

SIGUIENDO LA PISTA

Estudio preliminar de la calidad del aire en el Campus de Vegazana de la Universidad de León⁽¹⁾

Cristina Gallinas Suazo^(2,3), Fernando Pérez García^(2,4) y Laura López Campano⁽¹⁾

(1) Trabajo desarrollado en las asignaturas de *Introducción a la Investigación y Trabajo de Investigación* (2009-10), bajo la supervisión de la Dra. Laura López Campano del área de Física Aplicada. Universidad de León. laura.lopez@unileon.es

(2) Alumnos de 4º curso de la Licenciatura en Biotecnología. Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales. Universidad de León.

(3) btccgs00@estudiantes.unileon.es (4) btcfpg00@estudiantes.unileon.es

El presente trabajo se ha realizado en el marco de las asignaturas de *Introducción a la Investigación y Trabajo de investigación* y pretende ser una primera aproximación al análisis de la calidad del aire en el Campus de Vegazana, tanto en el exterior como en el interior de los edificios. El trabajo consta de tres partes. En primer lugar, se ha realizado un estudio del aire exterior. Los resultados nos muestran cómo en el 11% de los días, la calidad del aire en el Campus no cumple los límites establecidos por la legislación, y cómo los meses en los que el número de superaciones es más elevado son noviembre y febrero. Además, mediante un Análisis de Componentes Principales se han podido clasificar los episodios de contaminación en tres tipos: *episodios con contaminación fotoquímica*, *episodios con contaminación ácida* y *episodios con elevadas concentraciones de partículas*. El segundo objetivo del estudio, ha sido evaluar la calidad del aire en el interior de aquellos edificios del campus que hemos considerado representativos de la exposición media de los miembros de la comunidad universitaria. Para ello, se han realizado mediciones directas, mediante tubos difusores activos, de la concentración de distintos contaminantes: CO, NO, NO_x, SO₂ e hidrocarburos. Finalmente, y debido a la importancia que las partículas en suspensión presentan sobre nuestra salud, se ha medido la concentración de aerosoles en el interior de los edificios mediante la sonda de aerosoles PCASP. Los resultados evidencian que el origen de los mismos es mayoritariamente el humo del tabaco.

Palabras clave: contaminación atmosférica, Campus de Vegazana, Análisis de Componentes Principales, aire interior, aerosoles, tabaco.

Introducción

De manera general, el término Contaminación Atmosférica hace referencia a la “presencia en el aire de sustancias o formas de energía que alteran la calidad del mismo, implicando riegos, daños o molestia grave para las personas y bienes de cualquier naturaleza”. En España, un contaminante atmosférico se define como “cualquier sustancia introducida directa o indirectamente por el hombre en el aire ambiente que pueda tener efectos nocivos sobre la salud humana o el medio ambiente en su conjunto” (RD 1073/2002).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) considera el estudio de los contaminantes en la atmósfera como una de sus prioridades a nivel mundial. Así, el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino en el año 2008 afirmaba que todos los años mueren en España 17.000 personas de manera prematura debido a la contaminación atmosférica. Esta cifra es tres veces superior a la de los accidentes de tráfico, por ejemplo, y diez veces superior a la de los accidentes laborales. Los efectos de la exposición a niveles de contaminación atmosférica son múltiples, siendo los sistemas más afectados el respiratorio y el cardiocirculatorio. Además, exposiciones elevadas a estos contaminantes aumentan la aparición de problemas alérgicos, la aparición temprana de enfermedades respiratorias en niños o incluso las tasas de aparición de cáncer de pulmón según la Sociedad Española de Neumología y Cirugía Torácica. El número de estudios relativos a los efectos de este tipo de contaminantes en la salud es muy elevado (Ballester, 2005; Ballester et al., 1996; 2001; Michelozzi et al., 1998).

Con el objetivo de garantizar que la población disfrute de una calidad del aire ambiente adecuada, el RD 1073/2002 DE 18 DE OCTUBRE SOBRE EVALUACIÓN Y GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE EN RELACIÓN CON EL DIÓXIDO DE AZUFRE, DIÓXIDO DE NITRÓGENO, ÓXIDOS DE NITRÓGENO, PARTÍCULAS, PLOMO, BENCENO Y MONÓXIDO DE CARBONO y el RD 1796/2003 DE 26 DE DICIEMBRE, RELATIVO AL OZONO EN EL AIRE AMBIENTE regulan los valores máximos permitidos en el aire para diferentes contaminantes y distintos tiempos de exposición. En la legislación, estos valores máximos se denominan Valores Límite. Así, el Valor Límite para un determinado contaminante es “un nivel que no debe superarse fijado basándose en conocimientos científicos, con el fin de evitar, prevenir o reducir los efectos nocivos para la salud humana y para el medio ambiente en su conjunto”. Por tanto, la superación de estos valores implica que se producirán efectos nocivos sobre la salud de las personas. Por otro lado, el RD 1073/2002

señala que “Las Administraciones públicas adoptarán las medidas necesarias para garantizar el respeto de los Valores Límite teniendo en cuenta un enfoque integrado de la protección del Medio Ambiente”. Por tanto, es fundamental conocer los valores de contaminación de los diferentes contaminantes presentes en el aire a fin de evaluar la calidad del aire ambiente, y adoptar las medidas correctoras oportunas si esta no fuese adecuada.

Los contaminantes atmosféricos pueden proceder tanto de fuentes fijas (industrias, calefacciones, etc.) como de fuentes móviles (vehículos). Además, y utilizando una clasificación en función de su origen, podemos distinguir los denominados *contaminantes primarios* (aquellos que proceden directamente de la fuente emisora) de los *contaminantes secundarios* (producidos como consecuencia de las reacciones y transformaciones físicas y químicas sufridas por los contaminantes primarios en la atmósfera). En la **Tabla 1** se resumen algunos de los principales contaminantes atmosféricos y sus fuentes.

