



CONAMA10
CONGRESO NACIONAL
DEL MEDIO AMBIENTE

COMUNICACIÓN TÉCNICA

Campaña DOMINO para la determinación de la capacidad oxidativa de la baja atmósfera

Autor: José Antonio Adame Carnero²

Institución: Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA)

e-mail: adamecj@inta.es

Otros Autores: Mónica Martínez¹; Mar Sorribas²; Miguel Ángel Hernández-Ceballos²; Benito De la Morena²

(1) Instituto Max Planck de Química, 55128 Mainz,, Alemania

(2) Estación de Sondeos Atmosféricos “El Arenosillo”, Área de Instrumentación e Investigación Atmosférica. Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA)

RESUMEN

Uno de los mayores retos a los que nos enfrentamos en el futuro más cercano será comprender las consecuencias que pueden tener las alteraciones que está produciendo la actividad humana sobre el medio atmosférico. Para entender los procesos que ocurren en la atmósfera es necesario estudiarla y analizarla a partir de una serie de datos experimentales. La forma de abordar este tipo de estudios puede ser doble, bien con series largas, utilizándose los registros que se toman en observatorios (conocidas como plataformas multi-instrumentales) o bien a través de la realización de campañas experimentales, las cuales se realizan en lugares de interés y durante períodos cortos de duración. Entre noviembre y diciembre de 2008 se desarrolló en el observatorio de El Arenosillo (sudoeste de España) la campaña DOMINO (Diel Oxidant Mechanisms In relation to Nitrogen Oxides). La campaña fue desarrollada por el Instituto Max Planck de Química (Alemania) con la colaboración del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) y la participación de diversas universidades europeas. El Arenosillo posee series largas de datos referentes a diferentes parámetros atmosféricos, además su ubicación orográfica y sus características atmosféricas la hacen ser un lugar de especial interés para el desarrollo de este tipo de eventos. Aunque el objetivo general es profundizar en el conocimiento de la capacidad oxidativa de la baja atmósfera, se tienen como objetivos parciales conocer la capacidad de limpieza que tiene la atmósfera en una región atlántico-mediterránea y la química atmosférica en masas de aire industriales, continentales y marítimas, así como estudiar la estructura de la capa límite atmosférica. Para conseguir estos objetivos se realizaron medidas tanto de gases (ozono, NO, NO₂, SO₂, etc.), partículas (propiedades físicas, ópticas y químicas), radicales (OH, H₂O₂, RO₂) y parámetros meteorológicos (en superficie, altura y con sondeos). Aunque en la actualidad se siguen analizando las medidas de esta campaña, en este trabajo se presentan algunos de los resultados más relevantes obtenidos hasta la fecha.

1. Introducción

En la atmósfera existen una serie de sustancias, conocidas como trazas, por presentar bajas concentraciones, las cuales juegan un papel fundamental en la vida del planeta. En los últimos cincuenta años se ha observado como se producía un incremento de algunas de estas sustancias trazas y se empezó a plantear la conexión entre estos incrementos y las actividades humanas (Jacobson, 2002).

Se hace necesario abordar el estudio de la química atmosférica, así como de aspectos meteorológicos relacionados con ella, para conocer cual está siendo el impacto de las actividades antropogénicas en la composición atmosférica.

A partir de los años setenta, del siglo pasado, se comenzaron a abordar tres importantes cuestiones atmosféricas: la amenaza de los clorofluocarbonos por la destrucción que estos causan del ozono que se encuentra en la región estratosférica, la acidificación de lagos y bosques en amplias zonas de America del Norte y Europa; y el calentamiento global, originado por la acumulación de los conocidos gases de efecto invernadero. Estos tres aspectos a su vez están relacionados con la química atmosférica y con los problemas derivados del incremento de ciertas sustancias, es decir la contaminación atmosférica. Ésta la padecen mayoritariamente áreas urbanas e industriales, pero que debido a los fenómenos de transporte y a la formación de nuevas sustancias, también la están padeciendo áreas alejadas de los focos de emisión, como son las zonas rurales o áreas naturales protegidas (Logan, 1989; Derwent et al., 2004; Gálvez, 2007).

Para tener conocimiento de la química atmosférica y de los niveles que presentan las sustancias que componen el medio atmosférico, se hace necesario llevar a cabo medidas experimentales. En la actualidad existen en numerosos países, fundamentalmente en America del Norte y Europa, redes de vigilancia atmosférica. Estas redes de observación miden una serie de sustancias, mayoritariamente primarias (emitidas directamente a la atmósfera) y en zonas pobladas. Por lo que, áreas alejadas no están siendo monitorizadas, aunque en los últimos años, en algunos países las estaciones de medida en zonas rurales se están incrementando. Además, gracias a la Organización Mundial Meteorológica se tienen redes de observación dentro del Programa de Vigilancia de la Atmósfera Global (<http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw>), las cuales suministran datos de áreas que de otra forma no se pudieran tener.

Además de la información suministrada por estas redes de observación, existen observatorios que monitorizan diversos parámetros atmosféricos y que contribuyen a mejorar el conocimiento tanto de la composición atmosférica como de algunos de los procesos que en ella ocurren; estos observatorios están integrados en las mencionadas redes de observación. A esta forma de monitorizar la atmósfera se le conoce como plataformas multi-instrumentales, las cuales como su nombre indica, son lugares con una amplia dotación instrumental, capaces de ofrecer información de una serie de parámetros, los cuales se pueden utilizar para realizar numerosos estudios.

Pero existe otra forma de estudiar la atmósfera y es a través de la realización de campañas experimentales. Las campañas experimentales únicamente presentan una

desventaja y es debido a que se tienen medidas durante un período de tiempo relativamente corto, desde una semana a varios meses, frente a la monitorización de una plataforma multi-instrumental, que pueden monitorizar en continuo, obteniéndose series largas.

Sin embargo, las campañas experimentales presentan grandes ventajas, puesto que se pueden realizar en lugares remotos en los que hay ausencia de información, se miden simultáneamente un conjunto de parámetros, que ni en observatorios ni en las redes se tienen, y es una oportunidad excelente para la colaboración entre diversas instituciones e investigadores de diversas disciplinas.

El Instituto Max Planck de Química (MPICH), Mainz – Alemania, realiza habitualmente campañas de medición en diversas partes del mundo (Martínez et al., 2010; Klippel et al., 2010; Williams et al., 2010). En el verano de 2008 el MPICH propone al Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) desarrollar una campaña de medición en sus instalaciones de El Arenosillo, Huelva.

Gracias a la colaboración mantenida entre el MPICH y el INTA se desarrolló entre noviembre y diciembre de 2008, la campaña denominada DOMINO (Diel Oxidant Mechanisms in relation to Nitrogen Oxides).

Las especies químicas presentes en la atmósfera tienen un papel fundamental en los ciclos oxidativos de la baja troposfera, ya que sufren una serie de transformaciones que producen sustancias secundarias, que determinan la composición química atmosférica y que pueden afectar al clima, la salud humana y a las especies vegetales. El objetivo principal de la campaña DOMINO era profundizar en el estudio de estos ciclos oxidativos de la baja atmósfera. No obstante, se tenían una serie de objetivos parciales como conocer la capacidad de limpieza que tiene la atmósfera en una región atlántico-mediterránea y la química atmosférica en masas de aire industriales, continentales y marítimas, así como estudiar la estructura de la capa límite atmosférica.

Para ello fue necesario medir moléculas estables, gases (O_3 , NO, NO_2 , SO_2) y partículas (propiedades ópticas, físicas y químicas), así como radicales (OH, H_2O_2 , RO_2), los cuales participan activamente en estos ciclos oxidativos. Además, era necesario tener un buen conocimiento de las condiciones meteorológicas, por ello se realizan observaciones meteorológicas tanto en superficie como en altura.

Este documento tiene como objetivo presentar algunos aspectos de esta campaña DOMINO, tanto para presentar su metodología de trabajo y medidas que se realizaron como para que se conozcan algunos de sus resultados científicos. Por ello, la sección 2 se dedica a presentar el área de estudio, plataforma instrumental y metodología de trabajo. En la sección 3 se exponen los resultados, dividiéndose en cuatro subsecciones. La primera se dedica a los estudios meteorológicos y la segunda se dedica a mostrar dos de los modelos utilizados para la interpretación de las medidas químicas. En la tercera subsección resultados se exponen las medidas de gases, presentándose a modo de ejemplo algunos resultados obtenidos con el ozono superficial y los óxidos de nitrógeno. Las partículas se presentan en el siguiente subapartado. Por último, se finaliza el documento recogiendo algunas conclusiones.

2. Área de estudio, plataforma instrumental y metodología.

La campaña DOMINO se realizó en El Arenosillo, ubicado en el sudoeste de la Península Ibérica. Este observatorio atmosférico se encuentra aproximadamente a unos 27 km de la ciudad de Huelva en dirección sudeste y a 15 km de un área industrial, en esta misma dirección. El área metropolitana de Sevilla, la urbe más grande de todo el sur de España, se encuentra en dirección nordeste a unos 75 km (Fig. 1). Además, El Arenosillo se sitúa en el interior del Parque Nacional de Doñana y a una distancia de un kilómetro de la línea de costa.

El interés que presenta este emplazamiento, para realizar este tipo de campañas de medidas, se debe a varios aspectos. En sus cercanías se encuentran áreas de emisión de sustancias de diferente tipología, es decir se pueden medir sustancias con origen urbano, bien procedentes de la zona de Huelva como de la de Sevilla, sustancias de origen industrial, de los polígonos industriales ubicados en las cercanías de la ciudad de Huelva; a lo que hay que añadir sustancias de origen biogénico, procedentes de áreas naturales protegidas como el Parque Nacional de Doñana. Así mismo, también se pueden tener sustancias naturales de origen marino, procedentes del Océano Atlántico o continental, del desierto del Sáhara. Por lo tanto, existe una amplia variedad de sustancias atmosféricas que pueden ser medidas en El Arenosillo.

En El Arenosillo, concretamente en la Estación de Sondeos Atmosféricos (ESAt), se dispone de una plataforma instrumental monitorizando en continuo diversos parámetros, como pueden ser el contenido total de ozono (con series de más de 30 años de datos), radiación solar, medidas de gases superficiales (ozono y óxidos de nitrógeno, con series de más de diez años), aerosoles en columna (con una serie de más de 10 años) y propiedades físicas, químicas y ópticas del aerosol in situ (con series de más de cuatro años) obtenidas a partir de técnicas espectrométricas, de impactación y nefelométricas respectivamente (Adame et al., 2010; Anton et al., 2010; Córdoba-Jabonero et al., 2010; Sorribas et al., 2010).

