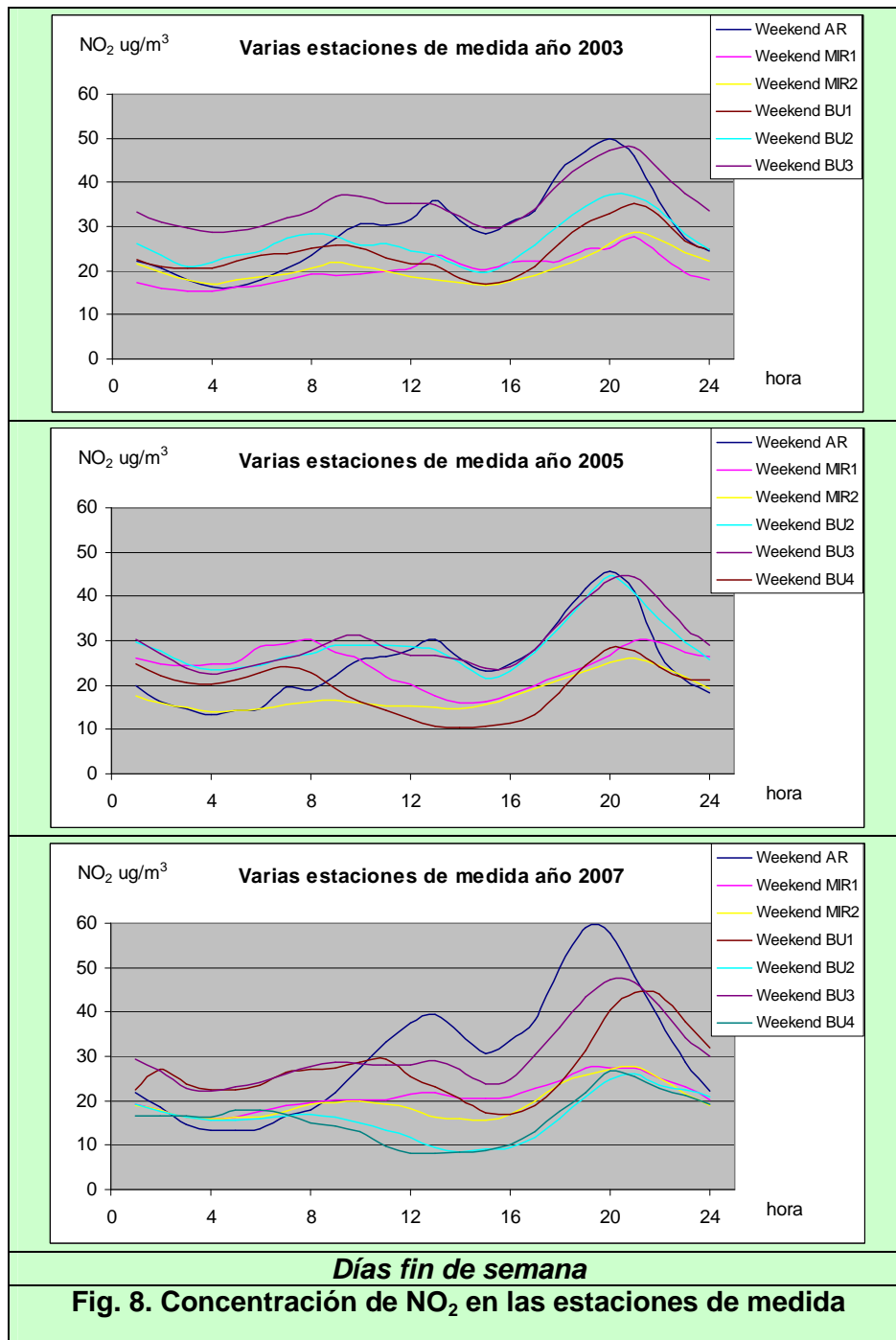


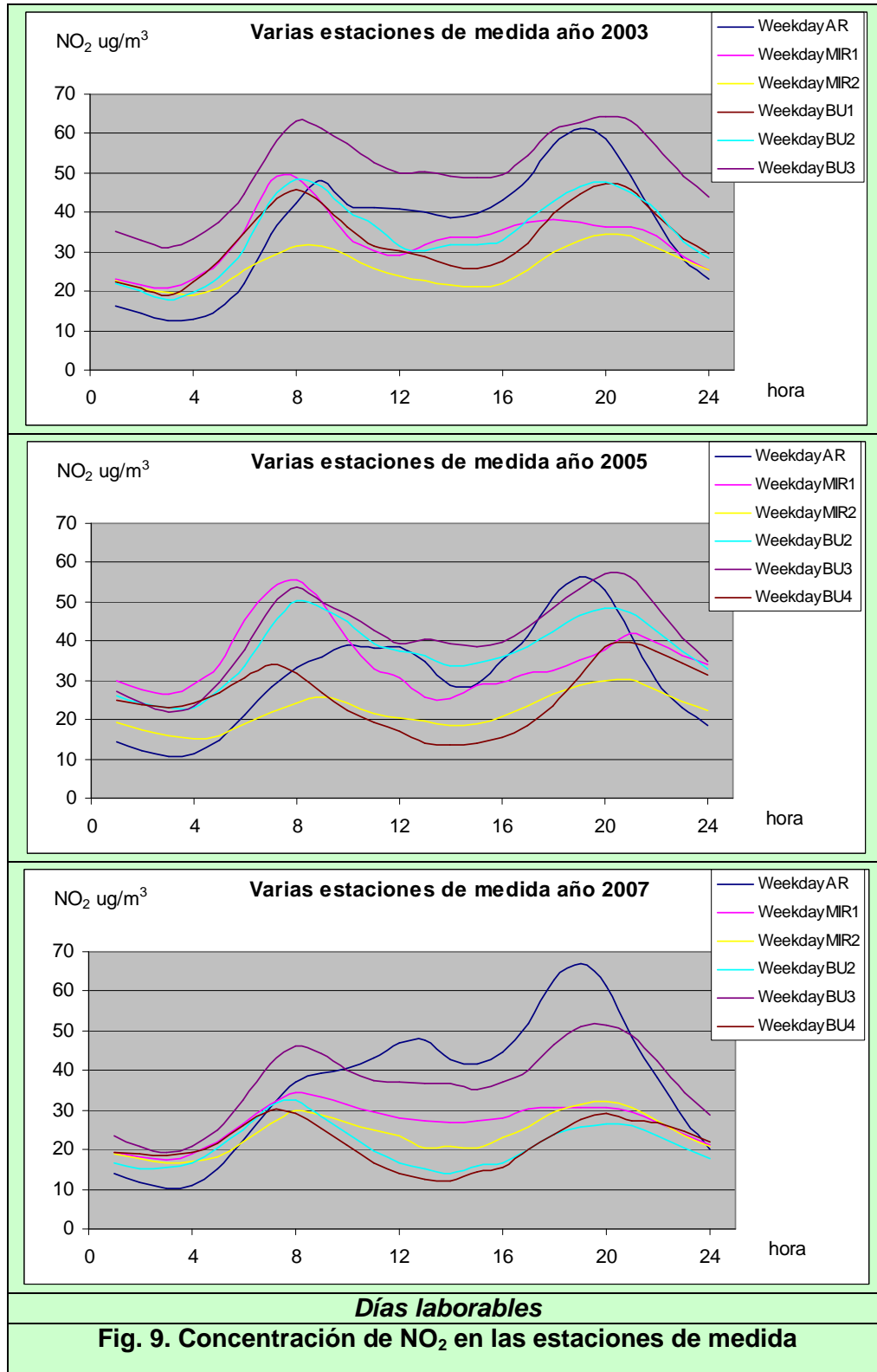


Días laborables

Fig. 7. Concentración de NO en las estaciones de medida

La comparación de los resultados de concentración del contaminante NO entre las distintas localizaciones donde se tienen ubicadas las estaciones de medida de la calidad del aire, se pueden apreciar directamente de las figuras 8 y 9. Fig. 8 muestra, para tres de los años, los valores weekend y Fig. 9 los valores weekday.





