

La contaminación por ozono troposférico. El caso de Motril (Granada)

¹Federico VELÁZQUEZ DE CASTRO GONZÁLEZ y ²Sara JIMÉNEZ ARCAS

¹Doctor en Ciencias Químicas
²Licenciada en Ciencias Ambientales

Recibido: 16 de octubre de 2006

Aceptado: 22 de enero de 2007

RESUMEN

La contaminación fotoquímica, de la que el ozono es el producto más representativo, constituye para España el principal problema de contaminación atmosférica, por cuanto no existe otro contaminante que durante varios meses supere los valores de protección establecidos en las Directivas. En Andalucía, debido a los valores elevados de radiación solar y temperatura, especialmente en verano, se alcanzan algunos de los valores más altos de la Península, en particular en las cercanías de las zonas industriales de Cádiz y Huelva. Sin embargo, otros enclaves, como Motril en la provincia de Granada, han mostrado también valores permanentemente elevados, no sólo como consecuencia de los factores anteriores, sino, además, por factores meteorológicos, como los regímenes de brisas que recirculan los contaminantes en las zonas costeras y la llegada de vientos de levante, que arrastran los contaminantes de toda la costa mediterránea. El intenso tráfico, típico de los enclaves turísticos es, asimismo, una fuente de precursores. Todo ello se traduce en un perfil de contaminación crónica, cuyos efectos sobre la salud y la vegetación deben ser vigilados.

Palabras clave: Contaminación fotoquímica, ozono, Motril.

Pollution by tropospheric ozone. The case of Motril (Granada)

ABSTRACT

The photochemical pollution, where the ozone is the most representative compound, is the outstanding concern in the Spanish environmental profile, because it overcomes the established European and National values. Andalucía, in the Spanish Southern, undergoes high levels of temperature and solar radiation, especially in summer. Industrial areas (either Cádiz or Huelva) are very sensitive to the atmospheric pollution, but other places, like Motril in Granada, shows high ozone values too. The reasons are the primary pollutants emissions (because of the strong traffic levels in touristic areas), but especially as consequence of the meteorological aspects, as the breeze systems of the Mediterranean sea or the East winds that brings to Motril the emitted pollutants along the Mediterranean coast. This situation have to be researched in order to know how is affecting to the health and agriculture.

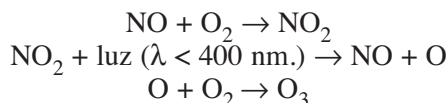
Keywords: Photochemical pollution, ozone, Motril.

SUMARIO: 1. Introducción. 2. La contaminación por ozono en España. 3. La contaminación por ozono en Andalucía y Granada. 4. La contaminación por ozono en Motril. 5. Resultados. 6. Interpretación. 7. Conclusiones y recomendaciones. 8. Bibliografía

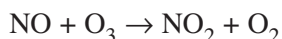
1. INTRODUCCIÓN

El ozono es un producto cuya función protectora frente a las fracciones más penetrantes de la radiación ultravioleta solar es suficientemente conocida. Generado en la estratosfera, particularmente a una altitud comprendida entre 22 y 25 kilómetros, a partir de oxígeno atómico y molecular según un ciclo de reacciones conocido como Ciclo de Chapman (1), supone la formación y destrucción de ozono en una proporción de 300.000 toneladas diarias, con el resultado de la absorción de la radiación de longitud de onda inferior a los 320 nanómetros (radiación ultravioleta B y C, cuyo poder de penetración podría alterar el DNA y provocar quemaduras severas en los tejidos de los seres vivos), protegiendo así la vida sobre la Tierra. Fue este mismo ozono el que al aparecer hace 1.500 millones de años —siendo la proporción de oxígeno atmosférico aún del 1%— permitió la evolución de los organismos hacia la superficie de las aguas y desde ahí hacia tierra firme.

Menos conocida es la actuación de este producto como contaminante, lo que ocurre en la troposfera cuando el ozono se forma a partir de productos precursores. Como contaminante secundario, no existe ninguna fuente que lo emita directamente (a excepción de su empleo como depurador, pero de descomposición inmediata), sino que aparece en una secuencia de reacciones iniciada por óxidos de nitrógeno (NOx) y compuestos orgánicos volátiles (COV), especialmente hidrocarburos, en presencia de radiación visible tal que:



en donde el óxido nítrico actúa como contaminante primario, emitido en entornos industriales o urbanos, generando dióxido de nitrógeno que es descompuesto fotoquímicamente originando oxígeno atómico y que en combinación con el oxígeno molecular forma ozono. Este producto es tan activo que reacciona de manera inmediata con su primer precursor, el NO, según la reacción:



impidiendo de esta forma su acumulación en el aire. Y, en efecto, la concentración de ozono sería insignificante si no se encontraran en la atmósfera hidrocarburos, que tras una serie de reacciones terminan compitiendo con el ozono en cuanto a su afinidad con el NO, permitiendo así el aumento de sus concentraciones.

