



VNIVERSITAT
E VALÈNCIA

TESIS DOCTORAL

**Modelización de riesgos climáticos y sistemas de vigilancia y alerta en la
Comunitat Valenciana**

Igor Gómez Doménech

2013

Directores: Dra. María José Estrela Navarro y Dr. Vicente Caselles Miralles

Doctorado en Física del Medio Ambiente

Departament de Física de la Terra i Termodinàmica

Facultat de Física

Dña. María José Estrela Navarro, Directora de la Unidad Mixta CEAM-UVEG y Profesora Titular del Departament de Geografia de la Facultat de Geografia i Història de la Universitat de València, y

D. Vicente Caselles Miralles, Catedrático de Física Aplicada, adscrito al Departament de Física de la Terra i Termodinàmica de la Facultat de Física de la Universitat de València,

CERTIFICAN

Que la Tesis titulada "***Modelización de riesgos climáticos y sistemas de vigilancia y alerta en la Comunitat Valenciana***" ha sido realizada bajo nuestra codirección en el Departamento de Meteorología-Climatología de la Fundación CEAM y en el Departament de Física de la Terra i Termodinàmica de la Universitat de València, por Igor Gómez Doménech, y constituye su Tesis Doctoral para optar al grado de Doctor en Física.

Y para que así conste, en cumplimiento de la legislación vigente firmamos el presente certificado en Burjassot, a 22 de Abril de 2013.

Fdo.: María José Estrela Navarro

Fdo.: Vicente Caselles Miralles

*Casi todo lo que realice será
insignificante, pero es muy
importante que lo haga.
Mahatma Gandhi*

A la meua iaia Carmen, a Vane, als
meus pares i a la meua germana

Agradecimientos

Llegados a este punto, en que parece que este proyecto toca a su fin, no puedo más que mostrar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han estado ahí así como a aquellas que, aún sin saberlo, han aportado tanto para que la conclusión de esta Tesis sea una realidad.

En primer lugar, esto no habría podido ser así sin la inestimable ayuda y ánimo de María José Estrela, “mi jefa” y mucho más en los casi ocho años que trabajé con ella en el Área de Meteorología y Climatología de la Fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo (CEAM). Gracias por acordarte de mí y rescatar el tema. Agradecerle, además, el ponerme en contacto con Vicente Caselles, quien inmediatamente se ofreció para dirigir este trabajo y me aceptó como doctorando. Gracias a Vicente también por su visión tanto en la organización como en el desarrollo de esta Tesis.

Me gustaría también mostrar aquí mi agradecimiento al resto de componentes del grupo de Meteorología de la Fundación CEAM con los que compartí parte de este trayecto. A Paco Pastor, con quien he trabajado más de cerca en estos últimos años, pero también a José Antonio Valiente y María Jesús Barberá, con quienes inicié mi etapa y andadura en el CEAM. A David Corell y Javi Miró, por su disponibilidad siempre inmediata ante cualquier cuestión. También al resto de compañeros que, como yo, han pasado y dejado atrás el departamento, como Raquel Niclós, María José Marín y César Azorín.

A Vane, por estar siempre ahí y animarme a comenzar esta etapa y seguir adelante. A mis padres, por toda su entrega, apoyo y aliento. A mi hermana, por ver en mí lo que a veces se me escapa.

Finalmente, dar las gracias a todos los que en este tiempo se han cruzado en mi vida, o yo me he cruzado en las suyas, porque de todos me queda algo, y de una forma u otra me han ayudado a llegar hasta aquí.

Índice

1. Introducción	1
1.1. Zona de estudio	1
1.2. Riesgos climáticos en la zona de estudio	2
1.3. Objetivos	5
2. Metodología	9
2.1. Modelos de pronóstico	9
2.2. El modelo RAMS	13
2.3. Sistema de predicción meteorológica operativa	13
2.4. Monitorización del sistema de predicción meteorológica operativa ..	17
2.5. Sistema de Vigilancia del Índice UV	23
3. Resultados	29
3.1. Selección del evento de precipitación	29
3.2. Observaciones de precipitación en superficie	30
3.3. Análisis sinóptico del evento	34
3.4. Configuración del modelo RAMS	38
3.5. Modelización numérica	41
3.5.1. Estudio del rol de la orografía	43
3.5.2. Estudio de la parametrización convectiva	47
3.5.3. Verificación de las simulaciones RAMS	53
3.6. Validación del sistema de predicción operativa del UVI	57
3.7. Difusión de la información generada por los sistemas de vigilancia y alerta	61
4. Conclusiones	65
Bibliografía	71

Capítulo 1

Introducción

Las ciencias aplicadas no existen, solo las aplicaciones de las ciencias.

Louis Pasteur.

En este capítulo se describe someramente las características fisiográficas más importantes del territorio que delimita la Comunitat Valenciana, así como los procesos atmosféricos y riesgos climáticos que afectan a esta zona. Finalmente, se incluyen los objetivos de la Tesis.

1.1. Zona de estudio

La parte oriental de la Comunitat Valenciana está bordeada por el mar Mediterráneo es su parte más oriental, mientras que no lejos de la costa y más hacia el interior, encontramos cadenas montañosas con alturas superiores a los 1500 m (Figura 1.1).

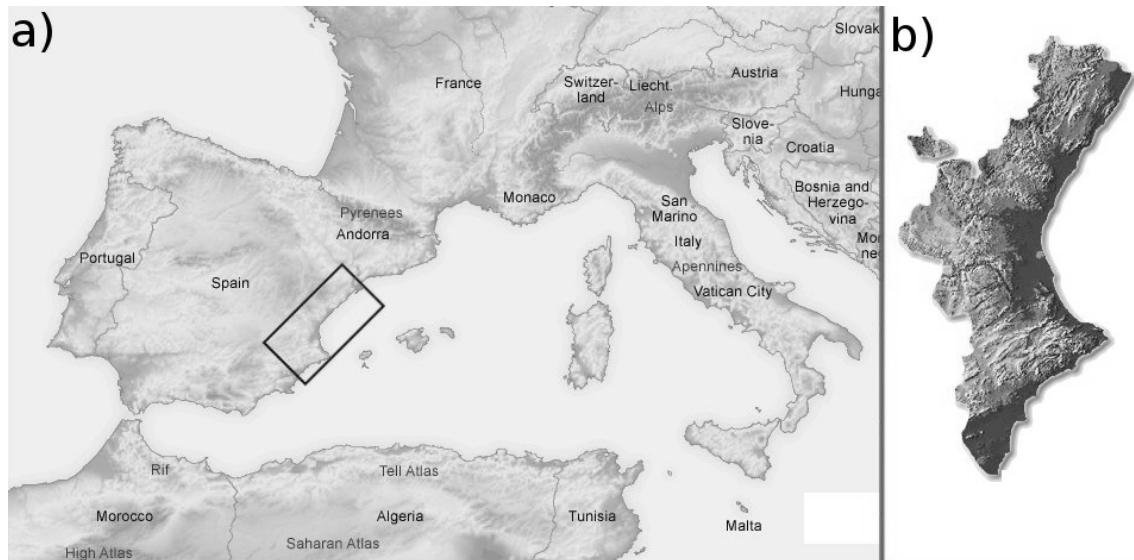


Figura 1.1. El territorio de la Comunitat Valenciana en el Mar Mediterráneo: localización (a) y orografía (b).

El conjunto físico de esta región está formado por tres grandes unidades de relieve (Figura 1.1). En primer lugar, tenemos la zona montañosa de la Cordillera Ibérica que se mantiene de forma dominante en la dirección noroeste-sudeste, y ocupa la mitad septentrional del territorio. En segundo lugar, tenemos en esta área las últimas estribaciones de las Cordilleras Béticas, con una dirección estructural dominante suroeste-noreste, situado en la mitad sur. Estos dos ámbitos confluyen en los macizos de Caroche y Mondúver. Finalmente, tenemos las llanuras litorales. En términos de altitud, los picos del interior de la Comunitat Valenciana son los correspondientes a las estribaciones de los dos grandes conjuntos ibéricos. Así, destacan cumbres desde alrededor de los 1.800 m, como el Peñagolosa (1.814 m), hasta unos 1.400 m, como Pina (1.405 m), en el Sistema Ibérico. En el Bético, destacan los picos de Aitana (1.558 m) o el Puig Campana (1.410 m), en la Provincia de Alicante (Figura 1.2). Las llanuras litorales, en cambio, se ubican alrededor de unos 50 m sobre el nivel del mar.

1.2. Riesgos climáticos en la zona de estudio

La complejidad orográfica de la cuenca mediterránea occidental ejerce una fuerte influencia en los regímenes del tiempo debido a la generación de circulaciones de mesoescala locales y regionales en escalas de tiempo diurnas (Millán et al., 1997;

Gangoiti et al., 2001). De esta forma, la Comunitat Valenciana combina la dificultad que presentan los contrastes tierra-mar, la complejidad del terreno y las circulaciones mesoescalares a escala más grande (Pérez-Landa et al., 2007a). Debido a su posición geográfica y sus características físicas y climáticas, es una región especialmente sensible a determinados riesgos climáticos y meteorológicos, entre los que se encuentran las precipitaciones torrenciales (Millán et al., 1995; Pastor et al., 2001; Estrela et al., 2002; Pastor et al., 2010; Gómez et al., 2011), los incendios forestales (Gómez-Tejedor et al., 1999) o las olas de calor (Miró et al., 2006; Estrela et al., 2007; Estrela et al., 2008; Gómez et al., 2007; Gómez et al., 2009a; Gómez et al., 2009b; Gómez et al., 2010a; Gómez et al., 2010b; Gómez et al., 2010c).

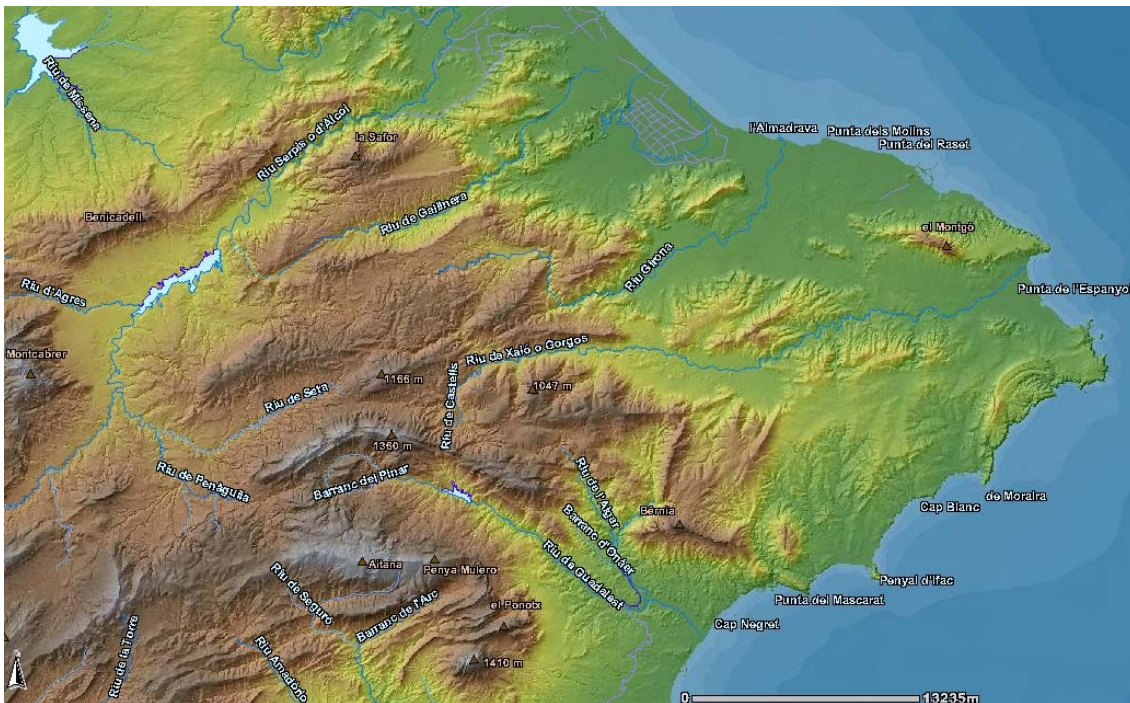


Figura 1.2. Orografía de la Provincia del Norte de Alicante (Cortesía de la Conselleria de Medi Ambient, Aigua, Urbanisme i Habitatge de la Generalitat Valenciana).

Hacia finales de primavera, la Península Ibérica comienza a quedar progresivamente aislada de las depresiones atlánticas y sus sistemas frontales, mientras se afianza el anticiclón de las Azores y se extiende una dorsal de altas presiones semi-permanente hacia el Cantábrico (Millán et al., 2005b). Sobre la Península Ibérica, estas condiciones favorecen el desarrollo de circulaciones mesoescalares. En la Comunitat Valenciana, bajo condiciones de verano, se observa un marcado ciclo diurno en la presión y la dirección del viento. Este período se caracteriza por el drenaje nocturno de

vientos catabáticos canalizados por los valles, un régimen de brisas combinado en el que la brisa del mar se funde con el levantamiento de convección sobre las montañas seguido por un flujo de subsidencia sobre el mar, y un régimen de tarde, donde una importante presión mínima interior puede interactuar con la brisa combinada y cambiar el patrón de flujo (Pérez-Landa et al., 2007a, Salvador et al., 1997). Durante el período estival, las altas temperaturas permiten alcanzar valores máximos superiores a los 30°C, así como temperaturas mínimas superiores a 20°C, durante las llamadas noches tropicales (Miró et al., 2006; Estrela et al., 2007, 2008).

A finales del verano y otoño, es frecuente el desarrollo de gran inestabilidad sobre el mar Mediterráneo, así como una importante actividad convectiva, debido a las diferencias de temperatura entre el aire continental (frío) y la superficie del mar (caliente). Esta inestabilidad modifica las características de la masa de aire continental y la carga de humedad. Como resultado de estos procesos se pueden producir eventos de precipitaciones torrenciales intensos en la Comunitat Valenciana (Millán et al., 2005). Algunos autores han estudiado previamente los patrones sinópticos y la distribución espacial de este tipo de eventos meteorológicos en dicha región (Peñarrocha et al., 2002). Además, se ha analizado la contribución relativa de este tipo de precipitación en la lluvia total de la zona (Millán et al., 2005). Finalmente, se ha evaluado la relación existente entre la temperatura de la superficie del mar y los eventos de precipitaciones torrenciales en la Comunitat Valenciana (Pastor et al., 2001).

En condiciones de invierno, dominan aquellas situaciones meteorológicas correspondientes a sistemas frontales atlánticos que cruzan la Península Ibérica, junto con la migración de áreas de alta presión hacia el centro del continente. El movimiento de estas áreas de alta presión hacia el este provoca la entrada de aire frío continental sobre el Mediterráneo, a través del paso del Ródano (Millán et al., 2005). Durante el período invernal, la Comunitat Valenciana se ve afectada por bajas temperaturas, relacionadas principalmente con la entrada de aire polar continental del nordeste o situaciones anticiclónicas. El primer caso se asocia con aire seco sobre la Comunitat Valenciana, que no produce precipitaciones de nieve. Para la segunda situación, el flujo de aire proviene del Golfo de León y Los Pirineos. En este

caso, tampoco se produce nieve o se da poca precipitación de este tipo. Esta situación es potencialmente la más fría. Cuando vientos del nordeste están relacionados con esta segunda situación, a la Comunitat Valenciana llega aire húmedo, después de viajar a lo largo del mar Mediterráneo desde el norte de Italia. En este caso, los episodios de nieve pueden ser importantes. Finalmente, también se producen situaciones de fuerte enfriamiento radiativo de la tierra y la correspondiente inversión de temperatura en superficie en los valles y áreas llanas de la Comunitat, especialmente localizadas hacia el interior. Esta situación produce temperaturas muy bajas, pero se da en áreas propensas a este tipo de fenómenos. Además de lo comentado, la entrada de aire proveniente del noroeste puede provocar también temperaturas relativamente bajas, pero en principio este tipo de situaciones no son las responsables de las temperaturas más bajas sobre esta región.

1.3. Objetivos

Desde sus inicios, el programa de Meteorología y Climatología de la Fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo (CEAM), trabaja en el estudio de los riesgos meteorológicos que afectan a la Comunitat Valenciana, debido en gran medida al impacto que suponen para la población, las actividades humanas, etc.

El previsible panorama de futuro que presenta el marco del cambio climático en este territorio, se corresponde con una agudización de los extremos y un incremento del riesgo, como se ha puesto de manifiesto en diferentes estudios recientes (Millán et al., 2005; Miró et al., 2006; Estrela et al., 2008). En los últimos años, los seres humanos ya están sufriendo los efectos del cambio global en fenómenos tales como el aumento de la mortalidad debido a las olas de calor, el incremento de riesgo de los incendios forestales y la pérdida de cosechas, que ocasionan hambrunas. Pero no sólo se deben tener en cuenta este tipo de riesgos climáticos. Así, en este contexto, se ha observado además cómo el contenido del ozono atmosférico ha sufrido una disminución constante en los últimos años, lo que ha originado que en algunas regiones del planeta se haya registrado un aumento no despreciable en los valores de la radiación solar ultravioleta (UV)

incidente a nivel del suelo, que es la que más efectos nocivos produce en los seres vivos.

Ante el horizonte que todo ello plantea, resulta evidente que la mejora de los sistemas de previsión va a tener un valor estratégico. Un buen pronóstico de los riesgos climáticos no implica evitarlos, como es obvio, pero sí permite establecer mecanismos orientados a minimizar en mayor medida sus consecuencias. Teniendo en cuenta los beneficios y la utilidad que de los sistemas de pronóstico se puede obtener, y los conocimientos adquiridos de los procesos atmosféricos y físicos relacionados con riesgos meteorológicos que afectan a esta zona, se establece el primer objetivo de esta Tesis. Este objetivo se centra en el diseño y desarrollo de diferentes sistemas de vigilancia y alerta en el territorio de la Comunitat Valenciana orientados a la modelización de riesgos climáticos en tiempo real, de forma que se pueda proporcionar información meteorológica de interés a diferentes estamentos públicos y entidades privadas, así como el público en general.

De este objetivo general, se derivan los siguientes objetivos específicos:

- Implementación de un sistema integrado de predicción meteorológico en tiempo real, basado en el modelo mesoescalar *Regional Atmospheric Modeling System* (RAMS). El procedimiento utilizado está orientado a cubrir un amplio abanico de aplicaciones: temperaturas extremas, lluvias intensas, incendios forestales, etc.
- Introducir la utilización de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) para el desarrollo e implementación de sistemas de vigilancia y alerta, así como de diferentes productos y servicios relacionados con la información meteorológica y sus aplicaciones medioambientales. Las TIC agrupan los elementos y las técnicas usadas en el tratamiento y transmisión de la información, principalmente la informática, Internet y las telecomunicaciones, haciendo especial hincapié en los aspectos sociales de estas herramientas.
- Proponer y desarrollar una metodología orientada a llevar a cabo la coordinación de los diferentes pasos que comprende la modelización atmosférica

en tiempo real, con la intención de facilitar las tareas realizadas en la administración de este tipo de sistemas para una amplia variedad de usuarios, independientemente de sus habilidades en las TIC, así como de su nivel de conocimiento de la modelización numérica meseoscalar o regional.

- Desarrollar una interfaz gráfica de usuario y el entorno computacional adecuado para facilitar la monitorización, control y visualización de los procesos implicados en la simulación atmosférica de un sistema de previsión operativa.
- Implementar un sistema de previsión del Índice Ultravioleta (UVI) orientado a proporcionar al público en general información fácilmente accesible de este índice, con el fin de minimizar el impacto de la radiación UV en la población y adoptar las medidas de fotoprotección necesarias.