Ambos grupos de figuras son muy significativas, por lo que describiremos los aspectos más relevantes y diferenciadores entre las cuatro figuras representadas. Las emisiones provenientes del tráfico tienen mayor incidencia a primera y última hora del día coincidiendo con las horas punta, por lo que la distribución estos dos contaminantes atmosféricos, el monóxido del nitrógeno fundamentalmente, y también del dióxido del nitrógeno a lo largo del día, es bimodal con su pico mayor a primera hora de la mañana y el pico secundario a última hora. Esta distribución bimodal puede observarse en las figuras 7 y 9; con cierto retraso horario para el NO₂ con respecto al NO.

En concreto, en la figura 7 se pueden ver los picos correspondientes al NO diario, con un primer pico alrededor o previo de las 8 de la mañana y un segundo pico ya avanzadas las 7 de la tarde, lo que está en concordancia con otros estudios que vinculan estos dos picos al tráfico de hora punta. En cambio el primer pico del NO del fin de semana está más desdibujado, pero vemos algunos situados sobre la 12 ó 1 del mediodía, y de menor concentración que en los días de diario, es decir no sólo son diferentes las concentraciones encontradas, lo que supone una disminución de las emisiones durante el fin de semana, si no también la forma de las curvas es distinta con un desplazamiento de las emisiones de la mañana a horas posteriores durante el fin de semana.

Contrastando el mismo año y las mismas estaciones se observan en todos los casos valores horarios más elevados en los días weekday que en los días weekend, lo que se pone de manifiesto, salvo muy excepcionales casos, para el NO₂ durante todas las horas del día y para el NO más acusadamente hasta bien entrada las horas vespertinas

Las estaciones de medida que están ubicadas en el centro de la ciudad en una zona con cierta densidad de tráfico, presentan condiciones adecuadas para estudiar el efecto fin de semana, así sucede por ejemplo en las estaciones AR, MI1 ó BU3, de las figuras 7 a 9 presentadas, de manera que generalmente las concentraciones de ambos óxidos de nitrógeno son inferiores durante el fin de semana con respecto a las encontradas en los días de diario

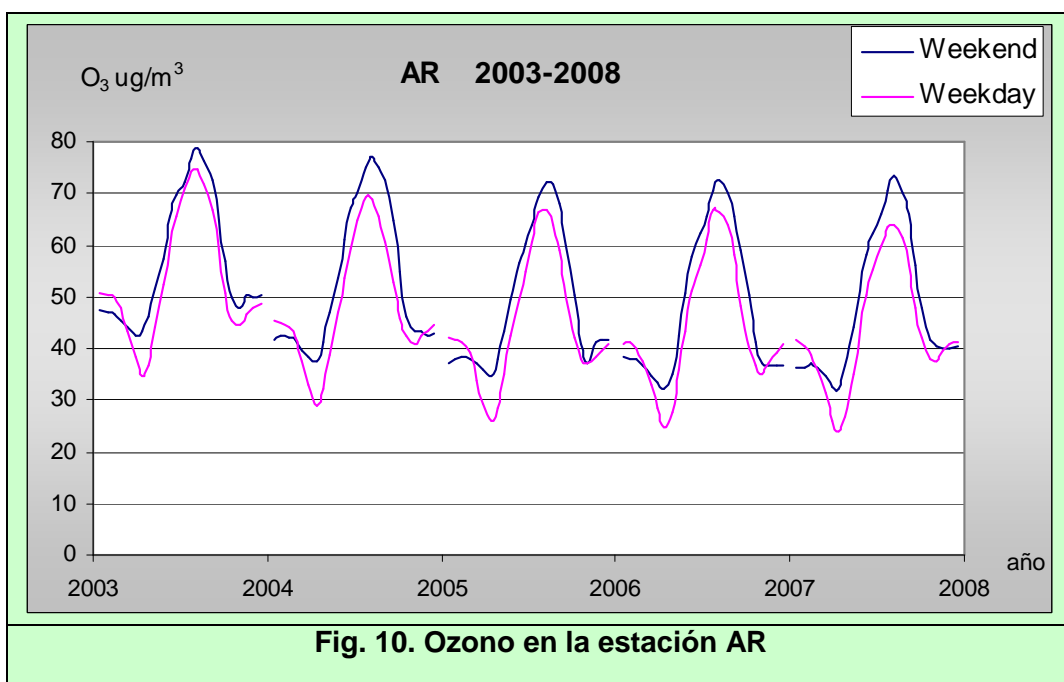
Se muestran en la Tabla 4 las concentraciones medias de NO y NO₂, expresadas en µg/m³, durante los días de diario y de fin de semana del año 2005.