La contaminación fotoquímica es un proceso típico de los entornos urbanos, además de ciertas áreas industriales, especialmente en los días y meses en los que la radiación solar es más intensa. Es un proceso complejo, aún no suficientemente conocido, en el que intervienen alrededor de 300 reacciones, la mayor parte de ellas de la química orgánica (2), involucrando productos y radicales, caracterizados, la mayoría de ellos por su carácter oxidante, entre los que el ozono constituye el com-

puesto más representativo. En efecto, el ozono presenta el mayor carácter oxidante ($E^0 = 2,08$ V.) de todos los conocidos, después del flúor ($E^0 = 2,87$ V.), lo que imprime a esta clase de contaminación un fuerte carácter irritante del que se desprenden daños para el ser humano en ojos, fosas nasales, garganta y bronquios, provocando inflamaciones en las mucosas y conjuntiva. Puede generar asma y agravar las dolencias de los grupos de población más vulnerable, como niños, ancianos o enfermos crónicos. Los efectos sinérgicos con otros contaminantes, como el dióxido de azufre, o con la temperatura suponen un incremento de mortalidad, más acentuado ante olas de calor (3).

Los efectos del ozono y otras especies fotoquímicas, como el peroxiacetilnitrato y algunos aldehídos, también se dejan sentir sobre animales y plantas. En estas últimas reduce la fotosíntesis y aumenta la senescencia (4) originando una reducción en el rendimiento de las plantas cultivadas. El ozono entra en las hojas de las plantas a través de los estomas, con una eficacia que depende del número y tamaño de los mismos, así como de las condiciones de humedad y de la diferencia de presión. Una vez que el ozono se encuentra en el interior de las hojas, los radicales producidos alteran de forma progresiva, la integridad de las células (5). Como el ozono reacciona, presumiblemente, de forma instantánea con los componentes de las paredes celulares y membranas plasmáticas, se forman especies de oxígeno tales como radicales superóxido, radicales hidroxilo y peróxido de hidrógeno, que pueden alcanzar a la activación genética y la síntesis de proteínas, mecanismo que comienza con el ataque de los radicales libres al núcleo celular. La exposición al ozono altera también la permeabilidad de la membrana plasmática de la planta, detectándose alteraciones en aquellas zonas en las que están presentes los lípidos (6).

Los daños del ozono a los vegetales han sido observados de manera general en toda la costa mediterránea, desde Grecia a España, tanto en pináceas como en cereales, leguminosas y hortalizas, ya que el ozono actúa especialmente en las especies vegetales de ciclo corto (7). En cuanto a otros impactos, los daños se observan también en determinados materiales, particularmente si presentan dobles enlaces en su estructura, a los que el ozono puede degradar, lo que afecta desde elastómeros a pinturas, incluidos algunos colorantes artísticos presentes en obras de arte (8).

Las concentraciones de ozono vienen actualmente reguladas por la Directiva Comunitaria 2002/3/CE transpuesta mediante R.D. 1796/2003. No obstante, para el intervalo que aquí se estudia, la Normativa entonces vigente era la Directiva Comunitaria 92/72, transpuesta mediante R.D. 1494 del 8 de septiembre de 1995. En ambos se establecen cuatro umbrales, dos de protección y dos de riesgo, según se presenta en la Tabla I.

Tabla I. Valores definidos por la Directiva 92/72

* Umbral de protección de la salud: 110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante 8 horas
* Umbral de protección a la vegetación: 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante 24 horas o 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 1 hora
* Umbral de información a la población: 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante 1 hora
* Umbral de alerta a la población: 360 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante 1 hora

2. LA CONTAMINACIÓN POR OZONO EN ESPAÑA

Nuestro carácter de país industrializado, situado entre los quince primeros del mundo, junto a la presencia de ciudades con alto volumen de tráfico, incrementado, asimismo, por el transporte de mercancías y el turismo, nos configura como un importante emisor de precursores de ozono. Si a esto se añade la alta proporción de radiación solar recibida sobre nuestro territorio, en el que 32 provincias alcanzan o superan las 2.700 horas solares anuales, junto con un rango de temperaturas máximas igual o superior a los 30°C en las zonas meridionales, tendremos las condiciones para que la contaminación fotoquímica se produzca en amplios núcleos, especialmente del litoral mediterráneo, sean ciudades, complejos industriales o refinerías de petróleo.

El ozono tiene algunas características que lo diferencian de otros contaminantes atmosféricos, y que es preciso conocer a la hora de establecer los lugares más apropiados para medirlo y desde los que se deben proyectar estrategias para su control. La primera de ellas reside en el fuerte carácter reactivo, antes mencionado, por el que se combina de manera inmediata con productos reductores, particularmente con uno de sus precursores, el óxido nítrico. Este comportamiento explica los valores relativamente moderados que se registran en las ciudades, sobre todo en sus enclaves más congestionados. Sin embargo, cuando los precursores son arrastrados por los vientos dominantes, lejos de los núcleos de emisión, el ozono se forma y acumula en cantidades superiores, pues no encuentra compuestos con los que reaccionar tan fácilmente. Este comportamiento explica también que los valores de ozono medidos en estaciones de fondo (como las situadas en S. Pablo de los Montes, en Toledo, o en las Islas Canarias) o en zonas rurales de bajo nivel de industrialización (como en Castilla – León) presenten valores alrededor de 44 mg/m^3 frente a los medidos en el interior de las grandes urbes, como Madrid o Barcelona, cuyos valores se reducen a la mitad.

