Tethys, 3, 79–87, 2006
www.tethys.cat
ISSN-1139-3394
DOI:10.3369/tethys.2006.3.10

Revista editada por **ACAM**
(Associació Catalana de Meteorologia)

Efecto de la sinergia entre escalas meteorológicas en la predicción de la dispersión atmosférica de contaminantes antropogénicos en terreno complejo

J.L. Palau, G. Pérez-Landa, and M.M. Millán
Fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo (CEAM), València
Recibido: 29-IX-2006 – Aceptado: 20-XI-2006 – **Versión Traducida**

Correspondencia a: jlp@confluencia.biz

Resumen

Algunas de las aproximaciones meteorológicas consideradas comúnmente en los modelos de contaminación del aire urbano no tienen en cuenta la importancia del efecto sinergético entre las escalas meteorológicas para predecir la dispersión atmosférica de los contaminantes en localidades costeras de terreno complejo. El objetivo de este trabajo es el de hacer una estimación del impacto del uso de las escalas meteorológicas apropiadas para reproducir algunos de los efectos sinergéticos previamente observados y estimular el comportamiento de las concentraciones de contaminantes emitidas en las capas bajas sobre las zonas costeras de terreno complejo. La disponibilidad de las medidas experimentales del penacho de una central eléctrica cerca del centro urbano de Castellón (en la costa mediterránea española) nos ha permitido utilizar este penacho como trazador de oportunidad de la baja atmósfera para comprobar los resultados del ejercicio de simulación utilizando el modelo de mesoescala RAMS acoplado con el modelo de partículas HYPACT. Los resultados obtenidos muestran que en una localidad costera de terreno complejo, debido al fuerte efecto de las interacciones meteorológicas entre escalas distintas en la advección integral y la dispersión turbulenta de contaminantes, utilizar una escala inadecuada para resolver la meteorología puede dar lugar a un vacío enorme en la simulación del comportamiento del contaminante en capas bajas en escalas urbanas.

1 Introducción

El objetivo de este trabajo es el de mostrar el impacto del hecho de aplicar escalas meteorológicas incorrectas a la hora de simular el comportamiento de las concentraciones de los contaminantes emitidos en las capas bajas de las zonas costeras de terreno complejo. Los datos experimentales para este estudio fueron obtenidos durante la campaña del BEMA Paso 1, que utilizaba un penacho de SO_2 emitido desde un central eléctrica del centro urbano de Castellón (fig. 1A) como trazador de oportunidad de la baja atmósfera. Con estos dados comprobamos los resultados de un ejercicio de simulación utilizando el modelo de mesosescala RAMS acoplado al modelo de partícula HYPACT. Nuestros resultados apuntan a la dependencia entre la simulación del comportamiento del contaminante de capas bajas y la capacidad de los modelos meteorológicos operacionales para reproducir correctamente el ciclo diario de la baja atmósfera.

2 Metodología

2.1 Instalación experimental

Las medidas experimentales fueron tomadas utilizando dos vehículos (unidades móviles), los dos instrumentalizados con una COrrelación eSPECtrométrica (COSPEC) para grabar la distribución de los contaminantes en vuelo (Millán et al., 1976; Palau et al., 2006).

Durante la campaña analizada (el 17, 18 y 19 de julio de 1995), las medidas fueron tomadas alrededor de la central eléctrica situada cerca del centro urbano de Castellón, a una distancia de entre 2 y 3 km de la costa. En la estrategia de medida del penacho, las dos unidades móviles hicieron transectos simultáneos alrededor del centro urbano de Castellón a distancias distintas de la chimenea (fig. 1A). Las medidas fueron tomadas a lo largo del día para grabar los cambios que podrían tener lugar en la dirección de transporte del penacho o en las condiciones dispersivas. Así, utilizando el penacho

