

Ozono en Kostaldea en el período 2001-2004

E. Agirre¹, L.J.R. Barrón², A. Anta³

¹ Universidad del País Vasco, E.U. Ingeniería Técnica Industrial, Departamento de Matemática Aplicada. Bilbao.

² Universidad del País Vasco, Facultad de Farmacia, Area de Tecnología de los Alimentos, Vitoria-Gasteiz.

³ Analista informático. Vitoria-Gasteiz.

Resumen

El presente artículo muestra algunos de los resultados obtenidos en el trabajo de investigación titulado “*Puesta a punto, operación, tratamiento y control de calidad de los niveles de ozono registrados en Kostaldea y Rioja Alavesa en el período 2001-2004*”, financiado por el Departamento de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio del Gobierno Vasco. El objetivo de dicho trabajo fue realizar un análisis estadístico de la evolución de los niveles de ozono troposférico (O₃) registrados en cinco estaciones de la Red Automática de Control y Vigilancia de la Calidad del Aire de la Comunidad Autónoma del País Vasco (CAPV) de la zona denominada Kostaldea en el período 2001-2004. Se observó que las tendencias anuales de ozono estudiadas fueron similares en las distintas estaciones en el bienio 2001-2002. Sin embargo, las concentraciones de ozono aumentaron considerablemente en el año 2003, y aunque esta tendencia creciente no sufrió un incremento tan notable en el año 2004, los niveles de ozono registrados en este último año fueron inferiores a los del año anterior pero superiores a los recogidos en el bienio 2001-2002. El año 2003 fue un caso especial, en cuyo verano se midieron los mayores niveles de ozono y se produjeron numerosas superaciones de los umbrales de ozono referentes a la salud humana. Finalmente, en lo que respecta al ozono, la calidad del aire en Kostaldea en el período 2001-2004 puede considerarse de buena calidad con algunos episodios específicos.

Palabras clave: ozono troposférico, evolución del ozono, umbrales de ozono.

1 Introducción

La vigilancia de las concentraciones de los contaminantes atmosféricos y el estudio de la evolución de dichos contaminantes son herramientas fundamentales para el diseño de estrategias de control de la contaminación atmosférica que permitan mejorar la calidad del aire.

Los contaminantes atmosféricos son compuestos que repercuten de forma nociva en el entorno. Mientras que los contaminantes primarios como el monóxido de carbono,

dióxido de azufre, partículas y compuestos orgánicos se emiten directamente desde el foco de emisión (tráfico rodado, actividad industrial,...) a la atmósfera, los contaminantes secundarios se originan como consecuencia de las reacciones que sufren los contaminantes primarios en la atmósfera. Así, el ozono troposférico (O_3) es un contaminante secundario que se produce como resultado de complejas reacciones entre los óxidos de nitrógeno y los componentes orgánicos volátiles bajo la presencia de la radiación solar. Actualmente el ozono troposférico es uno de los contaminantes atmosféricos más relevantes de la CAPV.

Los elevados niveles de ozono pueden causar daños en la salud humana, en las plantas y en ciertos materiales. Asimismo, las largas exposiciones a elevadas concentraciones de ozono pueden aumentar los efectos negativos de éste. En numerosas áreas, y también en la zona de Kostaldea, los niveles más elevados de ozono se registran durante el período comprendido entre los meses de abril y septiembre. Consecuentemente, sería de especial interés realizar un estudio que mostrara la evolución del ozono en cada estación de Kostaldea en el que se especificaran las superaciones de los umbrales referentes a la salud humana en dicha zona. En el plano internacional se han adquirido compromisos para controlar y reducir las emisiones de precursores de ozono (compuestos orgánicos volátiles y óxidos de nitrógeno). La Unión Europea en la Directiva 2002/03/CE de 12 de febrero de 2002 (R.D. 1796/2003) estableció nuevos valores de calidad para la contaminación por ozono. La tabla 1 resume los umbrales de ozono para proteger la salud humana.

Tabla 1: Umbrales de ozono referentes a la salud humana.

Umbral	Valor ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Período de referencia
Alerta a la población	240	Promedio horario
Información a la población	180	Promedio horario
Protección de la salud	120	Media móvil octohoraria diaria

Tal como se observa en la tabla 1, la directiva establece el umbral de alerta a la población de $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como promedio horario, el umbral de información a la población de $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ también como promedio horario y establece un valor objetivo a largo plazo de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como media octohoraria móvil diaria, que no podrá superarse más de 25 días por cada año civil, de promedio en un período de 3 años. Este último valor objetivo se ha de alcanzar para el año 2010 y es el umbral de protección de la salud humana.