Este enclave por su disposición geográfica, sudoeste de Europa, en el gofo de Cádiz, abierto al Atlántico y en el inicio del valle del Guadalquivir, presenta una serie de escenarios meteorológicos muy peculiares. Así, la dinámica de la baja atmósfera puede estar gobernada por procesos tanto de origen sinóptico como por procesos de mesoescala. Si dominan los primeros, pueden llegar a la zona de estudio diferentes tipos de masas de aire, mientras que si se desarrollan procesos de mesoescala, como son las brisas costeras puede tener lugar procesos recirculatorios.

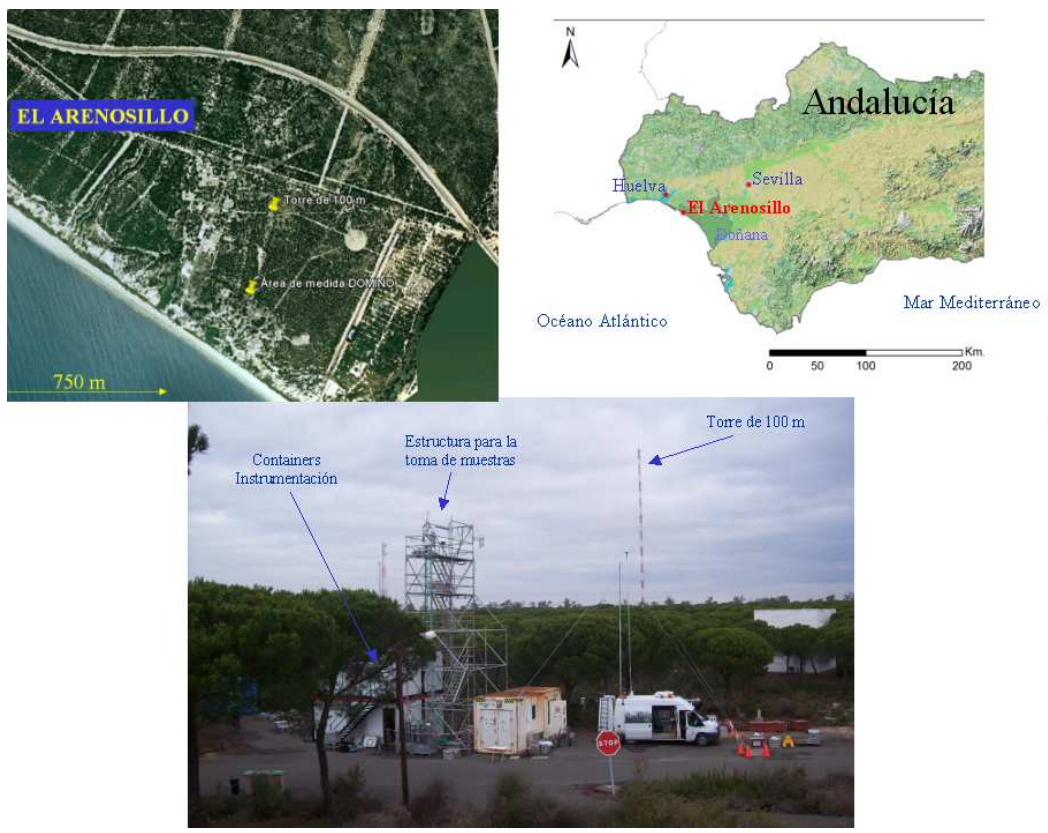


Fig. 1. Ubicación de El Arenosillo en el sur de España e imagen de la zona de medida.

Los aspectos mencionados, diversidad en la tipología de sustancias que se pueden encontrar, variedad de los escenarios meteorológicos, unido a la información ya existente en este observatorio gracias a la instrumentación de la que se dispone, hicieron posible que este emplazamiento fuera seleccionado para el desarrollo de la campaña DOMINO.

Para llevar a cabo la campaña se instalaron en cinco containers toda la instrumentación, la mayoría de las tomas de muestras se instalaron en la parte alta de una estructura metálica de 12 m de altura, la cual se diseñó e instaló específicamente para la campaña (Fig. 1). Además de la instrumentación localizada en los cinco containers, había otros dos puntos más de monitorización. En las cercanías de la mencionada área de medida se disponía de una unidad móvil del MPICH. Y en la terraza de la ESAt se ubicó un DOAS, el cual permitía monitorizar una serie de gases atmosféricos (ozono, NO, NO₂, NO₃, SO₂) en un camino óptico de aproximadamente 4.8 km gracias a que los espejos estaban ubicados en una torre de 70 m emplazada a esa distancia. Estas medidas del DOAS permitían tener valores a tres alturas diferentes, puesto que se ubicaron espejos a 20, 40 y 70 m, pudiendo de esta forma conocer cómo varían las concentraciones en altura. A todo ello habría que añadir la instrumentación disponible en la ESAt y monitorizando de forma continua.

La dotación instrumental para realizar las medidas químicas tenía origen diferente, algunos instrumentos eran comerciales, mientras que otros han sido diseñados por los grupos de investigación participantes en la campaña.

A toda la monitorización de parámetros químicos hay que añadir, la monitorización de parámetros meteorológicos que se llevó a cabo, tanto en superficie como en altura. Se disponía de dos torres meteorológicas con sensores a 10 y 12 m para la medida de las variables meteorológicas más usuales (precipitación, humedad, temperatura, viento, radiación). Además estas medidas se completaron, al disponerse en El Arenosillo de una torre de 100 m, en la cual se tienen ubicados sensores meteorológicos a 25, 50 y 100 m de altura, dicha instrumentación y la información meteorológica que suministran también fue utilizada en la campaña.

Cada día se lanzaron dos sondeos meteorológicos, aproximadamente a las 9:00 y 15:00 (UTC). Además, se realizaron dos campañas de un día de duración cada uno con sondeos horarios.

Aunque como es de suponer los preparativos de la campaña llevaron varios meses, el período de medidas se realizó desde el 20 de noviembre al 9 de diciembre de 2008.

Una vez realizada la campaña se ha estado aplicando una metodología específica para el tratamiento de la información y su posterior difusión de resultados. Los datos medidos durante la campaña han sido sometidos a un riguroso proceso de depuración y comparación, puesto que algunos de los parámetros han sido medidos por más de un instrumento. El objetivo de todo ello ha sido la obtención de una base de datos fiable, la cual se ha puesto a disposición de todos los participantes de la campaña en un servidor. Además, se han realizado reuniones periódicas en las que se han presentado los estudios comparativos y discutido sobre los primeros resultados.

Una vez definida, la mencionada base de datos, los datos químicos están siendo analizados con la ayuda de los datos meteorológicos, y con la información aportada por modelos tanto químicos como meteorológicos.

El objetivo final será presentar todos los resultados en congresos de ámbito nacional, como este que nos ocupa, internacionales y realizar publicaciones en revistas científicas de difusión internacional.

3. Resultados.

La sección de resultados se ha dividido en cuatro subsecciones, con objeto de presentar algunos de los resultados de cada una de las fuentes de información generadas: meteorológica, modelos, gases y partículas.

3.1. Estudios meteorológicos.

Como ya se ha mencionado, la interpretación de las medidas de sustancias químicas se tiene que realizar conjuntamente con un profundo y detallado análisis meteorológico. Por ello, durante la campaña DOMINO se midieron tanto parámetros meteorológicos de superficie como en altura, gracias al empleo de la torre de 100 m, así como se realizaron sondeos meteorológicos. A continuación, se presentan algunos de los resultados meteorológicos obtenidos más relevantes.

La Tabla 1 recoge los valores medios registrados durante todo el período de campaña de cuatro variables meteorológicas (temperatura, humedad relativa, humedad específica y velocidad del viento) medidas a 10 m de altura. Las características meteorológicas durante la campaña fueron ligeramente diferentes a las registradas en la serie histórica de El Arenosillo.

Las temperaturas fueron más bajas con un valor medio de diferencia de 2° C, mientras que la humedad relativa en valores medios fue más alta. Apenas hubo unas horas de precipitación durante la campaña y aunque la velocidad del viento se comportó como en los típicos meses de noviembre y diciembre, la dirección del viento sí presentó diferencias. En estos meses es frecuente que el viento proceda mayoritariamente del SW y del NE, sin embargo durante la campaña la dirección más frecuente procedió del NW.

Parámetro	Med Max	Media	Med Min
T (°C)	16±3	12±3	8±4
HR (%)	89±9	73±5	55±20
HS (g kg ⁻¹)	8±2	6±2	5±2
WS (m s ⁻¹)	5±1	2±1	1±1
P (mb)	1014±5	1011±5	1009±6

Tabla 1. Media de los máximos diarios (Med Max), media y media de los mínimos diarios (Med Min) de temperatura (T), humedad relativa (HR), humedad específica (HS), velocidad del viento (WS) y presión (P) utilizando los datos de superficie con resolución cada 10 minutos.

El ciclo medio diario de la temperatura, humedad específica, humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar ultravioleta se presenta en la Fig. 2. La amplitud térmica durante el día apenas alcanza los 6° C, lo cual manifiesta la estabilidad atmosférica que se tiene durante estos días. Los máximos diarios de temperatura con 15° C son inferiores a la media histórica que presentan unos 18 °C. Como se puede observar, la humedad específica media presenta un valor de 6 g kg⁻¹ con un valor constante durante todo el día debido a que los cambios en la humedad específica se producen cuando hay una entrada de una masa de aire con diferentes propiedades.

El ciclo de radiación solar ultravioleta indica las horas tanto de la salida como de la puesta de sol, coincidiendo su máximo con un máximo de la velocidad del viento. Los datos de radiación solar, junto con los de temperatura son fundamentales para entender tanto los procesos atmosféricos verticales que se producen, es decir si hay mezclado o no, como para interpretar la fotoquímica de las sustancias químicas que se han medido durante la campaña.

Los registros meteorológicos procedentes de los sensores ubicados a 25, 50 y 100 m en la torre de El Arenosillo sirven para realizar diversos tipos de estudios, todos ellos orientados a caracterizar la capa límite atmosférica, la cual es aquella capa más cercana a la superficie terrestre e influenciada directamente por sus efectos térmicos y dinámicos.

Entre los estudios realizados, en este documento se va a presentar el análisis llevado a cabo para identificar los días y horas en los que se produce estabilidad o inestabilidad vertical.