También influye en su comportamiento el régimen de brisas, que afecta directamente a toda la costa española, cuya longitud supera los 3.900 kilómetros. Las brisas, observadas especialmente en el mediterráneo, llevan los precursores emitidos en la línea de costa tierra adentro, originándose ozono a lo largo de su trayectoria. No debe olvidarse que allí se encuentran la mayor parte de las refinerías, complejos petroquímicos e industriales y ciudades de fuerte presión turística. El ozono for-

mado desde estas fuentes puede volver hacia la costa con su correspondiente ciclo de brisa, colocándose en capas de reserva que, tras procesos de subsidencia, puede incorporarse a las emisiones habituales de los entornos citados. Estas inyecciones de ozono desde capas superiores explican los segundos máximos diarios de este producto, generalmente matutinos o nocturnos, tras el máximo esperado en las horas principales de radiación solar (9).

En condiciones favorables, el tiempo de residencia del ozono en la troposfera estival puede alcanzar los 200 días (10). En esas circunstancias, el ozono costero puede experimentar una trayectoria complementaria, siendo arrastrado por los vientos de levante a lo largo de la costa mediterránea, desde el Golfo de León al de Cádiz, constituyendo así una nueva fuente de entrada de este producto para las zonas del sudeste peninsular.

El ozono troposférico comenzó a medirse en España a comienzos de la década e los 90, considerando que para 1995 existía en las grandes ciudades una suficiente cobertura. Sin embargo, la implantación de redes de medida fue muy progresiva en todo el territorio y aún hoy, sobre todo en Andalucía, existen grandes zonas por cubrir. Pese a todo, se ha ido confirmando que el ozono es el principal contaminante atmosférico en nuestro país, como consecuencia de ser el único producto que, prácticamente, en todas las regiones supera cada año los valores de protección —y en menor medida los de riesgo— que establecen las Normativas. Vayan como ejemplo las zonas interiores de la Comunidad Valenciana en las que, durante siete meses continuados, se supera el Umbral de Protección a la Vegetación (9) y en donde además de los daños directos a estas especies, se ha sugerido que otros daños, atribuidos generalmente a plagas, más bien podrían ser causados por el ozono o estar actuando sinérgicamente con él (11).

3. LA CONTAMINACIÓN POR OZONO EN ANDALUCÍA Y GRANADA

El territorio andaluz presenta grandes extensiones rurales, en donde la presencia de fuentes emisoras es muy baja, salpicadas con áreas de fuente implantación industrial en zonas, sobre todo, de Huelva, Sevilla y Cádiz. Existe un predominio de actividades agrícolas frente a industriales, el transporte por carretera es intenso (favorecido tanto por constituir muchos de sus puntos importantes destinos turísticos, como por la salida de sus productos a otros mercados de España y Europa) y el tamaño medio de sus ciudades es moderado, aunque la mayor parte sufre intensos problemas de tráfico en su interior. Las temperaturas, especialmente las estivales, y los niveles de radiación solar son elevados. Las áreas costeras están bajo la influencia de las brisas mediterráneas.

Para conocer la tendencia absoluta y comparada de la contaminación por ozono en las distintas provincias andaluzas, la Tabla II muestra los valores promediados a lo largo del intervalo comprendido entre los años 1996 y 1998.

Tabla II. Valores medios de ozono (en mg/m^3) registrados en el periodo 1996-998.

Almería	41
Cádiz	68
Córdoba	40
Granada	47
Huelva	63
Jaén	46,5
Sevilla	36,5
Málaga	50,5

Fuente: Elaboración propia a partir de las series de datos registrados en las Delegaciones de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía.

Los valores medios de ozono ofrecen sólo un perfil orientativo pues la presencia de este contaminante está estrechamente ligado con los niveles de radiación solar, por lo que sus principales concentraciones se dan en los momentos del día en que la radiación es más intensa y en aquellos meses en los que también lo es, es decir, en el intervalo comprendido entre mayo y septiembre, y en la franja horaria entre las 12 y las 17 horas. Por ello, detrás de esos valores medios vamos a encontrar valores horarios puntuales mucho más elevados. La Normativa vigente ha considerado también estos aspectos estableciendo, además de los valores medios relacionados con la protección a la salud y la vegetación, valores de riesgo en función de las concentraciones de ozono registradas en 1 hora.

