

# Estudio físico-químico comparativo de una atmósfera próxima a una zona industrial y otra rural y su implicación en el currículo de secundaria

## ÍNDICE

1. Introducción .....	- 1 -
2. Resultados experimentales.....	- 4 -
a) Resultados obtenidos en Argamasilla de Calatrava.....	- 5 -
b) Resultados obtenidos en Porzuna .....	- 17 -
3. Aplicaciones didácticas. ....	- 21 -
4. Bibliografía .....	- 25 -

## 1. Introducción

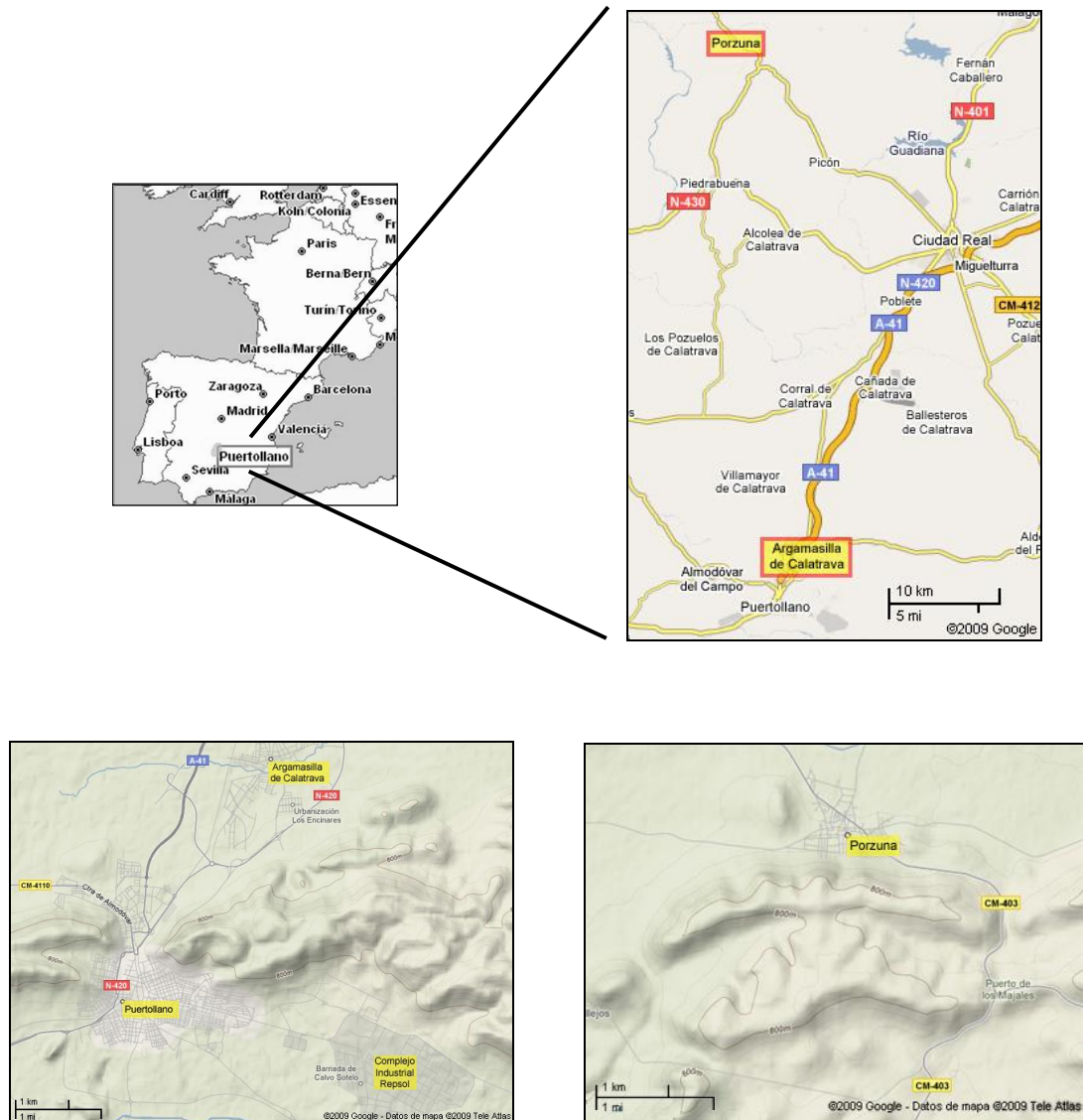
El objetivo de este trabajo es analizar y comparar una atmósfera próxima a una zona industrial (Argamasilla de Calatrava) y otra rural (Porzuna). Para ello se han medido de forma continua y en tiempo real las concentraciones de ozono, uno de los contaminantes troposféricos más importantes. Esto se ha hecho por primera vez en estas localidades donde no existen estaciones de vigilancia de la contaminación. Se pretende también particularizar los contenidos relativos a contaminación atmosférica de las materias de Física y Química en la Educación Secundaria a un episodio concreto (contaminación por ozono troposférico) e introducir a los alumnos en el método científico con el desarrollo de un trabajo de investigación específico.

Los dos centros de enseñanza donde se lleva a cabo el proyecto son:

- IES “Alonso Quijano” ubicado en Argamasilla de Calatrava, población de seis mil habitantes, aproximadamente 5 km al noreste de Puertollano, que es una ciudad industrial muy importante localizada en el corazón de la Mancha a unos 240 km al sur de Madrid. Puertollano tiene un polo petroquímico situado a unos 5 km al sureste del centro de la ciudad, que incluye refinería, petroquímica, minería de carbón y 2 centrales térmicas.

- El IES “Ribera del Bullaque”, situado en Porzuna, municipio de cuatro mil habitantes situado al noroeste de la provincia de Ciudad Real (a unos 50 km al norte de Argamasilla) en las estribaciones de los Montes de Toledo. La actividad económica de la localidad se basa fundamentalmente en la agricultura, la ganadería y la construcción.

En la figura 1 se muestran mapas de las ubicaciones geográficas y el relieve de las dos poblaciones.



**Fig. 1.** Situación geográfica de Argamasilla de Cva (cerca de Puertollano y de su polo petroquímico) y de Porzuna (50 km al norte de Argamasilla)

Meteorológicamente, ambas poblaciones experimentan veranos secos y calurosos e inviernos también secos pero fríos, con inversiones térmicas frecuentes.

Estas inversiones atrapan los contaminantes formados impidiendo su dispersión hasta que las condiciones meteorológicas cambian y la inversión térmica desaparece. Las condiciones meteorológicas juegan un papel crucial en la evolución y posterior transformación de los contaminantes atmosféricos. Por ejemplo, la velocidad y dirección del viento influyen de manera decisiva tanto en los niveles, como en la variación de esos contaminantes.

En Argamasilla de Cva., los vientos predominantes provienen del SO, aunque se observan numerosas situaciones de calma, sobre todo en verano, debido a las típicas condiciones anticiclónicas que se dan sobre la península ibérica.

El equipo utilizado para llevar a cabo las medidas es un analizador de ozono por absorción ultravioleta (Environment modelo O342M). Este método de análisis se basa en que el ozono presenta una fuerte banda de absorción en la región ultravioleta, con un máximo de 253.7 nm. Usando esta propiedad y la ley de Lambert-Beer de absorción de radiación electromagnética, se obtiene de forma precisa la concentración de ozono. Dadas las características de especificidad, objetividad y sensibilidad reunidas por el método por espectrofotometría ultravioleta, se considera en la actualidad como el estándar para la medida de ozono superficial, siendo recomendado por las agencias medioambientales tanto europea como americana.



**Fig.2.** Imagen del analizador de concentración de ozono

El periodo de medida ha sido desde Enero de 2008 hasta Noviembre de 2008 en Argamasilla. Desde diciembre de 2008 hasta mayo de 2009 (cuando finaliza el proyecto donde se enmarca este trabajo) se encuentra midiendo en Porzuna. Se han podido observar los diferentes ciclos que presenta el ozono, diario, mensual y estacional. Se han obtenido los valores máximo y mínimos, así como los valores promedio en esos periodos de tiempo mencionados.

Al mismo tiempo se han obtenido datos de las diferentes variables meteorológicas (temperatura, presión, precipitación, etc.) con una estación automática MK-III RTI-LR de la marca RainWise Inc. Se han intentado correlacionar los valores de ozono y su evolución con las correspondientes variables meteorológicas.