Tabla1. Descripción de los principales contaminantes atmosféricos y sus fuentes (Ballester, 2005).

Contaminantes atmosféricos	Formación	Fuentes
Partículas en suspensión	Primaria	Vehículos, industria, humo del tabaco
Dióxido de azufre (SO ₂)	Primaria y secundaria	Procesos industriales, vehículos
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	Primaria y secundaria	Vehículos, calefacciones
Monóxido de carbono (CO)	Primaria	Combustiones, vehículos
Ozono (O ₃)	Secundaria	Foto-oxidación de NO _x
Hidrocarburos	Primaria y secundaria	Vehículos, industria, combustiones

Por otro lado, la contaminación atmosférica puede ser evaluada no sólo en el aire ambiente exterior sino también en el interior de los edificios. De hecho, los contaminantes presentes en los ambientes interiores son los responsables de los mayores niveles de exposición de la población. Dentro de

los recintos cerrados, las concentraciones de contaminantes alcanzadas son superiores a las del aire exterior como consecuencia de las peores condiciones de dispersión. Además, es necesario destacar que de media, la población permanece el 95% de su tiempo diario en el interior de edificios (bien en su lugar de trabajo, en su casa, en sus lugares de ocio, etc.). Hay casos particulares, como las personas ingresadas en un recinto hospitalario en las que el tiempo de permanencia en un recinto cerrado es del 100% (Instituto de Salud Carlos III, 2006). Estos niveles de exposición muy elevados a concentraciones altas, hacen que evaluar la concentración de los contaminantes en el interior de los recintos cerrados adquiera especial importancia.

En el interior de los edificios existen contaminantes que proceden del exterior, pero hay un grupo de contaminantes que se han generado *in situ*. Dentro de los contaminantes propios del interior de los edificios, es el humo del tabaco el que presenta unos valores más elevados, y el que se encuentra presente en un mayor número de ambientes. En este sentido, es necesario puntualizar que son los aerosoles de tamaños inferiores a 2,5 micras de diámetro, generados por el humo del tabaco los que presentan unas consecuencias para la salud más graves, ya que son capaces de alcanzar los alvéolos pulmonares.

Finalmente, y teniendo en cuenta los aspectos anteriores, los objetivos del presente trabajo han sido los siguientes:

1. Conocer la calidad del aire ambiente en el Campus de Vegazana y clasificar los diferentes episodios de contaminación registrados.
2. Estudiar la calidad del aire en el interior de los edificios del Campus de Vegazana.
3. Evaluar, de manera particular, la contaminación debida a las partículas en suspensión en el interior de los edificios, debido a los importantes efectos causados por las mismas sobre la salud.

Atendiendo a los tres objetivos planteados, el presente estudio se ha dividido en tres apartados diferenciados que resumiremos a continuación.

Evaluación del aire ambiente en el Campus de Vegazana

Como ya hemos señalado, los contaminantes presentes en la atmósfera pueden proceder de diversas fuentes. Una vez emitidos, estos se mezclan con el aire ambiente. Es necesario puntualizar que son las condiciones meteorológicas,

las que van a determinar el grado de dispersión de los contaminantes en un determinado punto, y por tanto las concentraciones máximas alcanzadas. Son especialmente significativas las condiciones existentes en la denominada Capa Límite Planetaria (Stull, 1950), ya que en esta se produce la mayoría de los procesos y transformaciones químicas que sufrirán los contaminantes hasta llegar a nuestro organismo. Así, cuando medimos la concentración de los contaminantes ya mezclados con el aire ambiente, hablamos de medidas de *inmisión* (en contraposición a las medidas de *emisión*, que se refieren únicamente a los contaminantes sin mezclar en el ambiente). La administración mide estos niveles de inmisión en diversos puntos ya que es responsable, como sabemos, de mantener la calidad del aire que respiramos “dentro de unos umbrales que no entrañen riesgos inaceptables para la salud de las personas”. El número de puntos de muestreo, los métodos de medida y los Valores Límite para cada contaminante vienen marcados por la legislación, como ya hemos señalado (RD 1073/2002).

A la hora de evaluar los niveles de inmisión en el Campus de Vegazana, por tanto en el exterior de los edificios, nos planteamos, en primer lugar, conocer las características de la calidad del aire a lo largo del año. Es decir, evaluar el porcentaje de días en los que la calidad del aire que respiramos incumple la legislación, en qué meses contamos con una peor calidad del aire o qué contaminantes están presentes mayoritariamente.

Pero además y por otro lado, a partir de la base de datos generada, realizamos una clasificación de los episodios de contaminación atmosférica generados en función tanto del tipo de contaminantes presentes, como de las características meteorológicas registradas durante los mismos.

Base de datos

En el estudio se utilizaron datos procedentes de la “Red de Vigilancia y Control de la Contaminación Atmosférica en Castilla y León”. En concreto, y debido a su proximidad al Campus de Vegazana, se han utilizado los datos de la denominada estación “León 3”, situada en la Calle de San Juan de Sahagún, muy próxima al Campus. Se trata de una estación ubicada en una zona de carácter residencial, con tráfico rodado medio, y ubicada en un área amplia y llana (Red de control de la calidad del aire del Ayto. de León). La estación se encuentra orientada a realizar medidas representativas de la calidad del aire que afecta más directamente a la población, lo que se conoce como medidas de “fondo urbano”.



En el trabajo se han utilizado los datos diarios del año 2007 (Ayto. de León, 2007), ya que se trataba del año más reciente en el que se disponía de datos mensuales completos. Diariamente, se ha dispuesto de datos tanto de contaminantes como de diversas variables meteorológicas. Los parámetros medidos aparecen recogidos en la **Tabla 2**. Se han evaluado estos contaminantes ya que son los que presentan usualmente unas concentraciones más elevadas en zonas urbanas, y por ello, también son los que marca la legislación (RD 1073/2002). El método de muestreo y medida viene fijado por la legislación (RD 1073/2002).