Tabla 4. Concentraciones medias diarias de NO y NO₂ durante el año 2005						
Año 2005	µg/m³ estación	NO		NO₂		
		Weekday	Weekend	Weekday	Weekend	
	BU2		16	11	37	29
	BU3		30	22	41	30
	BU4		17	13	26	19
	AR		45	42	30	24
	MIR1		55	43	36	24
	MIR2		26	24	22	18

Comparando las distintas localizaciones de dicha tabla, vemos que las concentraciones medias del año 2005, variaron entre los valores de 16 hasta 55 µg/m³ en las estaciones

BU2 y MIR1 respectivamente, en tanto que para el fin de semana variaron entre los valores de 11 y 43 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, para las mismas estaciones. En la estación BU2, por ejemplo, la concentración media de NO llegó a ser casi un 45 % superior durante los días de diario respecto a la de los fines de semana, en tanto que en el NO₂ este aumento fue casi del 28% referida a la misma estación de medida.

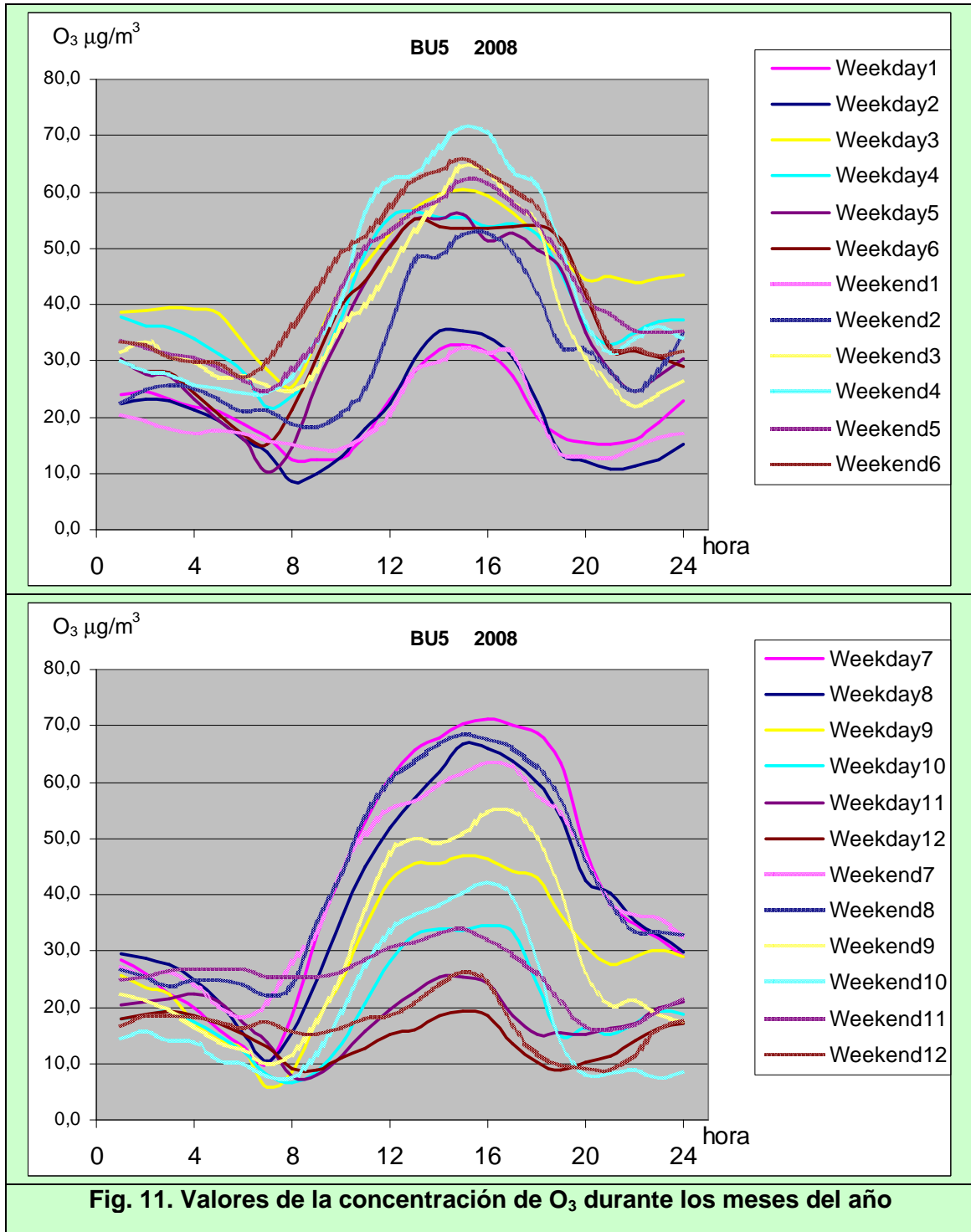
Es bien sabido que el ozono es un contaminante secundario y su principal origen es fotoquímico. Los contaminantes primarios involucrados en esta formación de O₃ fotoquímico son denominados precursores y están representados por compuestos orgánicos reactivos, especialmente hidrocarburos (RH) y óxidos de nitrógeno (NO_x).