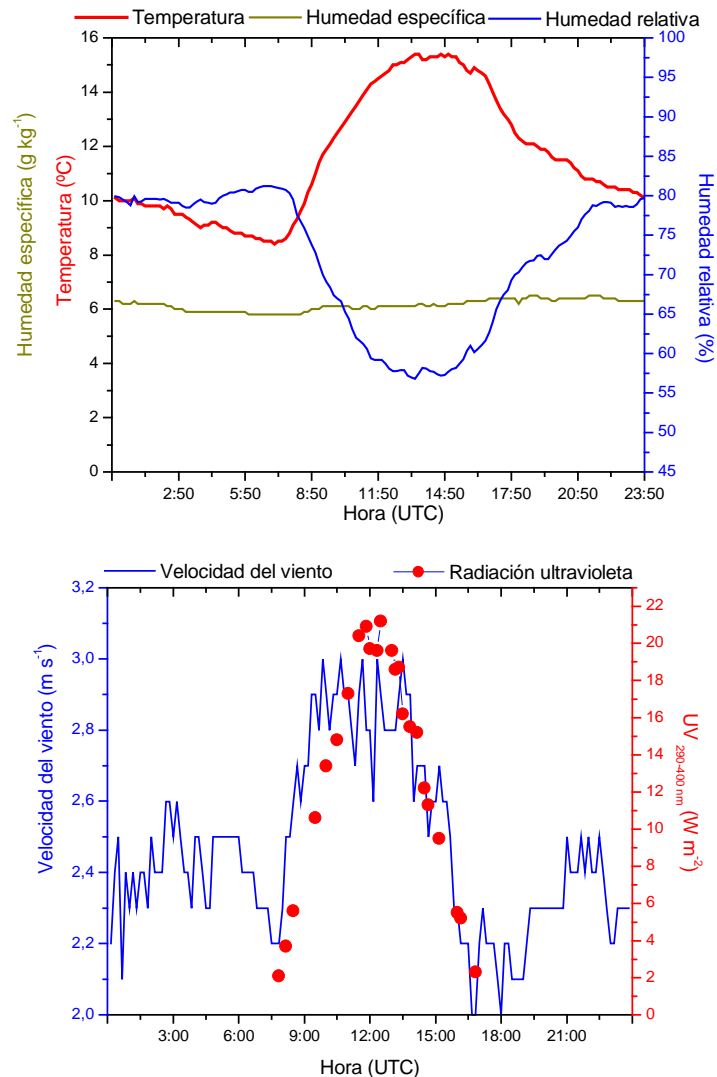


Fig. 2. Variación media diaria de temperatura, humedad relativa, humedad específica, velocidad del viento y radiación solar ultravioleta (290-400 nm).

La estabilidad vertical se caracteriza porque se inhiben los procesos verticales, es decir no hay mezclado de las sustancias. Por el contrario, la inestabilidad se producirá cuando hay mezclado. En general, la estabilidad atmosférica vertical es frecuente encontrarla en el período nocturno, cuando se produce el enfriamiento de la superficie terrestre. Durante el día ocurre el proceso inverso, se tiene calentamiento de la superficie y por tanto es frecuente encontrar inestabilidad vertical, es decir mezclado. Esta capa de mezclado alcanzará una determinada altura en función del grado de calentamiento, el cual dependerá de una serie de factores, entre ellos la época del año.

A partir de la diferencia de la temperatura potencial en dos niveles atmosféricos diferentes se puede estimar la ocurrencia de un tipo de estabilidad u otro. Así, si la temperatura en un nivel superior (θ_2) es mayor que la que se encuentra en un nivel inferior (θ_1), su diferencia $\theta_2 - \theta_1$ será positiva y por tanto indica que hay estabilidad. En el caso de ser negativa se tendría inestabilidad.

En este tipo de estudios no se utiliza la temperatura ambiente, sino la temperatura potencial, la cual se puede obtener a partir de la siguiente expresión:

$$\theta = T \left(\frac{P_0}{P} \right)^{R/c_p}$$

Donde θ es la temperatura potencial, T es la temperatura ambiente, P_0 es la presión estándar (1000 mb) y P es la presión medida. R/c_p es una constante que toma el valor de 0.29.

La estimación del tipo de estabilidad también es posible obtenerla a partir del número de Richardson, el cual es un parámetro que se obtiene a partir de la siguiente expresión (Arya, 1989):

$$R_b = \frac{\frac{g}{T_0} \sqrt{z_1 z_2} \ln \left(\frac{z_2}{z_1} \right) \Delta \theta}{(\Delta U)^2}$$

donde g es la aceleración de la gravedad, T_0 es la temperatura media entre los dos estratos considerados; la altura de los dos estratos son z_1 y z_2 ; $\Delta \theta$, es la diferencia de temperatura potencial (θ) y ΔU es la diferencia de la velocidad del viento. Valores positivos del número de Richardson indicarían estabilidad mientras que negativos indicarían inestabilidad.

En la Fig. 3 se presenta la evolución de las diferencias de la temperatura potencial obtenida en los niveles de 25-10 m, 50-10 m y 100-10 m. Se puede observar como la capa límite planetaria presenta una clara estructura diaria, con estabilidad nocturna e inestabilidad diurna.

Este tipo de análisis no permite conocer la altura que puede alcanzar la capa de mezcla pero sí puede ser indicativo por ejemplo de la hora de comienzo y finalización de las inversiones térmicas, estabilidad y de los procesos de mezclado.

Por ejemplo, se puede observar como durante el período comprendido entre el 25 y 27 de noviembre los procesos de mezclado tienen lugar en las capas más bajas de la atmósfera, desde las 8:00 a las 16:00 UTC, mientras que la estabilidad comienza a partir de esta hora. Sin embargo, los días 28 y 29 de noviembre la estructura de la PBL ya no está tan clara.

Información similar se puede encontrar si analizamos la evolución del número de Richardson calculado en los niveles de 10-25, 25-50 m (Fig. 3). Los valores negativos corresponderían a períodos de inestabilidad, mientras que los positivos serían el reflejo de estabilidad.

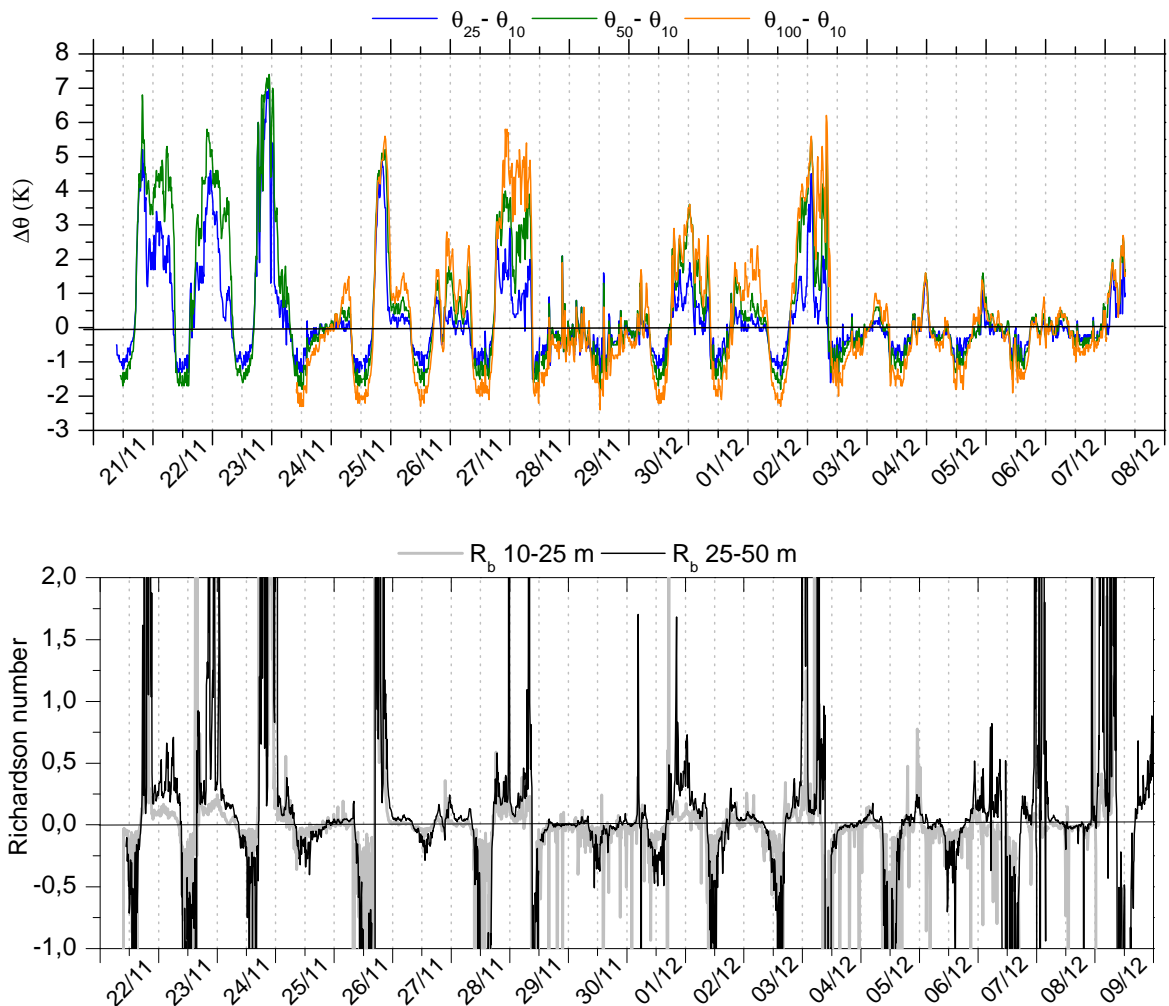


Fig. 3. Diferencia de la temperatura potencial entre niveles y número de Richardson a distintos niveles obtenido en la torre de 100 m.

Teniendo como finalidad conocer el comportamiento que presenta la atmósfera en su estructura vertical, además de los datos de la torre de 100 m, durante la campaña DOMINO se realizaron sondeos meteorológicos. De forma diaria se realizaron dos sondeos, uno por la mañana y otro por la tarde. Además, se realizaron sondeos horarios, durante dos periodos de 24 horas, con el fin de conocer en detalle la evolución que experimenta la capa límite atmosférica.

Con los dos sondeos diarios se analizó el tipo de estabilidad atmosférica que se tenía. La Tabla 2 muestra como ejemplo la ocurrencia de inversión, capa estable, o bien en el caso de encontrar capa de mezcla, la altura máxima de esta capa a la hora en la que se lanzó el sondeo. Se puede observar como algunos días a primeras horas de la mañana comienza a formarse la capa de mezcla, mientras que otros se mantiene la inversión de la noche anterior. Así mismo, se obtienen grandes diferencias, según las condiciones meteorológicas, de la altura máxima que adquiere la capa de mezcla aproximadamente a las 15:00 UTC.

Día	Hora (UTC)	Mañana Altura (m)	Hora (UTC)	Tarde Altura (m)
22-11-08	9:29	SL	15:40	80
23-11-08	7:52	SL	15:00	1300
26-11-08	10:37	75	15:06	150
27-11-08	9:29	50	15:21	350

Tabla 2. Día y hora de la realización del sondeo, y altura de la capa de mezcla o bien en el caso de no producirse se indica la existencia de inversión (SL: Stable layer).