Tabla 2. Lista de contaminantes atmosféricos y variables meteorológicas registradas en la estación “León 3”.

Contaminantes atmosféricos ($\mu\text{g m}^{-3}$)	Variables meteorológicas
NO	Temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$)
NO ₂	Temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$)
O ₃	Radiación solar (W m^{-2})
Partículas PM10	Presión (hPa)
SO ₂	Humedad relativa (%)
	Dirección del viento (grados)
	Velocidad media del viento (m s^{-1})

Metodología y resultados: Calidad del aire exterior

Con el objetivo de realizar una primera aproximación a las situaciones de contaminación atmosférica en el Campus, se ha representado en la **Figura 1** el número de días en los que se han producido superaciones de los Valores Límite a lo largo de los meses del año. Como puede observarse, son los meses de noviembre y febrero los que han registrado un mayor número de días con aire contaminado. No obstante, el resto de los meses de invierno también presentan valores elevados. En el otro extremo, se encuentran los meses de julio y octubre en los que la calidad del aire se ha mantenido siempre dentro de los valores legales permitidos.

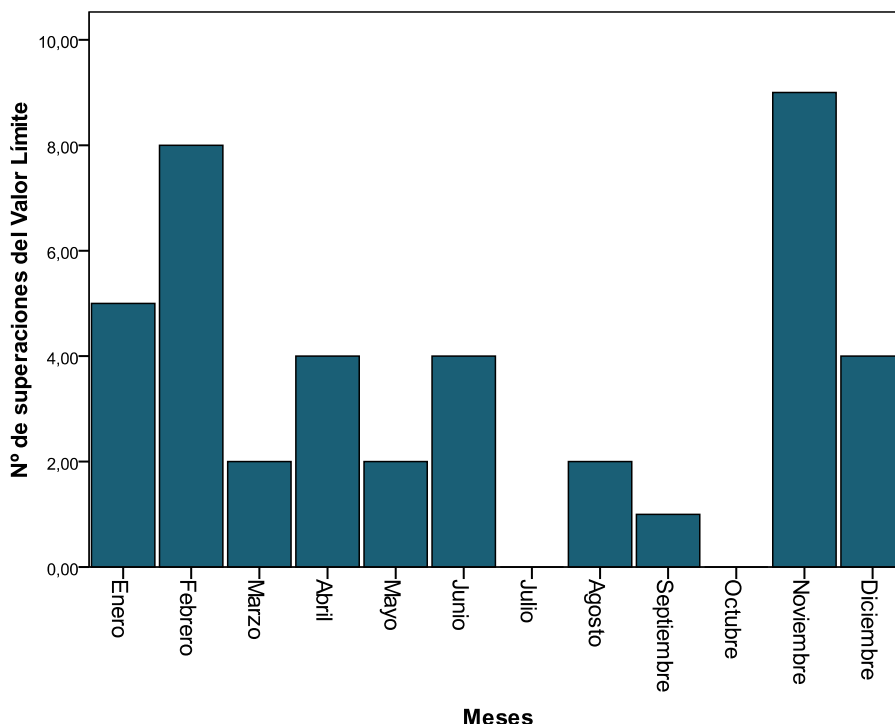


Figura 1. Número de días en los que se han producido superaciones de los Valores Límite a lo largo del año 2007.

Es importante destacar que durante los meses de agosto y septiembre las superaciones registradas se deben únicamente a los valores de partículas medidas, manteniéndose el resto de contaminantes por debajo de sus Valores Límites. En el resto de los episodios, se produce la superación de los umbrales máximos permitidos en la totalidad de los contaminantes evaluados. De manera global, se han registrado un total de 41 días con superación de los valores máximos marcados por la legislación, lo que implica que en el Campus respiramos aire contaminado el 11,23% de los días del año.

Posteriormente, se ha representado la variación diaria de las concentraciones de los contaminantes a lo largo del año. En la **Figura 2** puede apreciarse cómo existen contaminantes típicos del invierno (y principios de la primavera), ya que es en esta época dónde se registran sus mayores concentraciones (fundamentalmente debido a que tienen su origen en las combustiones de las calefacciones). Por ello, en la **Figura 2** se ha representado de manera conjunta la evolución anual de estos compuestos (NO, NO₂ y SO₂).

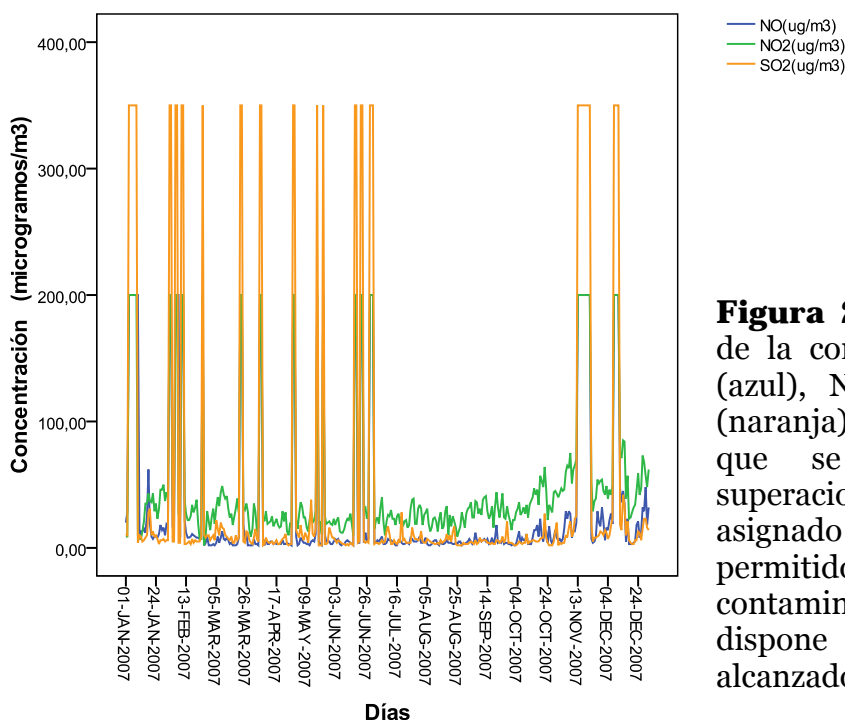


Figura 2. Evolución diaria de la concentración de NO (azul), NO₂ (verde) y SO₂ (naranja). A los días en los que se han registrado superaciones, se les ha asignado el Valor Límite permitido para cada contaminante, ya que no se dispone del valor máximo alcanzado.