Analizando en la Tabla anterior los valores medios de las diferentes provincias de nuestra Comunidad, la conclusión a la que llegamos es que son indiscutiblemente altos, pudiéndose afirmar que, aunque la contaminación por ozono es un hecho relevante en todas las regiones del Estado, **Andalucía registra algunos de sus valores más elevados**. A título comparativo, y en este mismo intervalo, grandes capitales como Madrid o Valencia registraban 29 y 26,23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente, los valores en zonas rurales oscilaban alrededor de los 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y las áreas próximas a los grandes núcleos emisores —urbanos o industriales— daban valores medios entre 50 y 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Confirmando los altos valores registrados, si examinamos los Umbrales de Protección y Riesgo encontramos, según nos muestra la Tabla III, el número de ocasiones en que han sido superados.

Tabla III. Número de veces que han sido superados los umbrales establecidos por la Normativa Española y Comunitaria(1996-1998)

Provincia	U. Información a la población	U. Protección de la vegetación	U. Protección de la Salud
Almería	2	88	15
Cádiz	4	972	622
Córdoba	3	137	140
Granada		216	110
Huelva	29	429	365
Jaén		208	55
Málaga		193	72
Sevilla	38	128	107

Fuente: Elaboración propia a partir de las series de datos registrados en las Delegaciones de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía.

El conjunto de estos episodios recoge que en el año 1998 el límite de información a la población se superó en 76 ocasiones, el de protección a la vegetación en 2.471 ocasiones y el de protección de la salud, en 1.486. La superación del primero produce efectos negativos, limitados y transitorios, para la salud de los grupos de población especialmente sensible siempre que se trate de una exposición de corta duración; la superación del segundo supondría riesgo para la vegetación, incluyéndose en ella bosques, ecosistemas naturales, cultivos y horticultura. La superación del tercero podría provocar daños en personas con sensibilidad al ozono, especialmente en enfermos respiratorios.

En la capital de Granada, en el mismo intervalo, se comenzó con una única estación que medía ozono, situada en la Avenida de Constitución, ampliándose en los años posteriores. Los valores medios registrados fueron los siguientes:

40,25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 1996
 44,58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 1997
 38,58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 1998
 42,16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 1999
 39,33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2000

con valores máximos en los meses de junio, julio y agosto que alcanzan y superan los 70, e incluso los 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

En 1996 se superó en 10 ocasiones el umbral de protección de la salud y en 26, el umbral de protección a la vegetación. En 1997, fueron 18 las veces en las que se superó el primero y 55, el segundo. En 1998, 14 y 25; en 1999, 19 y 61, y en 2000, 18 y 37, respectivamente.

En comparación con otras ciudades (en microgramos por metro cúbico), los valores medios de Madrid pasaron de 15 en 1990 a 31 en 1996; los de Valencia, de

22,3 en 1992 a 27,6 en 1995 y el entorno provincial de Barcelona, de 31,2 en 1993 a 42,9 en 1995. Lo que sorprende de estos datos es que en Granada se registren valores de ozono superiores. Si la presencia de este producto depende de las emisiones que se realicen de sus precursores y si éstos dependen directamente del tráfico o industrias cercanas, ¿por qué los valores de ozono de una ciudad pequeña como Granada son superiores a los de las grandes ciudades españolas?

En ausencia de condiciones meteorológicas favorables a la dispersión, como vientos o lluvia, los precursores emitidos por el tráfico junto a la intensa radiación solar recibida serán los principales responsables. En Granada, la presión industrial es débil, pero, como contrapartida, el tráfico es intenso. Además, debe considerarse también su situación geográfica y su estructura geológica rodeada de montañas, que pueden mantener retenidas las masas de aire en situaciones de estabilidad atmosférica.

4. LA CONTAMINACIÓN POR OZONO EN MOTRIL

4.1. MEDIO FÍSICO

Motril es la ciudad más meridional de Granada, situada a tan solo dos kilómetros del mar. Tiene una extensión superficial de 109 Km², una altitud sobre el nivel del mar de 45 metros, y está situada a 36° 44' de latitud norte y 3° 31' de longitud oeste. La distancia a la capital es de 69 kilómetros.

Es cabecera de una zona de influencia que incluye el conjunto de la costa granadina, con una extensión de 400 Km². Almuñécar, Salobreña y Albuñol son las principales entidades de población de esta zona.

Motril tiene una posición geográfica peculiar, está frente al mar, tiene puerto y playas, pero no es una ciudad marítima ni un centro turístico. La ciudad está situada cerca de un nudo importante de carreteras de Andalucía oriental: el cruce de la N – 340 con el comienzo de la N – 323 Bailén – Motril.

Desde un punto de vista geográfico es posible identificar dos elementos principales:

- Una barrera montañosa constituida por la Sierra de Lújar, que culmina a 1.800 metros. Esta sierra forma parte del conjunto de sierras que se extiende paralelamente a la costa desde Almería a Málaga. Está situada al norte del núcleo urbano principal.
- Una planicie litoral paralela al mar donde está situada la vega de Motril. Esta planicie interrumpe al Este con el sistema montañoso del Cabo Sacratif. Más allá del cabo hay otra planicie más reducida, la de los Llanos de Carchuna. Al oeste, se prolonga en el término municipal de Salobreña. Su origen es la acumulación de materiales, arrastrados por el río Guadalfeo, que contribuyeron a la formación de la Vega de Motril.