Se ha querido también presentar algunos resultados que se han obtenido a partir de las medidas obtenidas en las dos campañas intensivas que se realizaron con sondeos horarios. La Fig. 4, presenta los perfiles de temperatura potencial y humedad específica para el intervalo diurno y nocturno, de una de las dos campañas, concretamente la correspondiente al 23-24 de noviembre de 2008.

En el período diurno se puede observar como en los perfiles de las 9:00 UTC se tiene todavía una capa estable, es decir no han empezado los procesos de mezclado vertical. Sin embargo, en el sondeo de las 11:00 UTC ya se puede detectar una capa inestable pero menor de 200 m. A lo largo de la mañana y primeras horas de la tarde la capa de mezcla va creciendo en altura, con un máximo para este día 23 de noviembre de 1200 m a las 17:00 UTC.

En el sondeo de las 19:00 UTC, se obtiene en las capas más bajas de nuevo la formación de una inversión, es decir a esta hora la tierra ya comienza a enfriarse y en la capa más superficial se tiene estabilidad mientras que en altura se siguen desarrollando los procesos de mezclado. A medida que avanza la noche la superficie de la tierra se va enfriando y la capa estable se incrementa, con un valor máximo a las 3:00 UTC de 135 m.

Este tipo de análisis, sobre la evolución de la estructura de la capa límite, servirán posteriormente para realizar una mejor interpretación del comportamiento que presentan las sustancias químicas medidas.

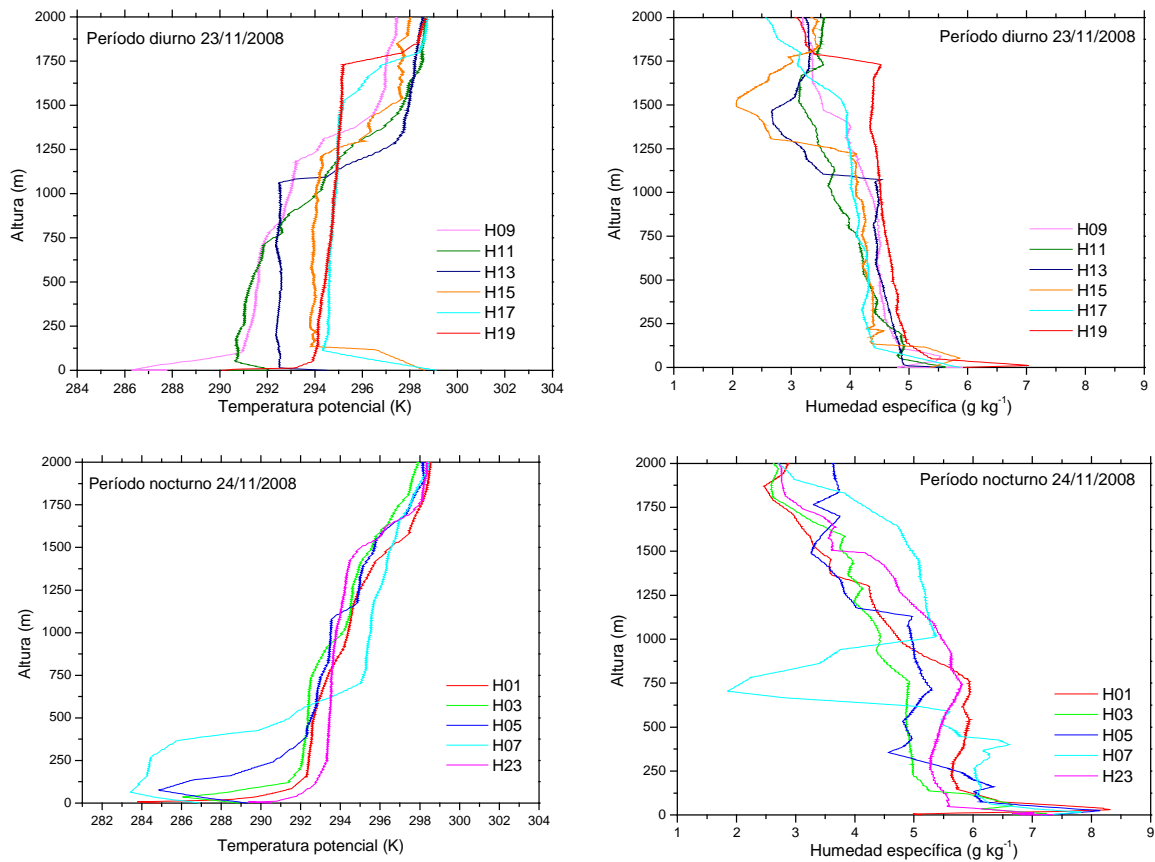


Fig. 4. Evolución de los perfiles verticales de temperatura potencial y humedad específica durante la campaña intensiva llevada a cabo los días 23 y 24 de noviembre de 2008.

3.2. Modelos.

Aplicación de modelos para calcular el recorrido de las masas de aire.

Con objeto de conocer el origen de las masas de aire en este periodo, se calcularon las retrotrayectorias con el modelo HYSPLIT (Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory) (Draxler and Hess, 1998; Draxler et al., 2009) y se obtuvo el recorrido de las mismas hasta el emplazamiento de medida. Las retrotrayectorias se calcularon a 100, 500, 1500 y 3000 m con un recorrido previo de 48 horas antes de llegar al emplazamiento de medida, y se calcularon trayectorias cada dos horas desde el 20 de noviembre al 9 de diciembre de 2008, es decir durante todo el periodo de campaña. Los ficheros meteorológicos utilizados son los GDAS, los cuales presentan una resolución espacial de 1°x1°. Al conjunto de retrotrayectorias para cada nivel se le aplicó la técnica cluster, implementada en el mismo modelo, permitiendo obtener una serie de centros de cluster que agrupan a trayectorias con un recorrido y origen semejante. En la Fig. 5, se muestra a modo de ejemplo, los centros de los cluster obtenidos a 100 m.

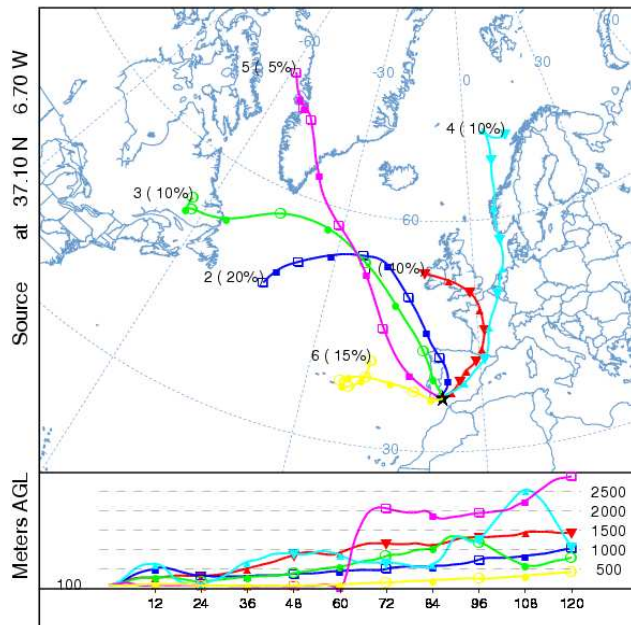


Fig. 5. Centro de los cluster de las retro trayectorias calculadas a las 12:00 UTC al nivel de 100 m durante todo el periodo de la campaña DOMINO.

Aplicación de los modelos para la obtención de los campos meteorológicos.

Para la interpretación de las medidas químicas, aparte de las observaciones meteorológicas, se hacía necesario disponer de otro tipo de información meteorológica, por ejemplo mapas de viento, perfiles verticales de diferentes variables, etc; los cuales únicamente se podían obtener si se utilizaba un modelo meteorológico de mesoescala de alta resolución.

Con este fin se simuló todo el periodo de la campaña DOMINO con el modelo de investigación y previsión del tiempo Weather Research and Forecasting (WRF). Este modelo es un sistema de predicción numérico de mesoescala y de simulación atmosférica diseñado para ser utilizado tanto en la realización de previsiones operacionales como para satisfacer la necesidad de realizar estudios atmosféricos con esa escala espacial.

El modelo WRF-ARW se caracteriza por ser un modelo totalmente compresible y no-hidrostático (con opción hidrostática), en el que se utilizan las coordenadas sigma como coordenadas verticales y la malla Arakawa-C en la discretización horizontal, además incluye la capacidad de trabajar con anidamientos múltiples así como de asimilar datos de observaciones meteorológicas (Skamarock et al., 2008).

Como información meteorológica para la definición de las condiciones iniciales y de frontera, se ha utilizado la generada por el National Centre for Environmental Prediction (NCEP) Global Tropospheric Analysis de Estados Unidos. La frecuencia temporal de este tipo de ficheros globales es de 6 horas, representativa de las horas sinópticas más relevantes como son las 00, 06, 12, 18 UTC, teniendo una resolución horizontal de $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ en latitud y una vertical de 24 niveles de presión.

De las múltiples salidas que puede generar el modelo, se muestra a modo de ejemplo, un transecto vertical a 2 km de altura de la temperatura y humedad relativa desde un punto situado sobre el océano Atlántico hasta otro en el interior correspondiente a las 06:00 UTC del 23 de Noviembre de 2008 (Figura 6).

Este tipo de figuras son útiles a la hora de observar el alcance vertical de circulaciones que son detectadas en superficie, además de para conocer las condiciones de estabilidad o inestabilidad en las que se encuentra la atmósfera. Esta figura muestra la presencia de un centro de altas presiones sobre el Arenosillo, motivado a la curvatura que experimentan las isotermas, así como el inicio de una posible entrada de masas de aire más húmedas procedentes del Atlántico

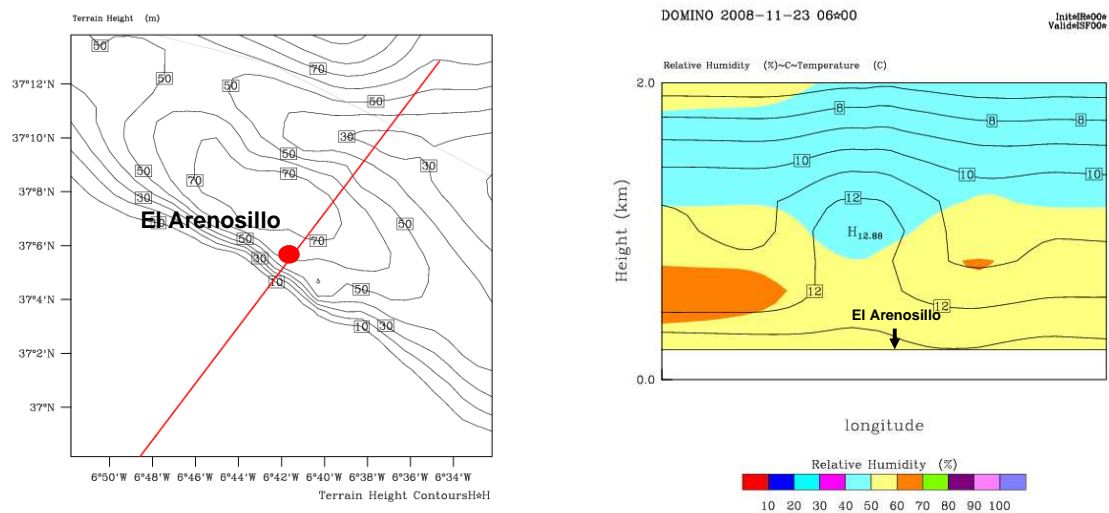


Fig. 6. a) Recorrido horizontal y b) Transecto vertical a 2 km de altura correspondiente a las variables de temperatura y humedad relativa.