2006 Autor(es). Este trabajo tiene licencia "Creative Commons".

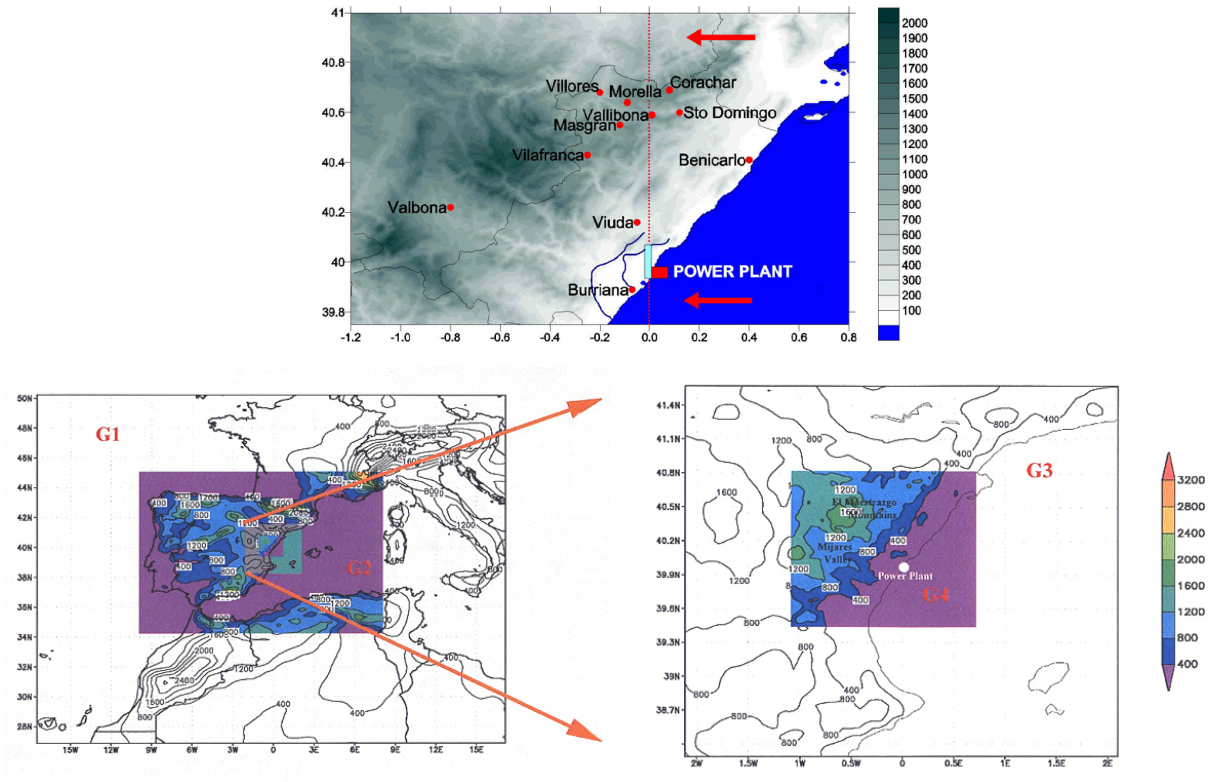

Figura 1. (A) (fig. superior) Área de estudio en la España oriental; las once torres meteorológicas que suministran medidas experimentales están marcadas con puntos rojos. La línea roja vertical (longitudinal) indica la sección transversal utilizada para generar las figuras 4 a 6. La red viaria utilizada por las dos unidades móviles (instrumentadas con un COSPEC) para tomar medidas alrededor de la central eléctrica también está indicada. (B) (fig. inferior izquierda) y (C) (fig. inferior derecha): configuración de la modelización con las cuatro mallas de distintas resoluciones utilizadas en las simulaciones centradas en la central eléctrica de Castellón (G_1 40.5 km, G_2 13.5 km, G_3 4.5 km, G_4 1.5 km).

como trazador de oportunidad de la baja atmósfera, fue posible seguir la evolución diaria del campo de viento y de las condiciones dispersivas.

Además, hay medidas obtenidas de once instalaciones de la Red Regional de Calidad del Aire (que mide continuamente contaminantes del aire y parámetros meteorológicos), y de las torres meteorológicas instaladas durante la campaña del BEMA. Los sensores están situados en lugares distintos de la zona de estudio (fig. 1A).

2.2 Configuración de modelo

En este estudio utilizamos un modelo meteorológico, el Regional Atmospheric Modelling System (RAMS versión 4.3.0 – R. A. Pielke et al. (1992)) acoplado con el modelo RAMS Hybrid Particle And Concentration Transport (HYPACT versión 1.2.0. – Trembak et al. (1993)).

Realizamos simulaciones del RAMS acoplado con el modelo HYPACT (tabla 1) para comprobar el efecto de distintas aproximaciones meteorológicas en la simulación del comportamiento de los contaminantes en una zona costera de terreno complejo. Para hacerlo, se utilizaron dos configuraciones meteorológicas diferentes al modelo RAMS, pero en

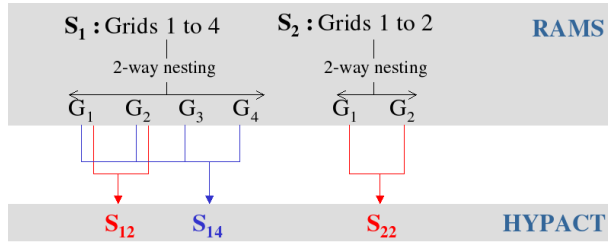

Figura 2. Esquema de modelización seguido durante el ejercicio de simulación. Para la primera simulación meteorológica (S_1), se utilizaron cuatro regiones en el modelo meteorológico (RAMS) con dos regiones de nidaje de dos sentidos. Los resultados se obtuvieron para las mallas G_1 a G_4. Para realizar las simulaciones del HYPACT (S_{12} y S_{14}), se utilizaron dos configuraciones distintas: utilizando sólo las mallas G_1 y G_2 del RAMS (S_{14}). La segunda simulación meteorológica (S_2) fue configurada sólo con las regiones de la G_1 y la G_2 (anidadas en dos sentidos). Sus soluciones fueron introducidas en el modelo de partículas HYPACT, generando así una nueva solución (S_{22}).

Tabla 1. Estrategia de Modelización. La simulación S_{14} fue ejecutada con cuatro regiones anidadas y una medida horizontal de malla de 1.5 km en la región interior. La simulación S_{12} corresponde a la simulación dentro de la segunda región (medida horizontal de malla de 13.5 km), pero teniendo en consideración la retroacción de las cuatro regiones anidadas. La simulación S_{22} fue ejecutada con sólo dos regiones anidadas y una medida horizontal de malla de 13.5 km dentro de la región interior.