La situación de Motril es original en relación a otros pueblos de la costa granadina. Como norma general, las alineaciones montañosas existentes son paralelas a la costa y sus vertientes caen directamente sobre el mar, lo cual no permite la existencia de hoyas extensas. En Motril, en cambio, existe una hoya litoral debido a la desembocadura del río Guadalfeo, que ha permitido desarrollar una importante actividad agrícola. Esto explica que el porcentaje de la superficie del término de Motril destinado a agricultura sea superior al de resto de pueblos de su entorno.

En definitiva, se diferencian dos elementos bien distintos (el monte y la vega), siendo mayoritario en términos de superficie el primero. Esta característica geográfica tiene una influencia profunda en la actividad de Motril: a cada elemento le corresponde tradicionalmente una planificación económica distinta.

La planicie ha sido durante siglos el principal centro de producción agrícola con el cultivo de la caña de azúcar. En esta planicie se localizan, además, el puerto, la actividad comercial y las fábricas locales. El monte, históricamente tierra de secano (cultivo de almendros), ha sido víctima de una erosión constante a lo largo de los últimos siglos. A principios de los 90 comenzó un proceso de reorientación del monte con la introducción de los cultivos subtropicales y los invernaderos (cada vez más extendidos).

4.2. CLIMA

Uno de los factores más determinantes del medio natural, y de la actividad económica y social de un territorio, es el factor climático. El clima es un conjunto de variables naturales interdependientes cuyo resultado final determina, entre otros, combinaciones específicas de vegetación y posibilidades agrícolas.

El clima de Motril viene definido por dos factores geográficos básicos:

- La Sierra de Lújar, que constituye una barrera que bloquea la llegada de los vientos fríos del norte.
- El Mar cálido de Alborán, situado al sur, que ejerce una función reguladora de la temperatura.

La conjunción de ambos factores hace que Motril cuente con unas temperaturas marcadas por un clima subtropical: la temperatura media anual se sitúa entre 17 y 18°C, y el auténtico invierno climatológico está ausente al no registrarse una temperatura media inferior a 6°C. Los veranos son muy calurosos, hay cuatro meses con temperaturas medias superiores a 20°C, y destaca agosto como el mes más cálido. Por regla general, el mes más frío es enero y el riesgo de heladas es prácticamente nulo.

Con respecto a las horas de sol, Motril recibe alrededor de 3.000 horas de sol al año de las 4.834 horas de radiación solar que teóricamente le corresponden. La ratio es una de las más altas de España.

Se trata, además, de un clima seco: los niveles de precipitaciones registrados permiten caracterizar a Motril como una zona semiárida. Las precipitaciones rondan los 400 mm. anuales, lo que denota una escasez pluviométrica, a lo que hay que

unir el carácter torrencial que presentan las lluvias, como en el resto del sudeste español.

4.3. LOS PRECURSORES DE OZONO

Examinaremos, a continuación, las posibles fuentes emisoras de precursores que existen en la localidad, comenzando por el tejido empresarial. Según los datos del Instituto Andaluz de Estadística del año 2000, existían en Motril 123 instalaciones industriales de diferentes actividades, desde la alimentación a la metalurgia, pero de todas ellas la única representativa como fuente de emisiones, particularmente de óxidos de nitrógeno, es la industria papelera Torras Papel, situada en el polígono industrial del sudoeste, en la Vega de Motril. Según sus propios inventarios, los NOx emitidos fueron:

- 1998: 0,62 kilogramos por tonelada, para un total de 118.213 Tn. de emisiones totales.
- 1999: 0,59 kilogramos por tonelada, para un total de 129.690 Tn. de emisiones totales
- 2000: 0,54 kilogramos por tonelada, para un total de 136.195 Tn. de emisiones totales

Esta empresa, que en sus orígenes contaba con una planta de fuel II, pasó a instalar gas natural en junio de 2001, reduciendo parcialmente sus emisiones.

La segunda fuente de precursores la encontramos en las estaciones de repostaje, ya que desde ellas se evaporan compuestos orgánicos volátiles a la atmósfera. En el término municipal de Motril hay 11 gasolineras, 4 de ellas dentro del casco urbano. Para estimar sus emisiones emplearemos el factor que se refleja en el Proyecto *Corinair* y que es de 2,83 kilogramos de COV por cada tonelada de gasolina. La conversión a partir de los litros que registra cada estación se realizó considerando que el peso de un litro de gasolina equivale a 0,75 kilogramos. De esta manera se obtiene:

- Estación nº1 (Avda. E. Martín Cuevas)
 - Depósito: 90.000 litros
 - Venta media diaria: 4.000 litros
 - Emisión media de COV: 8,49 Kg/día
- Estación nº2 (Puente Toledano s/n)
 - Depósito: 60.000 litros
 - Venta media diaria: 14.000 litros
 - Emisión media de COV: 20,95 Kg/día
- Estación nº3 (Avenida Andalucía 11)
 - Depósito: 55.000 litros
 - Venta media diaria: 5.000 litros
 - Emisión media de COV: 10,61 Kg/día

— Estación nº4 (Camino de la Vía s/n)

Depósito: 120.000 litros

Venta media diaria: 5.000 litros

Emisión media de COV: 10,61 Kg/día

La tercera fuente de emisión procede de los depósitos de hidrocarburos. En Motril, debido a su situación estratégica junto al mar, entran por vía marítima grandes volúmenes de hidrocarburos, que son depositados en los tanques de dos empresas: *Productos Asfálticos S.A. (PROAS)*, ubicada en el Muelle de Poniente y *Compañía Logística de Hidrocarburos S.A. (CLH)*, situada en la zona portuaria. De los datos del movimiento anual medio de ambas empresas, se desprenden unos valores para esta última compañía de 590.000 toneladas de gasóleo y 190.000 toneladas de gasolina, aproximadamente. En cuanto a PROAS, tiene una capacidad de almacenaje de 4.000 toneladas de productos asfálticos.

La compañía CLH sería una emisora potencial de compuestos orgánicos volátiles. No obstante aplica diferentes medidas correctoras como pantallas y techos flotantes, además de unidades de recuperación de vapores, de lo que resulta una eficacia del 95% en el control de las emisiones.

La cuarta fuente de emisión procede del Puerto de Motril y del tráfico marítimo, tanto pesquero como de mercancías nacionales e internacionales. Hasta ahora, la autoridad portuaria no ha dispuesto de un inventario de emisiones, ni existen cabinas de medida, aunque señala como fuente contaminante más a las industrias allí situadas, como emisoras de partículas, antes que los óxidos de nitrógeno e hidrocarburos procedentes de los barcos. No obstante, al encontrarse éstos dentro de la actividad portuaria sólo con los motores auxiliares, las emisiones de contaminantes se reducen, convirtiendo así al puerto pesquero y de mercancías en zonas de emisión moderadas, equiparables a una fuente equivalente de tráfico terrestre.

Finalmente, el quinto foco se encuentra en el tráfico rodado y sería uno de las más importantes. Motril está atravesada por dos carreteras nacionales, con una gran intensidad de vehículos: la Nacional 340, que une Almería y Málaga y que registra una media de 5.000 vehículos/día en casi todo el trazado (esta cifra es el umbral que determina una elevada densidad de tráfico) y la Nacional 323, única vía de comunicación de la costa granadina con la capital, totalmente colapsada en los meses de verano y con varios puntos de estrangulamiento. Su intensidad varía entre 2.000 y 6.000 vehículos diarios, según los tramos. Existen, además, tres carreteras comarcales de menor intensidad de tráfico y, por tanto, con menor influencia.

En cuanto al tráfico urbano, según las fuentes municipales se realizan 25.041 viajes mecanizados por día. El crecimiento anual del tráfico es del 3,5% en el núcleo urbano, con un total de vehículos censados en el término municipal de 28.781.

5. RESULTADOS

Las medidas de ozono en Motril se realizan desde una cabina de la Red de Vigilancia y Control de la Contaminación Atmosférica (38 para el total de Andalucía), dependiente de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. Sus coordenadas de ubicación son: 3° 30' 919" O y 36° 44' 685" N. Está situada en el Parque de los Pueblos de América, donde confluyen varias de las vías de circulación más importantes de la ciudad. El método de medida, llevado a cabo por el analizador *Thermo Electron* modelo 49, se fundamenta en el principio de absorción ultravioleta, el cual mide la atenuación que se produce en una radiación cuya longitud de onda es de 354 nanómetros. Los valores medios para cada uno de los años de medida se muestran en la Tabla IV, resultando para todo el intervalo de estudio un valor de 56,80 mg/m³. Para el año 1996 no existían aún valores contrastados.

Tabla IV. Concentraciones medias de ozono en Motril

AÑO	CONCENTRACIÓN (µg/m ³)
1997	55,16
1998	65,08
1999	57,83
2000	49,16

Fuente: Elaboración propia a partir de las series de valores diarios registrados por la Delegación de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía.

Los indicadores mediante los que podemos conocer el impacto de estas concentraciones se calcula a partir del número de ocasiones en que se han superado los umbrales establecidos en la Normativa española y comunitaria vigente en esa fecha. Así resulta que:

- Para el año 1997, el número de ocasiones en las que se superó el Umbral de Protección de la Salud (U.P.S.) fue de 66 y el Umbral de Protección de la Vegetación en 24 horas (U.P.V.) fue de 154.
- Para el año 1998, las superaciones del U.P.S. fueron 96 y las del U.P.V., 180.
- Para el año 1999, las superaciones del U.P.S. fueron 54 y las del U.P.V., 96. El Umbral de Información a la Población se superó en 9 ocasiones.
- Para el año 2000, las superaciones del U.P.S. fueron 4 y las del U.P.V., 54.