Por otro lado, otros contaminantes presentan valores especialmente elevados en primavera, como el ozono (**Fig. 3**). Esto se debe a que se trata de un contaminante secundario, que tiene un origen fotoquímico por lo que aparece en días con radiación solar elevada.

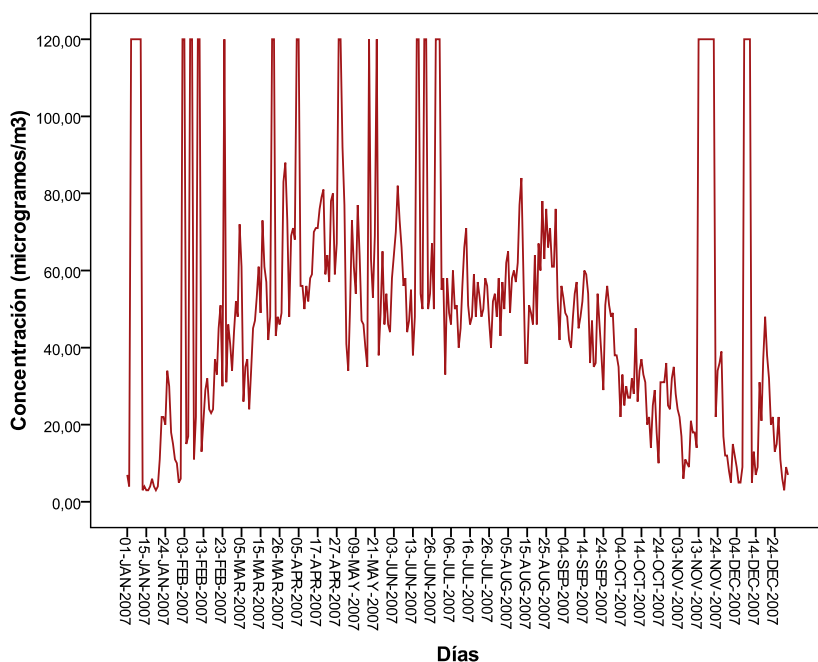


Figura 3. Evolución diaria de la concentración de ozono. Durante los días en los que se han registrado superaciones, se ha asignado el Valor Límite permitido.

Finalmente, hay contaminantes como las partículas que presentan valores elevados en diferentes épocas del año (**Fig. 4**).

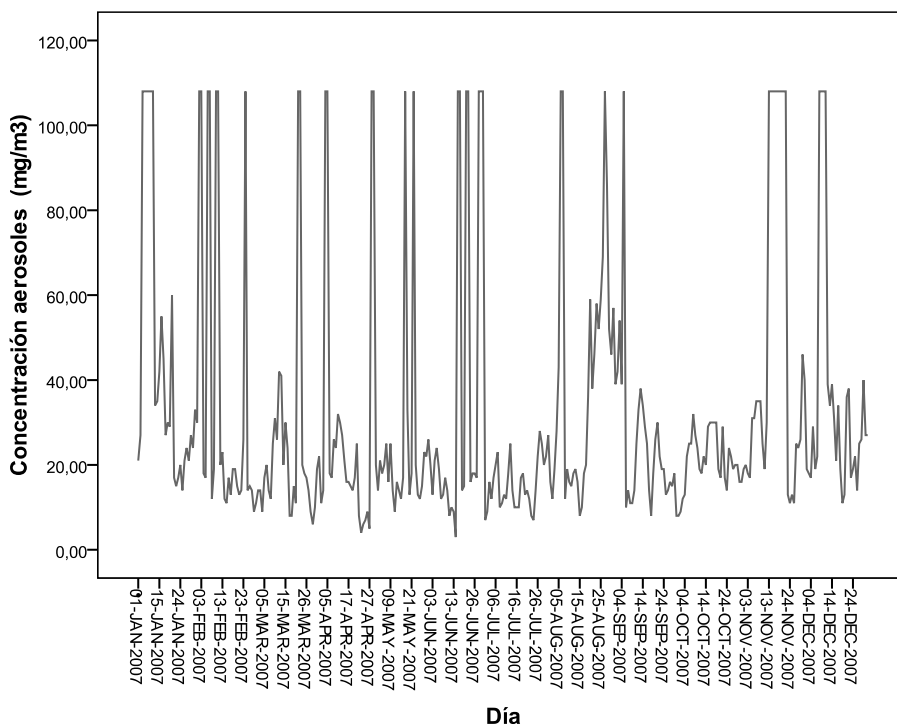


Figura 4. Evolución diaria de la concentración de aerosoles. Durante los días en los que se han registrado superaciones, se ha asignado el valor de $110\mu\text{gm}^{-3}$.

Es necesario puntualizar que algunos de estos episodios (con elevado contenido de partículas) pueden estar ocasionados por contaminación local, es decir aquella generada en la propia ciudad de León, pero hay otro tipo de situaciones en los que la presencia de elevados niveles de partículas se encuentra relacionada con las invasiones de masas de aire continental tropical. Estas situaciones se caracterizan por presentar elevadas temperaturas, baja humedad relativa y sobre todo por la presencia de un número muy elevado de partículas en suspensión procedentes del norte de África (polvo del desierto).