Simulación	Medida de la malla (número de la malla)	Nidaje y mallas consideradas
S14	1.5 km (G4)	2 sentidos; mallas 1 a 4
S12	13.5 km (G2)	2 sentidos ; mallas 1 a 4
S22	13.5 km (G2)	2 sentidos ; mallas 1 a 2

ambos casos se utilizaron las mismas condiciones iniciales y de contorno (fig. 1 y 2): a) Simulación 1 (S_1), utilizando cuatro regiones anidadas centradas encima de la central eléctrica de Castellón, y b) Simulación 2 (S_2), utilizando sólo las dos regiones anidadas más externas (con las mismas resoluciones y los mismos límites, G_1 y G_2).

Es importante resaltar que las dos configuraciones permiten nidajes de dos sentidos entre las mallas (tabla 1 y fig. 2), con la única diferencia entre ellas que la simulación S_1 resuelve la meteorología considerando 1.5 km la menor medida de malla mientras que la simulación S_2 resuelve la meteorología sin retroacción de las dos regiones interiores; p. ej., considerando 13.5 km como la medida más baja de malla (fig. 1B y 1C). Así, la meteorología resuelta en la segunda malla (G_2) para las dos simulaciones difiere estrictamente en el hecho que en el primer caso (S_{12}), los resultados son coherentes con la retroacción de las regiones interiores (p. ej., el modelo resuelve la meteorología de la región interior) mientras que en la segunda simulación (S_{22}) no hay retroacción de las regiones internas porque G_2 es la región de resolución más alta.

El modelo HYPACT funcionaba utilizando el esquema de dispersión lagrangiano con un viento de 3-D y campos de turbulencias suministrados por las tres salidas del RAMS (S_{14}, S_{12} y S_{22}) (tabla 1 y fig. 2). Este modelo fue utilizado tanto para simular las emisiones de SO_2 de la central eléctrica como para analizar el efecto que los distintos campos meteorológicos conseguidos dentro de la segunda región (simulaciones S_1 y S_2) tienen en el patrón dispersivo del penacho de SO_2. Para simular la dispersión de los contaminantes bajo diferentes aproximaciones meteorológicas, la salida HYPACT (lagrangiana) para la misma simulación pero considerando sólo los campos de viento en las dos primeras mallas, p. ej., llegando a la región de medida de malla de 13.5 km, está marcada como S_{12} (fig. 2).

2.3 Validación de modelo

Para confirmar estas simulaciones, dentro de la región de resolución más alta, seguimos dos métodos de trabajo distintos e independientes, tal como se sugiere en varios estudios que tratan sobre las comprobaciones de modelos meteorológicos y de calidad del aire (Palau et al., 2005).

El primer ejercicio de comprobación consistía en utilizar medidas de dispersión del penacho alto para comprobar los resultados obtenidos de las simulaciones dispersivas S_{14} (fig. 2), realizadas con el modelo HYPACT utilizando los campos meteorológicos producidos por RAMS y previamente comprobados. Utilizando las medidas de penacho alto como trazadores de oportunidad del campo de viento a la altura de transporte del penacho, los resultados de la dispersión simulada fueron comparados con las medidas experimentales (cogidas, tal como hemos descrito antes, con las dos unidades móviles moviéndose alrededor de la central eléctrica en diferentes momentos del día). Durante este proceso de primera validación, fig. 3, comprobamos la evolución diaria en las advecciones integrales experimentales y simuladas del penacho alto y evaluamos la competencia del modelo para reproducir el ciclo diario del campo de viento (asociado, tal como hemos dicho antes, al desarrollo de las circulaciones de mesoescala de corrientes de aire ascendentes).

A primera hora del día (fig. 3), el penacho sufre una advección hacia el sur paralelamente a la costa dentro de una capa estable (vientos nocturnos de drenaje). A mediodía, el penacho sufre una advección tierra adentro, perpendicular a la costa; y, a última hora de la tarde, el penacho se ha girado hacia el norte – noroeste respecto al punto de emisión. Esta hora del día corresponde a una brisa marina desarrollada.

El segundo ejercicio de comprobación, para evaluar las competencias del modelo, comparó los datos meteorológicos simulados (la temperatura, la velocidad del viento y la dirección del viento) con las medidas experimentales en once emplazamientos meteorológicos distintos situados en la región interior, G_4 (fig. 1). Consideramos como representativas de las competencias del modelo dentro de todo el territorio interior las estadísticas conseguidas para la temperatura y el viento para once estaciones meteorológicas disponibles. La tabla 2 resume los resultados obtenidos.

Aunque se observaron algunas diferencias importantes en las competencias del modelo en las distintas estaciones debido a la complejidad del terreno, de media, para la temperatura a 2 m sobre el nivel del terreno (s.n.t.), se detectó un error importante y sistemático del modelo (valor del error cuadrático medio (RMSE) de 3.5°C como media temporal y espacial en todas las estaciones). Por lo tanto, los valores de error sistemático y de media de las once estaciones muestran una clara sobreestimación de unos 2.6°C probablemente