Así, el presente artículo muestra los resultados del estudio de la evolución del ozono y de la superación de los umbrales de ozono referentes a la salud humana en la zona de Kostaldea, ubicada geográficamente en la costa de la CAPV en el período 2001-2004.

2 Base de datos

VARIABLES meteorológicas como la temperatura, humedad relativa, presión, radiación solar, dirección del viento y velocidad del viento, y la variable que mide las concentraciones de dióxido de nitrógeno, son variables relevantes en la formación de ozono. Así, la base de datos utilizada en este trabajo está formada por los valores horarios de dichas variables y por las concentraciones horarias de ozono registrados en el período 2001-2004 en las estaciones de Kostaldea. El estudio se realizó en las estaciones de Mundaka (lat.: 43°24'22'', long.: 2°42'14'', alt.: 116), Pagoeta (lat.:43°15'2'', long.: 2°9'18'', alt.: 215), Muskiz (lat.: 43°19'15'', long.: 3°6'47'', alt.: 30), Zierbena (lat.:43°21'11'', long.: 3°4'52'', alt.: 9) y Algorta (lat.:43°21'44'', long.: 3°1'23'', alt.: 69).

Las estaciones de Muskiz y Mundaka registraron niveles de ozono desde el 1 de enero de 2001; la estación de Pagoeta posee registros horarios de los niveles de ozono desde el 23 de mayo de 2001, y las estaciones de Zierbena y Algorta registraron sus primeros datos de ozono en el año 2002, iniciándose esta labor en la primera estación el 24 de mayo de 2002 y en la segunda el 1 de junio de 2002. Las estaciones de Elgoibar, Jaizkibel y Avenida Tolosa, pertenecientes también a la zona de Kostaldea, se instalaron posteriormente en la Red Automática de Control y Vigilancia de la Calidad del Aire de la CAPV, por lo que no fueron tratadas en dicho estudio.

Las estaciones de Muskiz, Zierbena, Algorta y Mundaka pueden considerarse como estaciones urbanas, mientras que Pagoeta es una estación rural.

3 Evolución del ozono

En primer lugar, en cada estación se realizó un análisis estadístico descriptivo en el que se calcularon el número de valores válidos y perdidos, la media aritmética, la desviación típica, el máximo, el mínimo y los valores de los percentiles de orden 25, 50, 75 y 95 correspondientes a las concentraciones de ozono troposférico en las estaciones de Mundaka, Pagoeta, Muskiz, Zierbena y Algorta en el período 2001-2004. Un estudio gráfico basado en la visualización de diagramas de caja nos permite observar la evolución anual, mensual, diaria y horaria del ozono en las distintas estaciones en el período objeto de estudio. En los diagramas de caja de las figuras 2, 3 y 4 la línea horizontal gruesa indica el valor de la mediana (o percentil de orden 50, P_{50}), el límite inferior de la caja es el percentil de orden 25 (P_{25}) y el límite superior de la caja es el percentil de orden 75 (P_{75}). Así, los datos contenidos dentro cada caja representan el 50% de las concentraciones de ozono recogidas anualmente en cada estación. Los valores atípicos vienen representados mediante círculos por encima del bigote superior y por debajo del bigote inferior, a una distancia que supera la longitud de la caja (o rango intercuartil) entre 1,5 y 3 veces, y la cifra que se indica junto a cada punto indica el número de caso al que hace referencia cada valor atípico. Análogamente, las estrellas representan los valores extremos, que son los casos por encima del bigote superior y por debajo del bigote inferior a una distancia del bigote mayor que el triple del rango intercuartil. Al lado de cada valor atípico y de cada valor extremo se especifica el número de caso en el que se registró dicho valor.

3.1 Evolución anual

Respecto de la tendencia anual del ozono en el período de estudio, la figura 2 muestra la situación recogida en la estación de Muskiz.