El segundo objetivo de esta Tesis estaría orientado a la modelización de riesgos climáticos típicos del territorio de la Comunitat Valenciana, en concreto la modelización de lluvias intensas y la influencia de diferentes parámetros físicos y fisiográficos en los resultados de modelización y previsión. Este aspecto de la Tesis se centra en la zona sur de la provincia de Valencia y norte de la provincia de Alicante, donde se concentran los registros más importantes de precipitación para este tipo de episodios meteorológicos.

De este objetivo general, se derivan los siguientes objetivos específicos:

- Aplicar el modelo RAMS como una herramienta adecuada que permita investigar y reproducir las características principales de las lluvias torrenciales en la zona de estudio. La utilización de dicho modelo nos va a ayudar a comprender y asimilar este tipo de eventos, teniendo en cuenta patrones meteorológicos tanto sinópticos como mesoescalares, además de poder evaluar datos en superficie, básicamente relacionados con la precipitación.
- Determinar el papel que desempeña la orografía en el inicio y desarrollo de este tipo de eventos meteorológicos, así como la sensibilidad que imprime este factor en los resultados de modelización y previsión.

- Comparar la influencia de diferentes parametrizaciones de cúmulos disponibles actualmente en el modelo RAMS en los resultados de modelización y predicción de precipitaciones torrenciales en la Comunitat Valenciana. Además, se pretende diagnosticar la viabilidad y la idoneidad de activar estas parametrizaciones en mallas de simulación de media y alta resolución horizontal, donde el efecto de estos parámetros y su influencia en los pronósticos no son tan obvios y manifiestos.

Capítulo 2

Metodología

Todo debería hacerse tan simple como se pueda, pero no más simple.

Albert Einstein.

En este capítulo se describe la metodología seguida en el diseño, desarrollo e implementación de sistemas de vigilancia y alerta de riesgos climáticos y su modelización en la Comunitat Valenciana. En concreto, se describe el sistema de previsión meteorológica operativa para este territorio, del que se derivan diversos sistemas de vigilancia meteorológica, y el sistema de predicción del Índice UV.

2.1. Modelos de pronóstico

Según la escala espacial y temporal de los fenómenos a estudiar, se han desarrollado distintos tipos de modelos meteorológicos que permiten representar con diferente nivel de detalle el estado de la atmósfera. Estos modelos se dividen básicamente en modelos de circulación general, modelos regionales, modelos mesoescalares y modelos no-hidrostáticos de nube. Los primeros trabajan en la macroescala, mientras que los modelos regionales y mesoescalares describen de forma

óptima los fenómenos comprendidos entre la macroescala y la microescala. No existe una clara división entre estos dos tipos, pero se puede decir que los modelos regionales trabajan con resoluciones de 50-150 km mientras que los mesoescalares trabajan con resoluciones de 1-50 km. Finalmente, los modelos no-hidrostáticos de nube resuelven sistemas propios de la microescala. Las diferentes opciones de modelización se aplicarán dependiendo del fenómeno de estudio y las características del sistema de previsión del tiempo que se desea implementar.

Los modelos meteorológicos solamente son capaces de resolver razonablemente aquellos aspectos o características con una escala espacial de al menos cuatro veces el tamaño de la malla de simulación, en cada una de las tres direcciones espaciales (Pielke, 1991). Así, si queremos representar las características físicas y meteorológicas en una región como la Comunitat Valenciana, resulta necesario incrementar la resolución espacial del modelo meteorológico. Este incremento supone un coste computacional que hay que tener en cuenta, y que no sería factible utilizando modelos globales para obtener previsiones en tiempo real. Por todo ello, se consideran los modelos mesoescalares como los más interesantes para realizar el tipo de estudios que se puedan derivar del presente trabajo.

Los sistemas atmosféricos de mesoescala se pueden dividir en dos grupos (Pielke, 1984): aquellos forzados principalmente por inhomogeneidades de la superficie (conocidos como sistemas mesoescalares inducidos por el terreno) y fenómenos forzados por inestabilidades originadas a gran escala (sistemas mesoescalares inducidos sinópticamente). En la primera categoría se incluirían características como brisas marinas y terrestres, vientos de valle-montaña, circulaciones urbanas, flujos de aire en terreno complejo, mientras que ejemplos del segundo grupo serían zonas de ráfagas, huracanes, etc. (Pielke y Uliasz, 1998). Estas características mesoescalares se desarrollan debido a gradientes horizontales en superficie de los flujos de calor sensible y latente (Pielke y Uliasz, 1998). Los fenómenos que recaen en la primera categoría son menos difíciles de simular debido a que las fuentes de estas circulaciones mesoescalares están fijadas geográficamente con escalas temporales de aproximadamente 12 horas y se repiten frecuentemente (Pielke, 1984). Estos sistemas no viajan grandes distancias de su punto de origen y, en general, no requieren una representación muy detallada de las condiciones iniciales y laterales y superiores de contorno para las variables

dependientes (Pielke, 1984). El grupo de fenómenos mesoescalares iniciados por algún tipo de inestabilidad atmosférica normalmente ocurren menos frecuentemente en una localización dada, al no estar forzados por características geográficas bien definidas. En este caso, los datos de inicialización de una simulación son tremendamente importantes (Pielke, 1984).

Al incrementar la resolución espacial del modelo meteorológico es posible incluir más movimientos mesoescalares en su solución numérica, como las características del terreno o la interfaz tierra-mar, muy importantes en la región de estudio, y que no presentan una buena definición en modelos de baja resolución espacial, como son los modelos globales. Estos modelos no serán capaces de resolver muchas de las características propias de una región específica al tener una baja resolución, en cambio las soluciones que ofrecen y que son utilizadas como condiciones iniciales y laterales de contorno para un modelo mesoescalar permitirán introducir información, en este último, referentes a movimientos inducidos sinópticamente. Por tanto, además de una buena representación de las características físicas de la región de simulación será necesario que el modelo mesoescalar capte las características meteorológicas dominantes, a través de los datos que recibe del modelo global. Esta información debe ser extendida lo más detalladamente posible a las resoluciones de simulación. Para ello, los modelos mesoescalares ofrecen la posibilidad de trabajar con anidación de mallas, de forma cada una de ellas se encarga de resolver los fenómenos propios de la resolución a la que trabaja, y esta información es transferida a la otras, dependiendo de la técnica de anidamiento utilizado. En este sentido, una técnica unidireccional permite que la información obtenida en la simulación de una malla externa, más tosca espacialmente, y con una resolución menor, pase a una malla interior donde la simulación tiene un mayor nivel de detalle, y permite introducir características no incluidas en la malla externa, además de utilizar simultáneamente la información de los movimientos del sistema que son solución de ésta. Si además, la malla interna es capaz de proporcionar información de las soluciones obtenidas a la malla de menor resolución, la técnica utilizada se denomina bidireccional, ya que en este caso, el flujo de información viaja en ambos sentidos, es decir, las dos mallas comparten información de los resultados obtenidos, a diferencia de la técnica unidireccional, donde la información sólo viaja de la malla externa a la interna.

Ante la gran cantidad de modelos mesoescalares desarrollados, resulta difícil seleccionar uno u otro. Sin embargo, estudios comparativos de los resultados obtenidos con diferentes modelos indican que la parte fundamental para simular satisfactoriamente un fenómeno reside en una configuración específica, así como diferentes opciones propias del modelo (Busch et al., 1994). De esta forma, la elección de uno u otro modelo de predicción del tiempo no es una cuestión tan crítica como elegir una buena parametrización y configuración del modelo adoptado. Es por ello, que la elección se ha basado teniendo en cuenta las prestaciones que ofrece, pero también la disponibilidad del mismo y su posible aplicación a la zona de interés.

El modelo seleccionado para llevar a cabo este trabajo es el modelo mesoescalar *Regional Atmospheric Modeling System* (RAMS). Éste incorpora el estado del arte en modelización meteorológica, y es capaz de simular fenómenos atmosféricos que varían desde escalas típicas de nubes de cúmulos hasta la mesoescala (Pielke et al., 1992; Cotton et al., 2003). La elección de RAMS frente a otros modelos del mismo tipo existentes actualmente, se debe principalmente a la experiencia acumulada en la Fundación CEAM. Durante los últimos años se ha llevado a cabo un proceso de adaptación del modelo a las condiciones específicas de la cuenca del Mediterráneo occidental y especialmente de la Comunitat Valenciana. En concreto, se ha analizado la configuración óptima para resolver los procesos meteorológicos locales o mesoescalares propios de la cuenca mediterránea en lo referido a la resolución espacial (Salvador et al., 1999) y cómo se desarrollan las circulaciones de mesoescala en terreno complejo (Pérez-Landa et al., 2007a). El modelo RAMS ha sido ya utilizado en la Fundación CEAM para evaluar la influencia de la temperatura superficial del mar en eventos de precipitaciones torrenciales (Pastor et al., 2001) y para el estudio de la dispersión de contaminantes (Palau et al., 2005a,b; Pérez-Landa et al., 2007a,b), así como para el análisis de situaciones meteorológicas propicias a los incendios forestales (Gómez-Tejedor et al., 1999) o la previsión de olas de calor y frío (Estrela et al., 2007; Gómez et al., 2009a,b).

2.2. El modelo RAMS

El modelo RAMS comprende un gran número de parametrizaciones (Pielke et al., 1992; Cotton et al., 2003), que permiten representar de una forma detallada diversos tipos de fenómenos, y además implementa una serie de técnicas de solución, como el anidamiento de mallas bidireccional, que permiten resolver de forma simultánea e interactiva procesos que tienen lugar a diferentes escalas de movimiento espaciales y temporales. De esta forma, es capaz de mitigar las limitaciones de las simulaciones desanidadas, en las cuales se debe buscar un compromiso entre cubrir un dominio espacial lo suficientemente extenso y obtener la suficiente resolución para resolver un determinado fenómeno local. Con la técnica de anidamiento bidireccional, RAMS es capaz de modelizar circulaciones mesoescalares en un dominio amplio donde una baja resolución es adecuada, y al mismo tiempo resolver estructuras que requieren de una alta resolución, como por ejemplo nubes de cúmulos o flujos turbulentos, en un subdominio de la simulación. El código desarrollado del modelo es muy eficiente y se puede implementar en un clúster de ordenadores (Tremback y Walko, 2001), permitiendo realizar simulaciones con gran nivel de detalle en un tiempo relativamente corto. Estas características, junto a la adaptabilidad del modelo en cuanto a la introducción de nuevas fuentes de datos, hacen del modelo RAMS una de las opciones más interesantes para llevar a cabo implementaciones operativas de modelos de mesoescala.

2.3. Sistema de predicción meteorológica operativa

La implementación de sistemas de vigilancia y alerta de riesgos climáticos, como los que se describen en este trabajo, requieren de un funcionamiento en modo operativo. La vigilancia de este tipo de riesgos se basa así, y en este trabajo concretamente, en la utilización de modelos meteorológicos; y como se ha indicado en el punto anterior, en modelos de mesoescala. Es decir, los sistemas de vigilancia y alerta utilizan las previsiones de este tipo de modelos para generar la información meteorológica correspondiente, que será posteriormente tratada para generar los productos meteorológicos asociados a estos sistemas.

Por ello, el primer paso requiere de la implementación de un sistema operacional que incluya un modelo mesoescalar como base para la generación de la información meteorológica, u otro tipo de modelo que simule las variables atmosféricas requeridas por los sistemas de vigilancia. En este punto se describe el caso del sistema de predicción meteorológica, mientras que más adelante se incluye el sistema de previsión del Índice UV. Una vez se dispone de este sistema operativo, se pueden incluir otros módulos que traten un determinado tipo de variables atmosféricas, con la finalidad de ofrecer los productos y servicios requeridos. Se puede ver claramente cómo el primer paso es, pues, la implementación de este sistema, del cual se pueden derivar otros que permiten el post-procesado de la información generada por éste. Por ejemplo, el sistema operativo desarrollado ofrece servicios y soporte a la Fundación CEAM y otras instituciones públicas y privadas (Estrela et al., 2007; Estrela et al., 2008; Gómez et al., 2009a,b, Gómez y Estrela, 2010): sistema de previsión y vigilancia meteorológica general diaria, sistema de vigilancia y alerta de temperaturas extremas, servicio de previsión del campo de viento para prevención y aviso de riesgo, etc.

En cualquier caso, el desarrollo de un sistema de previsión meteorológica operativa, requiere de la implementación de una serie de procesos, que serán los encargados de iniciar cada una de las partes de que consta el sistema, tal y como se puede observar en la Figura 2.1.

Cada uno de estos procesos está formado por uno o más archivos tipo batch o archivos ejecutables, dependiendo del nivel de complejidad que exija un determinado proceso. Cada uno de estos archivos batch se inicia en modo *background* en el instante preciso según se ha diseñado el sistema, ejecutando una serie de pasos de forma sistemática, orientados a desarrollar una tarea específica dentro del mismo (Estrela et al. 2007; Estrela et al., 2008; Gómez et al., 2007; Gómez y Estrela, 2010).

A la hora de diseñar este sistema, hemos insistido en que los diferentes procesos implicados se desglosen al máximo nivel posible, de forma que se consiga un sistema modular. Este tipo de sistemas proporciona la ventaja de que la modificación de código se realizará con mayor facilidad, sin verse alteradas las otras partes del sistema, y además permite incluir nuevas funcionalidades de una forma sencilla, al no ser tan

dependientes las partes que conforman el conjunto del sistema. Cada una de estas partes, se va a descomponer en una serie de procesos, tal y como se muestra en la Figura 2.1, de forma que nos permitan conseguir el objetivo perseguido.

Una simulación de un modelo de mesoescala como el utilizado en este estudio, comprende básicamente tres partes, que son la inicialización del modelo, la simulación atmosférica, y finalmente el post-procesado de los resultados obtenidos. Para la primera parte, podemos utilizar observaciones regionales y/o locales, así como la salida de un modelo global. Estos datos imprimirán al modelo operativo las condiciones iniciales y laterales de contorno necesarias para la resolución de las ecuaciones que incorpora, y en caso de que sea necesario los datos de entrada al sistema de asimilación de datos utilizado. Una vez tenemos disponible esta información, deberá ser tratada de forma que se pueda introducir en el modelo operativo. Para ello, deberá tener el formato requerido por el mismo. Si esto se ha llevado a cabo correctamente, una nueva simulación puede ser iniciada. Finalmente, los resultados proporcionados por el modelo operativo deberán ser tratados, de manera que les demos la forma en que queremos visualizarlos.

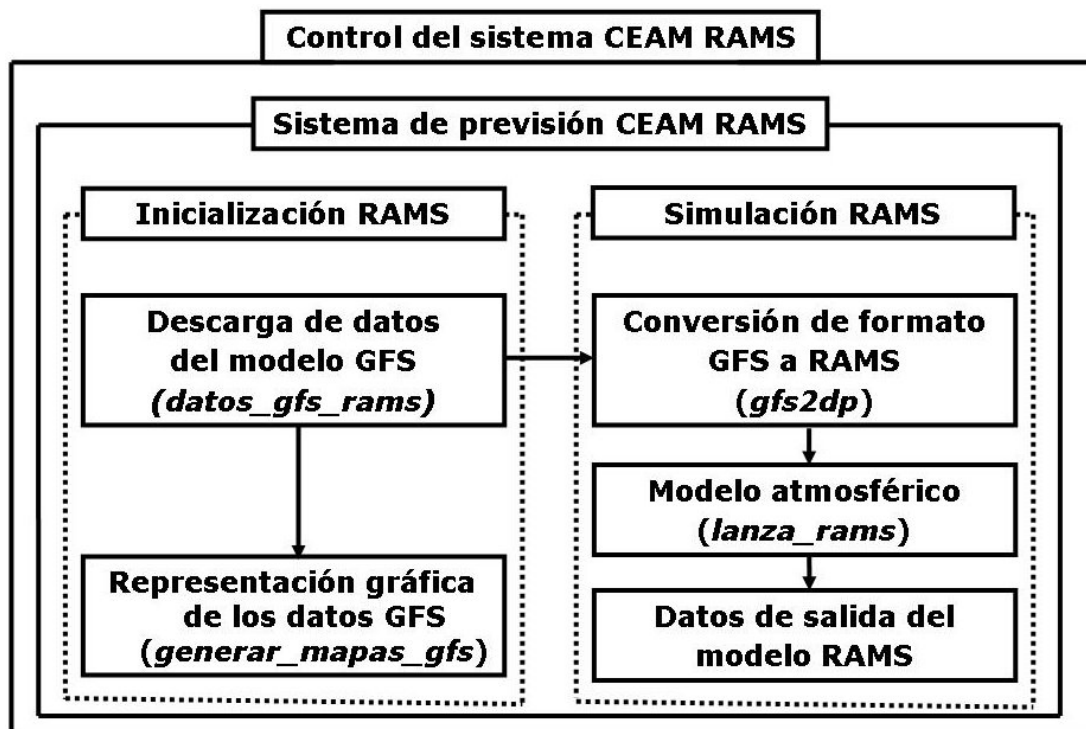


Figura 2.1. Procedimiento operacional seguido en la simulación del modelo RAMS.

Como se observa en la Figura 2.1, el modelo RAMS utiliza como datos de entrada de variables meteorológicas los resultados del modelo global *Global Forecast System* (GFS). GFS es un modelo numérico de previsión del tiempo, que comprende cuatro simulaciones diarias, correspondientes a las horas 0000, 0600, 1200 y 1800 UTC (*Coordinated Universal Time*), y cada una de ellas se extiende hasta un total de 16 días de previsión, disminuyendo la resolución espacial y temporal a partir del octavo día. Los archivos de datos resultantes de su ejecución, se van incluyendo en diferentes servidores del *National Centre for Environmental Prediction* (NCEP), a medida que se van generando. Estos servidores están replicados, de forma que los archivos GFS son accesibles a través de diferentes vías. De entre todos los campos que contienen los archivos del modelo GFS, se seleccionan las componentes horizontales del viento, la altura geopotencial, la temperatura y la humedad, como variables meteorológicas de entrada al modelo RAMS. Estos campos se encuentran definidos en una malla regular con una resolución horizontal de 1x1 grados, que en el hemisferio norte corresponden aproximadamente a 111 km, con un total de 26 niveles verticales.

La primera versión del sistema de modelización operativa se había implementado utilizando la versión estable del modelo RAMS disponible en su momento (versión 4.4). A partir del 2010, se empezó a trabajar en la implementación de la última versión del modelo (versión 6.0) aparecida hasta la fecha, y que supone una actualización de la versión 4.4. Como luego veremos, el diseño del sistema, tiene una serie de ventajas como, por ejemplo, permitir el cambio de modelo de una forma sencilla, o actualizar el código del modelo correspondiente, que correspondería al caso indicado. Además, el diseño del entorno computacional facilita enormemente incluir nuevas funcionalidades. Un ejemplo sería añadir nuevos módulos que ofrezcan un determinado servicio no contemplado inicialmente y poder integrarlo así al sistema original.

Finalmente, cabe señalar aquí que los sistemas de vigilancia y alerta meteorológica, están basados en los productos que se puedan derivar de la simulación del modelo RAMS (Figuras 2.1).