En la figura 10 se ha representado, a lo largo de los años 2003 y 2008, la concentración media diaria del ozono en la estación de medida AR. Los resultados de la figura muestran un único comportamiento a lo largo del día presentando un máximo valor unas dos horas posteriores al mediodía solar, resultados que coinciden con los obtenidos en otras estaciones y otros años de medida [8]. Este característico perfil de las curvas en las horas centrales del día está relacionado con su origen fotoquímico. La calidad del aire ambiente que marca el nivel de ozono viene influenciada por los datos meteorológicos, en particular por la irradiancia solar a esas horas del día.

La misma gráfica también presenta durante todos los años un mayor nivel de ozono weekend. Muchos autores consideran que un factor importante que podría contribuir al aumento de las concentraciones de ozono durante el fin de semana son precisamente las diferencias en las horas de emisión de los óxidos de nitrógeno emitidos, ya visto en las figuras 7-9. Esas diferencias horarias hacen que los NO_x tengan un horario que se ajusta mejor a los procesos de formación de ozono vinculados a la radiación solar incidente.

Se han determinado, también para el ozono, las concentraciones medias diarias para todas las estaciones de medida en los distintos meses de cada año de estudio. La figura 11 muestra los resultados para el año 2008, en una de las localizaciones de Burgos, estación BU5, que recientemente se ha instalado en la ciudad.



Como se puede apreciar en la figura 11, el ozono tiene un comportamiento bastante regular, en el que el valor del máximo de concentración media diaria se produce alrededor de las 3 de la tarde durante los meses invernales y las 4 o incluso más avanzada la tarde en los meses en los que las horas de sol son elevadas. También se muestra regularidad en que se dan mayores concentraciones durante los fines de semana prácticamente durante todas las horas diurnas de radiación solar; exceptuando para ese año el mes de julio en que este comportamiento se ha invertido, si bien el valor medio para dicho mes ofrece los valores de 41 y 42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para los días weekend y weekday respectivamente. Las diferencias máximas de valores semanales varían de un mes a otro entre los weekend y weekday, así por ejemplo puede darse un aumento de hasta caso el 60% entre las 13:00 a las 17:00 horas del mes de febrero, mientras que en el mes de agosto, apenas alcanza el 3% en el mismo intervalo horario; así que en este sentido se aprecia una gran variabilidad para las medias horarias diarias del ozono.