Metodología y resultados: clasificación de los episodios de contaminación

Con el objetivo de clasificar los episodios de contaminación atmosférica registrados, se ha realizado un Análisis de Componentes Principales. El mismo nos ha permitido además, evaluar cuáles son las variables meteorológicas que describen de manera más adecuada cada uno de las Situaciones Tipo obtenidas.

El criterio seguido para el cálculo de la matriz factorial es el método de Componentes Principales junto con una rotación Varimax de Kaiser posterior. El valor de corte para las saturaciones ha sido de 0,5, es decir, las variables con saturaciones superiores quedan asociadas a ese componente (Leiker, 1988). Por

otra parte, se ha tratado de minimizar el número de factores para llegar a una solución lo más sencilla e interpretable posible.

Tabla 3. Variables asociadas a cada uno de los Componentes Principales (CP) y varianza explicada por los mismos.

Variables	CP 1	CP 2	CP 3
NO	-0,534	0,263	-0,009
NO ₂	-0,572	0,715	0,005
O ₃	0,843	-0,216	0,106
Partículas	0,003	0,262	-0,689
SO ₂	-0,461	0,519	0,315
Temperatura máxima	0,832	0,333	-0,192
Temperatura mínima	0,768	-0,007	-0,302
Humedad relativa	-0,596	-0,579	-0,159
Presión	0,505	0,554	0,009
Radiación solar	0,845	0,187	0,235
Velocidad media	0,122	-0,486	0,542
Dirección del viento	0,006	0,404	0,358
VARIANZA EXPLICADA	34,657	17,982	10,291

De la **Tabla 3** podemos deducir que la primera componente está formada por seis variables. Esta componente explica por sí sola el 34,66% de la varianza. La primera componente integra elevadas concentraciones de ozono, elevadas temperaturas, tanto máximas como mínimas y radiación solar alta (lo que indica que las concentraciones elevadas se produjeron durante el día). Además, la humedad relativa es baja y las concentraciones de NO también lo son. La interpretación meteorológica de esta primera componente señala que engloba a los días en los que ha aparecido **contaminación fotoquímica**.

La segunda componente, que explica el 17,98% de la varianza integra concentraciones elevadas de NO₂ y SO₂ y también presiones altas. Tanto el SO₂ como el NO₂ son dos contaminantes derivados de los combustibles fósiles. Las concentraciones altas podrían explicarse debido a la presencia de un anticiclón (altas presiones). En este tipo de días la dispersión de los contaminantes se ve reducida debido a la aparición de una inversión térmica de subsidencia o radiativa en la Capa Límite. Esta situación sería característica de las noches y

primeras horas de la mañana, y se produce fundamentalmente en invierno. A este tipo de episodios los denominaremos de **contaminación ácida**. Esto es debido a que durante los mismos, hacen su aparición en la atmósfera diversos ácidos derivados de sus contaminantes primarios (fundamentalmente HNO_3 y H_2SO_4). Es la responsable del mayor número de superaciones de los Valores Límite registrados en el campus.

Finalmente, la tercera componente, incluye la velocidad media del viento y la concentración de partículas. Cuando se reduce la velocidad del viento se incrementa el número de partículas debido a que la dispersión de los aerosoles en la atmósfera se ve disminuida. Por otro lado, situaciones con un elevado número de partículas pueden presentarse tanto en verano como en invierno. Es necesario destacar que las tres superaciones registradas durante los meses de agosto y septiembre, se deben a la advección de aire del SE de la Península. En este tipo de situaciones, la presencia de una borrasca en el Mediterráneo o en el N de África introduce aire cargado de aerosoles. La velocidad del viento y su dirección son por tanto factores determinantes a la hora de predecir las máximas concentraciones de partículas registradas. Con esta tercera componente, caracterizada por situaciones de **contaminación por partículas**, conseguimos explicar el 62,93% de la varianza total.

Pues bien, a la vista de los resultados, podemos clasificar los episodios en tres situaciones tipo:

- *Episodios de contaminación fotoquímica*: caracterizados por elevado contenido de ozono, elevadas temperaturas y elevada radiación solar. Este tipo de situación se produce fundamentalmente durante los meses de primavera y aparece durante las horas centrales del día.
- *Episodios de contaminación ácida*: caracterizados por elevadas concentraciones de NO_x y SO_2 (y sus ácidos derivados) y la presencia de un anticiclón. En este tipo de situaciones, es frecuente la aparición de una inversión térmica cerca del nivel de superficie lo que impide la dispersión vertical de los contaminantes. La superación de los Valores Límite se produce durante las primeras horas del día o de la noche. Este es el tipo de episodio más frecuente.
- *Episodios con elevadas concentraciones de partículas*: Se registran altas concentraciones de partículas con velocidades de viento bajas. Puede aparecer tanto en invierno como en verano. En verano, estas concentraciones se deben a las irrupciones de la masa de aire continental tropical cálida.

Como ya hemos señalado, la varianza total explicada es del 62,9%. En futuros trabajos se pretende ampliar la base de datos actual con las nuevas medidas de años más recientes con el objetivo de ver incrementada la representatividad de los resultados alcanzados. De igual manera, se desea evaluar con mayor rigurosidad la estabilidad atmosférica añadiendo nuevas variables como la Clase de estabilidad de Pasquill registrada o la Altura de la Capa de Mezcla estimada.

Evaluación de la calidad del aire en el interior de los edificios

Los elevados tiempos de exposición de la población universitaria en el interior de los edificios, hacen que las medidas de la contaminación presente en ambientes interiores sean de especial importancia. Por ello, se decidió realizar una medida de la calidad del aire en el interior de aquellos edificios que pudieran ser representativos de la exposición en el campus universitario. En cada uno de los puntos evaluados se midieron cinco contaminantes: NO_x (NO, NO₂), CO, SO₂ e hidrocarburos.