2.4. Monitorización del sistema de predicción meteorológica operativa

En el caso del modelo RAMS, varios sistemas se han propuesto para facilitar el proceso de simulación (Abbs et al., 2006; Weissbluth, 2000). Además, se ha proyectado para el futuro el desarrollo de interfaces gráficas de usuario (*Graphical User Interface*; GUI) para el modelo RAMS y aplicaciones y modelos relacionados (Tremback, 2006). Una GUI es una aplicación informática que utiliza diferentes objetos gráficos para representar las acciones que puede realizar un usuario sobre un sistema dado. De esta forma, se proporciona un entorno visual sencillo que permite la comunicación del usuario con la herramienta o máquina correspondiente. En relación a otros modelos, existe este tipo de aplicaciones para facilitar la tarea al usuario del sistema. Por ejemplo, los desarrolladores del modelo *Weather Research & Forecasting Model* (WRF), han desarrollado el *Weather Research & Forecasting Model Portal* (WRFP, 2009). Esta herramienta es una GUI que permite configurar y ejecutar el modelo WRF: creación de los dominios de modelización, generación de los pasos correspondientes y monitorización del progreso de dichos pasos. Como el modelo RAMS, WRF es un sistema de predicción numérica del tiempo diseñado tanto para realizar pronóstico operativo como para investigación atmosférica.

Weissbluth (2000), desarrolló un sistema con una filosofía similar al anterior, *Model Operation, Configuration, and Control Architecture* (MOCCA), pero utilizando el modelo RAMS como modelo meteorológico. Así mismo, Abbs et al. (2006) desarrollaron el *Relocatable Ocean-Atmosphere Model* (ROAM), que también utiliza RAMS como modelo atmosférico del sistema desarrollado. ROAM es un sistema que pronostica las condiciones atmosféricas y oceánicas para la costa y las plataformas continentales alrededor de Australia con una interfaz simple. Estos desarrollos, son herramientas extremadamente útiles ya que posibilitan modificar la configuración del modelo, iniciar una nueva simulación, etc., de una forma más sencilla e intuitiva. Dado que esto disminuye considerablemente el tiempo de configuración, son enormemente útiles para sistemas de emergencias (Fast et al., 1995; Tremback, 2006). Sin embargo, estas implementaciones están destinadas en última instancia a usuarios que utilizan un determinado modelo atmosférico. Así, deben tener un grado de experiencia en la

utilización y configuración de modelos numéricos y en concreto del modelo atmosférico utilizado.

Normalmente, la configuración del modelo atmosférico es estática en este tipo de sistemas durante un periodo de tiempo, y sólo es reemplazada cuando se observa una configuración que mejora los resultados anteriores. Se puede cambiar el sistema que se ejecuta en segundo plano (*background*) cuando sea preciso, y no es necesario hacerlo en modo *on-line*. De esta forma, no parece que la configuración del modelo sea la principal restricción. Como consecuencia, la administración y gestión del sistema pueden llevarla a cabo diferentes tipos de usuarios y no queda limitada a modelizadores. De hecho, una vez se dispone de la configuración del sistema, un usuario de éste solo necesita saber cómo coordinar los diferentes pasos implicados en el proceso de simulación y monitorizar el sistema en su conjunto. En este sentido, tanto investigadores como personal técnico dedicado a la previsión del tiempo y a la generación de servicios meteorológicos, se pueden encargar de la administración del sistema, abriendo así su uso a una amplia comunidad de usuarios, no solo modelizadores.

Los sistemas propuestos por Abbs et al. (2006), Weissbluth (2000) y WRPf son sistemas muy completos e incluyen soluciones relacionadas con los modelos atmosféricos que implementan. Sin embargo, en el caso de un sistema de predicción operativa, podría ser necesario cambiar el modelo atmosférico utilizado por el sistema de pronóstico, por ejemplo, para adaptar el sistema operacional a una aplicación concreta. En este caso, se necesita un método flexible que permita llevar a cabo esta tarea de una forma más o menos rápida, dado que las anteriores soluciones, diseñadas en base al modelo particular que gestionan, no pueden ser utilizadas para adaptar otro modelo que se pueda utilizar en el sistema de previsión.

Además de lo anterior, una restricción que se presenta al utilizar un sistema como el que aquí se describe es la dependencia del exterior. Como se ha comentado, es necesario alimentar el modelo operativo. En este caso, el modelo global GFS es utilizado para generar las condiciones iniciales y contorno que permiten iniciar el modelo de mesoescala. En segundo lugar, los resultados de la simulación de este modelo, se deben procesar para generar diferentes productos y servicios meteorológicos, que deben ser enviados a diferentes servidores ftp y/o Web externos. En un sistema

operacional, estos puntos es clave y cualquier problema que pueda surgir se debe solucionar en el menor tiempo posible. Se puede ver así que resulta necesario un método que permita la coordinación de los diferentes procesos implicados en el proceso de simulación y solucionar los problemas que puedan surgir. Este punto es crucial si el sistema se orienta a la implementación de sistemas de vigilancia y alerta centrados en riesgos climáticos, de forma que se permita la correcta operación del sistema y la generación y publicación de los resultados tal y como se espera. Para ello, el usuario solo necesita comprobar el estado y ejecución de los diferentes procesos implicados. Esto supone una restricción debido a diversos aspectos técnicos que impiden utilizar el sistema de forma completa. Estos impedimentos estarían relacionados con conocer cómo el sistema, su operación y aplicaciones han sido desarrollados, así como ser un usuario avanzado del sistema operativo donde se ejecuta el sistema de previsión. Aunque administrar estos sistemas es engorroso e incómodo, especialmente para usuarios no muy entrados en las TIC, es también recomendable abrir la gestión del sistema a otros usuarios, especialmente en centros de investigación e instituciones meteorológicas donde los recursos son más limitados.

Basado en lo comentado en las líneas anteriores, se puede ver la necesidad de desarrollar un sistema *on-line* de administración del sistema implementado en *background* (Figura 2.1), que permita acceder al modelo desde cualquier ordenador con una conexión a Internet. Esta aplicación, además de servir como una herramienta para coordinar los diferentes pasos involucrados, debe facilitar el control remoto del sistema, en cumplimiento de los puntos indicados en este apartado. Además, el usuario debe ser capaz de solucionar los problemas que puedan surgir en el proceso de administración del sistema con unas pocas acciones, por ejemplo, reiniciar la simulación del modelo RAMS, enviar los productos generados al servidor correspondiente en caso de un fallo temporal del sistema de comunicaciones, etc. Finalmente, el entorno de operación debe ser amigable, proporcionando al usuario la monitorización remota del sistema de una forma sencilla. Así, todos los problemas y detalles que necesiten atención inmediata pueden ser vistos directamente por el usuario a través de la herramienta *on-line*.

En este trabajo, se propone una metodología para llevar a cabo la implementación de una herramienta informática y el entorno computacional específico que permitan llevar a cabo la monitorización y el control del sistema operativo que se

inicia en *background* (Figura 2.1). Esta aproximación consiste en una GUI al sistema operacional que reúne toda su funcionalidad mientras esconde los aspectos técnicos de su desarrollo. De esta forma, el usuario ve un sistema en *background* transparente, con una estructura simple, que se puede manejar a través de la herramienta *on-line* con solo unas pocas acciones (Gómez et al., 2007; Gómez y Estrela, 2010).



Figura 2.2. Ventana principal de la aplicación cliente. Incluye los menús principales de acceso a los diferentes procesos relacionados con el sistema.

Para poder acceder de forma remota a la información de la máquina donde se ejecutan los diferentes procesos, de alguna forma debemos establecer un mecanismo de comunicación entre ella y nuestro equipo, para que a través de una orden sencilla que enviamos desde éste, podamos recuperar la información sobre algo que reside en aquella máquina remota. El problema surge en cómo se encuentran ambas. La solución adoptada en el desarrollo de la aplicación que aquí se propone hace uso de la arquitectura cliente/servidor y el protocolo TCP/IP a través de la red Internet. En esta arquitectura, en una máquina ubicada en una situación física cualquiera, se incluye una aplicación, denominado servidor, que siempre se está ejecutando y permanece a la escucha de las órdenes externas que pueda recibir. Estas órdenes externas las genera

otra aplicación, denominada cliente. Por tanto, la aplicación de monitorización de procesos desarrollada, consta realmente de dos aplicaciones independientes, por un lado la aplicación servidor, que se instala en el nodo principal del clúster de ordenadores donde se ejecuta el sistema operacional, y que siempre debe estar activa, y por otro lado, la aplicación cliente, que se instala en cualquier máquina a través de la que queramos acceder al servidor.

Estas aplicaciones se han desarrollado en el lenguaje de programación Java, y en particular a través de un mecanismo de comunicación que ofrece esta tecnología, denominado socket, que se corresponde con la abstracción software usada para representar los “terminales” de una conexión entre dos máquinas (Eckel, 2002). La abstracción que propone este método hace que no sea necesario saber cómo se ha llevado a cabo el diseño físico ni del hardware, ni del cableado.

Con esto en mente, tenemos una aplicación (servidor) que se instala en la máquina a la que queremos acceder, y que está siempre activa a la espera de recibir órdenes externas que interpretar. Este programa correrá, por tanto, en segundo plano, preocupándonos únicamente que se esté ejecutando correctamente. El cliente que accede al servidor se corresponde con la GUI que se muestra en la Figura 2.2. De esta forma, el usuario no tiene que preocuparse de cómo se realiza el tratamiento de la información, ni cómo es la implementación interna del sistema, y únicamente es informado del estado del mismo, así como de las acciones que puede o debe realizar para llevar a cabo una correcta monitorización, y de los datos de entrada que necesita, así como de la salida que genera.

El empleo de este tipo de software, si bien no es necesario para realizar un control sobre el sistema implementado en este trabajo, sí resulta muy útil debido a que incrementa su amigabilidad y reduce la posibilidad de introducción de errores indeseados por parte del usuario (Fast et al. 1995). De esta forma, una vez se ha desarrollado e implementado el sistema, que efectivamente se ejecuta en segundo plano en el servidor, se crea una interfaz gráfica que interactúe con estos procesos que se ejecutan a más bajo nivel (Figura 2.1).

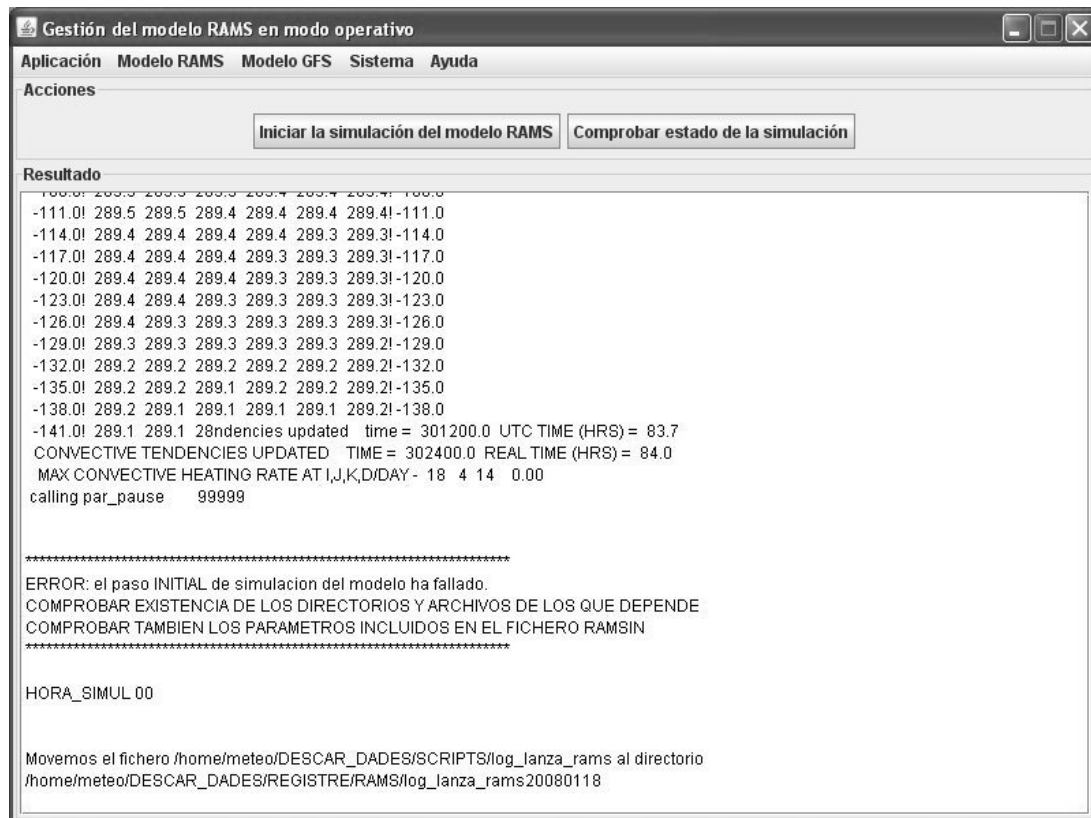


Figura 2.3. Presentación de la información devuelta por el servidor, cuando el proceso correspondiente a la simulación atmosférica finaliza con error.

Como en cualquier sistema de comunicación, para que el servidor responda de manera adecuada al cliente, es necesario que ambos hablen el mismo “lenguaje” y se entiendan, es decir, es necesario que el servidor reconozca aquello que recibe desde del cliente, y que éste reconozca también aquello que le envía el servidor. Así, resulta necesario establecer algún mecanismo de comunicación entre el cliente y el servidor, de forma que ambos reconozcan aquello que se envían mutuamente, y realicen las acciones adecuadas en base a esto. Para la implementación de este mecanismo de comunicación, se ha seguido una estrategia que consiste básicamente en asignar diferentes códigos de identificación a la información que viaja en el sentido que va desde el cliente al servidor, y otros códigos a la información que viaja en sentido contrario, del servidor al cliente, es decir, unos códigos de petición del cliente, y otros códigos de respuesta del servidor. Estos códigos serán números enteros, y serán identificadores de cada uno de los servicios que ofrece el servidor. Deberán ser incluidos tanto en el cliente como en el servidor, para que ambos los reconozcan, de forma que cuando el cliente envía un código identificador al servidor, éste lo recibe y lo interpreta, validando la petición recibida, y en caso de que sea correcta, ejecutará la orden que tenga asociada el código,

enviando en cualquier caso al cliente otro código que indica el resultado del proceso. El cliente por su parte, recoge este código enviado por el servidor, lo procesa, y muestra la información correspondiente al usuario final.

En las Figuras 2.3 y 2.4, se muestra un ejemplo de operación de la interfaz con el sistema de previsión operativa, para el caso de la simulación RAMS. Vemos cómo en caso de error (Figura 2.3), se habilita el botón que permite reiniciar el proceso correspondiente.

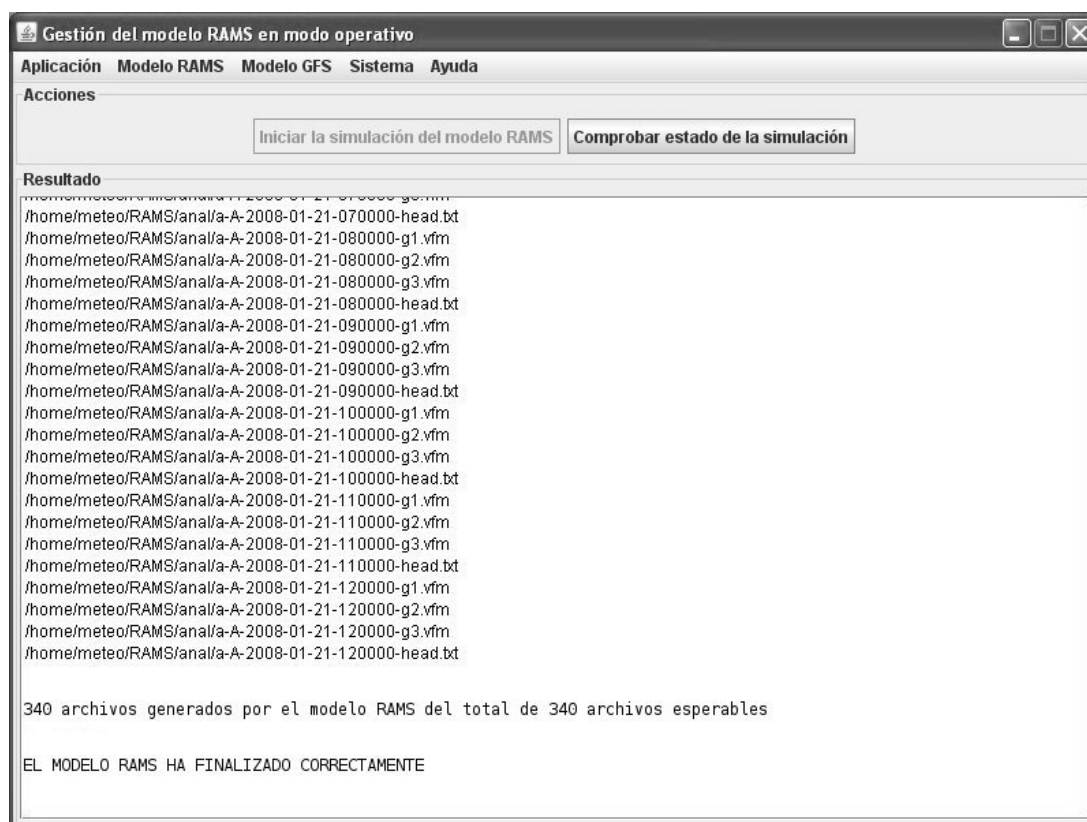


Figura 2.4. Mismo proceso que en la Figura 2.3, pero cuando finaliza correctamente.

Para tener información más detallada del diseño e implementación del sistema de monitorización, se puede consultar el Anexo I.

2.5. Sistema de Vigilancia del Índice UV

El sistema de predicción del Índice UV (UVI), se basa en la implementación del modelo SBDART (*Santa Barbara DISORT Atmospheric Radiative Transfer*) en modo operativo en la Comunitat Valenciana. Este modelo, desarrollado por Ricchiazzi et al.

(1998), es un programa informático diseñado para el análisis de una gran variedad de problemas de transferencia radiativa atmosférica, considerando datos de satélite y estudios de balance energético en la atmósfera. Los parámetros de entrada fundamentales requeridos para iniciar el SBDART se corresponden con la fecha y hora, sistema de coordenadas geográficas, altitud sobre el nivel del mar y ozono total en columna (*Total Ozone Column*; TOC). Este último parámetro es uno de los que más influencia tienen en la radiación UV y el UVI (Marín et al., 2007; Esteve et al., 2009), y es una medida de la cantidad total de ozono atmosférico en una columna concreta. El UVI es un índice basado en la radiación ultravioleta eritemática (UVER). La UVER se calcula teniendo en cuenta la radiación UV que alcanza la superficie terrestre ponderada con el espectro de acción eritemático, que es la respuesta de la piel al eritema o quemadura solar. Esta respuesta es mayor para longitudes de onda más cortas, correspondientes al rango UVB (parte de la UV que afecta a los seres vivos). De esta forma, el índice UV se calcula multiplicando la UVER por 40 y redondeando al número entero más próximo.

El SBDART se implementa para días despejados. Los efectos de nubes en la previsión UVI son introducidos en un proceso posterior a la ejecución del modelo, siguiendo la metodología sugerida por COST 713, cuyo principal objetivo fue estandarizar la información pública de predicción de la radiación UVB en Europa (Vanicek et al., 2000).