**Fig.3.** Vista de la situación de la estación meteorológica de Porzuna

## **2. Resultados experimentales**

En la provincia de Ciudad Real (a excepción de Puertollano que posee red de vigilancia de la contaminación) existe escasa investigación sobre el ozono superficial. Por ejemplo, hay un estudio realizado en Ciudad Real capital, por la técnica de Espectroscopía de Absorción Óptica Diferencial (DOAS) llevado a cabo por investigadores de la Facultad de Química de la Universidad de Castilla-La Mancha (entre ellos Alberto Notario) y que ha dado lugar a 2 artículos publicados recientemente en una revista Internacional sobre Contaminación (ver bibliografía, Saiz y colaboradores, 2006; Saiz y colaboradores, 2007) y otro estudio también por DOAS en Puertollano con otra publicación internacional (Saiz y colaboradores 2009). En el caso del núcleo urbano de Puertollano, la Junta de Comunidades posee varias cabinas de medida dentro de la red de vigilancia de la contaminación que pueden consultarse en la web de la JCCM, dentro de la Consejería de Medio Ambiente y desarrollo Rural (ver bibliografía, Junta Comunidades Castilla La Mancha, página web).

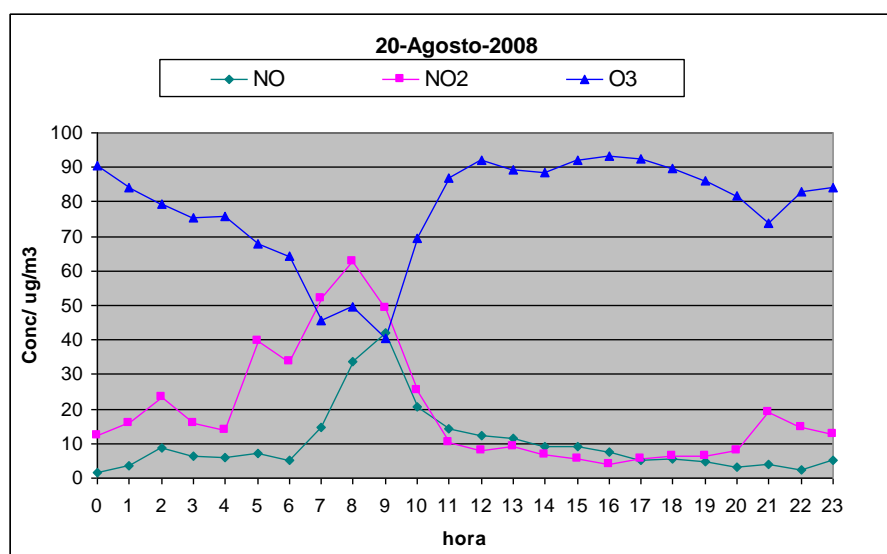
Con todo lo relatado anteriormente en cuanto a los procesos fotoquímicos de formación de ozono, junto con los datos de contaminación de Puertollano consultados en la web de la JCCM, se puede intuir que en Argamasilla de Cva., en determinadas situaciones, las concentraciones de ozono pueden llegar a ser importantes, debido a la formación fotoquímica del mismo, en presencia de contaminantes procedentes de Puertollano. En el caso de Porzuna puede suponerse que los niveles, en principio, serán

de fondo debido a que no existen núcleos contaminantes próximos, sólo emisiones de precursores debido a la vegetación.

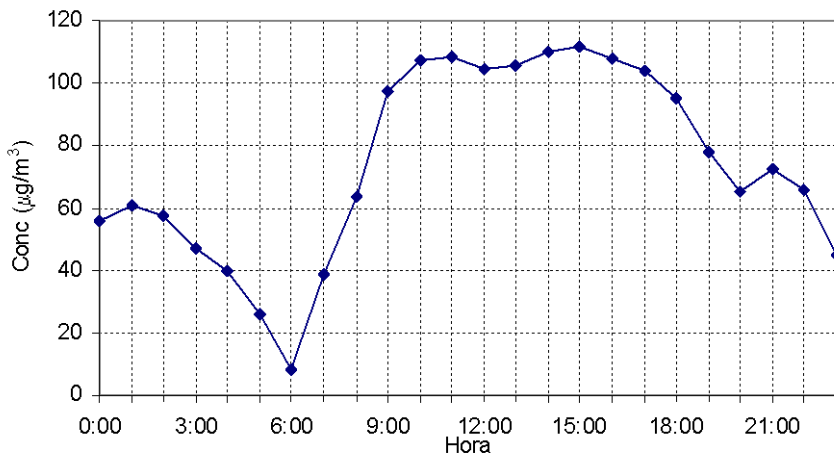
#### **a) Resultados obtenidos en Argamasilla de Calatrava**

En el anexo adjunto se detallan los valores de ozono, así como de ciertas variables meteorológicas, registrados en Argamasilla de Calatrava durante el periodo de medida enero-noviembre de 2008, en diferentes tablas y gráficas explicativas. El volumen de datos es bastante grande, y en el presente informe se tratará de reflejar lo más significativo y las conclusiones más generales a las que conducen los resultados experimentales obtenidos.

Puesto que en la concentración de ozono influye de manera directa la concentración de NO<sub>x</sub>, se incluye en primer lugar la figura 4 que muestra la evolución típica de las concentraciones de NO, NO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub> observadas para un día típico de verano en la cercana ciudad de Puertollano, medidos mediante la técnica DOAS (12-agosto 2008). En la figura 5, se muestra la evolución de ozono en Argamasilla. En nuestro caso no podemos medir NO<sub>x</sub>, pero la evolución que experimentan las concentraciones de ozono, se pueden comparar para ese mismo día en Argamasilla de Cva. Los ciclos diurnos de NO, NO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub> registrados muestran que la atmósfera urbana está fuertemente influenciada por el tráfico rodado y por la fotoquímica. Este comportamiento similar se ha visto en otras áreas urbanas de España y de Europa (ver por ejemplo Saiz et al., 2006; 2007; 2009).



**Fig. 4.** Ejemplo de evolución de las concentraciones NO<sub>x</sub> y O<sub>3</sub> para un día típico de verano (día 20 de agosto de 2008) en Puertollano medido mediante la técnica DOAS.



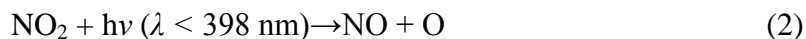
**Fig.5.** Evolución de la concentración de O<sub>3</sub> en Argamasilla de Calatrava el día 20 de agosto de 2008

Como se aprecia en ambas gráficas, el comportamiento en la evolución de ozono es similar en ambas poblaciones. El mínimo se alcanza en Argamasilla a las 6 de la mañana (hora universal, UT) y en Puertollano entre las 7 y 9 de la mañana (hora local, LT), que corresponde entre las 5 y 7 UT. Los máximos de concentración se alcanzan en las horas centrales en ambos casos, siendo los valores algo mayores en Argamasilla. Hay que destacar que a las horas centrales del día, el viento predominante es del oeste con velocidad inferior a 10 km/h que es un viento ligero (ver anexo Ia). Se ve por tanto, que el patrón de formación de ozono es similar en ambos núcleos de población, seguramente influenciado en gran parte por el tráfico a primeras horas de la mañana, como a continuación se explicará. Sería imprescindible poder medir la concentración de NO<sub>x</sub> en Argamasilla para corroborar que es así y completar el estudio. Se ve claramente que por la noche cae la concentración de ozono, siendo más pronunciada esa caída en Argamasilla.