Otro tipo de salidas de interés para la interpretación de las sustancias químicas se presenta en la Fig. 7, en la cual se expone el campo de vientos a 10 m para dos horas concretas de los días 22 y 23 de noviembre de 2008. La disponibilidad que permite el modelo de trabajar con resoluciones espaciales mayores a la que pueden ofrecer las observaciones experimentales, posibilita una información más amplia sobre el origen y transporte de las masas de aire.

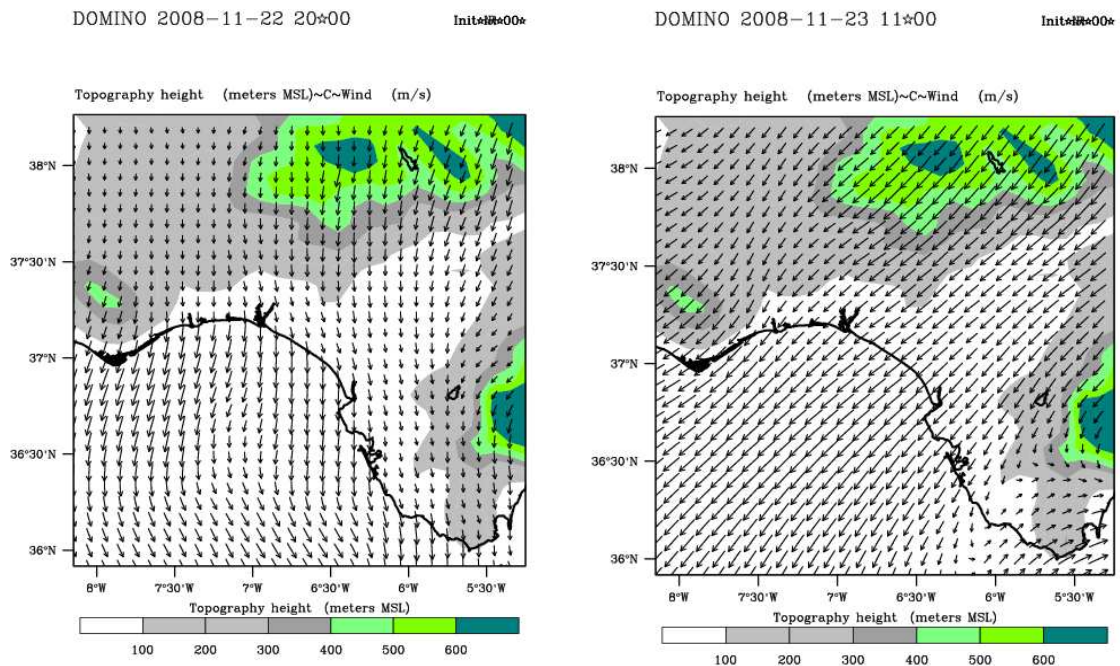


Fig. 7. Campo de viento a 10 m sobre el área de estudio para el día 22 de noviembre a las 20:00 UTC (izquierda) y 23 de noviembre a las 11:00 UTC (derecha).

3.3. Análisis de gases.

Durante la campaña se hicieron medidas de diversos gases atmosféricos, como por ejemplo, el radón, ozono, NO, NO₂, HONO, etc. A modo de ejemplo se presenta en esta subsección la evolución y la relación meteorológica del ozono, NO y NO₂.

En la Fig. 8 se expone la evolución del ozono superficial y los óxidos de nitrógeno (NO y NO₂) durante todo el período de campaña, utilizándose los registros cada 10 minutos.

Los registros de ozono durante la campaña fueron muy similares a los registrados habitualmente en estos meses de noviembre y diciembre en El Arenosillo. Desde el día 28 hasta el 30 de noviembre, las concentraciones presentan un ciclo diario poco marcado y una disminución constante, bajo estas circunstancias se tiene viento del sector WSW-NW, con masas de aire con procedencia en el océano Atlántico. Los días siguientes las condiciones meteorológicas cambian ligeramente, viento desde el NW, y aunque los ciclos diarios vuelven a ser más marcados, las concentraciones están en el rango de 30 a 40 ppb.

Durante gran parte de la campaña las concentraciones de NO estuvieron en el límite de detección del instrumento de 1-2 ppb, lo cual indica la ausencia de fuentes de emisión de estas sustancias y el carácter rural que presenta este emplazamiento. Las concentraciones de NO₂ presentan un ciclo diario muy suave con valores que pueden oscilar desde 1 a 20 ppb. Las mayores concentraciones de NO₂ se han detectado cuando el viento sopla desde el sector NW, es decir desde fuentes urbanas e industriales.

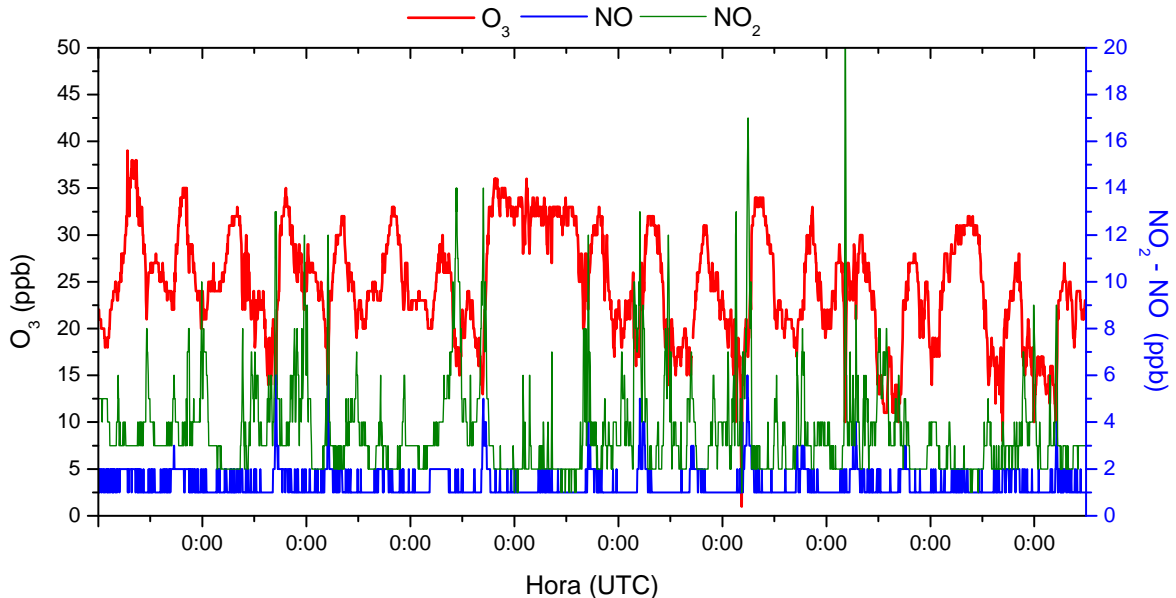


Fig. 8. Evolución de ozono superficial, NO y NO₂ con registros cada 10 minutos durante el período del 20 de noviembre al 9 de diciembre de 2008.

La meteorología afecta de forma determinante a las concentraciones de gases y partículas que se encuentran en la atmósfera. El ozono superficial es un gas que al igual que otros, se ve afectado por variables meteorológicas como la temperatura, la humedad relativa y específica (contenido total de humedad), y la velocidad del viento. Por este motivo, se ha querido conocer de una forma general, utilizando los registros 10 minutos de toda la campaña, cómo varía la concentración de ozono en función de distintos rangos de las mencionadas variables meteorológicas. Los resultados se recogen en la Tabla 3.

Se puede observar como a medida que aumenta la temperatura se incrementa igualmente la concentración de ozono. A temperaturas por debajo de 10 °C la concentración es muy similar, sin embargo por encima de 15 °C se incrementa de 25 a 33 ppb. El ascenso térmico puede favorecer las reacciones fotoquímicas. Además, mayores temperaturas también pudiera llevar a mayores procesos de mezclado, en este caso se puede favorecer las reacciones fotoquímicas y por tanto la producción de ozono, pero también se puede dar la situación contraria, que con un mayor mezclado favorecido por la temperatura esté asociado a una mayor dilución de los gases reactivos, por la introducción de aire limpio de capas más altas, reduciéndose la probabilidad de reacción.

Respecto a la humedad relativa se tiene un comportamiento opuesto, puesto que los mayores valores de humedad se registran por la noche, por tanto con estructuras térmicas más estables, que permiten la ocurrencia de procesos de destrucción de ozono, registrándose las menores concentraciones. Sin embargo, cuando la humedad específica se incrementa también se incrementa la concentración de ozono hasta el rango de los 6-8 g kg⁻¹.

Se ha querido conocer también la relación entre los valores de ozono y la procedencia de las masas de aire. Para ello se ha dividido la zona de estudio en cuatro sectores, identificados con las letras de la A hasta la D. El sector A estaría comprendido entre el WNW (292.5°) y NNW (337.5°), serían masas de aire influenciadas por el área urbana de Huelva y su zona industrial. El B serían masas procedentes del sector NNW (337.5°) a NE (45°), procedentes del interior de la provincia de Huelva, o aun más alejadas. El C estaría comprendido entre el NE (45°) y el ESE (112.5°), con influencias tanto del área metropolitana de Sevilla como del Parque Nacional de Doñana. Finalmente, el sector D, entre el ESE (112.5°) y el WNW (292.5°) presenta una clara influencia marítima.