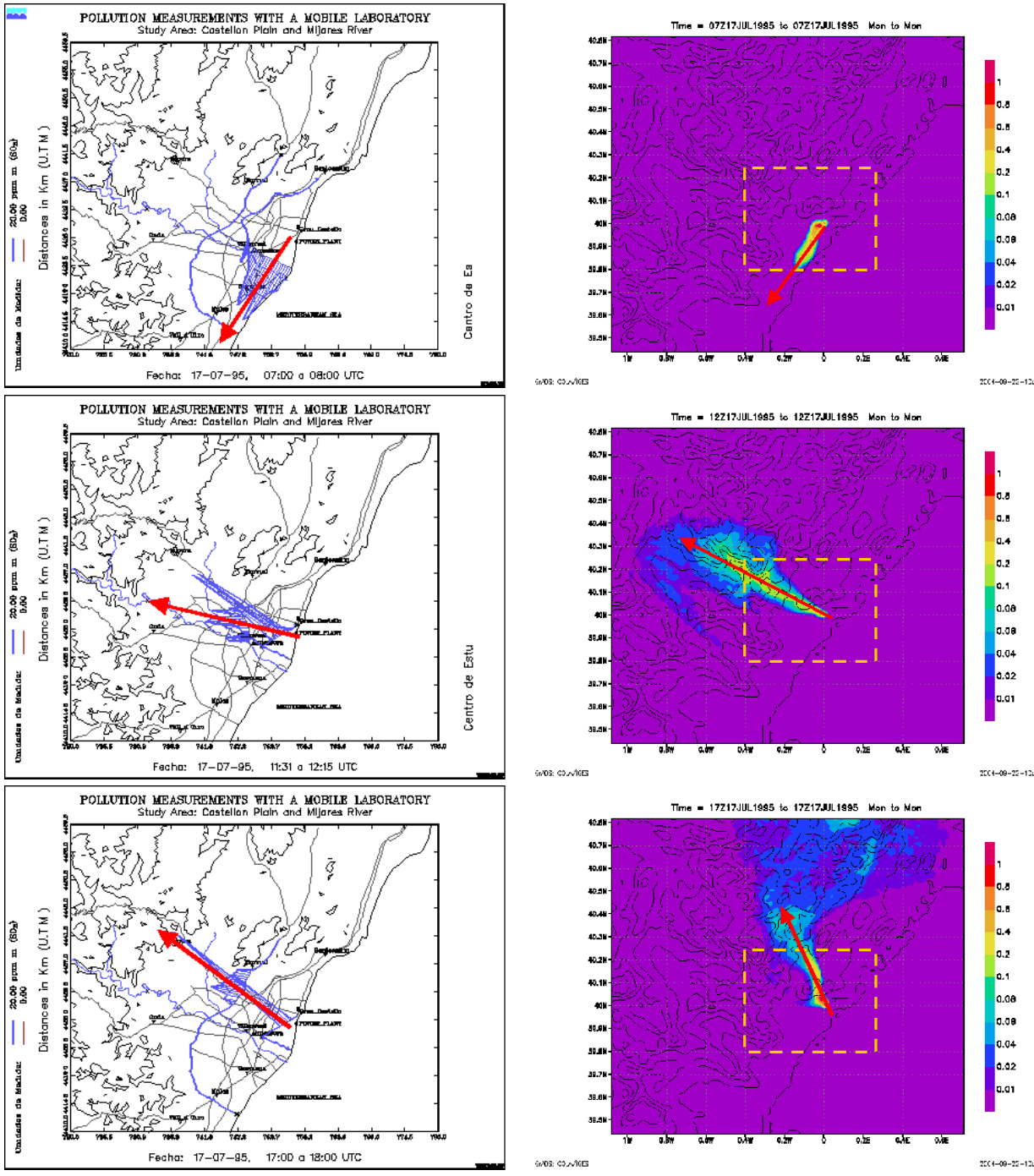

Figura 3. Simulación S_{14} con una región interior de 1.5 km, primera hilera para las 07 UTC del 17 de julio de 1995; segunda hilera para las 12 UTC del 17 de julio, y tercera hilera para las 18 UTC del 17 de julio. Columna derecha, medidas experimentales; y columna izquierda: resultados de simulación de modelización. El cuadrado naranja de la figura (columna derecha) indica la zona experimental tratada en la columna izquierda. La flecha roja indica la dirección de transporte del penacho medio.

Tabla 2. Valores medios observacionales y modelizados (AvObs y AvMdl), Error Sistemático, Error cuadrático medio (RMSE) de la temperatura (a 2 m s.n.t.) y velocidad del viento (a 10 m s.n.t.), RMSE-vwd (RMSE de la diferencia del vector viento horizontal), en once emplazamientos distintos (ver localizaciones en la figura 2) para los tres días simulados. El valor en todas las estaciones durante los tres días simulados se ha calculado sobre un total de 729 valores de temperatura media horaria y 727 valores de velocidad del viento media horaria (Nobs). Además, el valor I.A. (Índice de Acuerdo) está calculado como la media de once distintos emplazamientos (índice de acuerdo de 729 parejas de valores para la temperatura y 727 parejas de valores para la velocidad del viento).