Los contaminantes primarios NO<sub>x</sub> (principalmente NO, más del 95% de NO<sub>x</sub> se emite como NO) reacciona en presencia de VOCs (compuestos orgánicos volátiles) y radiación solar para formar los contaminantes secundarios, entre los que se encuentra el ozono, O<sub>3</sub>, y otros oxidantes muy perjudiciales como PAN, peroxiacetilnitrato, (Finlayson-Pitts and Pitts, 2000). La reacción global es:



Simultáneamente a la oxidación de los VOCs en la troposfera, el NO es oxidado a NO<sub>2</sub> por medio de los peroxiradicales formados anteriormente, generándose O<sub>3</sub> en el proceso fotoquímico, en el que previamente se genera O atómico por fotólisis del NO<sub>2</sub>:



Los perfiles observados en las figuras 4 y 5 son típicos de ciudades donde los episodios de contaminación son dominados por las emisiones de tráfico. La secuencia es la siguiente: (1) por la mañana temprano, la concentración de NO aumenta y alcanza un máximo a una hora que coincide aproximadamente con el máximo de emisiones de NO por la máxima densidad de tráfico (entre 8:30 y 9:30); (2) A continuación, NO<sub>2</sub> aumenta hasta un máximo; y (3) los niveles de los oxidantes (por ejemplo, O<sub>3</sub>), cuya concentración es relativamente baja por la mañana temprano, comienzan a incrementarse significativamente cuando las concentraciones de NO comienzan a disminuir. También suele observarse un aumento en las concentraciones de O<sub>3</sub> por la mañana, debido al proceso de “fumigación” desde las capas más altas, que contienen oxidantes formados en días anteriores. Por otro lado, en dirección de sotavento del centro de las ciudades, las concentraciones de ozono pueden darse a primeras horas de la tarde o incluso ya anochecido, dependiendo del transporte de las emisiones y de aire urbano que contiene ozono y otros contaminantes secundarios formados durante las horas de luz (Finlayson-Pitts and Pitts, 2000).

A partir de los datos completos que se presentan en el anexo Ia, se pueden obtener las siguientes tablas y gráficas resumen de los datos registrados en Argamasilla de Calatrava en el periodo comprendido entre enero y noviembre de 2008.

#### 1) Datos de concentración de ozono.

En la Tabla 1 se muestran los valores máximo, mínimo y medio mensuales y anual, y el número de horas con valor por encima de los umbrales 120, 180 y 240 µg/m<sup>3</sup>.

MES	Máximo	Mínimo	Media	> 120	> 180	> 240
2008	257,8	1,2	67,1	448	6	1
ENERO	137,4	1,2	35,1	1	0	0
FEBRERO	94,0	1,4	46,6	0	0	0
MARZO	117,5	2,3	67,1	0	0	0
ABRIL	147,3	3,8	79,5	33	0	0
MAYO	147,0	4,1	71,9	22	0	0
JUNIO	257,8	4,2	87,9	145	6	1
JULIO	176,2	10,7	86,0	129	0	0
AGOSTO	157,6	8,0	83,5	88	0	0
SEPTIEMBRE	152,0	3,4	60,0	11	0	0
OCTUBRE	165,7	2,7	56,3	19	0	0
NOVIEMBRE	106,2	3,0	40,6	0	0	0
DICIEMBRE	-	-	-	-	-	-

**Tabla 1.** Valores de concentración de ozono (solo se dispone de medidas hasta el 16 de noviembre de 2008)

El ozono es un gas altamente tóxico que a concentraciones elevadas puede tener repercusiones importantes para la salud humana, relacionadas con afecciones al sistema respiratorio, y el medio ambiente en general.

El Real Decreto 1796/2003 establece una serie de criterios de calidad de aire para el ozono entre los que destacan los umbrales de información y alerta a la población, con obligación de informar a la población cuando se superen.

El umbral de información a la población se establece cuando se supere un promedio horario de  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$

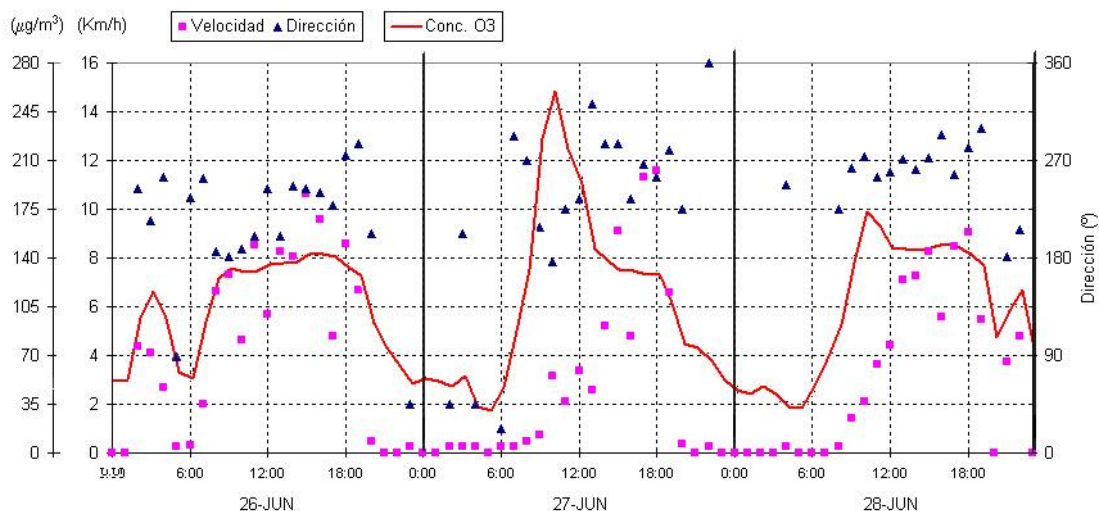
El umbral de alerta se sitúa en un promedio horario (durante tres horas consecutivas) de  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

En el presente trabajo se han contabilizado las superaciones de los promedios horarios de  $180$  y  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . También se han contabilizado las superaciones del promedio horario de  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , aunque la legislación marca un periodo de 8 horas seguidas, valor objetivo de protección de la salud humana, en las que debe superarse. No obstante, lo indicamos por su valor comparativo con los anteriores.

Se han contabilizado 448 superaciones del promedio horario de  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , de las cuáles el 80,8 % corresponden al periodo de verano. Las seis superaciones del umbral de alerta a la población se han registrado en el mes de junio, correspondiendo también a este mes la única subida por encima del promedio horario de  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .



## 2) Análisis de un episodio de ozono



**Fig.6.** Comparación entre la evolución de la concentración de O<sub>3</sub> y la velocidad y dirección del viento en Argamasilla de Calatrava los días 26, 27 y 28 de junio de 2008

La figura anterior representa un episodio de ozono (superación de los niveles de información o alerta) registrado el 27 de junio de 2008 en Argamasilla. La máxima concentración se alcanzó a las 10 de la mañana UT (12 LT) siendo ésta de  $257.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , aunque la hora anterior y las dos posteriores estuvieron por encima del umbral de información de  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (ver Anexo Ia). El episodio coincide con una disminución en la velocidad de viento que se registra desde la noche anterior. La calma dura hasta las 8 de la mañana del día 27 de junio, que es cuando el viento comienza a soplar del SO (de Puertollano) y se inicia el aumento brusco en los niveles de ozono, produciéndose el citado episodio a partir de las 9 de la mañana UT. Las condiciones meteorológicas citadas, son más favorables para la producción fotoquímica de ozono. El cambio en la dirección del viento soplando desde el O y NO y el aumento en la velocidad del viento produce una disminución en las concentraciones de ozono con un valor de  $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a las 13 horas UT. Los resultados muestran que los episodios de ozono en la época cálida, que es cuando se ha registrado, están asociados con cambios en la velocidad y dirección del viento, de calma a dirección SO, disminuyendo cuando cambia a O-NO.

Se resalta también que la madrugada del 26 al 27 de junio se produce un repunte en la concentración de ozono que no es de origen fotoquímico (ver figura). Este aumento se puede relacionar con un cambio en la dirección y velocidad de viento de

nuevo. Tras un periodo de calma, a las 2 UT el viento empieza a soplar del SO y se alcanza un máximo de  $114 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , que no es lo habitual en las noches de esos meses. También se puede ver que a esas horas se produce un repunte de la temperatura de  $5^\circ\text{C}$  que no es habitual.

La relación estrecha entre dirección de viento y ozono, se observa en los datos obtenidos en el presente trabajo (ver Anexo 1A), en diferentes días con concentraciones próximas o mayores de  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y con máximos que se originan por la mañana y no en horas centrales del día, donde la irradiación es máxima. Este hecho, pone de manifiesto que esta localidad próxima a Puertollano, al igual que ocurre en Puertollano (Saiz y col. 2009), posee características orográficas, regímenes de viento, niveles de irradiación y temperatura, emisiones elevadas de contaminantes desde el polo petroquímico, posible formación de capas residuales, que hacen muy favorable que ocurran episodios como el descrito de contaminantes secundarios como el ozono.