Las concentraciones de ozono procedentes desde los sectores A, B y C presentan valores muy similares, sin embargo, cuando proceden del sector D, marítimo, el valor medio de la concentración aumenta. En el mar se tiene una capa estable en la cual no se destruye el ozono sino que actúa como un almacén del mismo. Por esta razón, para masas con un mayor contenido de humedad específica y procedente del sector marino se detectan mayores concentraciones.

T	O ₃	HR	O ₃	HS	O ₃	WS	O ₃	Sector	O ₃
<5	21±5	<40	33±4	<4	25±8	<1	27±7	A	27±7
5-10	25±8	40-60	29±10	4-6	28±9	1-3	28±8	B	24±9
10-15	32±8	60-80	28±10	6-8	33±8	3-5	32±9	C	25±9
>15	33±6	>80	29±8	>8	30±8	>5	35±8	D	34±7

Tabla 3. Concentración media de ozono (en ppb) en diferentes rangos de temperatura (T en °C), humedad relativa (HR en %), humedad específica (HS en g kg⁻¹), velocidad del viento (WS en m s⁻¹) y sector de viento.

De la relación con la velocidad del viento, se obtiene que un incremento en los rangos velocidad estaría asociado a un incremento de las concentraciones medias de ozono medidas en esos rangos. En general las concentraciones de ozono se incrementan cuando se tienen procesos con escasa dispersión de las sustancias primarias precursoras del ozono, favoreciéndose de esta forma la formación fotoquímica. Sin embargo, en esta época del año y durante la campaña DOMINO se obtuvieron concentraciones más altas de ozono cuando la velocidad del viento es mayor. La explicación a estos resultados hay que buscarla no sólo en los procesos horizontales sino también en la dinámica vertical, formación de capa de mezcla o estables. En la actualidad se siguen analizando los datos de DOMINO, con el objeto de profundizar y determinar las causas de estos hechos.

No obstante, se ha querido mostrar en la Fig. 9 algunos resultados preliminares de esta temática, en la que se expone la variación del percentil 90 diario de ozono con la altura que adquiere la capa de mezcla. Una capa de mezcla elevada puede producir en algunas ocasiones concentraciones altas de ozono, puesto que favorece el mezclado de las sustancias reactivas y las reacciones fotoquímicas. Sin embargo, ese mismo incremento de la altura de la capa de mezcla puede producir el efecto contrario, concentraciones menores, debido a que como ya se ha mencionado, se tiene mayor volumen de aire en los que se encuentran los gases reactivos.

Además, se puede tener aire limpio o aire con sustancias destructoras de ozono, lo cual conllevaría a una menor efectividad en los procesos fotoquímicos y a incrementar los de eliminación. Se deduce por tanto, que la relación entre la altura de la capa de mezcla y los valores de ozono dependerá de la composición química que tenga la masa de aire.

Así, durante la campaña DOMINO se pudo medir una concentración pico de 39-40 ppb tanto con una capa de mezcla pequeña de 200 a 400 m como con una capa más elevada, superior a los 1200 m. O bien, una capa de 1300 m con una concentración pico de 33 ppb.

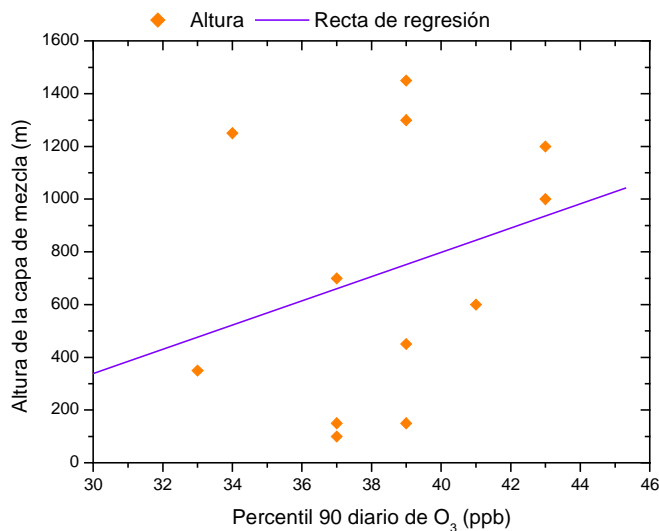


Fig. 9. Percentil 90 diario de ozono frente a la altura de la capa de mezcla.

3.4. Análisis de partículas.

En el Laboratorio para la caracterización del aerosol In- Situ disponible en El Arenosillo, se monitorizaron durante la campaña DOMINO diversas propiedades físicas, químicas y ópticas, presentándose a continuación las conclusiones más relevantes del análisis realizado con la distribución de tamaños en el rango sub-micrométrico. El resto de parámetros están siendo estudiados en la actualidad y serán presentados en futuros trabajos. Se iniciará la exposición con unos breves comentarios instrumentales, importantes para que el estudio se enmarque dentro de los límites y fiabilidad de los monitores dinámicos utilizados. Se seguirá con una presentación de los resultados más relevantes.

El tamaño de las partículas es posiblemente uno de los parámetros más importantes que definen al aerosol, especialmente el atmosférico, debido a que influye decisivamente tanto en el balance energético terrestre, y por tanto en el clima, como en la calidad del aire (es decir, en la salud del ciudadano). En el caso del aerosol atmosférico, su rango de tamaños cubre más de cinco órdenes de magnitud, desde un nanómetro hasta varios cientos de micrómetros, provocando muchas dificultades y errores en su monitorización.

Para caracterizar esta propiedad física del aerosol, se define a la distribución de tamaños como la variación con el diámetro de la concentración por unidad de volumen, siendo su unidad de medida el número de partículas por centímetro cúbico, o simplificando, cm^{-3} .

Estas concentraciones se definen dentro de modos, entendiéndose éstos como rangos de diámetros definidos, los cuales se denominan modo de nucleación ($3 < D < 30$) nm, modo de Aitken ($30 < D < 100$) nm, modo de acumulación ($100 < D < 1000$) nm y modo grueso ($1000 < D < 10000$) nm.

Durante la campaña DOMINO, las distribuciones de tamaño de los aerosoles con un diámetro en el rango (14-604) nm, fueron monitorizadas con un espectrómetro de partículas SMPS (*Scanning Mobility Particle Sizer*), compuesto por un Clasificador Electrostático Modelo 3080 y un Contador de Partículas Modelo 3022, ambos de TSI. Medidas simultáneas con un espectrómetro de partículas APS (*Aerodynamic Particle Sizer*) Modelo 3021 también de TSI, permitieron la ampliación del rango medido por el SMPS hasta 10000 nm. Finalmente, la concentración en el rango (3-14) nm, fue estimada a partir de la diferencia de los niveles muestreados por el SMPS y un contador de partículas ultrafinas Modelo 3776 de TSI.

Gracias a este equipamiento, y en base a los modos de la distribución presentados con anterioridad, durante DOMINO se pudieron caracterizar las concentraciones en las fracciones (3-14) nm y (14-30) nm del modo de nucleación, así como en los modos de Aitken, acumulación y grueso.

La evolución de la humedad relativa ambiental es un factor que modula el tamaño de la partícula, debido a la deposición sobre su superficie de una película de agua de mayor grosor a medida que su valor se incrementa. Con objeto de eliminar esta dependencia, la cual es considerada una perturbación ante el estudio de la variabilidad del tamaño de la partícula en función de su origen, la muestra fue secada por debajo del 40% (tal y como se recomienda en WMO/GAW, 2003) a partir de la combinación de gel de sílice y filtros en uno de los circuitos que atraviesa el aerosol dentro de cada instrumento.

Integrando la distribución de tamaños obtenida en todo el rango de tamaños y posteriormente en cada modo, se obtuvo que la concentración numérica total de partículas con un diámetro superior a 3 nm presentó un valor medio de $(11580 \pm 15880) \text{ cm}^{-3}$, de los cuales correspondieron $(4932 \pm 13860) \text{ cm}^{-3}$ al rango (3-14) nm, $(3110 \pm 4190) \text{ cm}^{-3}$ al rango (14-30) nm, $(2290 \pm 1750) \text{ cm}^{-3}$ al modo Aitken, $(664 \pm 508) \text{ cm}^{-3}$ al modo de acumulación y $(1.5 \pm 1.3) \text{ cm}^{-3}$ al modo grueso. En la Fig. 10 se muestra la evolución de dichas concentraciones en función de la dirección del viento.

Comparando dichos niveles con los promedios obtenidos durante periodos similares de la base de datos existente desde 2004, se encuentra que la concentración en el modo de nucleación [14-30] nm aumentó un factor de 1.2, mientras que los niveles de los modos Aitken y de acumulación disminuyeron los factores 1.6 y 2.8 respectivamente.