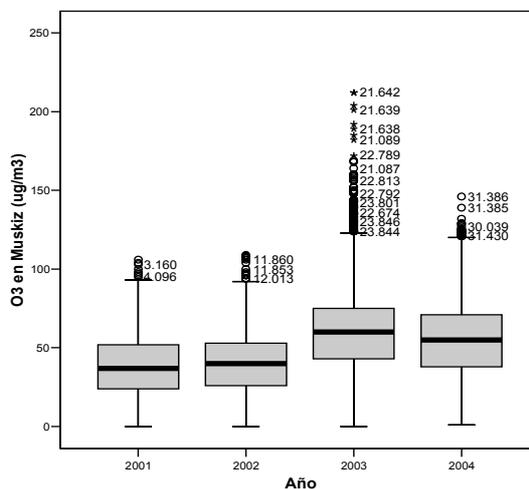


Figura 2. Evolución anual del ozono en Muskiz en el período 2001-2004.

Según se observa en la figura 2 la tendencia de los niveles de ozono es creciente. La mediana de los niveles de ozono en la estación de Muskiz en los años 2003 y 2004 supera el valor de la mediana de las concentraciones de ozono en los años 2001 y 2002, siendo el valor de la mediana más elevado ($60 \mu\text{g}/\text{m}^3$) el obtenido en el año 2003. Asimismo, los valores de los percentiles de orden 25 y orden 75 de los años 2003 y 2004 son superiores a los valores correspondientes para las concentraciones de ozono de los años 2001 y 2002 en la estación de Muskiz, siendo los percentiles $P_{25} = 43 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $P_{75} = 75 \mu\text{g}/\text{m}^3$, correspondientes al año 2003, más elevados que los correspondientes al resto del período del estudio. Del mismo modo, se observa que los bigotes superiores de las cajas correspondientes a los años 2003 y 2004 indican una tendencia creciente de los niveles de ozono en la estación de Muskiz en el bienio 2003-2004, y las concentraciones de ozono registradas en el año 2003 son superiores a las restantes. Por otra parte, los valores atípicos y los valores extremos más elevados se producen en verano del año 2003, y en numerosas ocasiones se supera el umbral de información a la población ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Destaca el caso 21.642 correspondiente a una concentración de ozono de $212 \mu\text{g}/\text{m}^3$ registrada en la estación de Muskiz entre las 17:00 y las 18:00 el día 21 de junio de 2003.

En el resto de las estaciones del estudio se observaron situaciones muy similares. La concentración media anual de ozono varió entre los $38,50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la estación de Muskiz en el año 2001 y los $78,93 \mu\text{g}/\text{m}^3$ registrados en Pagoeta en el año 2003. Los valores de los percentiles de orden 95 correspondientes a estas medias varían entre los $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Muskiz en el año 2001 y los $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Pagoeta en el año 2003. Generalmente, las concentraciones de ozono fueron más elevadas en la estación de

Pagoeta, tal como se puede observar en la figura 3, donde se han representado los valores de los percentiles de orden 95 de las concentraciones anuales de ozono registradas en las cinco estaciones durante el período 2001-2004.

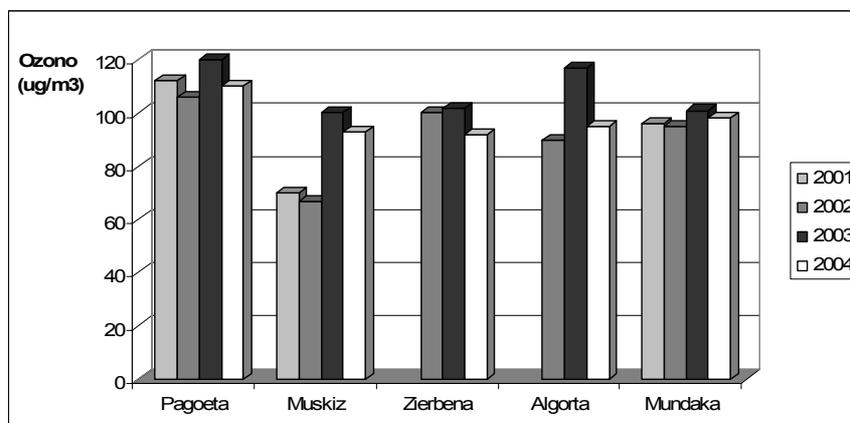


Figura 3. Evolución del percentil de orden 95 del ozono en Kostaldea en el período 2001-2004.