El sistema de predicción que aquí se describe (Figura 2.5b), se corresponde con una mejora del sistema originalmente implementado (Figura 2.5a). En dicha implementación del SBDART, se utilizaban los datos TOC correspondientes a las medidas realizadas por el sensor *Ozone Monitoring Instrument* (OMI), como entrada de los valores de ozono en el modelo. Este instrumento tiene la misión de registrar el ozono total y otros parámetros atmosféricos relacionados con la química del ozono y el clima. El sistema original presentaba algunas restricciones. Concretamente, la información TOC que proporcionaba OMI se correspondía con las medidas realizadas el día anterior, con las cuales se llevaba a cabo la predicción para el día siguiente. De esta forma, había una diferencia de 2 días entre el último dato de ozono y la predicción UVI. Además, esto producía que la previsión utilizando datos OMI fuera estática, dado que la nueva información no era utilizada para actualizar la previsión del día actual, sino para

crear la del día siguiente. Así, una vez se hacía la previsión no era modificada aunque hubiera información OMI más reciente. Posteriormente, los datos proporcionados por OMI no se correspondían con el día anterior, sino que se actualizaban únicamente 72 horas después de la medida. Teniendo en cuenta que la previsión UVI se realizaba para el día siguiente, se produce así un desfase de 4 días entre el último dato de ozono y la previsión UVI. Este desfase limita también la posibilidad de extender el rango de previsión. Es por ello que resulta necesario buscar fuentes de datos alternativas que permitan actualizar con información más reciente los valores de ozono que son introducidos en el modelo SBDART durante su inicialización.

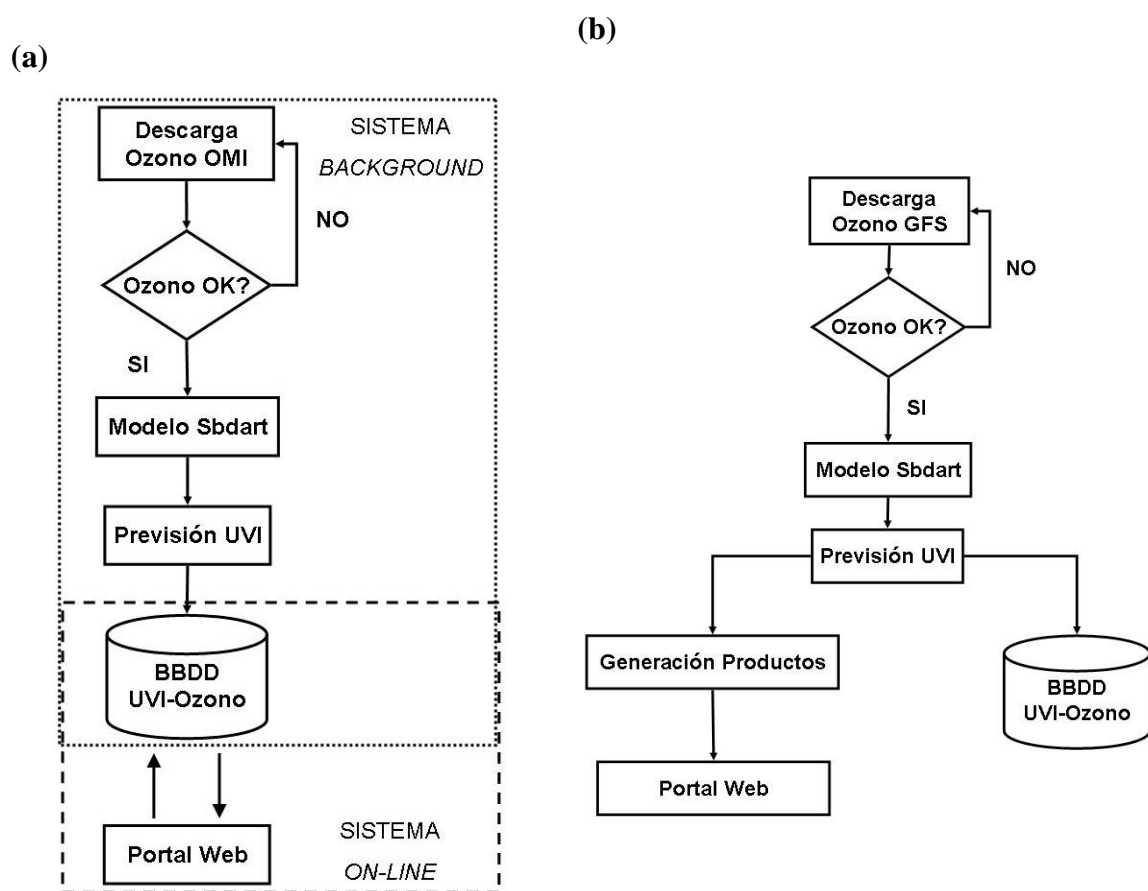


Figura 2.5. Esquemas de la implementación original del sistema de predicción del Índice UV (a), y de la nueva implementación (b).

En este trabajo se propone utilizar como nueva fuente de datos de ozono la información modelizada que proporciona el modelo GFS. Así, la principal mejora introducida en la nueva implementación del sistema se corresponde con la utilización y explotación de las posibilidades de los datos de previsión TOC GFS con el objetivo de

inicializar este parámetro a la hora de simular la irradiancia espectral con el modelo SBDART.

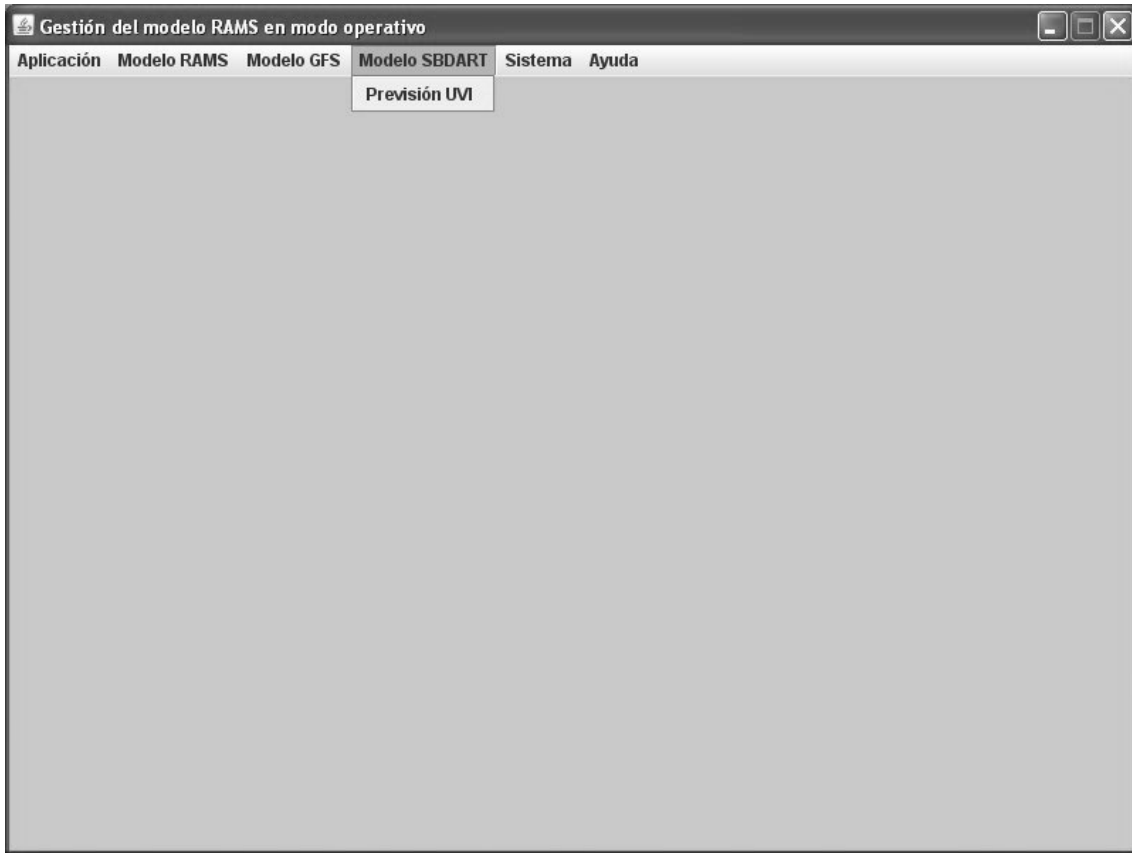


Figura 2.6. Introducción de un nuevo proceso en el sistema de monitorización remota: predicción del UVI.

De esta forma vemos cómo la información que proporciona el modelo global GFS en la modelización de varios parámetros atmosféricos es utilizada tanto para el sistema de predicción meteorológica como para el sistema de predicción del Índice UV. Así, los datos GFS una vez descargados están disponibles para ambos sistemas, de modo que cada uno de ellos accede a la información requerida en términos de inicialización, para su puesta en funcionamiento. Cabe decir en este punto que es el sistema de predicción meteorológica el principal responsable de realizar dicha descarga, de forma que el sistema de predicción UVI se alimenta de esta información. La predicción meteorológica operativa utiliza los datos de análisis del modelo global GFS con una resolución temporal de 6 horas y con una extensión de 96 horas de previsión. Los archivos GFS cubren un amplio espectro de variables meteorológicas y otras variables relacionadas, incluyendo el TOC cuatro veces al día. Aprovechando las

ventajas de esta descarga GFS, se filtra los datos correspondientes a la variable TOC de los archivos GFS, necesarios para la inicialización del modelo SBDART. Como medida alternativa a esta descarga GFS, también se ha implementado una vía de descarga de estos datos a través del sistema de vigilancia del UVI, en caso de que la anterior descarga no se haya podido llevar a cabo y finalizar correctamente.

En la versión original del sistema de predicción, se utilizaba la medida diaria de ozono OMI para todas las horas de previsión. En cambio, en la nueva versión del sistema, se utiliza una media diaria calculada teniendo en cuenta los cuatro valores TOC GFS disponibles diariamente. Los valores obtenidos son utilizados para todos los tiempos de simulación correspondientes a un día concreto.

La utilización de esta fuente de datos TOC permite una actualización de la previsión UVI con datos más recientes, a la vez que permite ampliar el rango de predicción. De este modo, utilizando los datos TOC GFS, la previsión UVI se puede extender más de 1 día, a diferencia de lo que ocurría en el sistema original. De hecho, en esta nueva versión de la implementación operativa, la previsión se extiende a 3 días completos. Una vez se descargan los datos GFS necesarios, el SBDART se ejecuta para las diferentes horas del día requeridas (6-18 UTC) y diferentes puntos de la Comunitat Valenciana, correspondientes a los 5 puntos de medida de la red de estaciones UV en esta región. Finalmente, se genera la previsión UVI para hoy, mañana y pasado mañana. Para más información del proceso de simulación, se puede consultar el Anexo II.

La monitorización de la operatividad del sistema de predicción del UVI, que funciona en modo *background*, se ha incluido en el entorno computacional *on-line* desarrollado para la monitorización del sistema de previsión meteorológica operativa (Figura 2.6). Se puede ver como queda patente la versatilidad del entorno computacional desarrollado para llevar a cabo estas tareas de control y monitorización de los sistemas de predicción operativa.

Capítulo 3

Resultados

*Descubre la voluntad de la Naturaleza,
estúdiala, préstale atención y hazla tuya.
Epicteto.*

Este capítulo se divide en dos partes. En primer lugar, nos centramos en el estudio del evento de lluvias torrenciales analizado. Así, se describe este episodio, para pasar posteriormente a detallar la configuración del modelo y las características concretas de la modelización que se lleva a cabo utilizando el modelo RAMS. Finalmente, se muestran los resultados de las simulaciones meteorológicas realizadas y las consecuencias que de ellos se derivan. En segundo lugar, se presentan los resultados que produce el sistema de predicción operativa del UVI en la Comunitat Valenciana, descrito en el capítulo anterior.

3.1. Selección del evento de precipitación

Para la modelización de este tipo de riesgos utilizando el modelo RAMS, se ha seleccionado un evento de lluvias torrenciales de gran impacto en la Comunitat

Valenciana. Este episodio tuvo lugar entre los días 11 y 12 de Octubre de 2007, especialmente a partir de la noche del 11 al 12 y durante gran parte del día 12, en el centro-Sur de la Comunitat Valenciana, concretamente en el área montañosa cercana a la costa en el Norte de Alicante y Sur de Valencia.

Durante el día 11, las precipitaciones fueron generalizadas en toda la Comunitat Valenciana pero sin grandes cantidades, siendo más importantes en torno a la ciudad de Valencia, donde se registraron precipitaciones alrededor de 100 mm en 24 horas, mientras que en el resto de la Comunidad se registraron precipitaciones que oscilaron entre los 10 y los 50 mm en 24 horas en su mayoría. En cuanto al día 12, las precipitaciones remitieron o fueron inapreciables en toda la mitad Norte de la Comunidad Valenciana y se concentraron en las comarcas del Sur de Valencia y Norte de Alicante, especialmente en las zonas litorales y prelitorales, con registros de más de 400 mm acumulados en 24 horas en algunas poblaciones de la zona.

3.2. Observaciones de precipitación en superficie

La Fundación CEAM tiene una red propia de estaciones meteorológicas y colectores de niebla que cubren todo el territorio de la Comunitat Valenciana. Esta red contiene un total de 44 puntos de medida distribuidos por toda esta región (con 14 estaciones ubicadas en la zona donde ocurrieron las precipitaciones más intensas) desde las áreas más costeras hasta las zonas montañosas del interior de la Comunitat Valenciana. Todas estas estaciones se localizan lejos de los centros urbanos y siguen las especificaciones de la *World Meteorological Organization* (WMO) en términos de medidas meteorológicas. Además de esta red de estaciones meteorológicas, se dispone de datos de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), con un total de 25 estaciones en la Comunitat, y 13 en la zona de máxima precipitación. También se dispone de información de la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ), con un total de 36 estaciones en la zona de precipitación, y de datos de las estaciones del Ministerio de Agricultura, a través del Servicio Integral de Asesoramiento al Regante (SIAR, 2003), con un total de 45 puntos de medida en la Comunitat, 27 de los cuales se ubican dentro del área de la precipitación.

La información proporcionada por todas las fuentes de datos observacionales (CEAM, AEMET, CHJ y SIAR) ha sido utilizada para llevar a cabo la caracterización del evento seleccionado. El hecho de seleccionar un evento reciente de este tipo de riesgos climáticos, permite tener acceso a una red de medidas más extensa, como se puede observar, y permite tener una cobertura más amplia de la zona a estudiar. Cabe decir que no todas las estaciones proporcionan la misma información. Así, los datos AEMET y SIAR disponibles para este episodio, sólo se corresponden con registros de precipitación acumulada en 24 horas. En cambio, los datos CEAM y CHJ suministran información de precipitación horaria. Es por ello que se utilizarán estos datos a la hora de tratar información más detallada, como el caso de la evolución temporal de la precipitación. En cambio, la utilización unida de todas las fuentes de datos nos va a permitir representar la precipitación diaria del evento, con un gran nivel de detalle, dada la densidad de medidas que todas las fuentes proporcionan de la zona de estudio (Figura 3.1). Vemos, así, que las fuentes de datos disponibles permiten analizar las características de la precipitación del evento, tanto de la diaria acumulada como horaria, dada la óptima cobertura que todas ellas imprimen a la zona de estudio.

Estación	Acrónimo	11 Oct 2012	12 Oct 2012	Total
Alcalalí	ALC	22,0	415,6	437,6
Gallinera	GAL	15,2	398,0	413,2
Tollos	TOL	25,6	359,8	385,4
Isbert	ISB	14,4	365,2	379,6
Benissa	BSA	181,0	154,0	335,0
Beniarrés	BEN	18,8	296,4	315,2
Abdet	ABD	12,0	262,6	274,6
Marina Baixa	MAR	11,0	245,8	256,8
Callosa d'En Sarrià	CAL	18,0	236,6	254,6
Guadalest	GUA	8,0	230,4	238,4
Xàtiva	XAT	16,8	169,2	186,0
Sierra Helada	SIE	9,0	170,4	179,4
Alfàs del Pi	ALF	15,3	154,8	170,1

Tabla 3.1. Precipitación acumulada (mm) por día concreto del evento y total (48-h desde las 00 UTC del 11 de Octubre a las 00 UTC del 13 Octubre de 2007).

La Figura 3.1 presenta el mapa de la distribución espacial de las lluvias utilizando los registros observados en la Comunitat Valenciana. Se puede ver en esta figura una zona relativamente extensa con precipitaciones mayores que 100 mm

alrededor del área donde se focalizaron las precipitaciones más intensas, con valores de precipitación que sobrepasan los 300 mm, en la noreste de Alicante, especialmente en la zona montañosa cercana a la costa.

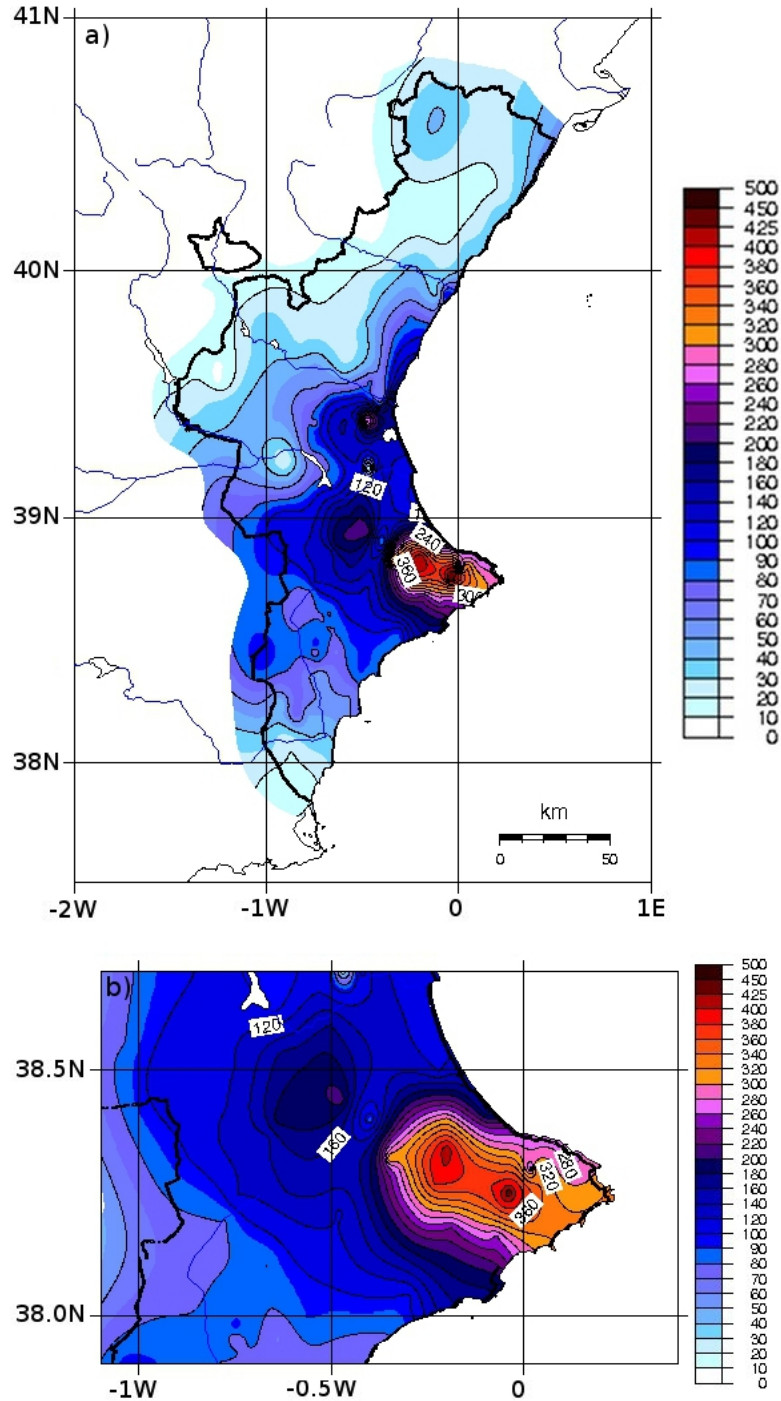


Figura 3.1. Precipitación observada acumulada en 48-h (mm) durante el evento de los días 11 y 12 de Octubre de 2007: Comunitat Valenciana (a), Norte de la Provincia de Alicante y Sur de la Provincia de Valencia (b). Los datos utilizados provienen de la red de estaciones meteorológicas CEAM, AEMET, SIAR y CHJ.