### 3) Evolución del valor medio de la concentración de ozono en el periodo

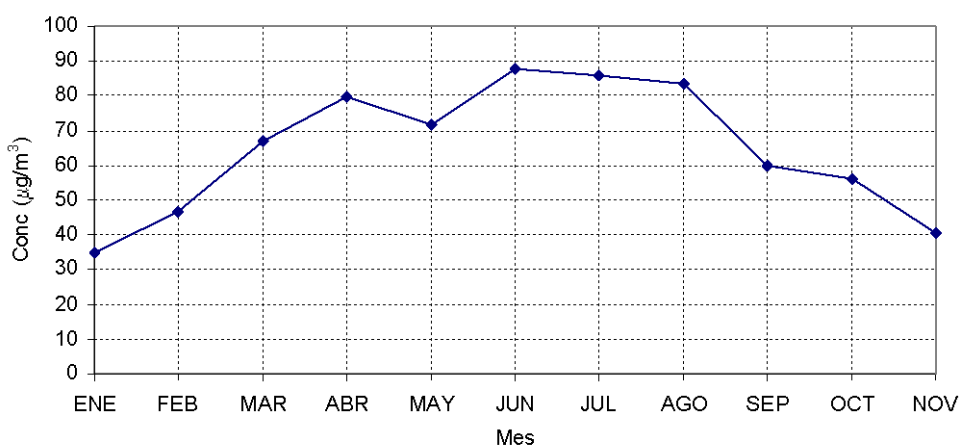


Fig. 7. Concentración  $\text{O}_3$  media mensual 2008

Los mayores valores de ozono se obtienen en los meses de junio, julio y agosto que corresponden a los meses de mayor irradiación solar. En el mes de mayo se produce una involución debida a factores meteorológicos, mes muy nuboso, que suponen una radiación solar recibida por metro cuadrado inferior al mes de abril con un mayor número de horas de luz (ver anexo Ia).

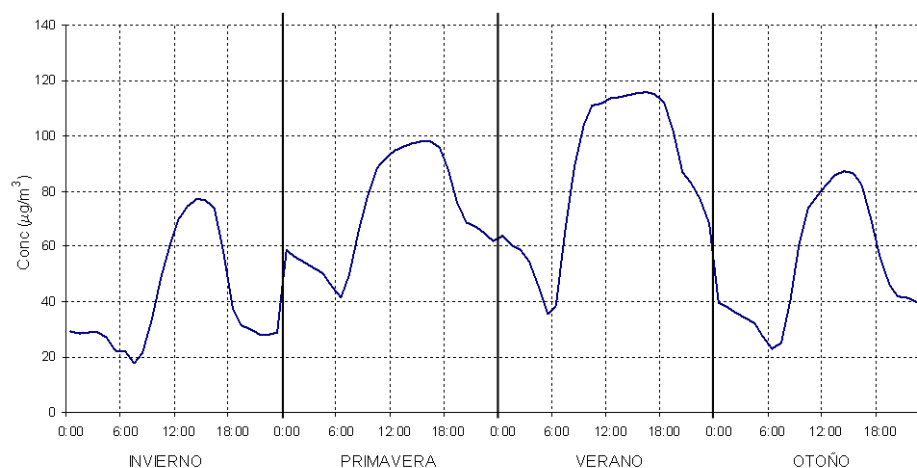
#### 4) Evolución estacional de la concentración de ozono

	Invierno	Primavera	Verano	Otoño	Enero/Julio
Media O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	42,2	72,4	85,8	56,7	0,49

**Tabla 2.** Variación estacional de las correspondientes medias diarias de enero 2008 a noviembre 2008.

La tabla 2 presenta un resumen de los valores estacionales de las correspondientes medias diarias. La estación cálida se considera desde mayo a septiembre y la fría de octubre a abril. O<sub>3</sub> presenta concentraciones mayores durante el periodo cálido del año debido a una mayor producción fotoquímica. Por otro lado, la relación entre la concentración de ozono en enero y julio (última columna de la tabla) es un buen indicador de las variaciones que se producen entre las estaciones frías y cálidas; Ese cociente es <1 indicando que el nivel de ozono durante la estación cálida es mayor que durante la fría. En el caso de los contaminantes primarios (NO) seguiría una relación inversa a la del Ozono.

#### 5) Evolución estacional de la concentración de ozono promedio horaria.

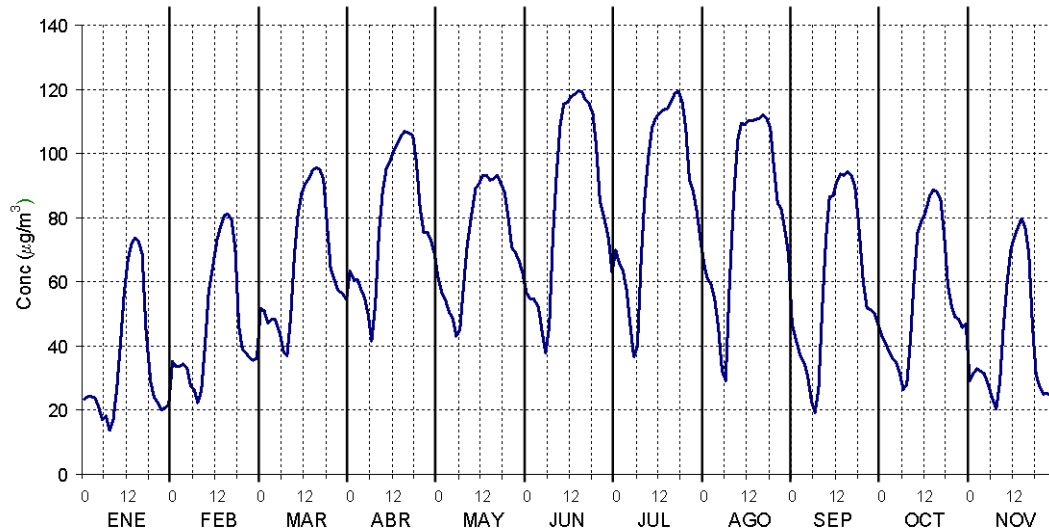


**Fig. 8.** Evolución de la concentración de ozono promedio horaria para las cuatro estaciones del periodo en estudio.

En la figura 8 se presenta un promedio de las medidas realizadas en cada hora a lo largo del día para cada una de las cuatro estaciones. Los mayores valores corresponden a la estación de verano en donde el número de horas de irradiación solar

es mayor. En la primavera es mayor que en otoño, que a la vez es mayor que en invierno, como debe ser por los menores niveles de irradiación y horas de luz.

#### 5) Evolución mensual de la concentración de ozono promedio horaria.

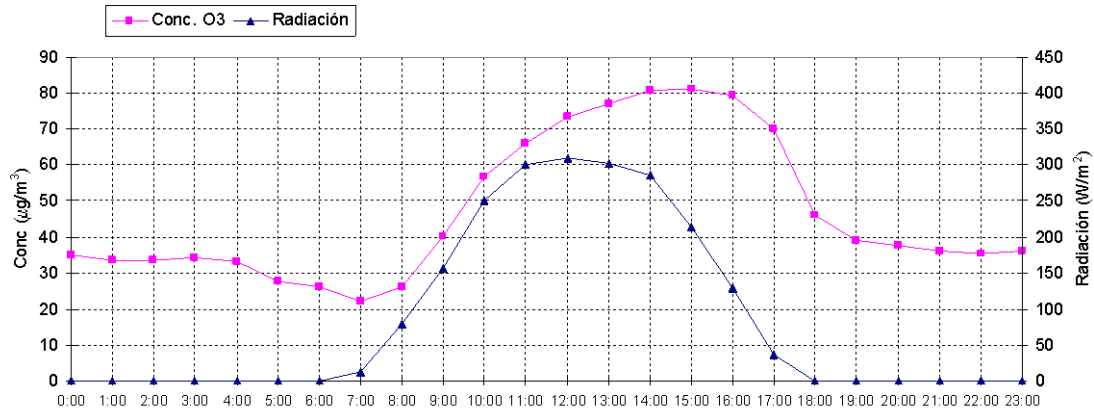


**Fig. 9.** Evolución de la concentración de ozono promedio horaria para cada uno de los meses del periodo en estudio (la curva correspondiente a noviembre solo incluye hasta el día 16).