Estación	NObs	AvObs	AvMdl	Biaix	RMSE	RMSE-vwd	I. A.
Velocidad del viento a 10 m s.n.t.							
BENICARLÓ	67	2.5	2.3	-0.2	0.9	1.7	***
BURRIANA	67	1.9	2.0	0.1	1.0	1.5	***
VIUDA	67	1.8	2.4	0.7	1.2	2.3	***
STO. DOMINGO	67	3.3	2.4	-0.8	1.2	2.1	***
VALBONA	67	2.2	2.6	0.4	1.0	1.1	***
VILAFRANCA	59	2.8	3.0	0.3	1.2	2.5	***
MAS GRAN	67	3.7	2.8	-0.9	1.7	2.1	***
VALLIBONA	67	3.5	2.4	-1.1	1.9	2.2	***
MORELLA	65	4.2	2.9	-1.3	1.6	2.1	***
CORACHAR	67	2.4	2.6	0.2	1.2	1.5	***
VILLORES	67	3.3	2.1	-1.1	1.8	2.4	***
Valor en todas las estaciones	**727**	**2.9**	**2.5**	**-0.3**	**1.4**	**1.9**	**0.82**
Temperatura a 2 m s.n.t.							
BENICARLO	67	26.6	28.3	1.7	2.1	***	***
BURRIANA	67	27.1	28.0	0.8	1.6	***	***
VIUDA	67	25.2	29.7	4.5	5.0	***	***
STO DOMINGO	67	24.0	26.6	2.6	3.1	***	***
VALBONA	67	24.5	27.0	2.5	3.3	***	***
VILAFRANCA	59	21.7	25.0	3.3	3.7	***	***
MAS GRAN	67	25.0	26.3	1.3	2.4	***	***
VALLIBONA	67	21.7	25.5	3.8	4.2	***	***
MORELLA	67	24.2	26.4	2.2	2.8	***	***
CORACHAR	67	22.7	25.7	3.0	3.5	***	***
VILLORES	67	26.7	29.5	2.8	3.7	***	***
Valor en todas las estaciones	**729**	**24.5**	**27.1**	**2.6**	**3.5**	*******	**0.77**

debido a la complejidad topográfica y a las deficiencias en la inicialización de las propiedades termodinámicas del suelo que juegan un papel en el balance de la energía local simulada. Además, es importante destacar que las temperaturas peor simuladas fueron detectadas durante las horas nocturnas, probablemente debido a las limitaciones de la parametrización de la capa límite planetaria (PBL) del RAMS bajo condiciones estables.

El enfriamiento nocturno de las capas bajas de la troposfera no ha sido bien reproducido por el modelo en la mayoría de emplazamientos dentro del territorio interior. Aún así, el índice de acuerdo es de 0.77, p. ej. la evolución diaria y de día a día de la temperatura, está bien reproducida por el modelo.

Las observaciones meteorológicas de la velocidad y dirección del viento se hicieron a una altura de 10 m s.n.t.. En este período veraniego de tres días (con cielos despejados y velocidades de viento superficial bajas), los resultados del día a día son bastante consecuentes y se consiguieron buenos resultados para el RMSE de la velocidad del viento a 10 m s.n.t. (1.4 m s^{-1}) y para la diferencia del vector viento a la misma altura (1.9 m s^{-1}) (tabla 2 y figura 3). No se observó ningún sesgo sistemático en el modelo, y el valor de error sistemático medio obtenido (-0.3 m s^{-1}) es el resultado de una distribución limpia y no desviada alrededor de cero. Coherentemente, el índice de acuerdo obtenido para todas las medidas para las once estaciones (727 valores de cada hora) fue de 0.82 (tabla 1).

Es importante destacar que para velocidades de viento bajas (por debajo de 0.5 m s^{-1}), se sabe que las direcciones de viento medidas en las estaciones son variables y poco fiables. Esta característica hace difícil comprobar los vientos de drenaje simulados sobre la base de la dirección del viento. Sin embargo, utilizando contaminantes del aire como trazadores de oportunidad durante períodos diurnos consecutivos (de 2 a 4 días o más), es posible deducir la dinámica nocturna de los vientos, así como comprobar directamente las brisas marinas diurnas (con velocidades de viento mucho más altas que las nocturnas).