CONCLUSIONES

Se han determinado las concentraciones diarias de diversos contaminantes atmosféricos a partir de los datos brutos recogidos en las estaciones de medida de la red de una comunidad autónoma.

Los resultados obtenidos muestran que los contaminantes, NO, NO₂, CO, SO₂ y PM10, son encontrados en menores proporciones durante el fin de semana que a diario. También en el ozono se encuentran resultados diferenciados entre los días fin de semana y los días de diario, pero, a diferencia de los otros contaminantes, el ozono suele tener el comportamiento contrario con mayores concentraciones durante el fin de semana.

Por lo tanto, en todos los contaminantes analizados se ha encontrado el efecto “fin de semana”, que, de manera muy aproximada, se puede deber a que normalmente las emisiones antropogénicas son diferentes en los días de diario que en los días festivos, así que el resultado es una distinta concentración de contaminantes a diario que en fin de semana. Se deberá hacer intervenir los valores de parámetros meteorológicos correspondientes a días de diario y de fin de semana, para poder llegar a una explicación más detallada sobre las causas de este comportamiento en las zonas donde están ubicadas las estaciones de medición de cada uno de los contaminantes de interés.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1]<http://www.aytoburgos.es/medio-ambiente/sostenibilidad/agenda-21-actualizacion-2008>

[2] <http://www.ciudades-saludables.com/>

[3] http://217.116.8.134/index.php?option=com_wrapper&Itemid=90

[4]<http://eur->

lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2002:242:0001:0015:ES:PDF

[5]http://www.jcyl.es/web/jcyl/binarios/899/360/Zonificacion%20y%20n%C3%BAmero%20de%20estaciones.pdf?blobheader=application%2Fpdf%3Bcharset%3DUTF-8&blobheadername2=JCYL_MedioAmbiente&blobheadervalue1=attachment%3Bfilename%3DZonificacionyn%C3%BAmerodeestaciones.pdf&blobheadervalue2=JCYL_MedioAmbiente&blobnocache=true

[6][http://www.jcyl.es/web/jcyl/binarios/631/1023/Estaciones%20de%20la%20red.pdf?blobheader=application%2Fpdf%3Bcharset%3DUTF-](http://www.jcyl.es/web/jcyl/binarios/631/1023/Estaciones%20de%20la%20red.pdf?blobheader=application%2Fpdf%3Bcharset%3DUTF-8&blobheadername2=JCYL_MedioAmbiente&blobheadervalue1=attachment%3Bfilename%3DEstacionesdelared.pdf&blobheadervalue2=JCYL_MedioAmbiente&blobnocache=true)

[8&blobheadername2=JCYL_MedioAmbiente&blobheadervalue1=attachment%3Bfilename%3DEstacionesdelared.pdf&blobheadervalue2=JCYL_MedioAmbiente&blobnocache=true](http://www.jcyl.es/web/jcyl/binarios/631/1023/Estaciones%20de%20la%20red.pdf?blobheader=application%2Fpdf%3Bcharset%3DUTF-8&blobheadername2=JCYL_MedioAmbiente&blobheadervalue1=attachment%3Bfilename%3DEstacionesdelared.pdf&blobheadervalue2=JCYL_MedioAmbiente&blobnocache=true)

[7] Y. Qin et al. *Weekend/weekday differences of ozone, NO_x, Co, VOCs, PM₁₀ and the light scatter during ozone season in southern California*. Atmospheric Environment 38, 3069-3087.

[8] V. Tricio, R. Vitoria y A. Minguito. *Evolución del ozono en Burgos y provincia a partir de los datos de la red de medida de contaminación atmosférica*. Informe CONAMA 6. Fondo documental. www.conama8.org. Ed. Fundación CONAMA. 2007. ISBN 978-84-611-6298-1

Agradecimientos: A la Junta de Castilla y León que participa en la financiación parcial (proyecto BU020A05). A la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Castilla y León, por los datos cedidos para nuestra investigación en este trabajo.