En la Tabla 3.1, se incluyen las estaciones con mayores precipitaciones. La localización de los diferentes puntos de medida se muestra en la Figura 3.2.

Con el fin de exponer la intensidad del evento, se han seleccionado dos estaciones automáticas de la red de la Fundación CEAM, Tollos y Callosa d'En Sarrià, cómo se puede observar en la Figura 3.3. La máxima intensidad registrada en la primera se situó alrededor de 90 mm/h, mientras que en la segunda se alcanzaron cerca de 50 mm/h. En este punto, merece la pena poner de manifiesto no solo los valores de precipitación acumulada en este evento sino también su intensidad y persistencia. También se debe destacar que la mayor parte de la precipitación se registró entre el amanecer y las primeras horas del día 12 de Octubre.

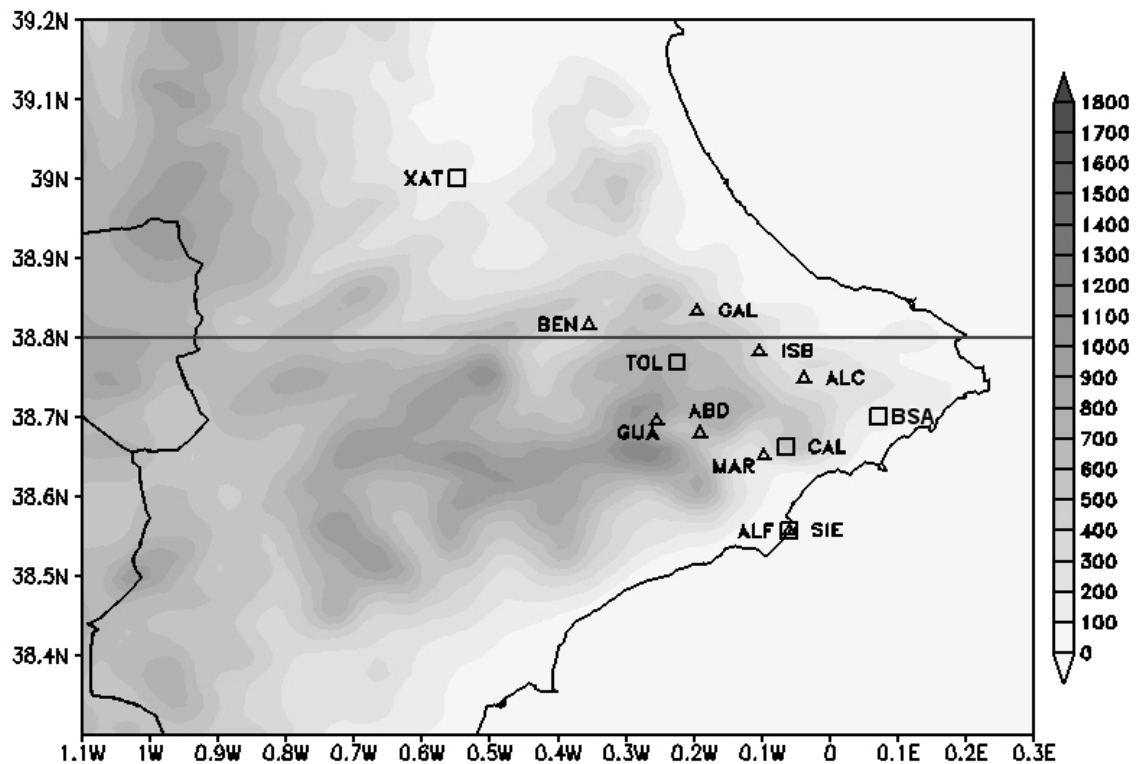


Figura 3.2. Localización de las estaciones meteorológicas de la Tabla 3.2 y localización de la sección vertical, utilizada en el análisis de resultados, correspondiente al dominio 4 de las simulaciones RAMS. Topografía del modelo representada en metros.

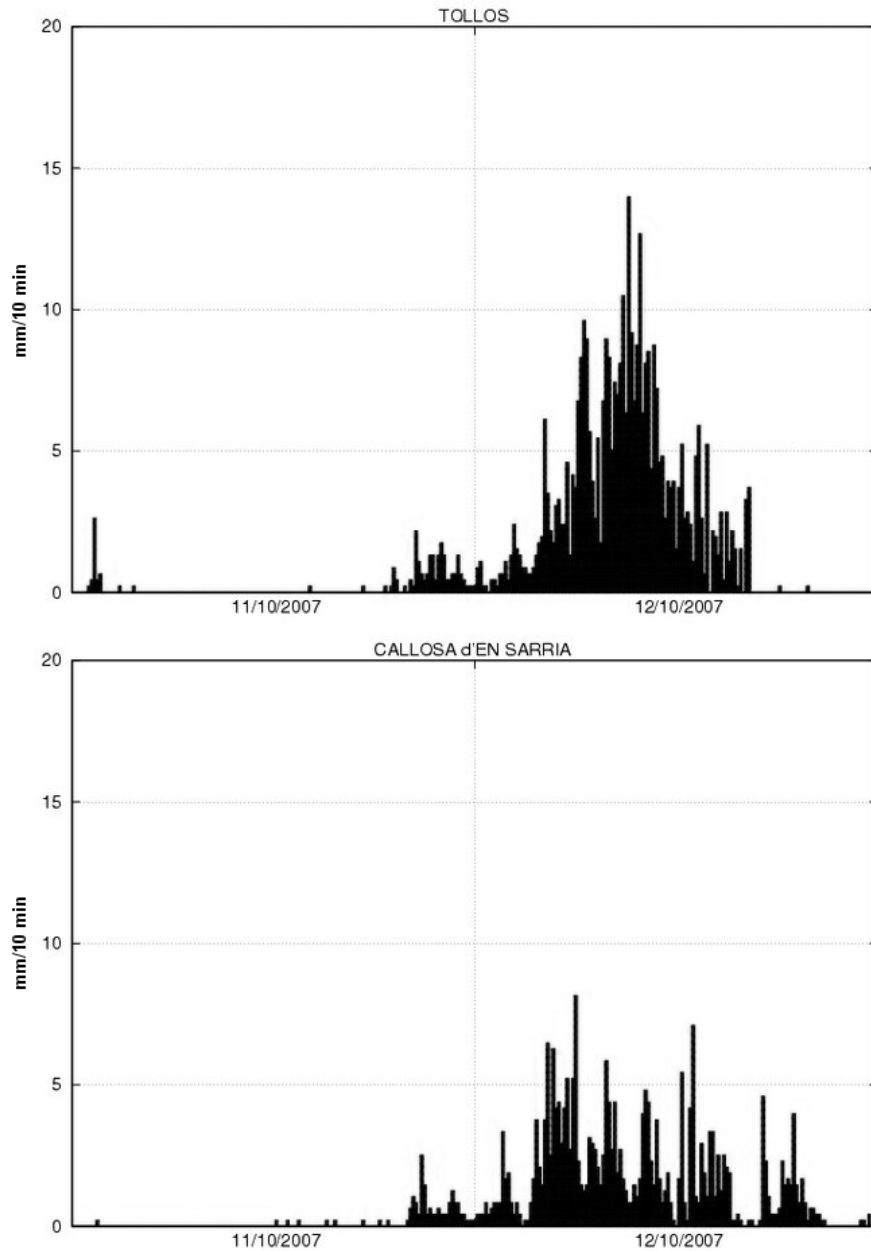


Figura 3.3. Intensidad de la precipitación (mm/10 min) durante el episodio del 11 y 12 de Octubre de 2007 medida en las estaciones de Tollos y Callosa d'En Sarrià (red de torres meteorológicas de la Fundación CEAM).

3.3. Análisis sinóptico del evento

Antes de presentar los resultados de simulación, resulta conveniente introducir la situación sinóptica que caracterizó el evento. En la Figura 3.4, se observa que durante los días 9 y 10 de Octubre un embolsamiento de aire frío en niveles altos de la

troposfera situado sobre el Norte de Francia y el Sur de las Islas Británicas inició un desplazamiento en dirección Sur. Este movimiento fue impulsado por la entrada de una dorsal cálida de bloqueo hacia el Norte de Europa que dirigió la borrasca en altura hacia la vertiente mediterránea de la Península Ibérica hasta situarse sobre la vertical de la Comunitat Valenciana a lo largo del día 11. La presencia de este embolsamiento frío en altura, con temperaturas inferiores a -20°C a 5.500 m, aportó una fuerte inestabilidad en niveles medios y altos de la troposfera sobre la vertical de la Comunitat Valenciana entre los días 11 y 12 de Octubre.

En niveles superficiales se produjo la migración de un anticiclón atlántico hasta el centro-Norte de Europa, también entre los días 9 al 12 de Octubre. Por el flanco sur de este anticiclón discurría una circulación de vientos del Este, con largo recorrido sobre el Mediterráneo occidental, hacia las costas orientales alcanzando la Comunitat Valenciana. De esta manera, se establecía un flujo de aire relativamente fresco desde Europa central y oriental a lo largo del Mediterráneo occidental. Esta masa de aire se cargaba de humedad y se inestabilizaba durante su recorrido marítimo debido al intercambio de energía y humedad entre la masa de aire y la superficie del mar más caliente.

De esta forma se estableció un flujo de aire húmedo y potencialmente inestable hacia la vertiente mediterránea peninsular que se focalizó sobre la Comunidad Valenciana, especialmente sobre las mitades Sur de Valencia y Norte de Alicante (Figura 3.5). Así, tanto la presencia de aire inestable en niveles medios y altos de la troposfera como el mecanismo de disparo orográfico de las montañas cercanas al litoral en esa área, crearon un entorno favorable para el desarrollo de un evento de lluvias intensas.

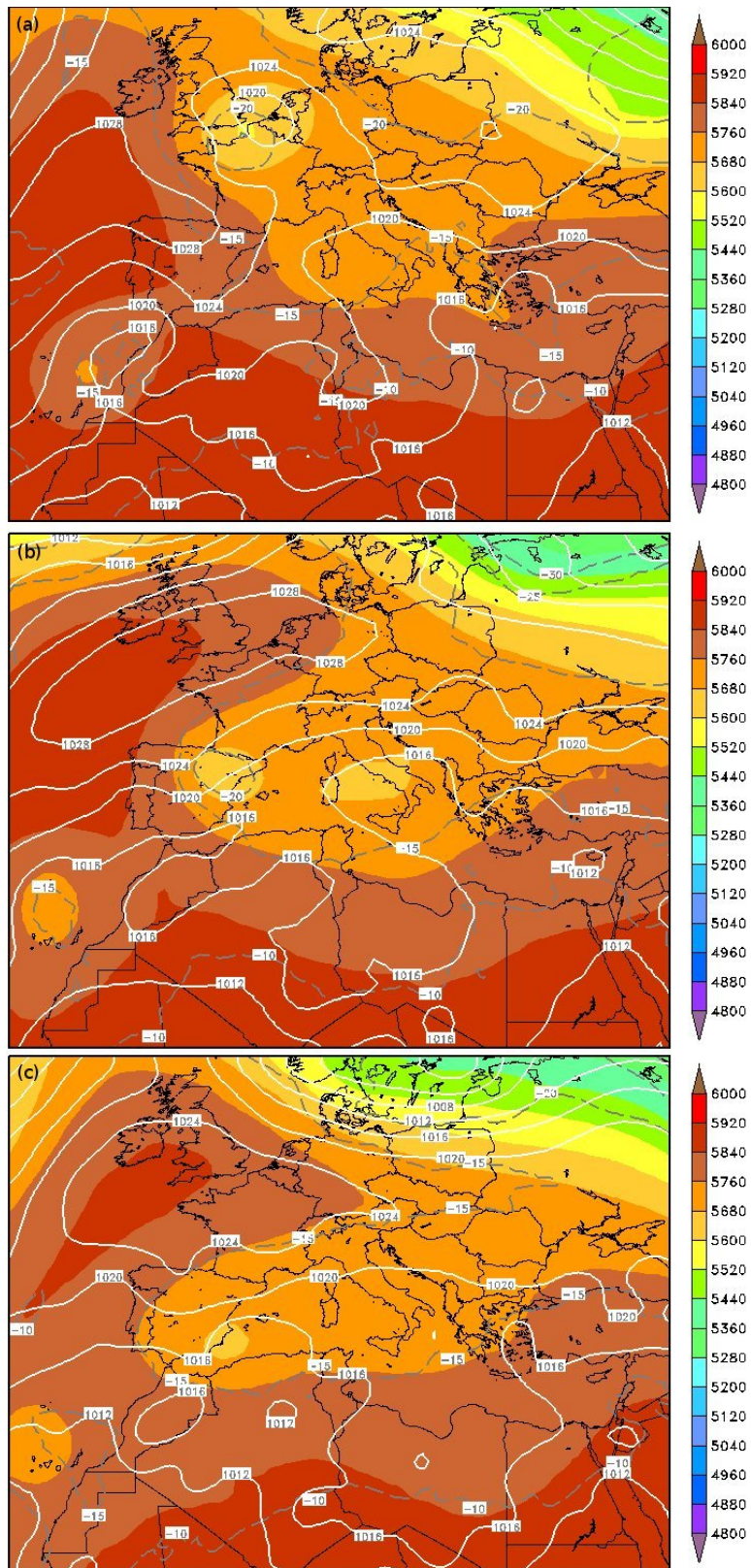


Figura 3.4. Presión en superficie, altura geopotencial y temperatura a 500 hPa los días 10 de Octubre a las 00 UTC (a), 11 de Octubre a las 00 UTC (b) y 12 de Octubre a las 00 UTC (c), obtenidos del reanálisis NCEP.

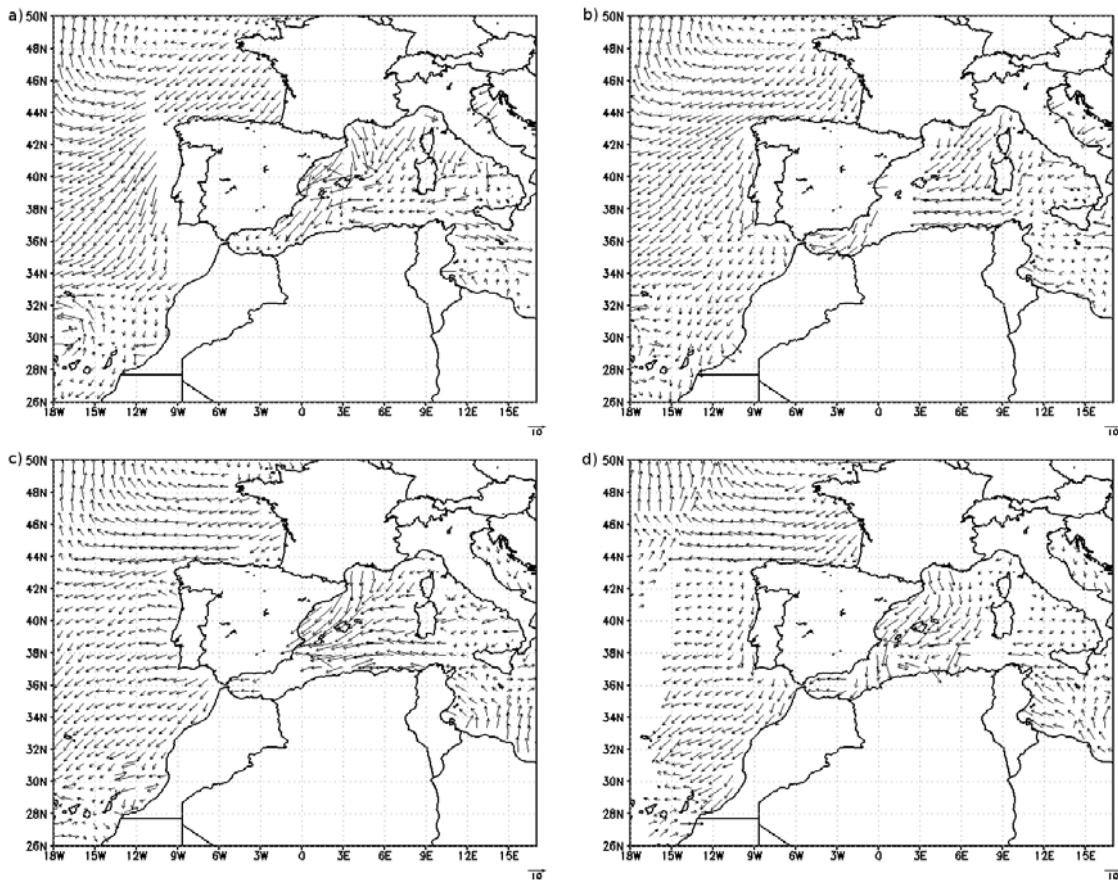


Figura 3.5. Viento en superficie a las 06:00 UTC del 11 de Octubre (a), 18:00 UTC del 11 de Octubre (b), 06:00 UTC del 12 de Octubre (c) y 18:00 UTC del 12 de Octubre (d). Datos correspondientes al sensor *Quikscat Seawind* (*Remote Sensing Systems*).

La persistencia de la focalización de vientos marítimos sobre el Sur de Valencia y Norte de Alicante, junto con la constitución de una corriente en chorro en capas medias y bajas de la troposfera, provocó que las precipitaciones más intensas y persistentes se registraran en estas zonas. También la orientación de las cadenas montañosas, perpendiculares al flujo dominante, favorece excepcionalmente la canalización de los flujos de vientos marítimos del Este-Nordeste hacia la parte superior de las cuencas hidrológicas de la zona por lo que en las cabeceras de cuencas y cursos altos de los ríos de estas comarcas se registraron las precipitaciones más intensas y persistentes, junto a algunas comarcas del litoral. El contenido de humedad del campo de vientos impulsó la formación de un sistema de nubes en la mitad sur de la Comunitat Valenciana (Figura 3.6), que alimentó de manera continua las lluvias persistentes e intensas registradas en esta zona.