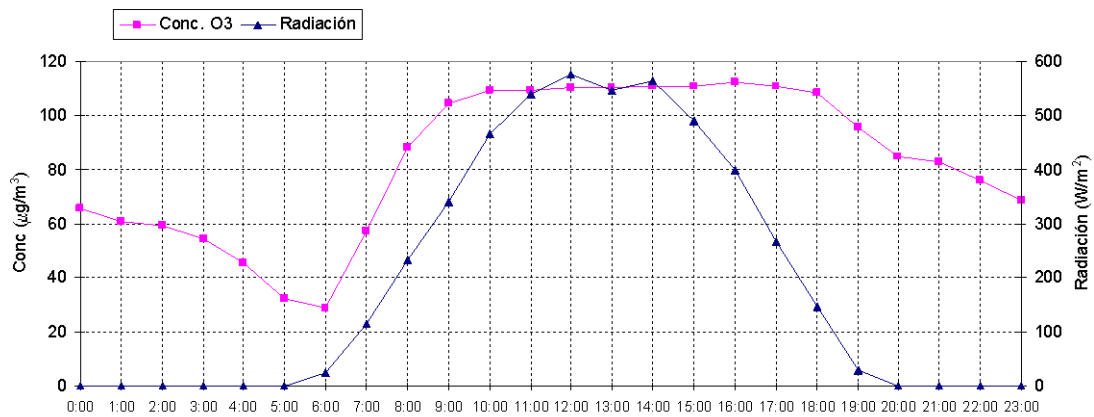
En la figura 9 se presenta un resumen de las medias diarias para todos los meses de medida. Se aprecia que los tres valores más altos corresponden a los meses de verano. El valor máximo se alcanza en el mes de junio a las 14 h. En los meses de invierno se observa un máximo a primera hora de la tarde (producción fotoquímica dominante) y un repunte de madrugada (posiblemente por aportación proveniente de capas residuales de la atmósfera, que por el efecto del viento se mezclan con las capas bajas, aportando ozono).

#### 6) Comparación de la concentración de ozono y la radiación solar.

La variación diaria de las medias horarias de  $\text{O}_3$  junto con las intensidades de la radiación solar se muestran para un mes del periodo frío (febrero, Fig.10), y para otro del periodo cálido (agosto, Fig.11).



**Fig. 10.** Valores horarios de la concentración promedio de ozono y de la radiación solar promedio en el mes de febrero.



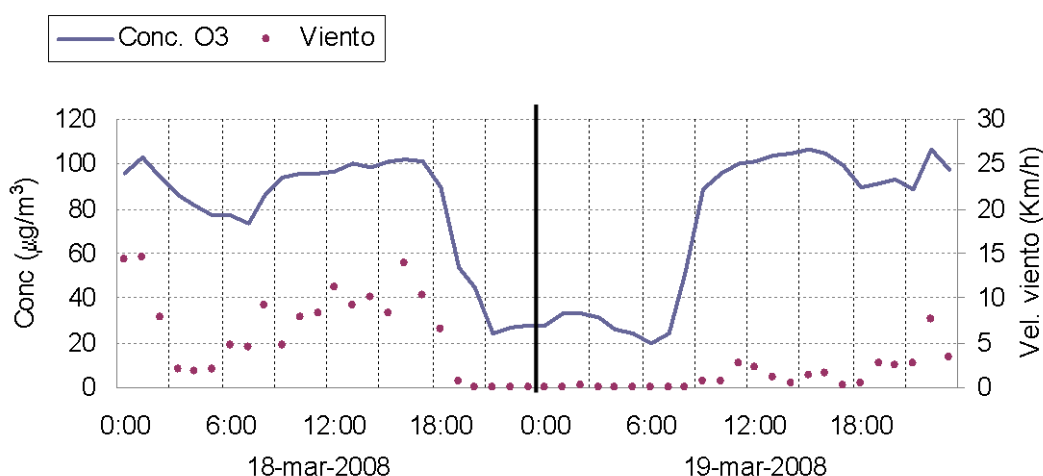
**Fig. 11.** Valores horarios de la concentración promedio de ozono y de la radiación solar promedio en el mes de agosto.

Se ve claramente que existe una correlación clara entre nivel de irradiación y formación de ozono, que como ya se ha explicado es un contaminante secundario formado fotolíticamente. Se observa en las figuras anteriores que los mayores valores de irradiación solar y horas de luz se dan en la época cálida y esto se traduce en mayores valores de ozono. Los valores más altos se observan al mediodía, antes que en invierno. Además en verano esos máximos se mantienen más tiempo durante el día (presentan una meseta), que puede indicar un aporte de ozono de otras capas bien mezcladas, que acaban trayendo ozono por la adecuada dirección del viento. En invierno, el canal fotolítico (reacción 2) no es tan eficaz como en verano, ya que los ángulos cenitales son mayores y hay menos horas de luz para llevar a cabo esa actividad fotolítica. Eso incrementa los niveles de  $\text{NO}_2$  por un lado; por otro lado la reducción de ozono formado

fotoquímicamente favorece la desaparición del mismo por reacción con NO para dar  $\text{NO}_2 + \text{O}_2$ . Como se ve esto favorece aún más el aumento de la concentración de  $\text{NO}_2$ .

### 7) Variación nocturna de la concentración de ozono con el viento.

La figura 12 presenta la evolución de la concentración de ozono con la velocidad del viento en los días 18 y 19 de marzo de 2008.

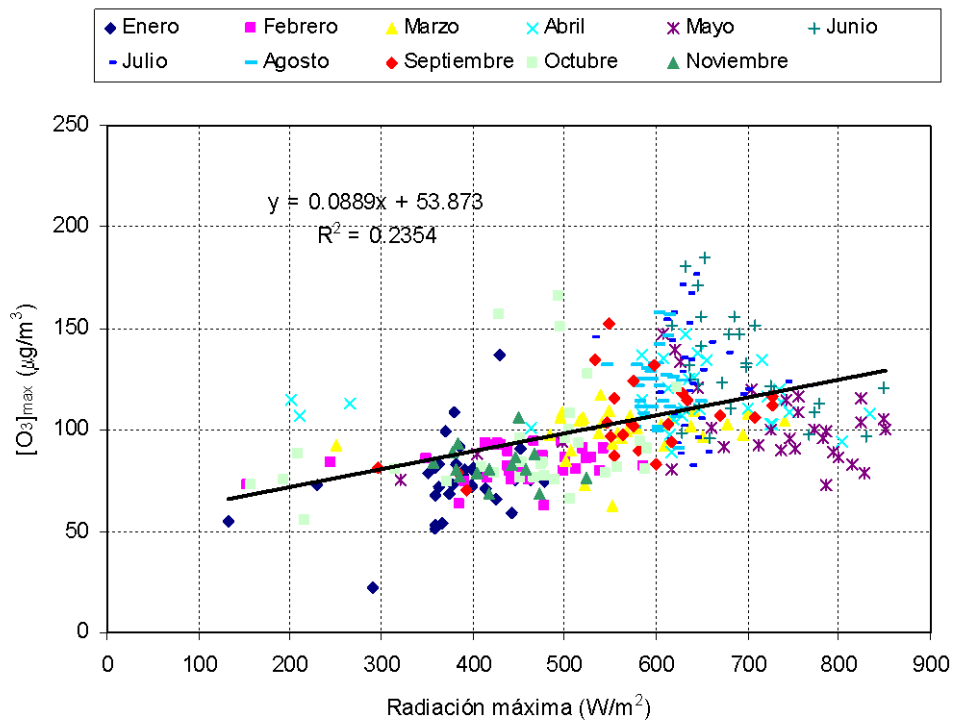


**Fig. 12.** Evolución de la concentración de  $\text{O}_3$  y de la velocidad del viento los días 18 y 19 de marzo de 2008