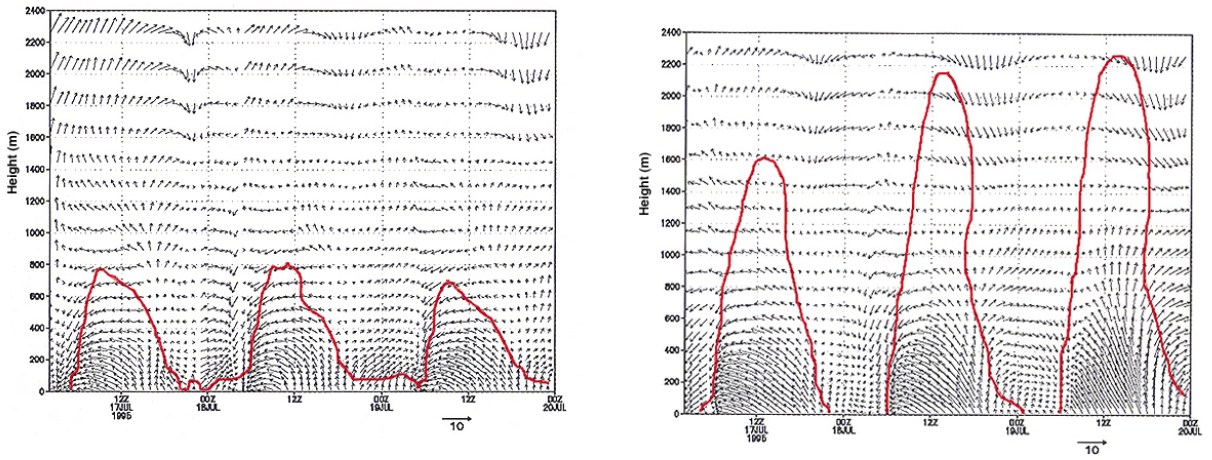

Figura 4. Comparación entre la simulación meteorológica (A) (fig. izquierda) dentro de G_2 para la simulación S_1, p. ej., con retroacciones de la región interior y la simulación meteorológica (B) (fig. derecha) dentro de la misma malla G_2 pero para la simulación S_2, p. ej., sin retroacciones de la región interior. En cada simulación el comportamiento de la parametrización PBL es distinto. Con una retroacción de las dos regiones de alta resolución, se simula una altura de 800 m s.n.t.. Sin ninguna retroacción de regiones de alta resolución, se consigue una altura PBL de 2100 m s.n.t. También cabe destacar la distinta estructura de campo de viento debida a la retroacción de regiones interiores (principalmente durante las horas nocturnas). Estas series se consiguieron en la vertical de la central eléctrica. La PBL empieza a nivel del suelo y llega hasta que el TKE es inferior (o igual) al umbral fijado, 0.001 $m^2\ s^{-2}$.

Como primer resultado de la comprobación (ver detalles en Palau et al. (2005)), cabe destacar que, como el índice de acuerdo para las dos magnitudes (temperatura y velocidad del viento) es el resultado de una media espacial y temporal sobre todo el territorio G_4, el grado con el cual la variable observada es adecuadamente estimada por la variable simulada es de 77% para la temperatura y de 82% para la velocidad del viento dentro del territorio de alta resolución.

3 Efectos de retroacción a partir de pequeñas escalas

Para comprobar el efecto que las distintas escalas meteorológicas resueltas tienen en la simulación del comportamiento del contaminante en una zona costera de terreno complejo, comparamos dos configuraciones meteorológicas del modelo RAMS. Tal como hemos descrito antes (dentro de la "configuración de modelo"), en ambos casos hemos utilizado exactamente las mismas condiciones iniciales y de contorno; la única diferencia es que la solución meteorológica S_{12} ha resuelto la meteorología de mejor escala. Además, la simulación S_{22} no tiene más información meteorológica de mejor escala debido a las configuraciones anidadas en dos sentidos de sólo dos territorios (tabla 1).

La simulación de campo de viento S_{12} muestra el ciclo diario de las típicas corrientes costeras con circulaciones de corriente de aire ascendente arrastradas hacia tierra que mueren durante la noche. A pesar de la malla de 13.5 km de medida, los vientos de drenaje de primera hora de la mañana hasta las 07 UTC son capturados por la simulación S_{12}, a causa de la facultad del modelo para trabajar con la información resuelta dentro de los territorios interiores (4.5 y 1.5 km). Con la configuración de la simulación S_{22} (sin regiones interiores), el comportamiento del campo de viento en los niveles bajos es esencialmente diferente al caso anterior. Es interesante destacar que el viento de drenaje no se reproduce durante la noche en el último caso (fig. 4B). Otra característica importante es la diferencia en el comportamiento de la parametrización de la PBL entre las dos simulaciones. Mientras que en S_{12} la altura máxima es de 800 m s.n.t., en S_{22} se extiende hasta 2100 m s.n.t. (fig. 4). Es necesario destacar que estas series de tiempo se consiguieron en la vertical de la central eléctrica y que la PBL comienza a nivel del suelo y sube hasta que el TKE es inferior (o igual) al umbral fijado, 0.001 $m^2\ s^{-2}$.

Este análisis de los datos meteorológicos muestra diferencias importantes en las salidas del modelo de mesoescala entre las dos aproximaciones meteorológicas: en la primera (S_{12}), los efectos de alta resolución están incluidos gracias a la opción de dos sentidos entre mallas, y en la segunda (S_{22}), el modelo resuelve la resolución de malla de 13.5 km sin ninguna retroacción de las regiones interiores (fig. 4).

Para comprobar las implicaciones de las dos distintas aproximaciones meteorológicas en la simulación de un penacho desde un foco de emisión situado en una zona como Castellón, las dos salidas del modelo fueron utilizadas para hacer funcionar dos simulaciones respectivas del HYPACT. La distribución vertical de la concentración simulada de SO_2 a una Lon 0°, desde las 00 UTC del 18 de julio hasta las 18 UTC del 18 de julio, difiere mucho en las dos simulaciones (S_{12} frente a S_{22}); figuras 5 y 6.