Puntos de muestreo y bases de datos

Se eligieron seis puntos de control dentro del Campus de Vegazana en los que se evaluó la calidad del aire (**Fig. 5**). Los mismos se han considerado representativos de los diferentes ambientes a los que puede verse expuesta la comunidad universitaria. Así, los puntos seleccionados fueron:

- Hall de la Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales.
- Aula 5 de la Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales.
- Cafetería Universitaria.
- Sala de reprografía del Edificio Darwin.
- Laboratorio de Fisiología Vegetal.
- Despacho 205 de la Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales.

Las mediciones en cada uno de los puntos de control han sido duplicadas, realizándose una primera medida en el mes de noviembre y repitiéndose de nuevo esta en el mes de febrero en cada uno de los puntos.



Figura 5. La contaminación se ha evaluado en distintos ambientes interiores.

Metodología y resultados

Para realizar las medidas se utilizó una bomba de muestreo de gases modelo GV-100S. Esta permite coleccionar con precisión un volumen de muestra para un determinado tubo detector. El volumen de muestreo viene determinado por la posición de la carrera completa del pistón (100ml) y el número de bombeos realizados con la misma.

La bomba de muestreo utiliza tubos detectores específicos para cada uno de los gases contaminantes evaluados (**Fig. 6**). Los detectores GASTEC son tubos de vidrio fino con escala de calibración impresa en los que se puede leer directamente las concentraciones de gases o vapores a medir. Cada tubo contiene reactivos de detección que son especialmente sensibles al componente objeto de medición y producen rápidamente una marca distinguible de cambio de color. Para asegurar una indicación de alta precisión, el diámetro interior de los tubos detectores está controlado y los reactivos de detección presentan

estabilidad a largo plazo. Por otro lado, los lotes de producción individual se calibran independientemente, llevando impreso cada tubo un número con el control de calidad.

Una vez obtenidos los resultados, estos han sido corregidos teniendo en cuenta la temperatura, la humedad y la presión existente en el punto de medida, según nos señalan las especificaciones de los tubos detectores. Cada uno de los tubos detectores cuenta con unos valores de corrección característicos.

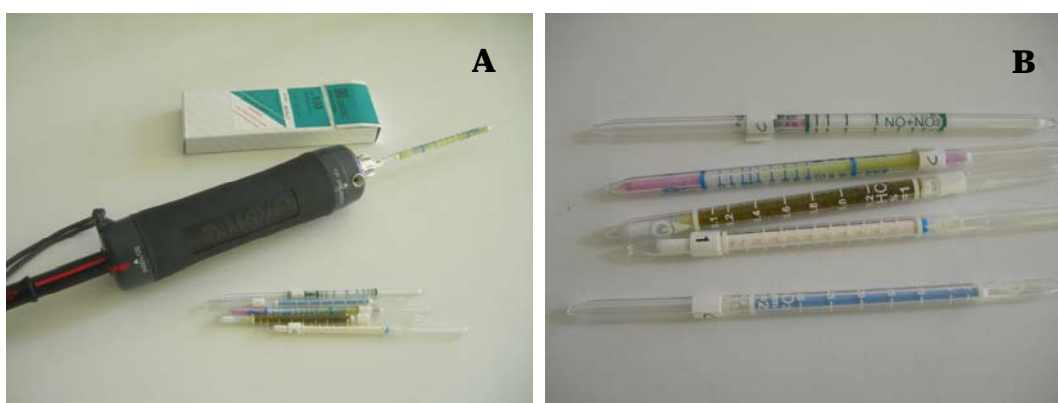


Figura 6. (A) Bomba GASTEC modelo GV-100S y (B) tubos detectores GASTEC utilizados en las medidas tomadas en el campus de la ULE.

Respecto a los resultados, hay que destacar que en ninguna de las ubicaciones se han superado los Valores Límite marcados por la legislación RD 1073/2002 durante las medidas realizadas. La actualización legislativa referente a las concentraciones límite en los ambientes interiores es uno de los principales objetivos del Programa C.A.F.E. (Clean Air for Europe) de la Unión Europea. Actualmente, existe normativa para la medida en ambientes interiores de algunos contaminantes (UNE 77 260-3 para el formaldehído, UNE-EN ISO 16017-1 para los Compuestos Orgánicos Volátiles), pero también existen muchos otros compuestos (NO_x , PCB's, Dioxinas y otros) para los que se está elaborando en la actualidad este tipo de normativa. Normalmente, los ambientes interiores, especialmente aquellos no industriales, no están bien recogidos en la legislación, por lo que no se realiza ningún tipo de estudio de la calidad del aire hasta la aparición de episodios graves para la salud (especialmente los referidos a Síndrome del Edificio Enfermo).

En la **Tabla 4** se pueden observar los valores medidos en la sala de reprografía del Edificio Darwin. En la misma, y aunque todos los parámetros estaban por debajo de los Valores Límite, las concentraciones alcanzadas por los NO_x eran las más elevadas de todas las ubicaciones. No debemos olvidar que las fotocopiadoras emiten NO_x, y O₃ (Valuntaitė y Girgždienė, 2007) por lo que en este tipo de recintos es especialmente importante contar con mecanismos de ventilación adecuados.

Tabla 4. Valores horarios medidos en la sala de reprografía del Edificio Darwin. (*) valor promedio máximo para un periodo de 24 h; (**) valor promedio máximo para un periodo de 0,5 h.

Contaminante	Medida	Límite Legislación
	(ppm)	
NO _x	0,005	0,01
SO ₂	<0,1	0,13
CO	<5	8,6 (24h)*; 25,8 (0,5 h)**
Hidrocarburos	<0,1	200

No obstante, es necesario señalar que a fin de obtener un mapa de la calidad del aire en el interior de los edificios del campus, sería necesario ampliar los periodos de muestreo en cada uno de los puntos así como la red de puntos de medida.