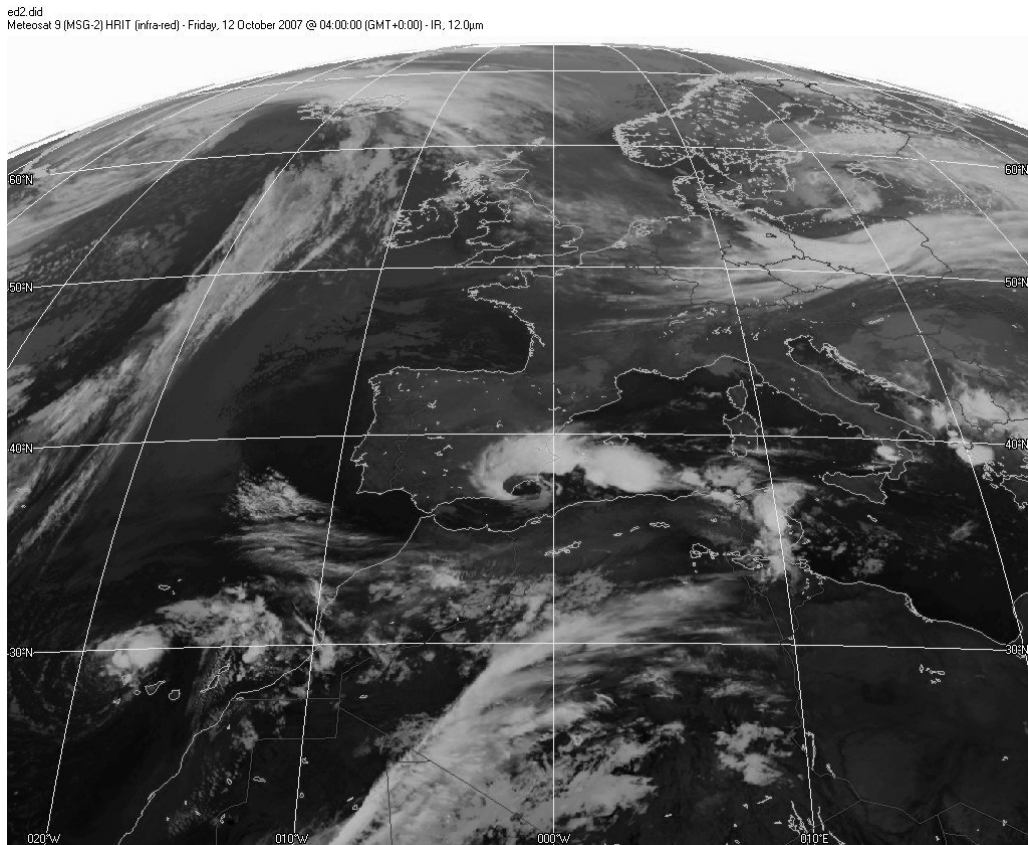


Figura 3.6. Imagen Infrarroja del MSG-2 el día 12 de Octubre a las 04 UTC ©Eumetsat.

3.4. Configuración del modelo RAMS

Las simulaciones atmosféricas, como en el caso de la implementación de la previsión meteorológica operativa, se han llevado a cabo utilizando el modelo *Regional Atmospheric Modelling System* (RAMS), utilizado ampliamente por investigadores y personal técnico de la Fundación CEAM, centrándose en el estudio de diferentes procesos atmosféricos que afectan a la Comunitat Valenciana. Además, RAMS se ha utilizado en el estudio de lluvias torrenciales en el área mediterránea por diversos autores: Lagouvardos et al. (1996, 1999), Menoguzzo et al. (2004), Federico et al. (2008).

La versión utilizada para llevar a cabo las simulaciones de este trabajo se corresponde con la versión 6.0 no-hidrostática. Se puede encontrar más información al respecto en Pielke et al. (1992) y Cotton et al. (2003).

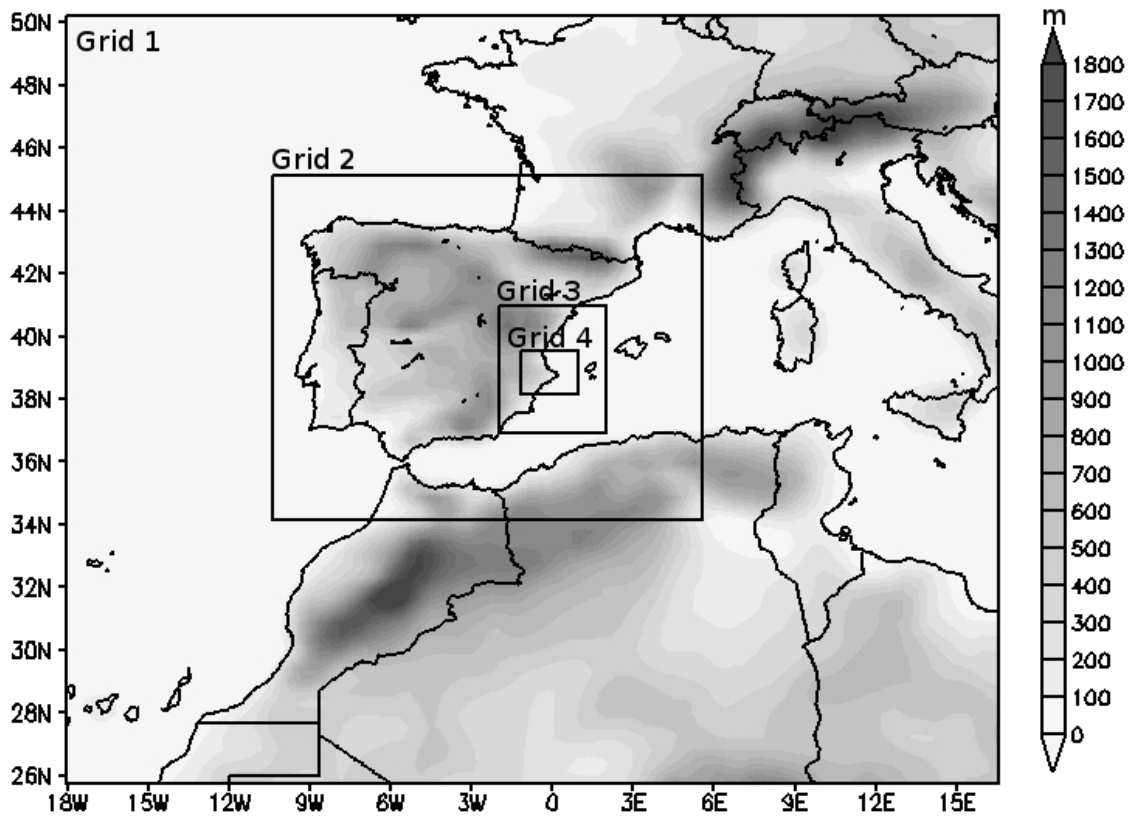


Figura 3.7. Dominios de la simulación del modelo RAMS y orografía del modelo (m).

Dominio	nx	ny	nz	dx(m)	t(s)
1	90	80	45	40.500	60
2	110	101	45	13.500	30
3	83	101	45	4.500	15
4	128	101	45	1.500	5

Tabla 3.2. Configuración de dominios de la simulación RAMS: número de puntos de malla en las direcciones x, y y z (nx, ny y nz), resolución horizontal de malla (dx) y paso temporal de malla (t).

Las condiciones iniciales y de contorno para el modelo se obtienen a partir de los datos globales *Final Analysis* (FNL) del NCEP, disponibles cada 6 horas a una resolución horizontal de 1x1 grados. Los archivos FNL se generan utilizando el mismo modelo que NCEP utiliza en el GFS. Sin embargo, la información que proporciona FNL se prepara alrededor de una hora después de que sea inicializado el sistema GFS. De esta forma, los archivos FNL se posponen con el objetivo de incluir un mayor número de observaciones (RDA, 2013). El modelo RAMS utiliza métodos de asimilación 4-

dimensional para definir los forzamientos en las celdas exteriores del dominio más externo de la simulación. Para las condiciones de contorno inferiores se han utilizado los datos de cobertura y usos del suelo proporcionados por el *United States Geological Survey* (USGS, 2002). El esquema de superficie LEAF-3 se utiliza para evaluar los flujos de calor sensible y latente entre la atmósfera y el sistema suelo-vegetación. En las simulaciones utilizadas en este trabajo, se ha utilizado LEAF-3 según una estructura de suelo homogéneo de tipo arcilloso en el que la columna de suelo se subdivide en 11 capas hasta cubrir una profundidad de 2 m. Se utiliza además un perfil uniforme de humedad para esta estructura, inicializada con un valor de $0,38 \text{ m}^3$ de agua por metro cúbico de volumen total. El perfil inicial de temperatura del suelo se obtiene restando $2,3 \text{ }^\circ\text{C}$ a la temperatura del aire para el nivel superior del suelo. La temperatura decrece linealmente hasta un descenso total de $1 \text{ }^\circ\text{C}$ en el nivel inferior de suelo (Pérez-Landa et al., 2007a). Como temperatura superficial del agua del mar, se utilizan los valores climáticos que de esta variable proporciona RAMS. Las simulaciones constan de 4 dominios anidados e interactivos con resoluciones de 40,5, 13,5, 4,5 y 1,5 km respectivamente desde el dominio externo hasta el dominio interno de mayor resolución (Figura 3.7, Tabla 3.2). En cuanto a la resolución vertical, el modelo consta de 45 niveles verticales de resolución variable que van desde 30 m en el primer nivel junto a la superficie y que se va incrementando progresivamente hasta un máximo de 1.000 de espesor cerca de la cima de las mallas del modelo, aproximadamente a 17.000 m de altura. Como esquemas de radiación, se utiliza el correspondiente a Chen y Cotton (1983), que tiene en cuenta la presencia de nubosidad para el cálculo de la radiación de onda corta y larga, y que en la configuración utilizada se aplica a ambas. Finalmente, los esquemas de microfísica de nubosidad y precipitación de Walko et al. (1995) se aplican para todas las mallas del dominio.

Dado que el evento de precipitación tuvo los registros más importantes a finales del día 11 y la primera parte del día 12 de Octubre de 2007, todas las simulaciones tienen una duración de 48 horas, empezando el día 11 de Octubre a las 00 UTC y finalizando a las 00 UTC del día 13 de Octubre, cubriendo así el grueso de precipitación y dejando un tiempo de inicialización (*spin-up*) para que el modelo incorpore los elementos necesarios que permitan reproducir el fenómeno a modelizar.

3.5. Modelización numérica

Las simulaciones numéricas que se llevan a cabo tienen como principal objetivo comprobar la habilidad del modelo numérico RAMS para simular situaciones relacionadas con precipitaciones torrenciales en la Comunitat Valenciana. En este trabajo, se intenta evaluar la influencia de diferentes factores físicos y geográficos en el resultado de la simulación, y, por tanto, analizar el impacto que estos parámetros imprimen en la predicción de este tipo de eventos. El primero de ellos se corresponde con el papel que desempeña la orografía en el desarrollo de las lluvias torrenciales. Este factor ha sido evaluado en la Cuenca Mediterránea Occidental anteriormente por Romero et al. (1997), Horvarth et al. (2006), Federico et al. (2008) y Miglietta y Regano (2008). En segundo lugar, se pretende analizar el efecto que diferentes parametrizaciones de cúmulos, disponibles actualmente en el modelo RAMS, tienen en los resultados de modelización de este tipo de eventos meteorológicos de riesgo en la Comunitat Valenciana. Esta segunda experiencia nos va a permitir, así mismo, diagnosticar la viabilidad de activar estas parametrizaciones en mallas de simulación de media y alta resolución horizontal.

Experimento	Dominio 1	Dominio 2	Dominio 3	Dominio 4
Ctrl	Y	Y	Y	Y
Nooro	Y	Y	Y	-

Tabla 3.3. Configuración de las simulaciones para la evaluación del impacto de la orografía en los resultados de simulación.

Para evaluar el impacto de los parámetros mencionados, se utiliza el método de separación de factores propuesto por Stein y Alpert (1993). De este trabajo se deriva que el estudio del efecto de n factores en una simulación debe realizarse a partir de 2^n simulaciones, a fin de tener en cuenta no solamente el efecto de esos factores sino las interacciones entre ellos. De este modo pueden delimitarse con mayor precisión los efectos debidos exclusivamente a un factor al no enmascarar sus interacciones con otros factores estudiados. Según este método, para analizar el efecto de la orografía en las simulaciones, se deben llevar un total de dos simulaciones (Tabla 3.3). La primera de ellas, se establece como la simulación de control. En la segunda, vamos a eliminar

completamente la orografía en el área que cubre la zona donde se registran las precipitaciones.

Para evaluar la influencia de las diferentes parametrizaciones de cúmulos en la simulación, se realizan diversas simulaciones del evento de precipitación seleccionado utilizando diferentes combinaciones de los dos esquemas de precipitación convectiva que incorpora el modelo RAMS en los dominios horizontales utilizados. Estos esquemas se corresponden con la parametrización convectiva de Kain-Fritsch (KF) (Kain y Fritsch, 1993) y la de Kuo (Molinari, 1985). La primera fue añadida al modelo (Castro et al., 2002) como alternativa al esquema de Kuo, que había sido el único esquema de parametrización convectiva de cúmulos disponible. Para comprobar si activar ambos esquemas en diferentes resoluciones horizontales afecta y/o mejora la previsión de precipitación, cada uno de los esquemas se ha activado o desactivado de forma independiente en los dominios del modelo para una serie de experimentos numéricos, con un total de ocho simulaciones del modelo RAMS, tal y como se indica en la Tabla 3.4. Se realiza un experimento adicional donde no se activa ninguna parametrización convectiva en ninguno de los dominios de simulación (NoC).

Experimento	Dominio 1	Dominio 2	Dominio 3	Dominio 4
Kuo1	Kuo	-	-	-
Kuo2	Kuo	Kuo	-	-
Kuo3	Kuo	Kuo	Kuo	-
Kuo4	Kuo	Kuo	Kuo	Kuo
KF1	Kain-Fritsch	-	-	-
KF2	Kain-Fritsch	Kain-Fritsch	-	-
KF3	Kain-Fritsch	Kain-Fritsch	Kain-Fritsch	-
NoC	-	-	-	-

Tabla 3.4. Configuración de la parametrización convectiva de la simulación RAMS.

De esta forma, en el caso de estudio de la influencia de la orografía en los resultados de simulación, se ha utilizado la configuración Kuo3 (Tabla 3.4). En cambio, en el caso del estudio de la sensibilidad del modelo a este tipo de esquemas para situaciones de lluvias intensas, como hemos comentado, diferentes configuraciones serán activadas o no dependiendo del experimento a desarrollar en la simulación correspondiente (Tabla 3.4). Cabe destacar en este punto que no se ha podido modelizar

este evento de precipitación activando el esquema KF en todas las mallas debido a problemas de inestabilidad numérica.

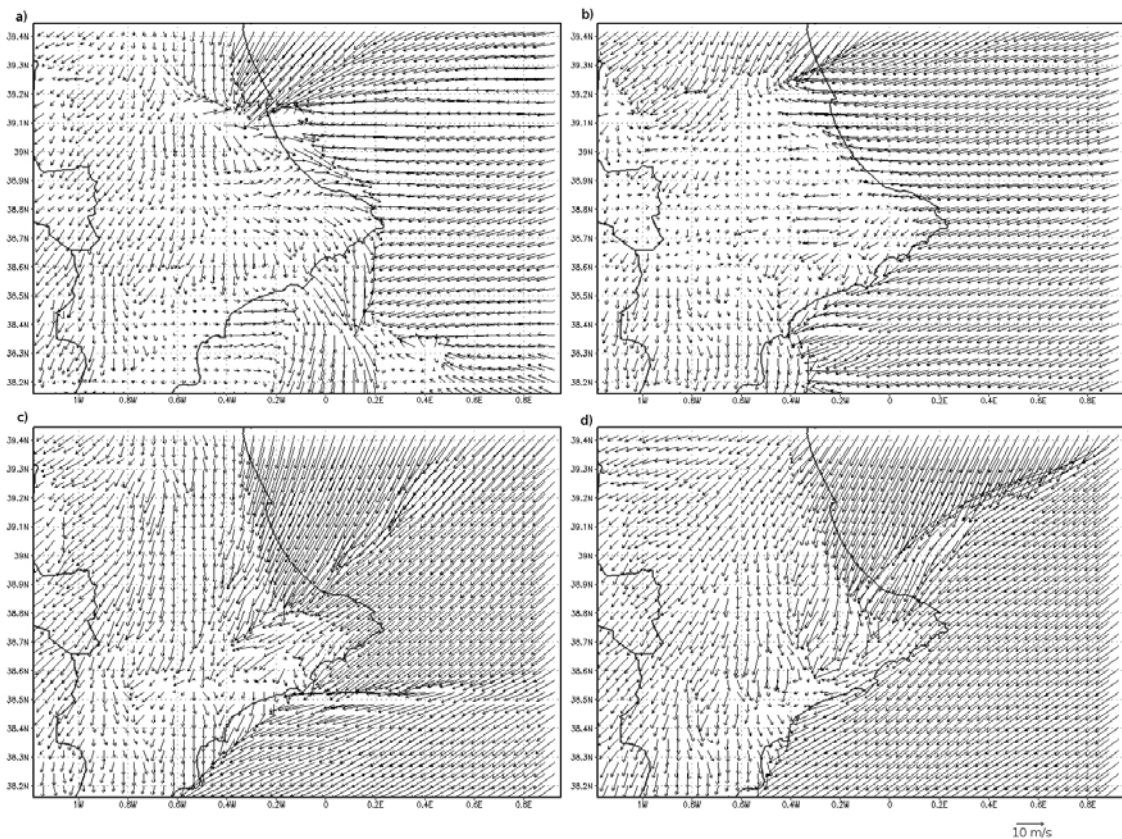


Figura 3.8. Campo de viento en superficie simulado por el modelo RAMS (Dominio 4) a las 18:00 UTC 11 de Octubre (a), 00:00 UTC 12 de Octubre (b), 06:00 UTC 12 de Octubre (c) y 12:00 UTC 12 de Octubre (d).

3.5.1. Estudio del rol de la orografía

Utilizando el dominio más interior de simulación vemos que existe una focalización muy importante del régimen de vientos a lo largo de la costa nordeste de la Provincia de Alicante (Figura 3.8). Este flujo origina la entrada de una masa de aire húmedo a través de los valles costeros hacia las montañas más cercanas a la costa, aumentando el mecanismo de disparo orográfico. Lo mismo se puede decir del campo de vientos que resulta en el dominio 4 de no considerar la orografía de la zona de estudio en la simulación. Solo se observan pequeñas diferencias, si bien es cierto que a

ciertas horas el viento marítimo simulado se extiende más hacia el interior que lo obtenido en la simulación de control (no se muestra).