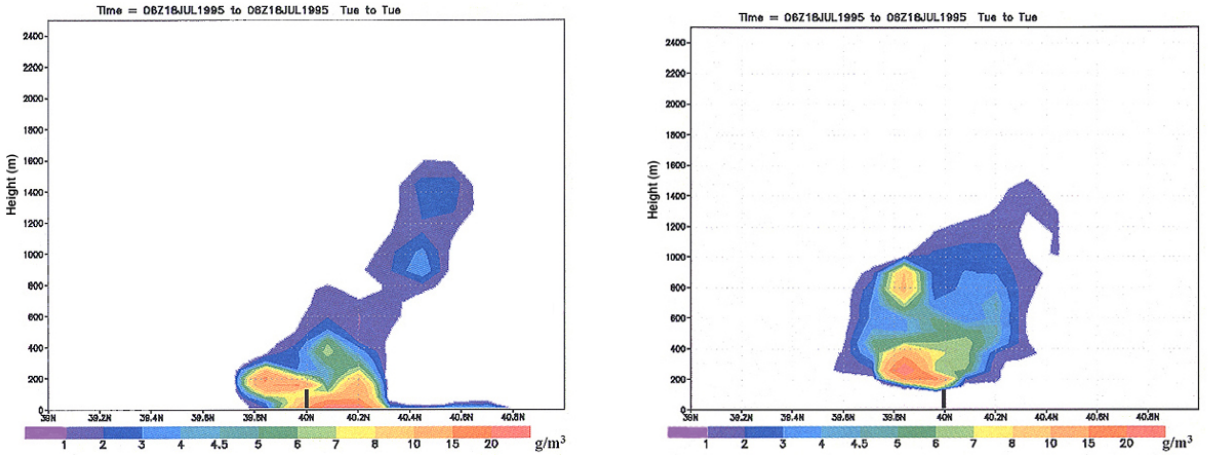

Figura 5. Sección de corte transversal, espacialmente indicada en la figura 1, del penacho simulado dentro de la malla G_2 para las dos simulaciones meteorológicas, S_1 y S_2. La línea negra en la Lat. 40N indica la altura de la chimenea de la central eléctrica. La simulación (A) (fig. izquierda) S_{12} y la simulación (B) (fig. derecha) S_{22} de la distribución vertical de la SO_2 simulada en la Lon 0° para las 06 UTC del 18 de julio de 1995. Nuevas emisiones (penacho alto) sufren una advección hacia el sur paralelamente a la costa dentro de una capa estable de corriente de drenaje nocturno. Se observan grandes diferencias en las concentraciones a nivel del suelo de SO_2. En el caso (A) las concentraciones en el suelo son debidas a las emisiones que han sido transportadas por advección en el interior con la brisa marina en el día anterior y devueltas hacia la costa con vientos de drenaje.

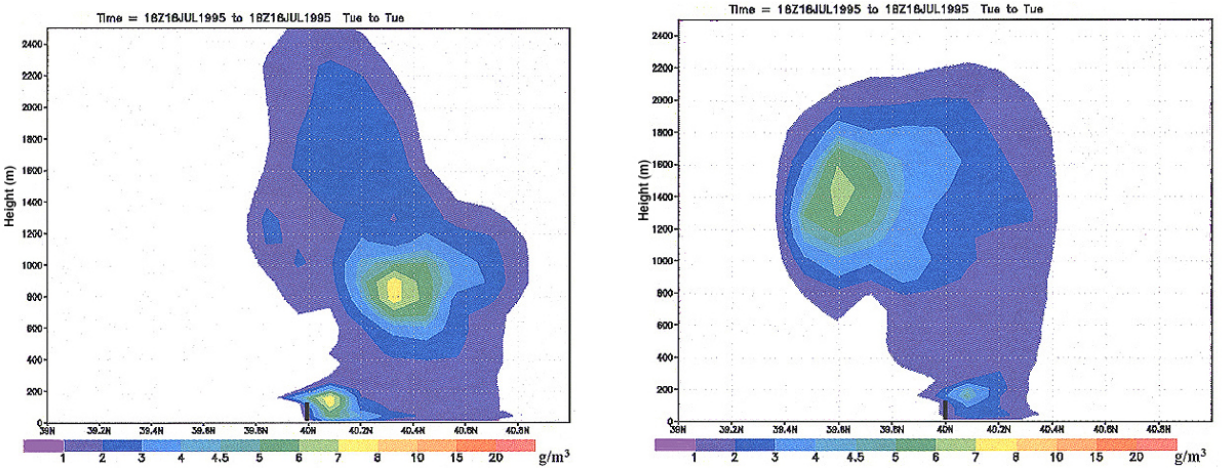

Figura 6. Sección de corte transversal, espacialmente indicada en la figura 1, del penacho simulado dentro de la malla G_2 para las dos simulaciones meteorológicas, S_1 y S_2. La línea negra en la Lat. 40N indica la altura de la chimenea de la central eléctrica. La simulación (A) (fig. izquierda) S_{12} y la simulación (B) (fig. derecha) S_{22} de la distribución vertical de la SO_2 simulada en la Lon 0° para las 18 UTC del 18 de julio de 1995. Al final del período de día del segundo día simulado, las diferencias entre las simulaciones respecto a la máxima altura de concentración se hace evidente. En el primer caso (con retracción de la región interior) las fumigaciones de penacho tienen concentraciones más altas que en el segundo caso (sin retroacción de las regiones de resolución más alta). Además, las corrientes de regreso de la brisa marina alta se sitúan en distintas alturas y los penachos altos simulados se sitúan en distintos lugares según si se tienen en consideración o no los efectos de retroacción (diferencias en el eje del penacho medio de más de 0.7°).

Estos resultados muestran que en una zona de terreno costero complejo, la corriente de aire y la capa límite estimada por los modelos pueden ser muy distintas según la escala meteorológica resuelta, cosa que condiciona fuertemente el comportamiento del contaminante simulado por el Modelo de Partícula del HYPACT. Los resultados mostrados se obtuvieron basándose en la descarga de partículas a 175 m s.n.t. (según la altura estimada del penacho). En cambio, cuando cambiamos la altura de descarga a 25 m s.n.t. para representar la altura de emisión de cualquier contaminante urbano, obtuvimos resultados similares (no mostrados). Así, la facultad para simular el comportamiento de los contaminantes emitidos en la zona de Castellón, al menos en los primeros 200 m s.n.t., dependerá fuertemente de su facultad para reproducir correctamente el ciclo diario de la baja atmósfera.