Para contrastar estas tendencias con los datos de los años actuales, hemos tomado el periodo más representativo del año 2003, es decir, el comprendido entre mayo y septiembre, del que por los niveles de radiación solar, temperatura y emisión de precursores, se espera mayor nivel en la contaminación fotoquímica. Los resultados han sido:

- Valor medio del intervalo: 66 µg/m³
- Valor máximo (día 21 de junio): 108 µg/m³

- Número de superaciones del U.P.S.: 27
- Número de superaciones del U.P.V.: 81

6. INTERPRETACIÓN

El examen de los valores medios de ozono en Motril nos revela unos **valores elevados**, pudiéndose situar entre **los más altos de España**. Como contraste, la Tabla V muestra un conjunto de valores medios tomados en distintas localidades españolas y en donde sólo en ciertas zonas de Puertollano (las situadas a sotavento de sus importantes fuentes de emisión) se pueden encontrar valores similares o superiores. Algo similar se desprende si comparamos los valores de Motril con los de otras localidades andaluzas (ver Tabla II).

Tabla V. Valores medios plurianuales de ozono (en microgramos por metro cúbico)

Madrid	23,22
Barcelona	30,62
Valencia	27,15
Barcelona (Área provincial)	36,66
Puertollano(Área industrial y residencial)	52,50
Andalucía	49
Castilla - León	46,03
Redes rurales	42,6
Gijón	28,58

Fuente: Elaboración propia a partir de las series de valores diarios registrados por los organismos locales y comunitarios de Medio Ambiente.

El riesgo que suponen los valores de Motril se refleja en el número de ocasiones en que se superan los umbrales de protección, tanto el de la salud como el de la vegetación para intervalos de 24 horas, umbral este último que **ha llegado a superarse la mitad de los días del año**, y que para el periodo estudiado del año 2003 continúa superando la mitad de los días comprendidos entre junio y septiembre. La ausencia, por otra parte, de superaciones habituales de los umbrales de mayor peligrosidad coloca a la contaminación por ozono en Motril como una **contaminación crónica y de fondo** más que aguda y puntual, aunque también se constatan valores horarios elevados que han supuesto, en ocasiones, la superación del umbral de información a la población.

La causa de esta contaminación persistente, que alcanza en mayo algunos de sus valores más elevados, puede encontrarse en la emisión de precursores de la propia localidad, como consecuencia de la actividad industrial, portuaria y del tráfico rodado, tanto dentro del núcleo urbano (que se ve incrementado con la existencia de anejos o pedanías), como el de las importantes carreteras nacionales que lo atraviesan. Sin embargo, no parece razón suficiente, por cuanto núcleos urbanos más impor-

tantes registran valores menores y no hay tampoco grandes complejos industriales al estilo de Puertollano, Cádiz o Huelva. Habrá que considerar, por tanto, los **factores meteorológicos** de los que la localidad «*no es responsable*», pero que incrementan apreciablemente los valores de ozono registrados.

El primero de ellos es el régimen de brisas, que tan a fondo ha sido estudiado en la Comunidad Valenciana (9) y que se produce en cualquier enclave del litoral mediterráneo. Como se comentó al principio, los ciclos de brisa recirculan los precursores emitidos en la línea de costa, formando ozono durante el trayecto y llevándolo nuevamente al punto de partida, lo que se añadiría a las emisiones que habitualmente allí se registran. Colocado en capas de reserva, explicaría algunos máximos, fuera de las horas de mayor radiación solar, como fumigaciones procedentes de estas capas. El hecho, además, de que el mes de mayo presente los valores de ozono más elevados se explica porque, hasta ese momento, las brisas fluían sólo en movimientos de ida y retorno (como el movimiento de vaivén del agua dentro de un barreño, sin llegar a volcar), pero en el mes de mayo los ciclos de brisa son completos, ascienden por las laderas y pueden entrar hasta los 3.000 metros de altura, con suficiente intensidad como para recircular los contaminantes y formar capas de reserva. En los meses de verano el volumen de aire circulado es mucho mayor y se favorecen los procesos de mezcla.

Existe otra explicación adicional, no menos importante, y es la llegada a Motril de los vientos de levante y aire recirculado que, recogiendo precursores desde el Golfo de León, los arrastran a lo largo de la costa mediterránea (salpicada por refinerías, complejos petroquímicos e industriales y vías de intenso tráfico, especialmente en los meses de verano), constituyendo una nueva entrada de ozono en la localidad.

Los diferentes valores registrados a lo largo de los años de estudio no manifiestan ninguna tendencia y su variación hay que atribuirla únicamente a la de los factores meteorológicos (viento, nubosidad, temperaturas) al no observarse cambios significativos. Este comportamiento irregular se ha confirmado también en otras zonas de la península (12).