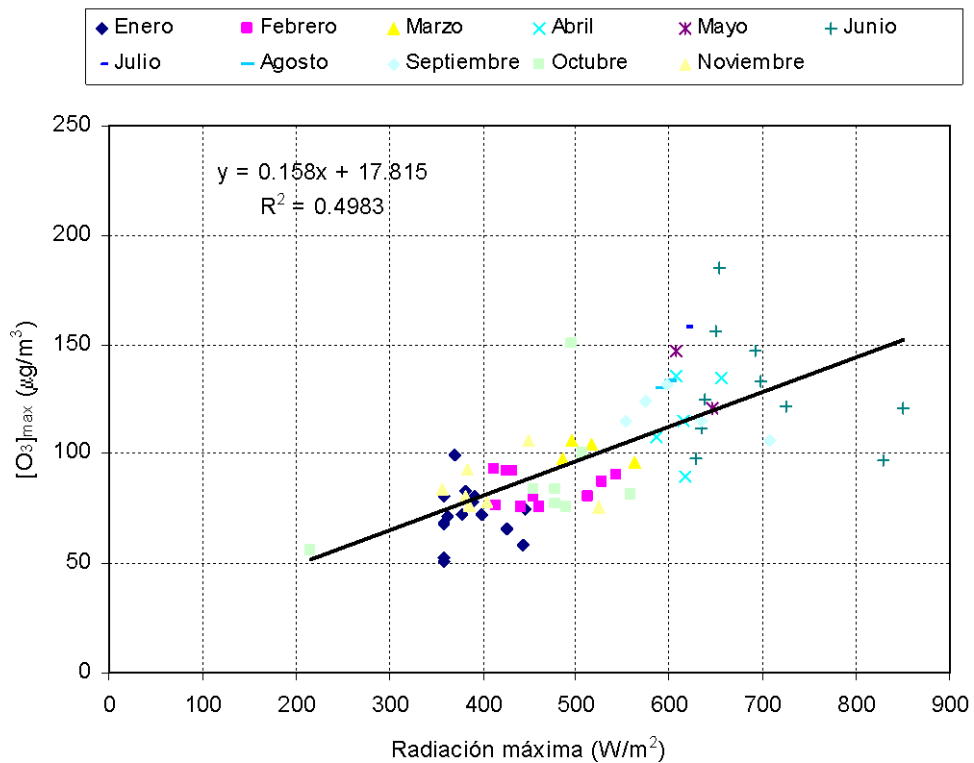
Respecto a la relación de los niveles de ozono con otras variables meteorológicas se observa que los niveles nocturnos son especialmente altos en noches con viento; por el contrario, en noches en calma, se reducen a valores mínimos. Esto mismo se observa en Puertollano con los valores obtenidos mediante DOAS.

### 8) Correlación de la concentración de ozono con la radiación solar y la temperatura

En las siguientes gráficas (fig.13 y 14) se ve que existe una correlación entre la concentración de ozono y la radiación solar. En la figura 14 hay una mayor correlación debido a que se ha eliminado la posible contribución del viento, que como ya se ha explicado previamente, tiene una influencia significativa sobre la concentración de ozono.

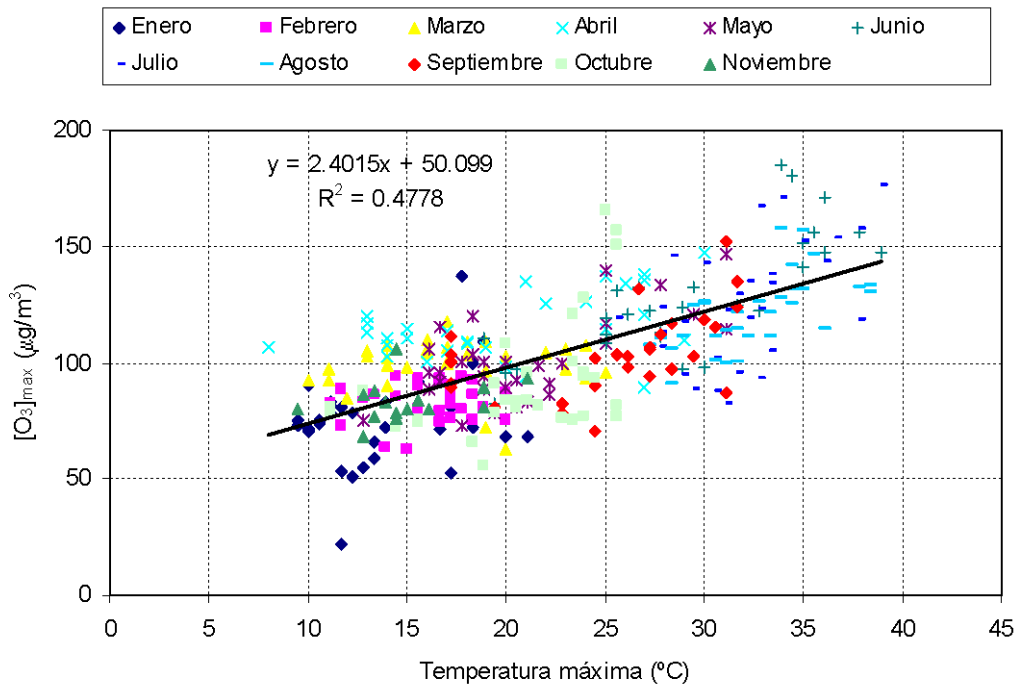


**Fig. 13.** Correlación de la concentración máxima diaria de ozono con la radiación solar máxima diaria (todos los días).

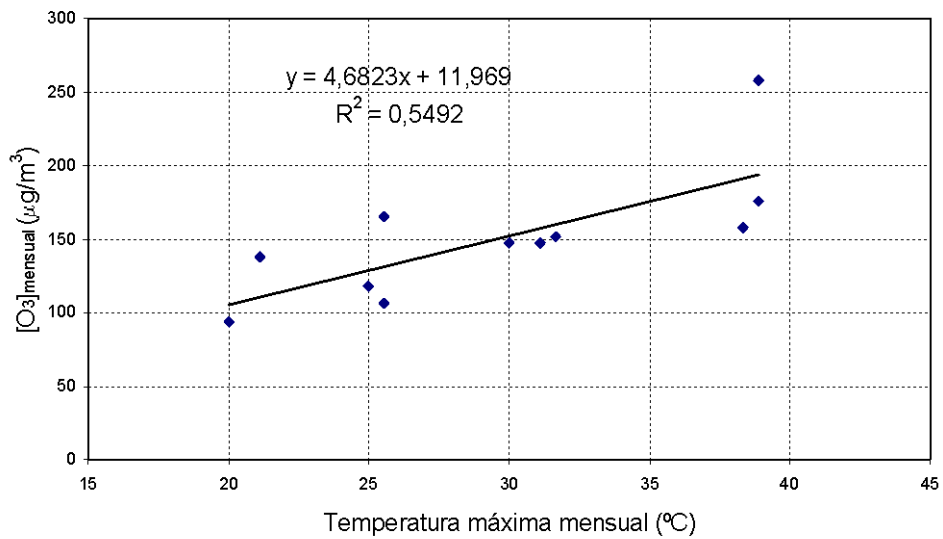


**Fig. 14.** Correlación de la concentración máxima diaria de ozono con la radiación solar máxima diaria (solo días sin viento).

En las figuras 15 y 16 se muestra la correlación existente entre la concentración de ozono y la temperatura. La figura 15 hace referencia a valores máximos diarios, mientras que la fig. 16 se refiere a valores máximos mensuales. En ambas se observa que existe una buena correlación, además de un aumento de los valores de concentración con la temperatura como ya se observaba en la figura 5.



**Fig. 15.** Correlación de la concentración máxima diaria de ozono con la temperatura máxima diaria (todos los días).



**Fig. 16.** Correlación de la concentración máxima mensual de ozono con la temperatura máxima mensual.



### ***b) Resultados obtenidos en Porzuna***

A partir de los datos completos que se presentan en el anexo Ib, se pueden obtener las siguientes tablas y gráficas resumen de los datos registrados en Porzuna. Debido a que el proyecto termina en el mes de mayo no se han podido hacer las comparaciones estacionales de las concentraciones de ozono, al contar solamente con los datos correspondientes al período comprendido entre diciembre de 2008 a marzo de 2009. Asimismo tampoco se pueden hacer comparaciones en este momento con los datos obtenidos en Argamasilla de Calatrava, aunque la toma de datos continua y se podrán hacer comparaciones completas en un futuro próximo.

#### 1) Datos de concentración de ozono.

En la Tabla 3 se muestran los valores máximo, mínimo y medio mensuales y anual, y el número de horas con valor por encima de los umbrales 120, 180 y 240  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

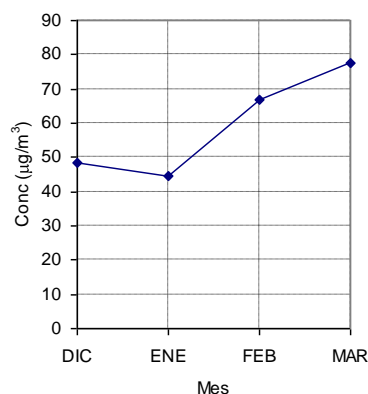
MES	Máximo	Mínimo	Media	> 120	> 180	> 240
	140,1	9,0	59,4	55	0	0
DICIEMBRE 08	89,8	9,0	48,5	0	0	0
ENERO 09	96,6	10,7	44,7	0	0	0
FEBRERO 09	115,3	13,7	66,7	0	0	0
MARZO 09	140,1	19,6	77,7	55	0	0

**Tabla 3.** Valores de concentración de ozono

En Porzuna se han registrado 55 superaciones del promedio horario de 120  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de la concentración de ozono, todas durante el mes de marzo al ser el mes de mayores valores de radiación solar. De estas superaciones solamente el día 17 estuvo más de ocho horas (desde las 9:20 hasta las 18:00) por encima del valor de 120 lo cual supone una superación del valor objetivo de la protección de la salud.