3.2 Evolución mensual

Tras el estudio anual de las concentraciones de ozono en el período de estudio en las citadas estaciones de Kostaldea, se determinó la variación de dichas concentraciones en los distintos meses comprendidos entre el año 2001 y el año 2004. Así, el diagrama de caja de la figura 4 muestra el carácter periódico de los niveles de ozono en la estación de Mundaka en el período 2001-2004.

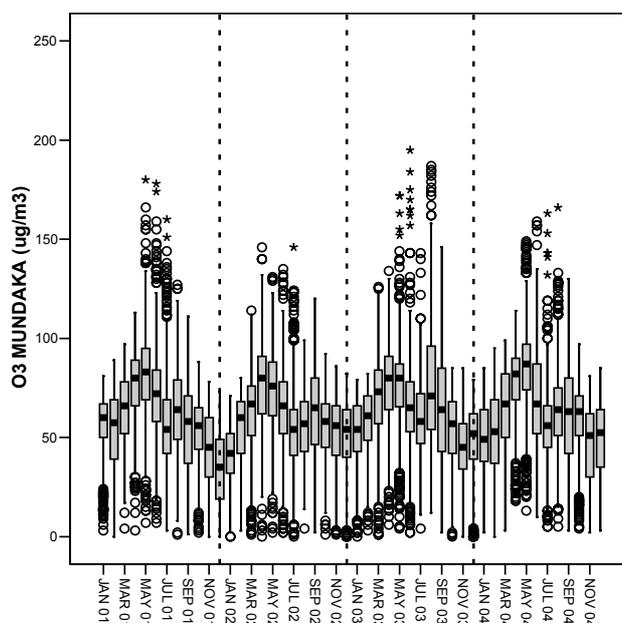


Figura 4. Evolución mensual del ozono en Mundaka en el período 2001-2004.

Al igual que muestra la figura 4, las concentraciones de ozono en las estaciones de Muskiz, Zierbena, Mundaka, Algorta y Pagoeta fueron más elevadas en el período comprendido entre los meses de abril a septiembre, coincidente con la época más cálida del año. Por el contrario, en el resto de los meses del año los niveles de ozono decrecieron. En general, se observa un primer incremento del ozono en el mes de abril con el mayor valor del percentil de orden 25 (P_{25}) en este mes en cada año del período objeto de estudio. También destacan los valores P_{50} y P_{75} en el mes de abril hasta el mes de junio; tras un decrecimiento de la media de ozono en el mes de julio, generalmente se produce un nuevo incremento en la media de ozono en el mes de agosto, y finalmente las concentraciones de ozono empiezan a decrecer a finales de septiembre, de forma que los niveles de ozono son menores durante los meses de octubre a diciembre, hasta volver a repetirse el ciclo indicado. En general, los valores atípicos y extremos ubicados por debajo del bigote inferior se registraron fuera de la época cálida, mientras que los valores atípicos y extremos por encima de los bigotes superiores fueron alcanzados en los meses comprendidos en el período abril-septiembre. Los diagramas de caja correspondientes a los meses del año 2003 muestran concentraciones de ozono superiores a las registradas en los meses del año 2001, 2002 y 2004. Destacan las elevadas concentraciones máximas de ozono, que se registraron principalmente en los meses de junio y agosto del año 2003, de forma que dichos valores superaron en numerosas ocasiones el umbral de protección de la salud humana ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y el umbral de información a la población ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

3.3 Evolución diaria

En el diagrama de cajas de la figura 5 los valores 1-7 del eje de abscisas representan los días de la semana de lunes a domingo, respectivamente.

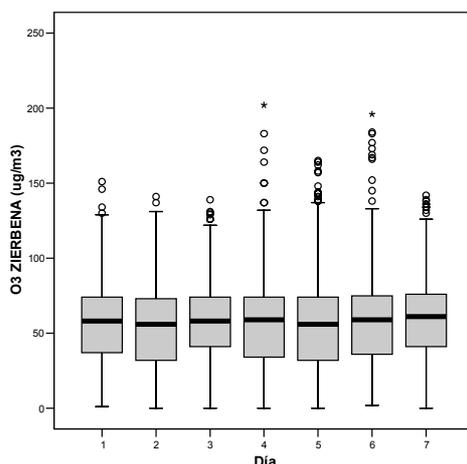


Figura 5. Evolución diaria del ozono en Zierbena en el período 2001-2004.