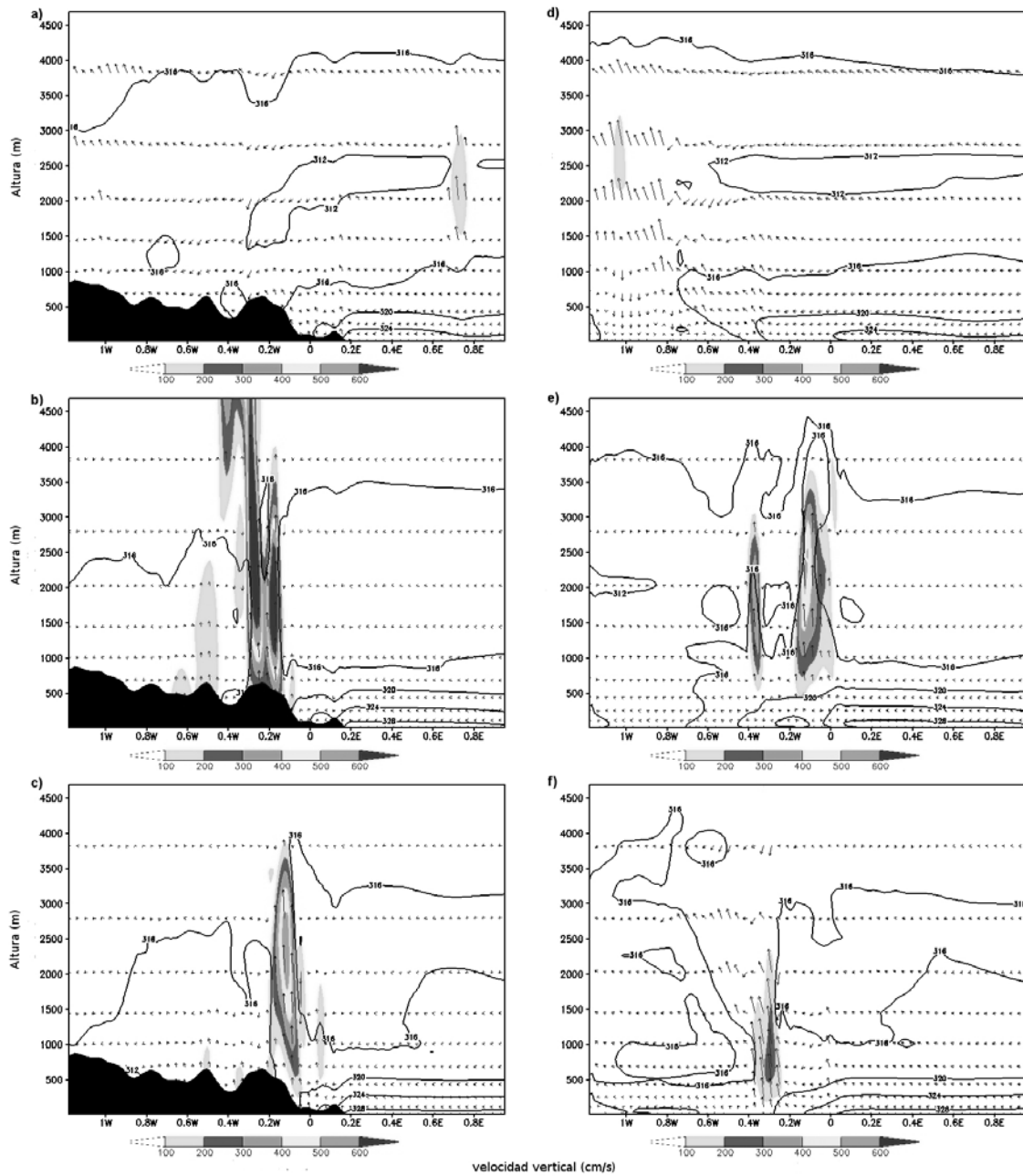


Figura 3.9. Sección vertical a $38,8^{\circ}$ N simulada por el modelo RAMS para la temperatura potencial equivalente (K), velocidad vertical (cm/s) y vector viento de la simulación de control a las 00:00 UTC 12 de Octubre (a), 06:00 UTC 12 de Octubre (b) y 12:00 UTC 12 de Octubre 2007 (c), y simulación Nooro a las 00:00 UTC 12 de Octubre (d), 06:00 UTC 12 de Octubre (e) y 12:00 UTC 12 Octubre de 2007 (f).

En la Figura 3.9, se incluye un corte vertical de la temperatura potencial equivalente, la velocidad vertical y el vector del viento en la dirección O-E a $38,8^\circ$ N (Figura 3.2). En la Figura 3.9a, se aprecia una advección húmeda horizontal del este en las capas bajas hacia la costa. A las 00 UTC del día 12 de Octubre ya se puede ver algún movimiento vertical en la primera barrera orográfica cerca de la costa. 6 horas más tarde (Figura 3.9b), RAMS reproduce un movimiento ascendente sobre las primeras elevaciones más significativas (alrededor de 700 m). Esta circulación se debe principalmente al disparo orográfico, unido a algunas líneas de convergencia en niveles superficiales y la presencia de inestabilidad en capas medias y altas de la atmósfera. La intensidad de este movimiento vertical disminuye, pero se mantiene todavía a las 12 UTC del día 12 de Octubre. La persistencia de la advección húmeda del este sumada al movimiento vertical, además de un embolsamiento en niveles altos de la troposfera, favorecen el inicio y la perseverancia de las lluvias intensas en esta zona. Eliminado la orografía de la simulación, vemos en la Figura 3.9d un claro ascenso cercano al límite oeste del dominio 4 del modelo a las 00 UTC del día 12 de Octubre donde la masa de aire se ve influida por la presencia de orografía del tercer dominio del modelo, en la interfase de las mallas 3 y 4. A las 06 UTC (Figura 3.9e), se observa un movimiento vertical significativo justo encima de la zona de la precipitación, pero es claramente más flojo que el obtenido en la simulación de control y está desplazado ligeramente hacia el este, probablemente debido a la convergencia de la corriente en chorro marítima y la masa de aire continental más seca, así como a la presencia de inestabilidad en niveles medios y altos. 6 horas más tarde, la velocidad vertical disminuye y permanece muy por debajo de los valores reproducidos por la simulación de control.

En relación a la precipitación, en la Figura 3.10, se incluye la precipitación acumulada simulada por el modelo RAMS en el dominio de mayor resolución horizontal, para los dos días del evento y los valores totales correspondientes a ambos. Se muestra cómo el día 11 de Octubre (Figura 3.10a), RAMS captura correctamente el área de lluvia cercana al Cabo de La Nao ($0-0,2^\circ$ E y $38,7-38,9^\circ$ N) pero con valores de precipitación menores y el pico queda desplazado ligeramente hacia el norte en relación con la máxima observada. RAMS también muestra una zona más amplia de lluvia localizada alrededor de 39° N que no ha sido observada. La mayor parte de la precipitación, como ya se ha comentado, se registró durante las primeras 12 horas del día 12 de Octubre. La precipitación acumulada en este día por el modelo reproduce

bastante bien los datos observados (Figura 3.10b). RAMS también calcula la precipitación registrada en el nordeste de la Provincia de Alicante, con las mayores precipitaciones localizadas hacia el interior y ligeramente al oeste del Cabo de La Nao, de acuerdo con las observaciones. Además, las dos áreas de precipitación máxima registradas también se muestran en los resultados del modelo, pero con los valores acumulados de precipitación infravalorados, con máximas menores que 300 mm cuando en realidad fueron superados.

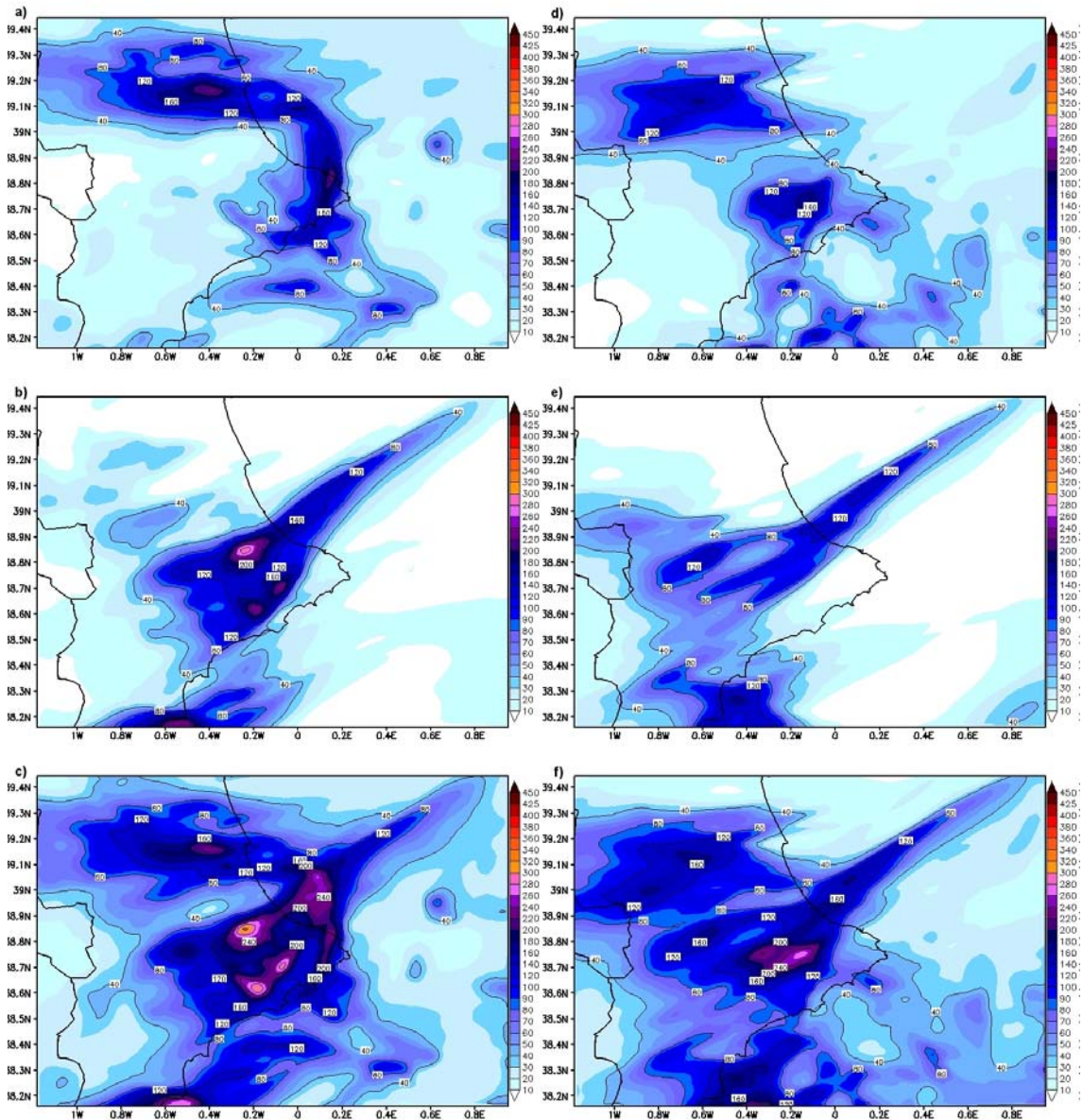


Figura 3.10. Precipitación acumulada (mm) en la simulación de control del modelo RAMS durante los períodos 11 de Octubre (a), 12 de Octubre (b) y 11–12 de Octubre 2007 (c) y la simulación Nooro 11 de Octubre (d), 12 de Octubre (e) y 11–12 de Octubre 2007 (f).

Finalmente, teniendo en cuenta el total de los dos días, RAMS reproduce muy bien la distribución espacial de la lluvia, pero de nuevo con valores más bajos de precipitación. En el caso de eliminar la orografía, la previsión de las áreas de precipitación se ven disminuidas y desplazadas hacia el interior comparado con la simulación de control. Este resultado se observa en los dos días del evento, y también para la precipitación acumulada en las 48 horas (paneles d, e y f de la Figura 3.10). Se puede ver también cómo al eliminar la orografía en la simulación, RAMS produce solo un área estrecha de precipitación intensa, mientras que la previsión de la simulación de control se corresponde con varias zonas localizadas y afectadas por las lluvias intensas (Figura 3.10c,f). Se pueden ampliar los resultados aquí descritos en el Anexo III.

3.5.2. Estudio de la parametrización convectiva

En la Figura 3.11, se incluye la precipitación acumulada en la simulación completa. La configuración Kuo1 muestra una muy buena representación en cuanto a la localización del área de máxima precipitación y los valores acumulados, según los datos observados, si bien falla a la hora de reproducir algunos picos de precipitación del interior. En cambio, Kuo2 no reproduce correctamente el área de máxima precipitación, pero sí captura el máximo local hacia el norte del área de las lluvias. Vemos además cómo el experimento Kuo3 presenta mejores resultados que Kuo2 a la hora de localizar el área de máxima precipitación, aunque la localiza ligeramente hacia el norte de su posición real. Además, con Kuo3 se simulan picos con valores mayores que los observados. Asimismo, aparece otra zona de alta intensidad de precipitación hacia el norte del dominio 4, sobreestimando significativamente los valores registrados. Finalmente, en el caso de la configuración Kuo4, la precipitación máxima prevista por el modelo se desplaza hacia el este sobre el mar, mientras que la pluviosidad se subestima en tierra.

Al utilizar la parametrización de Kain-Fritsch, los resultados de la configuración KF1 muestran el área de máxima precipitación desplazada hacia el sur y sobre el mar, e infravalora los valores registrados. En el experimento KF2, los valores de precipitación acumulada son bajos en general, y solo se localiza correctamente una pequeña área con valores por encima de los 90 mm. KF3 proporciona los peores resultados de todos los

experimentos llevados a cabo, simulando una baja pluviosidad o incluso nula precipitación en algunas partes del dominio. Igualmente, esta configuración reproduce áreas con precipitación moderada hacia el interior que no se han observado.

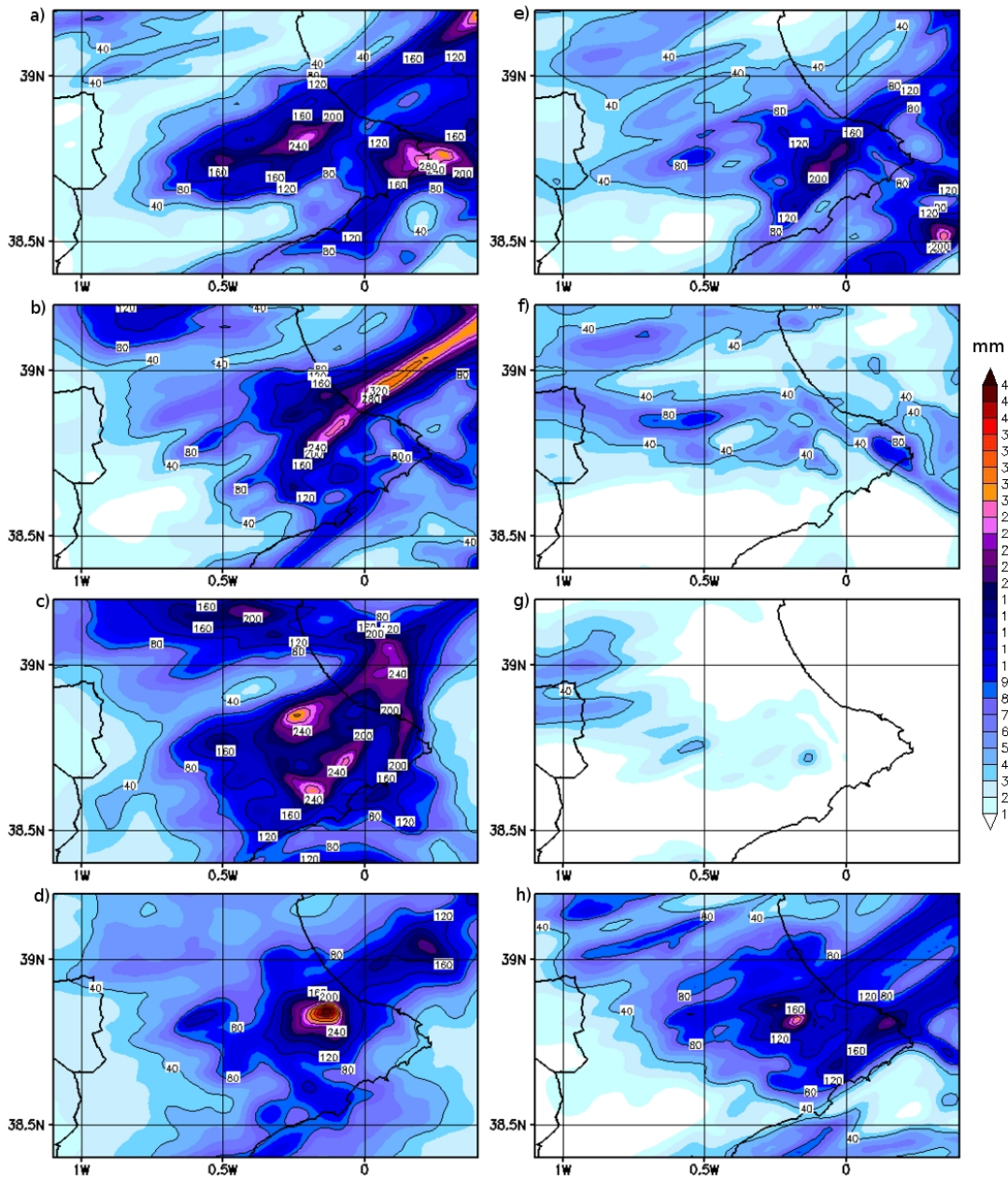


Figura 3.11. Precipitación acumulada en 48-h (mm) prevista por el modelo RAMS en el dominio 4: Kuo1 (a), Kuo2 (b), Kuo 3 (c), Kuo4 (d), KF1 (e), KF2 (f), KF3 (g) y NoC (h).

En términos globales, podemos decir que los experimentos llevados a cabo utilizando el esquema de parametrización convectiva de Kuo proporcionan resultados más realistas que los simulados con el esquema de Kain-Fritsch tanto en la distribución espacial de la precipitación como en la previsión de pluviosidad. Se debe destacar aquí

que en todas las simulaciones, excepto en el experimento KF3, aparece un área con precipitación de intensidad moderada a alta hacia la costa. Los resultados del experimento NoC (Figura 3.11h), muestran una banda estrecha de precipitación hacia la costa, de forma que los valores simulados en el interior quedan por debajo de los realmente observados.

De los experimentos realizados con las parametrizaciones convectivas, KF2 y KF3 proporcionan valores de precipitación muy bajos, de 80 y 50 mm respectivamente. Además, la localización del máximo se desplaza hacia el interior y norte. Utilizando el esquema de Kain-Fritsch, solo KF1 proporciona valores relativamente buenos. En esta configuración, el área de mayor pluviosidad es menos extensa que la observada pero situada correctamente. Asimismo, los valores máximos son también infravalorados, situándose alrededor de 200 mm. Los mejores resultados obtenidos utilizando el esquema de Kuo se obtienen con las configuraciones Kuo3 y Kuo4. La distribución espacial de la precipitación acumulada en la simulación Kuo3 se ajusta correctamente a la precipitación registrada tanto en extensión como en localización. No obstante, aunque proporciona valores de precipitación por encima de los 240 mm, todavía subestima las observaciones. Kuo4 muestra el pico de precipitación más elevado, con 300 mm, muy cercano a los valores máximos registrados pero concentrado en un área más pequeña que la real. En todos los experimentos Kuo, la zona de lluvia se extiende desde el suroeste hacia el nordeste y llega hasta el mar. Finalmente, la simulación NoC reproduce correctamente el área de precipitación, pero infravalora los valores con máximos alrededor de 160 mm.

De lo comentado, parece que en términos generales, los esquemas de parametrización convectiva Kuo y Kain-Fritsch, parece como si trabajaran en direcciones opuestas en cuanto a la exactitud de la previsión de la precipitación acumulada. En este sentido, el esquema de Kuo mejora esta magnitud cuando se activa en dominios de mayor resolución, mientras que en el caso de Kain-Fritsch, los resultados del modelo mejoran cuando la parametrización se activa únicamente en el dominio exterior y la convección se resuelve explícitamente en los dominios interiores. Más información al respecto, se puede encontrar en el Anexo IV.