Se ha observado que los valores máximos diarios en Porzuna son menores que los de Argamasilla, si bien la concentración de ozono cae menos durante la noche en Porzuna que en Argamasilla.

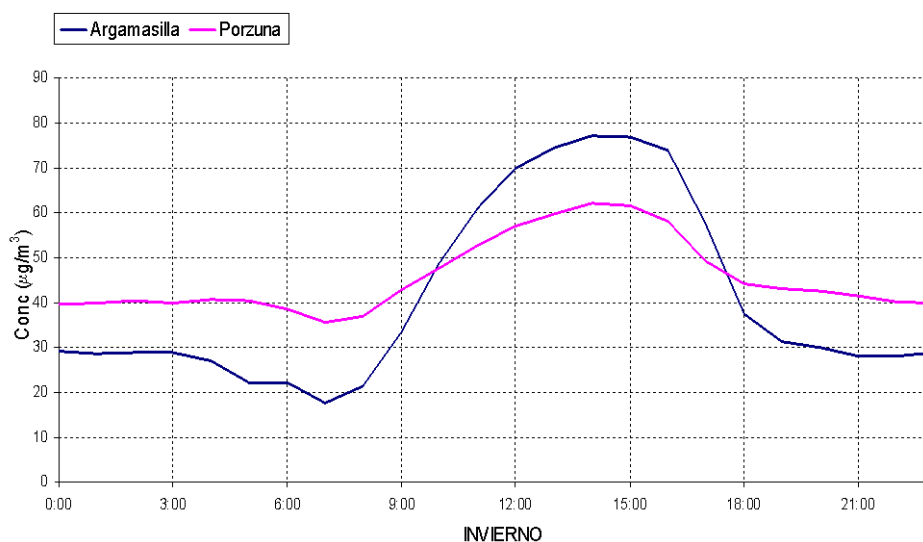
## 2) Evolución del valor medio de la concentración de ozono en el periodo



**Fig. 17.** Concentración O<sub>3</sub> media mensual 2009

Los valores de ozono van aumentando conforme lo hace la radiación solar recibida por metro cuadrado y el número de horas de luz diaria (ver anexo Ib); la disminución en el mes de enero se debe a que la radiación solar recibida fue inferior a la del mes de diciembre.

## 3) Comparación de la evolución estacional de la concentración de ozono promedio horaria.

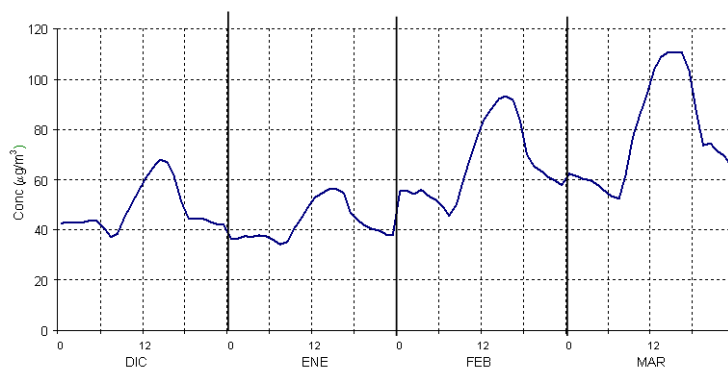


**Fig. 18.** Evolución de la concentración de ozono promedio horaria durante el invierno en Argamasilla y Porzuna.

En la figura 18 se presenta un promedio de las medidas de concentración de ozono realizadas en cada hora a lo largo del día para la estación de invierno (único

periodo en el que es posible la comparación hasta el momento), tanto en Argamasilla como en Porzuna. La evolución en ambas poblaciones es similar. No obstante los niveles máximos son algo mayores en Argamasilla de Calatrava probablemente debido a la mayor presencia de contaminantes procedentes de Puertollano. En cuanto a los niveles nocturnos son mayores en Porzuna probablemente por una menor presencia de NO, debido al tráfico, que impide una mayor destrucción de ozono por su reacción con NO.

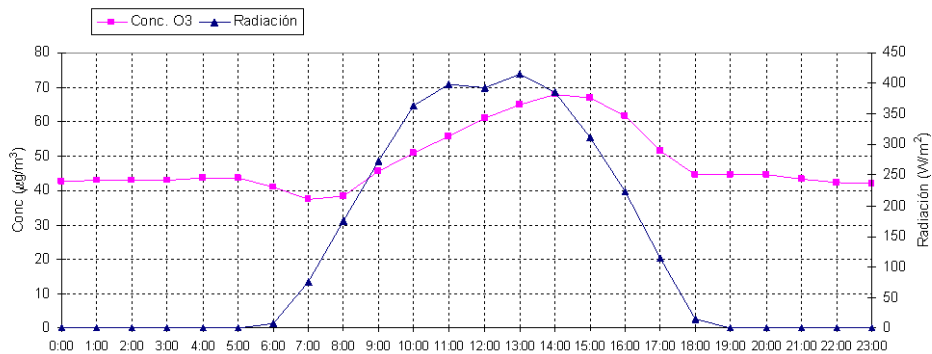
**4) Evolución mensual de la concentración de ozono promedio horaria.**



**Fig. 19.** Evolución de la concentración de ozono promedio horaria para cada uno de los meses del periodo en estudio.

En la figura 19 se presenta un sumario de las medias diarias para todos los meses de medida. Al igual que en Argamasilla, los valores son crecientes conforme los días son más largos.

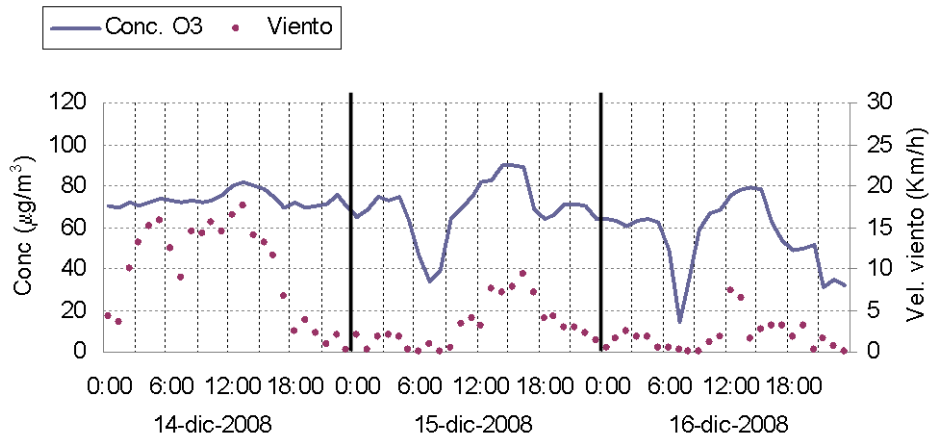
**5) Comparación de la concentración de ozono y la radiación solar.**



**Fig. 20.** Valores horarios de la concentración promedio de ozono y de la radiación solar promedio en el mes de marzo.

En la figura 20 se observa una correlación clara entre el nivel de irradiación y la formación de ozono, que como ya se ha explicado, es un contaminante secundario formado fotolíticamente. Los valores más altos se observan en las horas centrales del día.

6) Variación nocturna de la concentración de ozono con el viento.



**Fig. 21.** Evolución de la concentración de O<sub>3</sub> y de la velocidad del viento los días 14, 15 y 16 de diciembre de 2008

La figura 21 presenta la evolución de la concentración de ozono con la velocidad del viento en los días 14, 15 y 16 de diciembre de 2008. Se observa que los niveles nocturnos son especialmente altos en noches con viento; por el contrario, en noches en calma, se reducen a valores mínimos. Esto mismo se observaba también en los resultados obtenidos en Argamasilla.