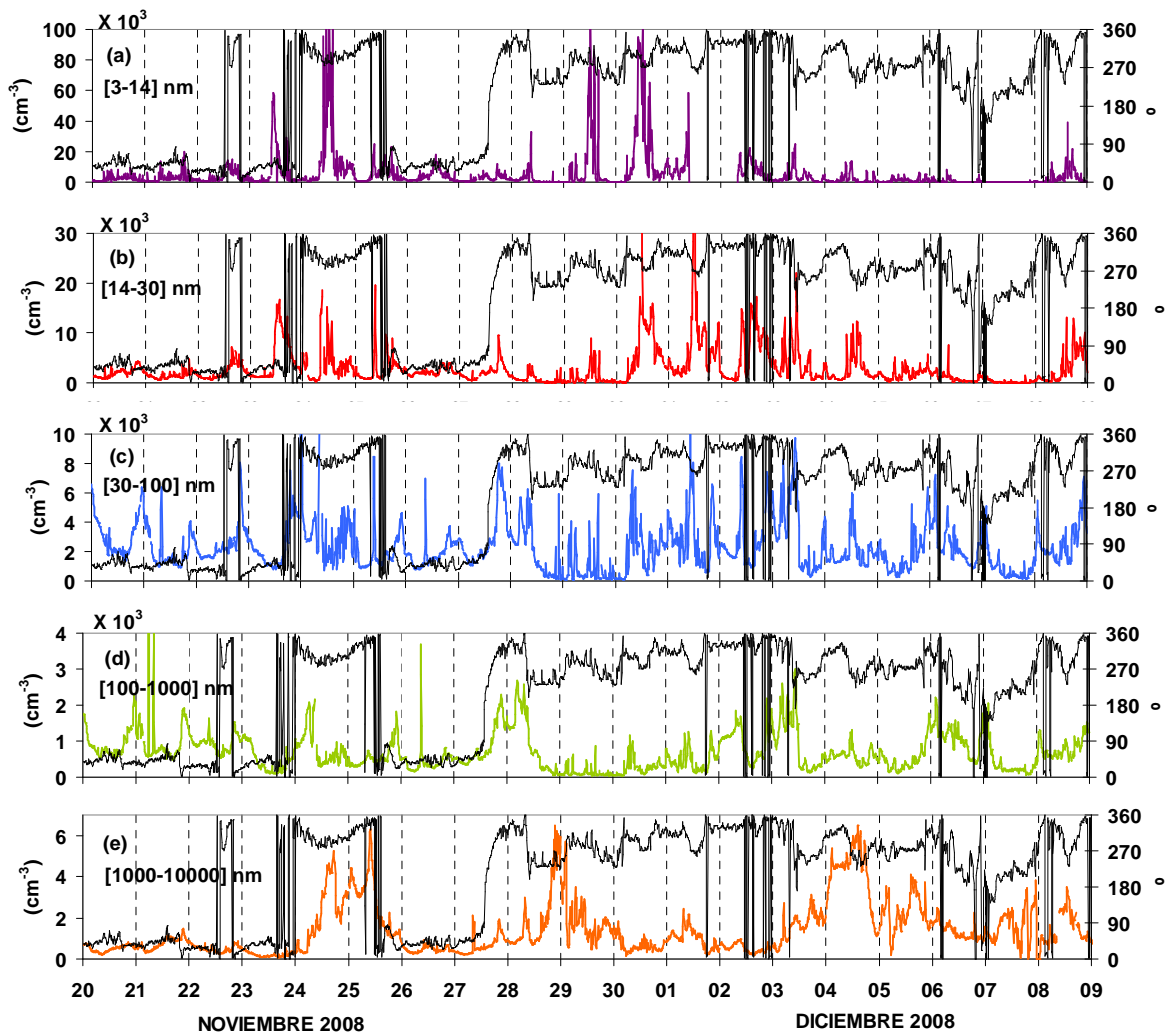


Fig. 10. Evolución de la concentración numérica total en distintos rangos de diámetros, en función de la dirección del viento (línea negra). (a) Modo de nucleación [3-14] nm, (b) Modo de nucleación [14-30] nm, (c) Modo de Aitken [30-100] nm, (d) Modo de acumulación [100-1000] nm y Modo grueso [1000-10000] nm.

Son numerosos los estudios publicados de la evolución temporal de la distribución de tamaños, relacionados con los denominados procesos de nucleación homogénea o procesos de formación de nuevas partículas, (Held et al., 2004; Dal Maso et al., 2005; Sogacheva et al., 2005). En ellos, se forma una partícula líquida o sólida por conversión de gas precursor a partícula, a partir de procesos fotoquímicos. Dicha formación incrementa el número de partículas primero en el modo de nucleación, el cual presenta un tiempo de vida muy pequeño ya que rápidamente sobre su superficie coagulan los gases atmosféricos, con el consecuente aumento del tamaño del aerosol. Por ello, dicho incremento del número de aerosoles posteriormente es observado en los modos Aitken y de acumulación. Durante la campaña DOMINO, se observaron 4 eventos de nucleación,

durante los días 23 de noviembre y del 30 de noviembre al 2 de diciembre de 2008 (ver Figura 11).

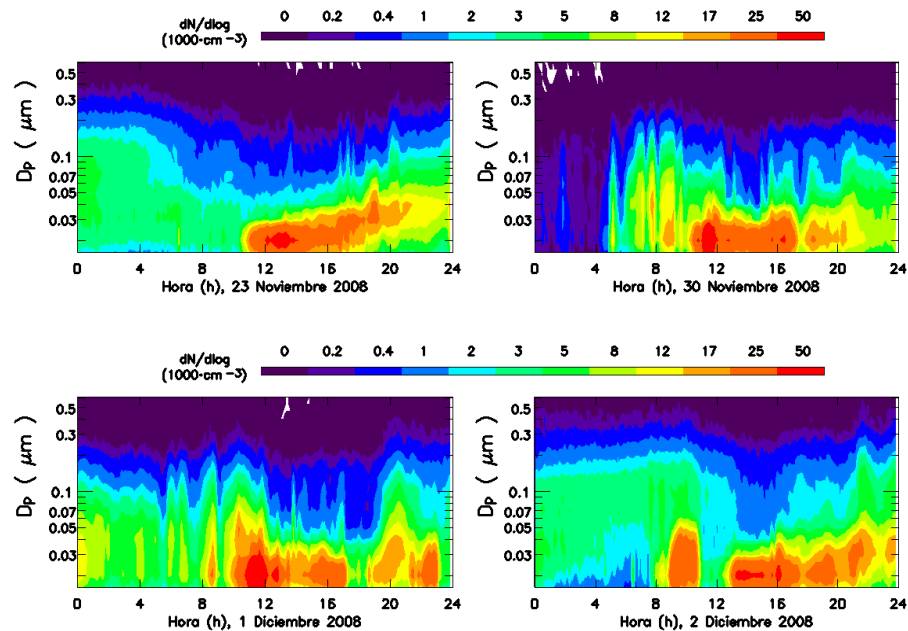


Fig. 11. Evolución de la distribución de tamaños en el rango sub-micrométrico durante los días de la Campaña DOMINO con formación de nuevas partículas.

Estos cuatro eventos de formación observados pueden ser agrupados en dos grupos, en función de la dirección del viento. Mientras el día 23 de noviembre el viento procedió del NE, los otros tres días estuvo soplando del NW (ver Figura 10). Como principales características del primer grupo mencionar que, a partir de la metodología aplicada en Birmili et al., (2003) se ha evaluado que comenzó a las 08:40 UTC y finalizó a las 16:00 UTC y que las velocidades de formación de partículas y de crecimiento fueron de $13.0 \text{ cm}^{-3} \text{ s}^{-1}$ y 4.5 nm h^{-1} respectivamente. Teniendo en cuenta que las nuevas partículas formadas tienen el tamaño de 1 nm, y que nuestro instrumento SMPS comienza a medir en 14.9 nm, utilizando la velocidad de crecimiento evaluada es posible determinar que las primeras partículas se formaran 3.1h antes de llegar a El Arenosillo. Teniendo en cuenta que la dirección del viento promedio del viento durante las horas previas del episodio fue entorno a 7 m/s, se deduce que dichas partículas fueron formadas en dirección NE y a 78 km de El Arenosillo. Con todo ello se concluye que la fuente de los gases precursores se encuentra en el área de la ciudad de Sevilla la cual, tal y como se ha presentado en la sección 2 de esta memoria, se encuentra situada reproximadamente a 75 km en esa dirección.

Si consideramos una amplia área de emisión, durante el transporte hacia El Arenosillo y en función de la distancia recorrida, estas nuevas partículas crecerán a mayores diámetros. Durante el evento del 23 de noviembre, el mayor diámetro alcanzado fue de 40 nm. Es por ello, que en El Arenosillo, el evento de nucleación observado presenta la forma comúnmente conocida como de 'banana'.

El Arenosillo estuvo bajo la influencia del viento procedente del NE durante los días 21, 22, 23, 26 y 27 de noviembre de 2010, pero únicamente se observó este tipo de episodios durante el ya analizado 23 de noviembre. En la Tabla 2 previamente presentada, se mostró la altura de la capa de mezcla durante la mañana y a primeras horas de la tarde, la cual fue evaluada a partir de dos sondeos diarios. Es habitual que la ausencia de aportación energética del sol durante la noche, provoque la formación de inversiones cerca de la superficie terrestre, originando una capa atmosférica estratificada y muy estable. Posteriormente, el calentamiento de la superficie terrestre destruye la inversión a primera horas, comenzándose a producir procesos turbulentos con mayor dilución. En la Tabla 2, se presenta que, de los días con viento procedente del NE fue, el día 23 de noviembre, el que presentó una mayor capa de mezcla alcanzándose a las 16:00 UTC los 1300 m. Esta correlación entre los altos índices de mezcla vertical y los eventos de nucleación, ya ha sido previamente observadas en otras áreas estudiadas (Aalto et al., 2001; Buzorius et al., 2003; Hering et al., 2007).

En el caso de los eventos pertenecientes al segundo grupo, los cuales estaban caracterizados por la dirección del viento con procedencia del NW, el crecimiento no es tan evidente, tal y como se observa por ejemplo en la Figura 11 durante las evoluciones de la distribución de tamaños los días 30 de noviembre, 1 y 2 de diciembre de 2010. Ese comportamiento es observado porque la fuente de aerosoles no cubre una gran área de emisión como en el caso de los eventos procedentes del NE sino que tiene una localización puntual. Considerando que la fuente de aerosoles es la zona industrial de la ciudad de Huelva, situada a 15 km de El Arenosillo, y teniendo en cuenta que por ejemplo durante el día 2 de diciembre la velocidad del viento promedio durante las horas precedentes al evento fue de 6 m/s, se obtiene que dichas partículas se emitieron 0.7h antes de llegar a El Arenosillo. Es decir, la velocidad de crecimiento desde 1nm hasta 14.9 nm (límite inferior de nuestro equipo) fue de 20 nm h⁻¹.

Aunque hubo presencia de eventos con altas concentración en el modo de nucleación tanto desde el NE como desde el NW, la mayor contribución en los rangos (3-14) nm y (14-30) nm procedió del NW, con un valor promedio de 7650 cm⁻³ y 4690 cm⁻³ respectivamente. Adicionalmente, las concentraciones promedio más bajas fueron monitorizadas en los sectores S y SE, dividiéndose las concentraciones mencionadas por los factores 11.4 y 5.2 respectivamente.

Conclusiones.

El Instituto Max Planck de Química (MPICH), Mainz – Alemania, realiza habitualmente campañas de medición en diversas partes del mundo. En el verano de 2008 el MPICH propone al Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) desarrollar una campaña de medición en sus instalaciones de El Arenosillo, Huelva. Gracias a la colaboración mantenida entre el MPICH y el INTA se desarrolló en noviembre y diciembre de 2008, la campaña denominada DOMINO (Diel Oxidant Mechanisms in relation to Nitrogen Oxides).

Como es bien conocido, las especies químicas presentes en la atmósfera tienen un papel fundamental en los ciclos oxidativos de la baja troposfera, ya que sufren una serie de transformaciones que producen sustancias secundarias, que determinan la composición química atmosférica y que pueden afectar al clima, la salud humana y a las especies

vegetales. El objetivo principal de la campaña DOMINO era profundizar en el estudio de estos ciclos oxidativos de la baja atmosfera. No obstante, se tenían una serie de objetivos parciales como conocer la capacidad de limpieza que tiene la atmósfera en una región atlántico-mediterránea y la química atmosférica en masas de aire industriales, continentales y marítimas, así como estudiar la estructura de la capa límite atmosférica.