Evaluación del contenido de aerosoles o partículas en suspensión

En meteorología, el término *aerosol* comprende “aquellas partículas sólidas y/o líquidas presentes en suspensión en una masa de aire, con exclusión de las gotitas o cristales de nube o las gotas de lluvia, definidos estos últimos con el término de hidrometeoros”. También se utiliza el término *partículas en suspensión* o *material particulado*. A fin de caracterizar el comportamiento de los aerosoles, el tamaño es el parámetro más importante, ya que determina tanto su evolución en la atmósfera como su eliminación. El tamaño de los aerosoles está condicionado no solo por sus mecanismos de formación, sino por

los procesos físicos y químicos que ha sufrido a lo largo de la atmósfera. Por otro lado, el diámetro de los aerosoles es un parámetro clave a la hora de evaluar los efectos provocados por los mismos sobre la salud de las personas. Medir por lo tanto la distribución de tamaños de los aerosoles es fundamental a la hora de conocer no solo su procedencia sino también sus efectos en la salud de las personas.

Las relaciones entre la presencia de material particulado y los daños en la salud han sido plasmadas en diversos trabajos. El sistema respiratorio es la principal vía de entrada de los aerosoles. Cuando inspiramos llega a nuestros pulmones alrededor de medio litro de aire, que puede contener tanto gases contaminantes como partículas sólidas. Son precisamente las características de las partículas como tamaño, densidad, y composición química las que van a determinar cuál es la zona de nuestro organismo afectada. No debemos olvidar que el tipo de respiración de la persona (nasal u oral), el tiempo de exposición y la susceptibilidad del individuo son factores importantes a tener en cuenta. Las partículas de la fracción PM_{2,5} (partículas con diámetros iguales o inferiores a 2,5 μm) son las más peligrosas para la salud ya que poseen una mayor capacidad de penetración en el organismo y una mayor reactividad química. Estas son capaces de alcanzar los alvéolos, y por tanto la sangre. Según la OMS, estas partículas ocasionan graves riesgos para la salud, al incrementar la mortalidad debido a enfermedades respiratorias, cardiovasculares y oncológicas.

Puntos de muestreo y bases de datos

Se eligieron cuatro puntos de control dentro del Campus de Vegazana en los que se evaluó la calidad del aire. Se dio especial importancia a los muestreos realizados en la cafetería, ya que era previsible que los valores de partículas en suspensión fuesen elevados. Así, los puntos seleccionados fueron:

- Hall de la Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales.
- Aula 1.3 del Edificio Darwin.
- Cafetería Universitaria (durante la mañana).
- Cafetería Universitaria (durante la tarde).

Para cada uno de los puntos se realizó un solo muestreo durante el mes de abril, salvo en la cafetería en la que se realizaron 3 mediciones. Dado el carácter anual de las asignaturas en las que se ha enmarcado el presente estudio, no ha sido posible ampliar el número de muestreos, a fin de aumentar la representatividad de las medidas.

Metodología y resultados

Con el objetivo de conocer el espectro de tamaños de partículas se ha dispuesto de un espectrómetro láser (Passive Cavity Aerosol Spectrometer), PMS, modelo PCASP-X (**Fig. 7**). El PCASP es un contador óptico de partículas que mide la distribución del tamaño de las mismas (diámetros ópticos nominales) comprendidos entre 0,1 y 10 μm . Es decir, con las medidas realizadas podemos conocer tanto el número total de aerosoles presentes en un determinado volumen de medida, como la distribución por tamaños de los mismos.



Figura 7. Espectrómetro láser PMS, modelo PCASP-X.

Los resultados nos muestran que respecto a las concentraciones alcanzadas, los valores más elevados han sido los registrados en la cafetería (4.828 aerosoles m^{-3}). Estos valores son en promedio 20 veces superiores a los registrados en el Hall de la Facultad, o 150 veces superiores a los registrados en un Aula 1.3 ventilada. Las medidas realizadas durante la tarde, con menos personas y menos fumadores, son en promedio diez veces inferiores a las registradas durante la mañana.

A fin de conocer el cumplimiento de la legislación en la cafetería, es necesario ampliar el periodo de medida y disponer de métodos de medida complementarios. Así, en futuros trabajos se desea utilizar un sistema de muestreo por aspiración en filtros seguido de determinación gravimétrica.

Por otro lado, con el objetivo de investigar el origen de los aerosoles en el punto más contaminando, se ha representado, y calculado la correlación entre el número total de aerosoles y el número de fumadores presentes en el interior del edificio (**Fig. 8**). También se ha evaluado la correlación entre aerosoles y el número de personas no fumadoras. Se han encontrado correlaciones significativas entre el número de aerosoles y el número de fumadores, pero no entre el número de aerosoles y el número total de personas. Por tanto, las correlaciones encontradas, con un nivel de significación del 0.01 para la *r de Pearson*, nos llevan a afirmar que el origen de las partículas contaminantes es el humo del tabaco.

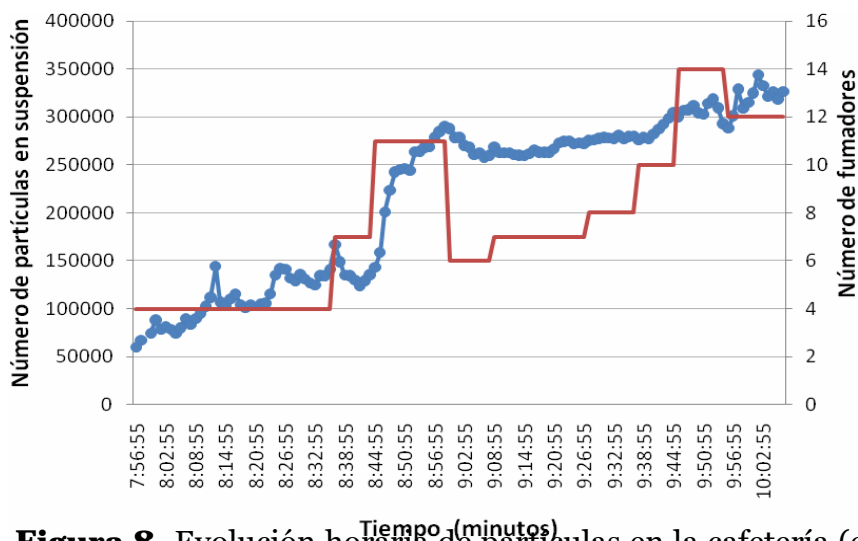


Figura 8. Evolución horaria de partículas en la cafetería (en azul) vs. número de fumadores (rojo).