Los valores de las medianas así como los valores de los percentiles P_{25} , P_{50} y P_{75} indican un comportamiento casi constante en función del día de la semana en todas las estaciones del estudio. Sin embargo, los valores máximos de ozono semanales no se registran siempre el mismo día: en las estaciones de Muskiz y Mundaka el valor

máximo de ozono se registró en sábado, en Pagoeta el máximo de ozono se recogió en viernes y en las estaciones de Algorta y Zierbena el valor máximo de ozono se registró en jueves.

3.4 Evolución horaria

La figura 6 muestra la variación de las concentraciones horarias de ozono en la estación de Algorta. Tal como se observa el valor máximo se obtiene entre las 13:00 y las 17:00 horas, coincidiendo con el momento en el que los valores de la temperatura y la radiación solar son más elevados, después de que el sol haya tenido tiempo suficiente para reaccionar con las emisiones de precursores de ozono producidas durante las horas tempranas de la mañana.

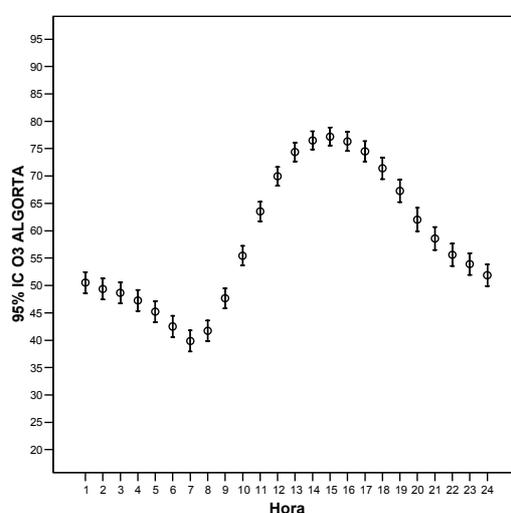


Figura 6: Evolución horaria del ozono en Algorta en el período 2001-2004.

4 Superación de los umbrales de ozono referentes a la salud

En el presente trabajo se realizó también un estudio de la superación de los umbrales de ozono referentes a la salud humana en las cinco estaciones de Kostaldea en el período 2001-2004. Así, hay que subrayar que no se produjo ninguna superación del umbral de alerta a la población ($240 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Sin embargo, sí se superó el umbral de información a la población ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Este valor fue superado 12 veces en Pagoeta, 11 veces en Algorta, 8 veces en Muskiz, 6 veces en Mundaka y 5 veces en Zierbena, y todas estas superaciones se registraron únicamente durante cuatro días de la época cálida del año 2003 (29 mayo de 2003, 21 junio de 2003, 4 agosto de 2003 y 8 de agosto de 2003). En cada una de las estaciones del estudio la superación del umbral de ozono de información a la población tuvo una duración de cinco a seis horas, cuyo inicio se produjo en la mayoría de las ocasiones al mediodía. La tabla 2 muestra las superaciones del umbral de información a la población en las estaciones de Pagoeta y Algorta, estaciones en las que más veces se superó dicho umbral.

Tabla 2: Superación del umbral 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

<i>Estación</i>	<i>Día y hora</i>	<i>Ozono ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)</i>
Algorta	29/05/2003 14:00	198
	29/05/2003 15:00	209
	29/05/2003 16:00	204
	21/06/2003 15:00	204
	21/06/2003 16:00	205
	21/06/2003 17:00	207
	21/06/2003 18:00	188
	21/06/2003 19:00	192
	04/08/2003 12:00	188
	08/08/2003 18:00	194
	08/08/2003 20:00	182
Pagoeta	04/08/2003 12:00	183
	04/08/2003 13:00	205
	04/08/2003 14:00	223
	04/08/2003 15:00	216
	04/08/2003 16:00	206
	04/08/2003 19:00	184
	08/08/2003 13:00	207
	08/08/2003 14:00	230
	08/08/2003 15:00	214
	08/08/2003 16:00	204
	08/08/2003 17:00	192
08/08/2003 18:00	190	

Finalmente, el umbral de protección de la salud humana ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, calculado como media móvil octohoraria diaria) se superó en numerosas ocasiones durante el año 2003 en los meses comprendidos entre marzo y septiembre (tabla 3). El mayor número de superaciones de este umbral se produjo principalmente durante el mes de agosto de 2003. Pagoeta es la estación con mayor número de superaciones del umbral de protección de la salud humana, tanto anualmente como globalmente en el período 2001-2004.