El Arenosillo se seleccionó para realizar esta campaña por varios motivos. En sus alrededores se encuentran áreas de emisión de sustancias de diferente tipología, con origen urbano (zona de Huelva y Sevilla), industrial (polígonos industriales de la ciudad de Huelva) o biogénico, procedentes de áreas naturales protegidas como el Parque Nacional de Doñana. Además, también se pueden encontrar de origen marino (Océano Atlántico) o continental (Sáhara). Es decir, existe toda una variedad de sustancias atmosféricas que pueden ser medidas en El Arenosillo. A estos factores orográficos y de emisión, habría que añadir que en El Arenosillo, Estación de Sondeos Atmosféricos (ESAt), se dispone de una plataforma instrumental monitorizando en continuo diversos parámetros atmosféricos.

Para el desarrollo de la campaña se instaló en cinco containers toda la instrumentación, la mayoría de las tomas de muestras se instalaron en la parte alta de una estructura metálica de 12 m de altura, la cual se diseñó y ubicó específicamente para la campaña. La instrumentación utilizada para la medida de sustancias químicas en la atmosfera permitió la monitorización de sustancias gaseosas (radón, ozono, NO, NO₂, HONO, COV's, etc), partículas y radicales atmosféricos (OH, H₂O₂, RO₂, etc).

Los datos medidos durante la campaña han sido sometidos a un riguroso proceso de depuración y comparación, puesto que algunos de los parámetros han sido medidos por más de un instrumento. El objetivo de todo ello ha sido la obtención de una base de datos fiable. El objetivo final será presentar todos los resultados en congresos de ámbito nacional, como este que nos ocupa, internacionales y realizar publicaciones en revistas científicas de difusión internacional.

Se realizaron observaciones meteorológicas en superficie y en altura, con ayuda de la torre de 100 m disponible en El Arenosillo, así como sondeos meteorológicos. De estas medidas se pudo conocer que las características meteorológicas durante la campaña fueron ligeramente diferentes a las registradas en la serie histórica de El Arenosillo.

Las temperaturas fueron más bajas con un valor medio de diferencia de 2° C, mientras que la humedad relativa en valores medios fue más alta. Apenas hubo unas horas de precipitación durante la campaña, la velocidad del viento fue similar a la registrada otros años en esta misma época del años; sin embargo, la dirección del viento sí presentó diferencias puesto que procedió con gran frecuencia desde el NW cuando lo habitual es que provenga desde el NE.

Con los registros meteorológicos procedentes de los sensores ubicados a 25, 50 y 100 m en la torre de El Arenosillo se están realizando diversos tipos de estudios, todos ellos orientados a caracterizar la capa límite atmosférica. Además, con este mismo objetivo durante la campaña DOMINO se realizaron sondeos meteorológicos. De forma diaria se realizaron dos sondeos, uno por la mañana y otro por la tarde. Además, se realizaron sondeos horarios, durante dos periodos de 24 horas, con el fin de conocer en detalle la evolución que experimenta la capa límite atmosférica.

Para la interpretación de las medidas químicas, además de las observaciones meteorológicas se han utilizado modelos meteorológicos y químicos. Así por ejemplo, se ha calculado la procedencia y el recorrido de las masas de aire que llegaron a la zona de medida durante la campaña con ayuda del modelo HYSPLIT. Para tener un mayor conocimiento de algunos de los procesos meteorológicos, se ha utilizado un modelo meteorológico de mesoescala de alta resolución, el WRF.

En la campaña DOMINO se midieron diversos gases atmosféricos, como por ejemplo, el radón, ozono, NO, NO₂, HONO, etc. En el presente documento se han presentado algunos de los resultados que se han obtenido respecto al ozono, NO, NO₂. Se han presentado sus valores medios, su evolución durante el período de medida, así como la relación con algunas variables meteorológicas de superficie y cómo le afectarían a las concentraciones de estos gases la evolución de la capa límite atmosférica.

La caracterización de las partículas atmosférica fue realizada a partir de su distribución de tamaños en los rangos sub- y super-micrométrico, su capacidad dispersiva (coeficientes de dispersión y retro-dispersión), concentración máscica y composición química. En este trabajo se presenta únicamente el análisis del tamaño de la partícula, el cual permitió la clasificación y análisis de dos tipos de eventos de formación de nuevas partículas, en función de las habituales variables meteorológicas y otras más específicas que caracterizan la estabilidad atmosférica.

En la actualidad se siguen analizando las medidas de DOMINO y en los próximos meses se espera estar en disposición de publicar los resultados más relevantes, lo cual pondrá de manifiesto la importancia que tienen este tipo de campañas para comprender los procesos atmosféricos, la composición química de la atmósfera y los cambios que en ésta se está produciendo; información necesaria para conocer cuáles serían las repercusiones que estos cambios tendrían sobre la salud humana, la vegetación y el medio ambiente en general.

Agradecimientos.

Agradecemos por la colaboración y ayuda prestada a Jordi Vila-Guerau del Departamento de Calidad del Aire y Meteorología de la Universidad de Wageningen (Holanda) y a Jos Lelieveld, director del Instituto Max Planck de Química, y a su equipo científico el apoyo prestado para hacer posible la campaña DOMINO.

Referencias.

Adame, J.A., Serrano, E., Bolívar, J.P., De la Morena, B. 2010. On the tropospheric ozone variations in a coastal area of the southwestern Europe under mesoscale circulation. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, Vol. 49, No. 4, 748–759.

Anton, M., Vilaplana, J.M., Kroon, M., Serrano, A., Parias, M., Cancillo, M.L., De la Morena, B. 2010. The empirically corrected measurements at El Arenosillo (Southwestern Spain). *Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 48, 3039-3045.

Arya, S. 1989. *Air pollution meteorology and dispersion*. Oxford University Press.

Birmili, W., Berresheim, H., Dülmer, C.P., elste, T., Gilge, S., Wiedensohler, A., Uhrner, U. The Hohenpeissenberg Aerosol Formation Experiment (HAFEX): a Long-term study

including size-resolved aerosol, H₂SO₄, OH and Monoterpenes measurements. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 3, 361-376, 2003.

Buzorius, G., Rannik, Ü, Aalto, P., Dal Maso, M., Nilsson, Lehtinen, K.E.J., Kulmala, M. On particle formation prediction in continental boreal forest using micrometeorological parameters. *J. Geophys. Res.*, 108, D13, 4377, doi:10.1029/2002JD002850, 2003.

Córdoba-Jabonero, C., Sorribas, M., Guerrero-Rascado, J.L., Adame, J.A., Hernandez, Y., Lyamani, H., Cachorro, V., Gil, M., Alados-Arboledas, L., Cuevas, E., De la Morena, B. Synergetic monitoring of Saharan dust plumes and potencial impact on surface: a case study of dust transport from Canary Islands to Iberian Peninsula. (Submitted)

Dal Maso, M., Kulmala, M., Riipinen, I., Wagner, R., Hussein, T., Aalto, P.P., Lehtinen, K.E.J. Formation and growth of fresh atmospheric aerosols: eight years of aerosol size distribution data from SMEAR II, Hyytiälä, Boreal Environment Research, 10, 323-336, 2005.

Derwent, R.G., Stevenson, D.S., Collins, W.J., Johnson, C.E. 2004. Intercontinental transport and the origins of the ozone observed at surface sites in Europe. *Atmospheric Environment* 38, 1891–1901.

Draxler, R.R., Stunder, B., Rolph, G., Taylor, A. 2009. Hysplit_4 User's Guide. NOAA Air Resources Laboratory.

Draxler, R.R., and G.D. Hess. 1998. An overview of the HYSPLIT_4 modelling system for trajectories, dispersion, and deposition. *Australian Meteorology Magazine* 47, 295-308.

Galvez, O. 2007. Synoptic-scale transport of ozone into Southern Ontario. *Atmospheric Environment* 41, 8579–8595.

Held, A., Nowak, A., Birmili, W., Wiedensohler, A., Forkel, R, Klemm, O. Observations of particle formation and growth in a mountainous forest region in central Europe. *J. Geophys. Res.*, 109, D23204, doi:10.1029/2004JD005346, 2004.

Hering S.V., Kreisberg, N.M., Stolzenburg, M.R., Lewis, G.S. Comparison of particle size distributions at urban and agricultural sites in California's San Joaquin Valley. *Aerosol Science and Technology*, 41, 1, 86-96, 2007.

Jacobson, M.Z. 2002. *Atmospheric Pollution*. Cambridge University Press, 399 pag.

Klippel, T., H. Fischer, H. Bozem, M.G. Lawrence, P. Joeckel, M. Martinez, H. Harder, E. Regelin, R. Sander, C. L. Schiller, A. Stickler, and J. Lelieveld. 2010. Distribution of hydrogen peroxide, methyl hydroperoxide and formaldehyde over Central Europe during the HOOVER project, to be submitted to *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*

Logan, J. (1989). Ozone in rural areas of the United States. *Journal Geophysical Research*, 94, N° D6, 8511-8532.

Martinez, M., Harder, H., Kubistin, D., Rudolf, M., Bozem, H., Eerdekens, G., Fischer, H., Klüpfel, T., Gurk, C., Königstedt, R., Parchatka, U., Schiller, C. L., Stickler, A.,

Williams, J., and Lelieveld, J.: Hydroxyl radicals in the tropical troposphere over the Suriname rainforest: airborne measurements, *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 3759-3773, 2010.

Skamarock, W.C., Klemp, J.B., Dudhia, J., Gill, D.O., Barker, D.M., Duda, M.G., Huang, X., Wang, W., Powers, J.G. (2008). A description of the Advanced Research WRF Version 3. Mesoscale and Microscale Meteorology Division. National Center for Atmospheric Research. NCAR/TN-475+STR.

Sogacheva, L., Dal Maso, M., Kerminen, V.-M., Kulmala, M. Probability of nucleation events and aerosol particle concentration in different air mass types arriving at Hyytiälä, southern Finland, based on back trajectories analysis. *Boreal Environment Research*, 10, 479-491, 2005.

Sorribas, M., Cachorro, V.E., Wehner, B., López, J.F., Prats, N., Mogo, S., Wiedensohler, A., De la Morena, B.A. Characterization of sub-micron aerosol particle number size distribution in a coastal-rural site at the SW of Spain. (Submitted).

WMO/GAW. Report Aerosol measurement procedures guidelines and recommendations, September 2003.

Williams, J., Custer, T., Riede, H., Sander, R., Jöckel, P., Hoor, P., Pozzer, A., Wong-Zehnpfennig, S., Hosaynali Beygi, Z., Fischer, H., Gros, V., Colomb, A., Bonsang, B., Yassaa, N., Peeken, I., Atlas, E. L., Waluda, C. M., van Aardenne J. A. and Lelieveld, J. 2010. Assessing the effect of marine isoprene and ship emissions on ozone, using modelling and measurements from the South Atlantic Ocean. *Environ. Chem.* 7, 171–182. doi:10.1071/EN09154.