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Motril, una de las principales localidades de la costa de Andalucía, se presenta como uno de los núcleos del territorio español donde la contaminación por ozono es más elevada y persistente. Como consecuencia, pueden derivarse algunos riesgos para la población, especialmente para los grupos más vulnerables, y los cultivos, dada la frecuencia de las superaciones de los umbrales que los protegen. Por su carácter crónico no deben esperarse daños episódicos, excepto en situaciones muy determinadas y en presencia de olas de calor, fenómeno que, como consecuencia del cambio climático, tenderá a acentuarse.

Los efectos previstos afectarán a los grupos de población más sensible, como los ancianos, niños, personas que desarrollan habitualmente su actividad al aire libre,

como agricultores o marineros, o que padecen alguna enfermedad crónica. En este sentido es aconsejable que se emprendan estudios epidemiológicos que, mediante el empleo de modelos matemáticos, observen la correlación entre los valores de ozono, contaminantes atmosféricos (sin descartar otros productos, quizás de manera especial el dióxido de azufre), los ingresos hospitalarios, la evolución de las enfermedades circulatorias y respiratorias y la mortalidad, tal como se ha realizado ya en varias localidades españolas (3,13). Las series de ozono utilizadas no deberán ceñirse sólo a los momentos en que los valores son más elevados, sino contemplar un periodo posterior que alcance los siete días siguientes, momentos en los que también suelen observarse daños sobre la salud.

Sería igualmente aconsejable iniciar estudios que contemplen los efectos de la contaminación por ozono en la vegetación, especialmente en aquellas especies más sensibles a este producto, así como la posible acción sinérgica con otros factores agresivos para las plantas, como es estrés hídrico o ciertas plagas, cuya acción, como ya se ha comentado, parece potenciarse en presencia de este producto.

Por parte de la Administración municipal no debe adoptarse la política del avestruz, que ignora la realidad ambiental de su localidad, sino que debiera tomar medidas decididas, encaminadas a reducir los niveles de emisión de los precursores: fomento del transporte público, vigilancia sobre los mecanismos de depuración de gases y recuperación de vapores de hidrocarburos (como el método de adsorción – absorción de carbón de John Zink), aunque al no ser todo el ozono consecuencia de las fuentes de precursores de la localidad, la otra vía que toda Corporación responsable debe emprender es la información a la población, no cuando los episodios de contaminación por ozono ya hayan sucedido y lo recoja la prensa local, sino antes, como medida preventiva dirigida especialmente hacia los grupos de población más vulnerable. Un catálogo de recomendaciones sencillas, como evitar la exposición al ozono en los momentos de mayor intensidad luminosa o abstenerse de realizar ejercicios físicos intensos, puede mejorar la calidad de vida de muchos de sus habitantes o incluso salvarlos, a falta de los imprescindibles estudios de impacto antes sugeridos.

BIBLIOGRAFÍA

1. CHAPMAN, S.: On ozone and atomic oxygen in the upper atmosphere. *Phil. Mag.* 10, 1930.
2. ATKINSON et al.: An updated chemical mechanism for hydrocarbons/NO_x/SO₂ photo-oxidations suitable for inclusion in atmospheric simulation models. *Atms.Envir* 16, 1341–1355, 1982
3. SARTOR, F. et al.: Temperature, ambient ozone and mortality during summer 1994 in Belgium. *Environm. Res.* 70, 1995.
4. PELL, E. J. y DAMM, M. S.: Multiple stress – induced foliar senescence and implications for whole plants longevity. In response of plants to multiple stresses. 189–204. *Academic Press*, 1991.

5. LEE, T. T.: Effect of ozone on swelling of tobacco mitochondria. *Plant Physiology* 43, 133–139, 1968.
6. HEATH, R. L.: The biochemistry of ozone attack on the plasma membrane of the plant cells. *Plenum Press* 29–54, 1987.
7. VELISSARIOU et al.: Effects of air pollution in *Pinus halepensis*. Pollution levels in Attica (Greece). *Atmos. Environm* 36, 1–8, 1992.
8. HISHAM, W. M. y GROSJEAN, D.: Sulfur dioxide, hydrogen sulfide, total reduced sulfur, chlorinated hydrocarbons and photochemical oxidants in southern California museums. *Atmos. Environ.*, 25 A, 1497–1505, 1991.
9. MILLÁN, M. y SANZ, M. J.: La contaminación atmosférica en la comunidad valenciana. *Informes CEAM*, 1993.
10. LIU, S.C. et al.: Ozone production in the rural troposphere and the implications for the regional and global ozone distributions. *J. Geophys. Res.* 92: 4191-4207, 1987.
11. PORCUNA, J. L.: Reflexions sobre la sanitat vegetal. *Camp* 6, 24. 1992
12. VELÁZQUEZ DE CASTRO, F.: El ozono, cuándo protege y cuándo destruye. *Ed. McGraw – Hill, Serie Divulgación Científica*, 2001
13. DÍAZ, J. et al. (1999): Modelling of air pollution and its relationship with mortality and morbidity in Madrid (Spain). *International Archives Occupational and Environmental Health*, 72.