Tabla 3. Superaciones del umbral de protección de la salud en Kostaldea (2001-2004).

	Muskiz	Zierbena	Mundaka	Algorta	Pagoeta
Año 2001	0	0	57	0	81
Año 2002	0	7	17	0	54
Año 2003	48	65	65	99	245
Año 2004	2	0	35	0	63

Si se toma el trienio 2002-2004 y se calcula el promedio de los días en los que se ha superado este umbral, dicho promedio en ningún caso excede de 25 días, por lo que se cumplió la directiva europea sobre los umbrales de ozono recogida en el R.D. 1796/2003.

5 Conclusiones

Las concentraciones de ozono en Kostaldea en el período 2001-2004 siguen una tendencia similar, creciente globalmente: los niveles de ozono registrados en el año 2003 superaron a los registrados durante los años 2001 y 2002, y la tendencia creciente continuó con los registros horarios de ozono del año 2004, que aún siendo inferiores a los del año anterior fueron mayores que los niveles de ozono del bienio 2001-2002.

Por otra parte, se muestra el carácter cíclico anual del ozono. Las concentraciones de ozono van creciendo durante los tres primeros meses del año. Esta tendencia creciente destaca coincidiendo con la época cálida del año entre los meses de abril y septiembre, y vuelve a decrecer en los tres últimos meses del año en los cuatro años de período de estudio. El año 2003 constituye un caso especial en el que, debido a las altas temperaturas registradas durante el verano de dicho año, se produjeron elevadas concentraciones y valores máximos de ozono notablemente superiores a los medidos en el resto del período de estudio.

También se muestra el ciclo diurno del ozono, siendo las concentraciones horarias de ozono registradas entre las 12:00 y las 18:00 superiores a las registradas el resto del día. Así, el período del día en el que se registran los mayores niveles de ozono coincide con el tiempo en el que se produce más intensamente tanto la actividad antropogénica como la actividad fotoquímica.

Respecto a los umbrales referentes a la salud humana, debe subrayarse que no se produjo ninguna superación del umbral de alerta a la población. Sí se produjeron superaciones del umbral de información a la población, después del mediodía, durante cuatro días de la época cálida del año 2003. Finalmente, durante el verano del año 2003 se detectaron diversos episodios con superaciones del umbral de protección de la salud humana. Pagoeta es la estación en la que se produjo mayor número de superaciones de los umbrales de ozono referentes a la salud humana.

Como conclusión global se puede afirmar que, excepto episodios puntuales, Kostaldea gozó de una buena calidad del aire respecto del ozono en el período 2001-2004 .

Agradecimientos

Los autores de este artículo agradecen al Departamento de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio del Gobierno Vasco la facilitación de los datos de la Red Automática de Control y Vigilancia de la Calidad del Aire, así como la financiación de este trabajo de investigación mediante el proyecto “*Puesta a punto, operación, tratamiento y control de calidad de los niveles de ozono registrados en Kostaldea y Rioja Alavesa en el período 2001-2004*” (nº expediente 099P/2005).

Referencias

- Agirre E., Barrón L.J.R., Anta A. (2005). *Puesta a punto, operación, tratamiento y control de calidad de los niveles de ozono registrados en Kostaldea y Rioja Alavesa en el período 2001-2004*, Proyecto nº expediente 099P/2005. Eusko Jaurlaritza.
- Fiala j., Cernikovskiy L., de Leeuw F., Kurfuerst P. (2003). *Air pollution by ozone in Europe in summer 2003*. European Environmental Agency, Topic Report 3/2003.
- Finlayson-Pitts, B.J., Pitts, J.N. (1986). *Atmospheric Chemistry: fundamentals and experimental techniques*, J. Wiley, New York.
- Official Journal of the European Communities. (2002). Directive 2002/3/EC of the European Parliament and of the Council of 12 February 2002 relating to ozone in ambient air, OJ L 67, 3.3.2002.
- Vukovich F.M. (1995). *Regional-scale boundary layer ozone variations in the eastern United States and their association with meteorological variations*. Atmospheric Environment 29, pp. 2259-2273.
- WHO. (2003). *Health aspects of air pollution with particulate matter, ozone and nitrogen dioxide*. Report of a WHO Working Group, Bonn, Germany.