Conclusiones

1. En el Campus de Vegazana, y respecto a los niveles de inmisión, en el 11% de los días la concentración de contaminantes sobrepasa los Valores Límite permitidos por la legislación.
2. Mediante un Análisis de Componentes Principales los episodios de contaminación se han clasificado en tres grupos: *contaminación fotoquímica*, *contaminación ácida* y *contaminación por aerosoles*. Estas situaciones están caracterizadas tanto por un tipo de contaminantes, como por unas determinadas condiciones meteorológicas.
3. En el interior de los edificios y durante los días de medida, no se han registrado concentraciones en las que se superasen los Valores Límite. Las concentraciones más elevadas se encontraron en la Sala de reprografía del Edificio Darwin, con valores elevados de NO_x .
4. Los niveles de aerosoles registrados en la cafetería son 20 veces superiores a los registrados en el interior de la Facultad de Biología, y 100 veces superiores a un aula con ventilación.
5. Las correlaciones significativas encontradas entre el número de fumadores y el número total de aerosoles dentro de la cafetería, nos permite afirmar que la principal fuente de partículas en suspensión es el

humo del tabaco. No se han encontrado correlaciones entre el número de aerosoles y el número de personas.

6. El presente trabajo se encuentra enmarcado dentro de dos asignaturas anuales de Libre Elección Curricular: *Introducción a la investigación* y *Trabajo de investigación*. Por ello, y para garantizar la representatividad de los resultados encontrados, será necesario en futuros trabajos aumentar tanto el número de puntos de muestreo como las mediciones directas. Por otro lado, se hace también necesario disponer de un mayor número de días de muestreo en la estación de control de la contaminación “León 3”.

Agradecimientos

Los autores y la tutora quieren agradecer la amabilidad y colaboración del personal de la Cafetería Central Universitaria, en especial de D. Antonio Nido, del personal de Consejería de la Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales y también del P.A.S del Edificio Darwin y de su personal de reprografía. Asimismo, quieren agradecer al Dr. Antonio Encina la atención prestada durante las mediciones en el Área de Fisiología Vegetal. Finalmente, agradecer a D. Andrés Merino su ayuda en el despliegue experimental y a la Dra. Amaya Castro, Dra. Ana Isabel Calvo y D. Andrés Merino por sus valiosos comentarios.

Bibliografía

- Ayuntamiento de León (2007) Informe sobre la calidad del aire en el municipio de León durante el año 2007. Disponible en: [http://www.aytoleon.es/es/ayuntamiento/areasmunicipales/medioambiente/calidadambiental/atmosfera/resmenes%20anuales/informe resumido_2007.pdf](http://www.aytoleon.es/es/ayuntamiento/areasmunicipales/medioambiente/calidadambiental/atmosfera/resmenes%20anuales/informe_resumido_2007.pdf)
- Ballester, F. (2005). Contaminación atmosférica, Cambio Climático y salud. Rev. Esp. Salud Pública 79:159-175.
- Ballester F., Corella D., Pérez-Hoyos S., Hervás A. (1996). Air Pollution and Mortality in Valencia, Spain: a Study using the APHEA Methodology. J. Epidemiol. 50:527-533.



- Ballester F., Tenías J.M., Pérez-Hoyos S. (2001). Air pollution and emergency hospital admissions for cardiovascular diseases in Valencia, Spain. *J. Epidemiol.* 55:57-65.
- Instituto de Salud Carlos III. (2006). Calidad del aire y salud. V Seminario de Calidad del Aire en España.
- Leiker, K. (1988). Application of Factor Analysis techniques to the mapping of tornado data: A New England Application. 15th Conference on Severe Local Storms, AMS, Baltimore, 517-519.
- Michelozzi P., Forastiere F., Fusco D., Perucci C.A., Ostro B., Ancona C. (1998). Air pollution and daily mortality in Rome, Italy. *Occup. Environ. Med.* 55: 605-610.
- Red de control de la calidad del aire del Ayto. de León. Disponible en <http://www.aytoleon.es/es/ayuntamiento/areasmunicipales/medioambiente/calidadambiental/atmosfera/Paginas/reddecontroldecalidaddelaireenLeon.aspx>
- RD 1073/2002 DE 18 DE OCTUBRE SOBRE EVALUACIÓN Y GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE EN RELACIÓN CON EL DIÓXIDO DE AZUFRE, DIÓXIDO DE NITRÓGENO, ÓXIDOS DE NITRÓGENO, PARTÍCULAS, PLOMO, BENCENO Y MONÓXIDO DE CARBONO.
- RD 1796/2003 DE 26 DE DICIEMBRE, RELATIVO AL OZONO EN EL AIRE AMBIENTE.
- Stull R., (1950). *An Introduction to boundary layer meteorology*. Pp 647, Kluwer Academic Publishers, London.
- Valuntaitė V., Girgždienė R. (2007). Investigation of ozone emission and dispersion from photocopying machines. *J. Environ. Eng. Landsc. Manag.* 2:61-67.

Cristina Gallinas Suazo y **Fernando Pérez García** son alumnos de 4^o curso de Biotecnología (2009-10).