Estos resultados son relevantes a la luz del hecho que algunas de las aproximaciones meteorológicas comúnmente consideradas para predecir episodios de contaminación del aire urbano no tienen en consideración la importancia de las escalas más pequeñas (y el efecto sinergético entre las escalas meteorológicas) para explicar la meteorología de lugares como la costa mediterránea española.

4 Conclusiones

La disponibilidad tanto de datos meteorológicos 10 m s.n.t. como de las otras medidas experimentales obtenidas por medio de un vehículo equipado con un sensor remoto nos permitió una simulación de alta resolución (S_{14}; con una medida de malla de 1.5 km) del comportamiento diario del penacho de una central eléctrica (situada en una zona costera de terreno complejo) por medio del modelo de mesoescala RAMS acoplado al modelo de partícula HYPACT.

Este doble procedimiento de modelo-comprobación dio dos resultados: A) Pudimos evaluar el grado con el cual la variable observada era adecuadamente calculada por la variable simulada (índice de acuerdo) en once lugares situados dentro del territorio de alta resolución, obteniendo valores de 77% para la temperatura y 82% para la velocidad del viento; y B) pudimos reproducir el ciclo diario de un penacho de foco de emisión en una zona costera de terreno complejo porque la resolución horizontal más utilizada nos permitió simular la dinámica de los vientos (desarrollo de la brisa marina y vientos de drenaje).

Se realizaron dos simulaciones adicionales de los modelos acoplados utilizando una medida de malla de 13.5 km. En la primera (S_{12}) los efectos de alta resolución estaban incluidos gracias a la facultad del modelo para trabajar con interacciones a dos sentidos entre las regiones interiores, mientras que en la segunda (S_{22}) no había efectos de retroacción con las escalas mejores. Como resultado de esto, en nuestra simulación de dispersión de contaminantes en las capas más bajas de la atmósfera en una zona costera de terreno complejo, pudimos comparar los efectos de dos aproximaciones meteorológicas distintas por lo que respecta a las escalas resueltas. Las principales diferencias obtenidas fueron:

- Las advecciones de contaminantes en las simulaciones S_{12} y S_{22} difieren en gran manera durante las primera horas de la mañana debido a la diferencia en los vientos de drenaje. Esta diferencia se acumula a lo largo del ciclo diario porque las emisiones que sufren una advección durante las corrientes de drenaje son barridas hacia el interior con el desarrollo de la brisa marina diurna.
- La distribución vertical de la concentración simulada de SO_2 es muy distinta en las dos simulaciones como consecuencia de las discrepancias en el comportamiento de la parametrización PBL: la simulación S_{12} predice valores de concentración mucho más alta para las capas bajas que la simulación sin efectos de alta resolución.

Los resultados muestran que en un emplazamiento costero de terreno complejo, debido al fuerte efecto de las interacciones meteorológicas entre las distintas escalas sobre la advección integral y la turbulenta dispersión de contaminantes, utilizar una escala inadecuada para resolver la meteorología puede dar como resultado un vacío en la simulación del comportamiento de los contaminantes en la capa más baja a escalas urbanas.

Agradecimientos. La fundación CEAM recibe la ayuda de la Generalitat Valenciana y de BANCAIXA (Valencia). A los autores les gustaría dar las gracias a la gente de la Fundación CEAM que han participado en la campaña de las medidas de campo. Este estudio ha sido financiado principalmente por el proyecto de investigación de la CE FUMAPEX – EVK4-CT-2002-00097-, por el Ministerio de Ciencia y Tecnología – REN2002-10681-E-, y el proyecto de investigación MEDICO-GV04B-069 de la Generalitat Valenciana. La Comisión de las Comunidades Europeas también ayudó a las campañas experimentales bajo el proyecto BEMA Paso 1 (1994-95) -11096.95.07 F1PC.ISP E-.

Referencias

Millán, M. M., Gallant, A. J., y Turner, H. E., 1976: *The application of correlation spectroscopy to the study of dispersion from tall stacks*, Atmos. Environ., pp. 499–511.

Palau, J. L., Pérez-Landa, G., Diéguez, J. J., Monter, C., y Millán, M. M., 2005: *The importance of meteorological scales to forecast air pollution scenarios on coastal complex terrain*, Atmos. Chem. Phys., **5**, 2771–2785.

Palau, J. L., Pérez-Landa, G., Meliá, J., Segarra, D., y Millán, M. M., 2006: *A study of dispersion in complex terrain under winter conditions using high-resolution mesoscale and Lagrangian particle models*, Atmos. Chem. Phys., **6**, 1105–1134.

R. A. Pielke, R., Cotton, W. R., Walko, R. L., Tremback, C. L., Lyons, W. A., Grasso, D., Nichols, M. E., Moran, M. D., Wesley, D. A., Lee, T. L., y Copelands, J. H., 1992: *A comprehensive meteorological modeling system-RAMS*, Meteorol. Atmos. Phys., pp. 69–91.

Trembak, C. J., Lyons, W. A., Thorson, W. P., y Walko, R. L., 1993: *An emergency response and local weather forecasting software system*, (18 Eds.), Proceedings of the 20th ITM on Air Pollution and its Application Plenum Press, New York, pp. 423–429.