### **3. Aplicaciones didácticas.**

El proyecto “Estudio físico-químico comparativo de una atmósfera próxima a una zona industrial y otra rural y su implicación en el currículo de secundaria” involucra no solamente a un grupo de profesores de la UCLM y de Enseñanza Secundaria, sino que también se hace extensivo al alumnado perteneciente a estos Institutos.

Se ha procurado que el alumnado participe activamente en este proyecto mediante la realización de diversas actividades que requieren de una metodología y de recursos variados. Se trata de presentar un conjunto de tareas que establezcan relaciones entre los contenidos básicos propios de las materias de ciencias en las etapas de ESO y Bachillerato y los procedimientos característicos de una investigación científica.

Nuestra experiencia educativa, de cara al alumnado, ha sido estructurada en varias fases:

#### Fase I: Iniciación.

En esta fase se llevan a cabo distintas actividades encaminadas a que los alumnos dispongan de las bases necesarias para afrontar el proyecto de investigación que se va a llevar a cabo:

- Se realiza una presentación donde se les explica qué es el ozono troposférico, su dependencia de las condiciones meteorológicas, funciones que desempeña, mecanismos de formación y relación con la contaminación atmosférica.
- Se presenta la estación meteorológica y el analizador de ozono troposférico instalados en el Centro, describiendo sus características.
- Se accede al ordenador donde se almacenan y procesan los datos meteorológicos y de ozono.

En este sentido la aportación principal ha sido la realización de una presentación en Power Point para establecer un primer contacto entre los alumnos y los contenidos propios del proyecto como el funcionamiento de la caseta meteorológica, parámetros que mide, ozono, reacciones de formación, etc.

En anexo adjunto se aporta el documento completo.

## Fase II: Búsqueda de información.

En esta fase se pretende que los alumnos se familiaricen con los diferentes aspectos relacionados con el ozono.

Para ello buscan y seleccionan la información de forma autónoma en distintas fuentes (bibliografía suministrada por el profesor, Internet, materiales elaborados por el grupo de trabajo ...)

Se ha profundizado en el manejo de información en otros idiomas (inglés principalmente) y en el uso de las tecnologías de la información y la comunicación.

La aportación didáctica en esta fase ha consistido en la entrega a los alumnos de una serie de artículos aparecidos en prensa sobre cuestiones medioambientales relacionadas con el ozono, con una serie de preguntas para su reflexión y posterior debate en clase.

En el anexo adjunto donde figura la Unidad Didáctica está incluido el programa guía con los artículos referidos.

## Fase III: Tratamiento y análisis de los datos generados.

La toma y el análisis de los datos constituye una de las fases principales en el desarrollo de un trabajo científico, ya que supone la base para extraer posteriores conclusiones.

En esta fase se pretende cubrir varios de los objetivos del proyecto, en especial los relacionados con el desarrollo de una metodología científica y el uso de las tecnologías de la información y la comunicación.

Se consigue, asimismo, mejorar la funcionalidad de los contenidos impartidos en las materias de Tecnología y Matemáticas.

La aportación didáctica en esta fase ha sido el desarrollo de una aplicación informática propia, en forma de archivo Excel, para la recogida, tratamiento y análisis de datos.

Se ha buscado un diseño que recoja todos los datos generados y los presente de forma clara con el uso de gráficas. En las mismas, se ve la evolución horaria de los parámetros medidos, siendo fácil su comparación para deducir posibles correlaciones. Por otro lado, cuenta con una tabla resumen mensual que refleja los datos clave de dicho periodo.

En anexos adjuntos se aporta documento descriptivo que explica su funcionamiento y se muestran parte de los resultados experimentales obtenidos de acuerdo a dicho método.

#### Fase IV: Comunicación de resultados.

En esta fase se busca la comunicación de los resultados obtenidos con el desarrollo del trabajo científico, cuidando el uso de una terminología adecuada.

Se pretende lograr, asimismo, una sensibilización de la comunidad educativa ante el problema de la contaminación atmosférica.

Las actuaciones didácticas principales en esta fase han consistido en:

- La difusión de resultados en distintos formatos en los centros.
- El planteamiento reflexivo del problema de la contaminación, como contenido transversal, en las materias de Física y Química y Ciencias de la Naturaleza y la adquisición de compromisos.
- La participación en la XXXII Bienal de Física que se celebrará del 7 al 11 de septiembre de 2009 en Ciudad Real.
- La participación en el congreso Internacional Conference on Education and New Learning Technologies, que se celebrará del 6 al 8 de julio de 2009 en Barcelona.

#### Fase V: Conexiones interdisciplinares.

En esta fase se pretende que el tema objeto de trabajo pueda ser abordado desde los puntos de vista propios de distintas materias. Los registros proporcionados por la estación meteorológica y el analizador de ozono han sido utilizados por los alumnos de ESO y bachillerato para la:

- Elaboración de tablas y gráficas en hojas de cálculo (Informática y Matemáticas)

- Realización de problemas relacionados con los conceptos, leyes, teorías y modelos más importantes y generales de la Física y la Química.
- Ejecución de tratamientos estadísticos que permiten establecer comparaciones entre meses o estaciones (Matemáticas)
- Obtención de datos climáticos de nuestra zona (Geografía)
- Observación de episodios de contaminación atmosférica y sus problemas medioambientales asociados (Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente).

La aportación didáctica principal en esta fase ha consistido en la elaboración de la unidad didáctica “El Ozono”, que pretende integrar la contaminación por ozono troposférico con los contenidos impartidos en la educación secundaria obligatoria y bachillerato (fundamentalmente en el área de Física y Química).

En el programa guía de la unidad didáctica está incluida una colección de problemas que han sido propuestos por los profesores para el trabajo de los alumnos.

También se ha elaborado el programa informático “Química ozono.exe” de autoevaluación para el alumnado.

En anexos adjuntos se aporta la unidad didáctica completa y se incluye el programa informático referido anteriormente.

#### FASE VI: Acercamiento a la Universidad,

En esta fase se pretende que los alumnos de segundo curso de Bachillerato de las modalidades de Ciencias y/o Tecnología tengan un primer contacto con la dinámica universitaria. Se trata de una experiencia altamente motivadora e ilusionante para un alumnado cuyas expectativas académicas pasan por el acceso a estudios universitarios científicos o tecnológicos. Se plantea para ello:

- La realización de prácticas de laboratorio en dependencias y con recursos del Departamento de Química-Física de la UCLM.
- La confección de las correspondientes memorias de laboratorio.

La aportación didáctica principal en esta fase ha sido la elaboración de un guión de prácticas para el mejor aprovechamiento de dichas sesiones.



En anexos adjuntos se muestra dicho gui3n y una de las memorias realizadas por los alumnos.

#### 4. Bibliograf3a

- B.J. Finlayson-Pitts, y J.N. Pitts, Jr. "Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere: Theory, Experiments, and Applications", Academic Press, 2000.
- E. Mart3nnez y Y. D3az de Mera. "Contaminaci3n atmosf3rica". Coordinadores Ernesto Mart3nnez y Yolanda D3az de Mera. Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha. Cuenca, 2004.
- J.E. Figueruelo y M. D3avila "Qu3mica F3sica del medio ambiente",. 1<sup>a</sup> Ed., Revert3, M3xico, 2001.
- Junta de Comunidades de Castilla La Mancha. Consejer3a de Medio Ambiente y desarrollo Rural. Red de vigilancia de la contaminaci3n. <http://www.jccm.es/medioambiente/index2.htm>
- Saiz-Lopez, A., Adame, J.A., Notario A., Poblete, J., Bol3var J.P., Albaladejo, J. 2009. Year-round observations of NO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub> and toluene measured with a DOAS system in the industrial area of Puertollano, Spain. Water Air Soil Poll. DOI 10.1007/s11270-008-9912-8.
- Saiz-Lopez, A., Notario A., Mart3nnez, E and Albaladejo, J., 2006. Seasonal evolution of levels of gaseous pollutants in an urban area (Ciudad Real) in central-southern Spain: a DOAS study. Water Air Soil Poll. 171, 153-167.
- Saiz-Lopez, A., Notario A., Mart3nnez, E and Albaladejo, J., McFiggans, G., 2007. Seasonal variation of NO<sub>x</sub> loss processes coupled to the HNO<sub>3</sub> formation in a daytime urban atmosphere: a model study. Water Air Soil Poll. 182, 197-206.
- Seinfeld y S.N Pandis. "Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change", J.H., John Wiley & Sons, New York, 1997.