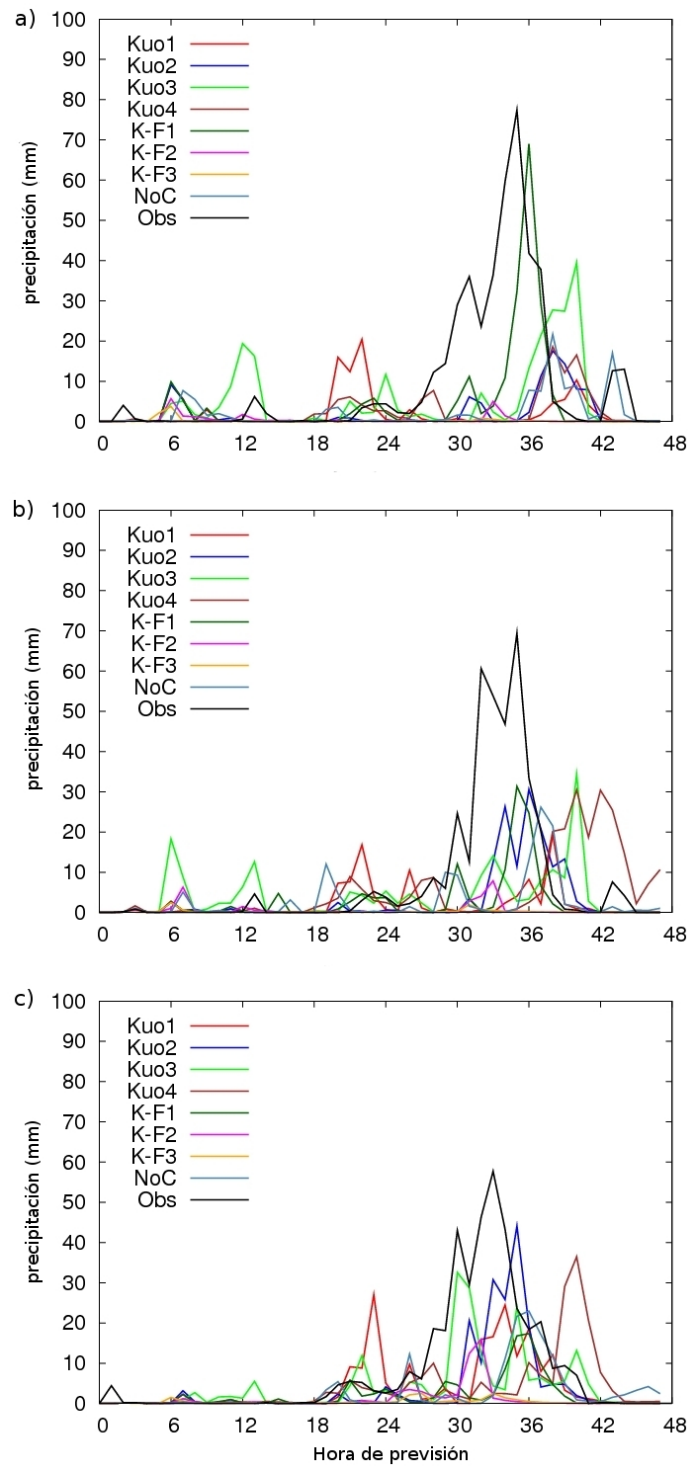


Figura 3.12. Evolución horaria de la precipitación (mm) observada y la prevista por el modelo RAMS: Alcalalí (a), Isbert (b) y Tollos (c).

Para llevar a cabo un análisis de la evolución temporal de la precipitación en la zona de estudio, se han seleccionado tres estaciones con los valores de precipitación acumulada más elevados y con información horaria disponible, que se incluyen en la

Figura 3.12. Durante las primeras 18 horas de simulación, poca precipitación fue registrada. Las precipitaciones intensas comenzaron entre 20 y 24 horas después del inicio de la simulación. Todos los experimentos realizados con el esquema Kuo muestran el comienzo de la precipitación alrededor de las 18 de simulación, con Kuo1 simulando precipitaciones demasiado elevadas, como se puede ver en las tres estaciones de la Figura 3.12. Kuo4 no reproduce el intervalo temporal en el que se registraron las máximas precipitaciones, mostrando el pico de intensidad con unas horas de retraso. En todo el periodo de lluvias, los experimentos KF2 y KF3 proporcionan resultados muy pobres dado que no reproducen apenas precipitación. En cambio, KF1 muestra los mejores resultados de las configuraciones KF. Sus resultados son similares a los que reproducen las simulaciones Kuo, e incluso mejores a la hora de capturar la intensidad de la precipitación máxima en algunas estaciones, como es el caso de Alcalalí. El experimento NoC muestra buenos resultados en determinar el comienzo del evento, aunque infravalora la magnitud observada. En este sentido, el rango temporal de la precipitación máxima para esta configuración muestra un retraso respecto a los valores observados, especialmente en el caso de la estación de Alcalalí. En general, los experimentos de Kuo reproducen la evolución de la precipitación bien, aunque con valores alrededor del 50% de la intensidad de precipitación real. Además, los mejores resultados, en términos de duración y picos del evento, son proporcionados por los experimentos Kuo2 y Kuo3, mientras que en Kuo1 la precipitación empieza demasiado pronto y no reproduce demasiado bien las intensidades observadas. Parece así que aunque las configuraciones Kuo3 y Kuo4 son las mejores a la hora de reproducir la cantidad total de precipitación, Kuo2 y KF1 son mejores al capturar el intervalo temporal de las lluvias.

En la Figura 3.13, se representa la temperatura potencial, la velocidad vertical y el vector viento en una sección vertical a 38,8 °N (Figura 3.2) el día 12 de Octubre a las 06 UTC, para los diferentes experimentos de parametrizaciones convectivas, y según lo observado en las horas donde se produce la máxima precipitación. Se puede ver en este gráfico la advección de aire húmedo en los niveles bajos de la atmósfera hacia la costa, que asciende a través de un transporte vertical debido principalmente, como hemos visto anteriormente, al disparo orográfico además de la presencia de inestabilidad en niveles medios y altos.

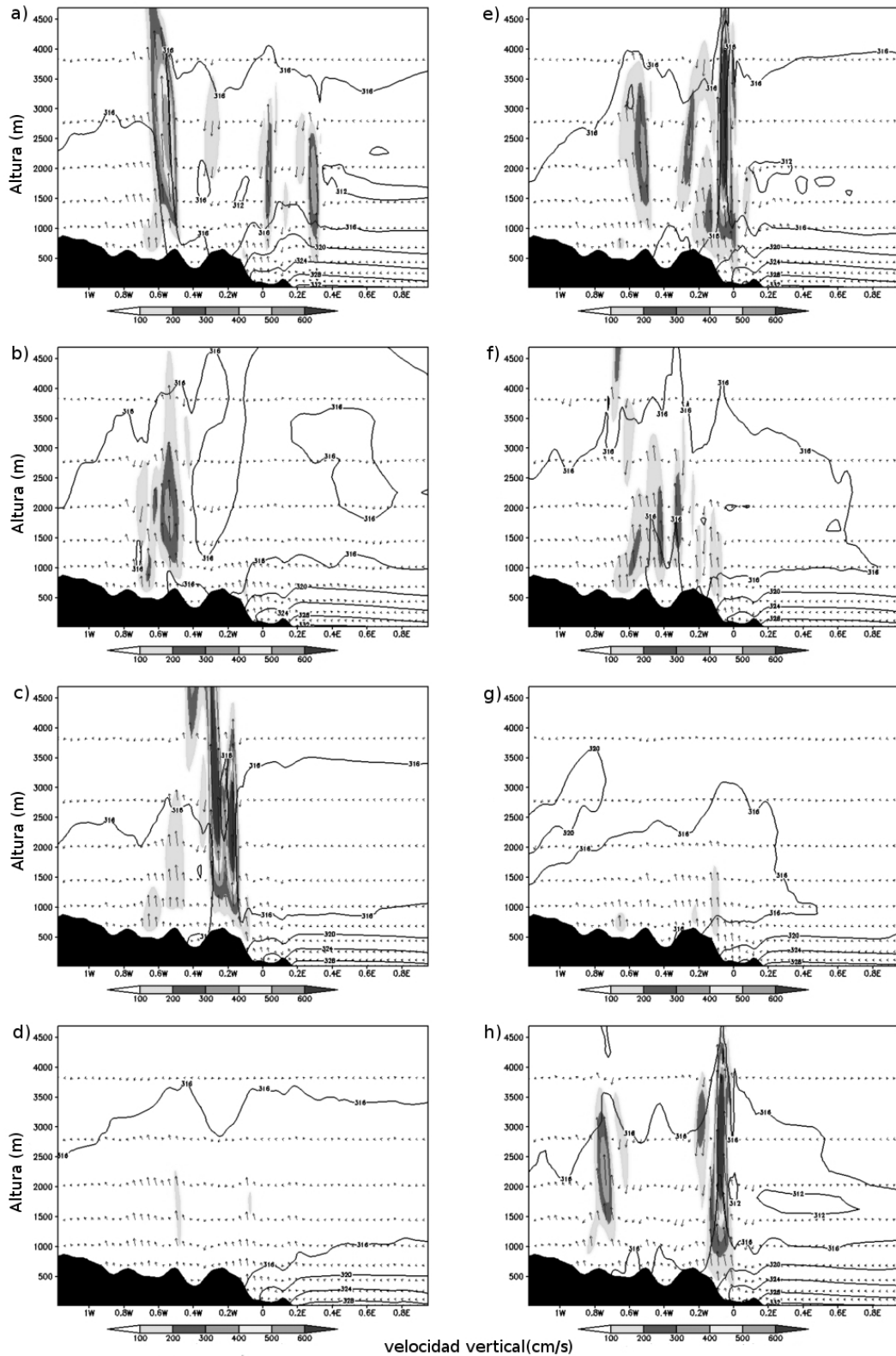


Figura 3.13. Sección vertical a $38,8^{\circ}$ N simulada por el modelo RAMS para la temperatura potencial equivalente (K), velocidad vertical (cm/s) y vector viento el día 12 de Octubre a las 06:00 UTC para las diferentes simulaciones: Kuo1 (a), Kuo2 (b), Kuo3 (c), Kuo4 (d), KF1 (e), KF2 (f), KF3 (g) y NoC (h).

Las simulaciones Kuo1, Kuo2, Kuo3, KF1 y NoC muestran un fuerte ascenso vertical sobre la barrera orográfica cercana a la costa. El experimento KF2 produce un ascenso débil, mientras que KF3 y Kuo4 apenas muestran este movimiento. Las diferencias observadas en el inicio y el tiempo en que se produce el máximo del ascenso de la masa de aire en las diferentes simulaciones, puede ser el responsable del retraso en las intensidades de máxima precipitación según la previsión del modelo (Figura 3.12).

3.5.3. Verificación de las simulaciones RAMS

Con el fin de evaluar la habilidad del modelo en la previsión de la precipitación utilizando diferentes parametrizaciones convectivas, se ha llevado a cabo una verificación cuantitativa para la zona donde se produjeron las precipitaciones más intensas. Esta área se corresponde con el dominio 4 de simulación (Figura 3.7). La metodología seguida está basada en una verificación estadística según diversos índices ampliamente utilizados (Mariani et al., 2005; Mazarakis et al., 2009). Para ello se ha utilizado la precipitación horaria acumulada en un total de 50 estaciones distribuidas en la zona indicada, utilizando datos tanto de la red de estaciones meteorológicas de la Fundación CEAM (un total de 14 estaciones) y la red de pluviómetros de la CHJ.

Tabla de contingencia 2x2		Evento observado	
		Sí	No
Evento previsto	Sí	A	B
	No	C	D

Tabla 3.5. Tabla de contingencia de eventos posibles para un umbral determinado.

Utilizando los valores observados y previstos, se construye una tabla de contingencia de dimensión 2x2 (Tabla 3.5). Esta tabla nos permite catalogar las posibles combinaciones de los eventos observados y modelizados que sean superiores o inferiores a un cierto umbral. Los valores umbrales elegidos son un total de siete, y se basan en el estudio llevado a cabo por Mariani et al. (2005). Debido a la elevada intensidad del pico de precipitación observado, incluimos umbrales de hasta 80 mm en 12 horas. En la tabla que se genera, se definen cuatro categorías en términos de si o no la observación y la previsión exceden un determinado umbral al mismo tiempo. El

tamaño de la muestra es la suma de estas cuatro categorías y se corresponde con el número total de pares observación-previsión cubriendo todo el período de verificación.

Dado que únicamente se considera un único evento, se ha utilizado la metodología propuesta por Hamill (1999) y aplicada posteriormente por Mariani et al. (2005). En esta aproximación, los índices estadísticos se calculan como una suma de tablas de contingencia en lugar de como una media de tablas de contingencia. Esto produce que los estadísticos utilizados sean menos sensibles a pequeños cambios en la población de las tablas de contingencia. De este modo, los registros de precipitación horaria se dividen en varias tablas de contingencia dependiendo de tiempo de acumulación de precipitación. Finalmente, se calculan los índices estadísticos, que serían los siguientes: *Areal Bias* (AB), *Probability of Detection* (POD), *False Alarm Rate* (FAR), *Critical Success Index* (CSI) y *Heidke Skill Score* (HSS). AB proporciona la fracción entre la frecuencia de la previsión y la observación de un evento real, mientras que POD analiza la habilidad del modelo de prever correctamente la precipitación observada. FAR proporciona la razón de eventos previstos que no fueron observados y el índice CSI calcula la fracción de eventos observados y/o previstos que fueron correctamente previstos. Finalmente, HSS está basado en la tasa de aciertos como la medida básica de la precisión de la previsión, y representa la fracción de previsiones correctas, una vez eliminados aquellos pronósticos que pudieran ser correctos por casualidad (considerada la previsión de referencia). Así, un pronóstico perfecto se corresponde con HSS igual a 1, el equivalente a la previsión de referencia recibe un valor HSS de 0, y pronósticos peores que el de referencia toman valores negativos. Las ecuaciones utilizadas en el cálculo de los diferentes índices estadísticos, teniendo en cuenta la Tabla 3.5, son las siguientes:

- Arial Bias, $AB = \frac{A + B}{A + C}$
- Probability of Detection, $POD = \frac{A}{A + C}$
- False Alarm Rate, $FAR = \frac{B}{A + B}$
- Critical Success Index, $CSI = \frac{A}{A + B + C}$
- Heidke Skill Score, $HSS = \frac{A + D - E}{A + B + C + D - E}$; $E = \frac{(A + B)(A + C) + (B + D)(C + D)}{A + B + C + D}$

Los diferentes índices estadísticos calculados, se incluyen en la Figura 3.14. Como puede verse, para todas las configuraciones del modelo, AB presenta una tendencia similar hacia la subestimación del área total de precipitación. Este estadístico depende del umbral seleccionado para todas las simulaciones, aunque Kuo3 muestra valores mayores de este estadístico para precipitaciones más intensas. Las configuraciones KF2 y KF3 no son capaces de reproducir la magnitud de la máxima observada. Así, los valores AB de estas simulaciones son menores que en el resto para todos los umbrales seleccionados. Kuo1 y Kuo2 muestran una reducción similar en la previsión del comportamiento de intensidades medias y altas. KF1 muestra una tendencia como las dos configuraciones anteriores, donde Kuo1 produce resultados ligeramente mejores en el rango de menores intensidades y resultados muy cercanos para umbrales medios y altos. De todas las simulaciones llevadas a cabo, Kuo3 parece ser la que mejores resultados proporciona del índice AB para los diferentes umbrales seleccionados.

En relación al estadístico CSI, vemos cómo para umbrales pequeños, las cuatro simulaciones Kuo, KF1 y NoC muestran valores bastante buenos, por encima de 0,5, con Kuo4 proporcionando los valores más altos. En todos los experimentos, la destreza del modelo cae a medida que nos movemos hacia umbrales mayores. En la Figura 3.14b se observan diferencias notables entre las simulaciones indicadas y las configuraciones KF2 y KF3. En este caso, el índice CSI para todos los umbrales queda por debajo de los

otros esquemas. De esta figura también se desprende que estas dos configuraciones no deberían ser utilizadas para precipitaciones intensas, al menos en lo que se deriva de este estudio, dado que no reproducen la máxima observada. Podemos decir, así, que Kuo3 supera al resto de experimentos evaluados en este trabajo para los umbrales de precipitación más altos.

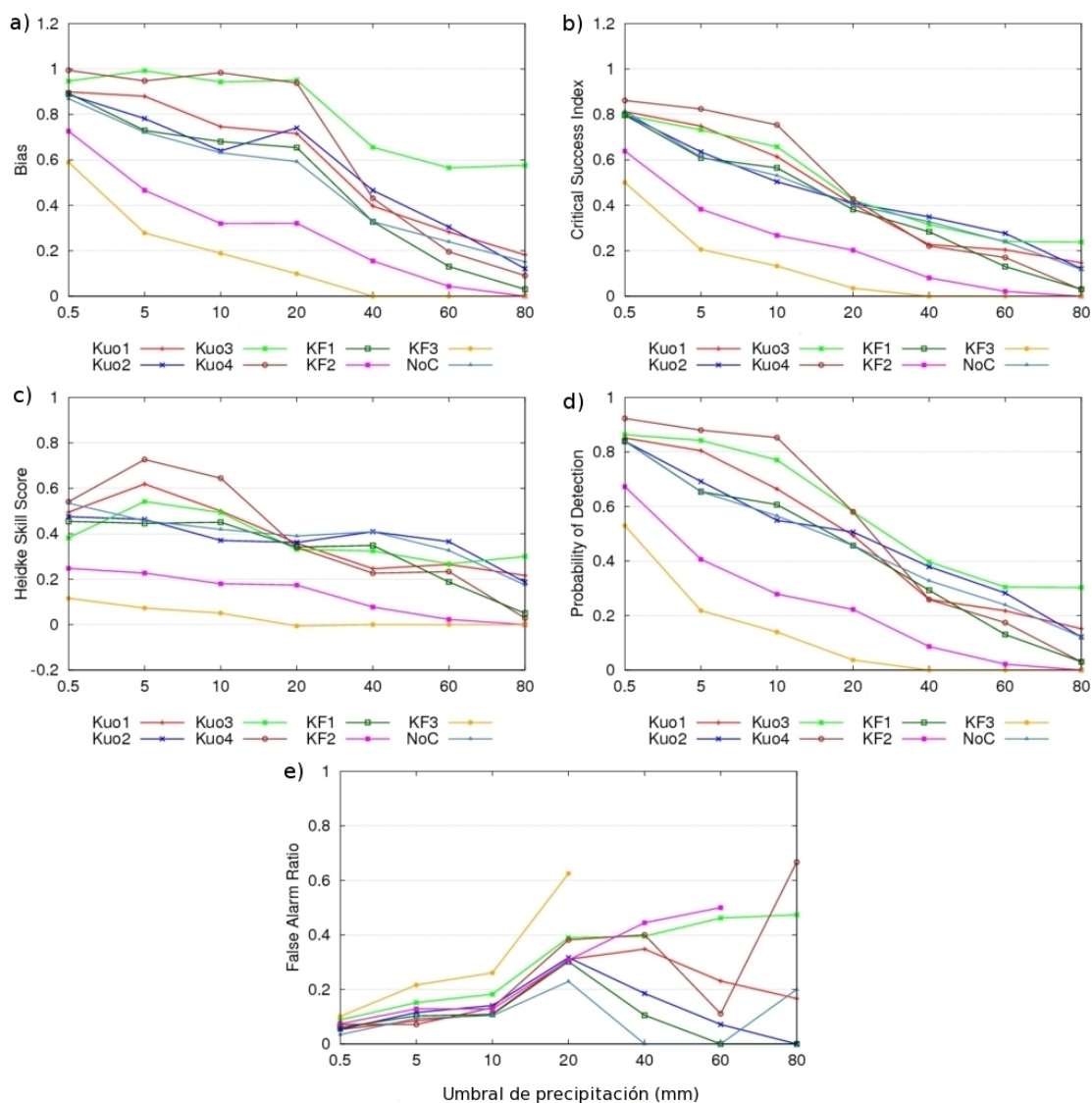


Figura 3.14. Índices estadísticos de las simulaciones RAMS: *Areal Bias* (a), *Critical Success Index* (b), *Heidke Skill Score* (c), *Probability of Detection* (d) y *False Alarm Rate* (e).

En comparación con los anteriores estadísticos, HSS muestra un patrón similar, con las configuraciones KF2 y KF3 proporcionando los menores valores de este índice para todos los umbrales. HSS se acerca a cero en estos esquemas para umbrales más

altos. También se observa que, para intensidades medias, las diferencias del estadístico HSS para la simulación KF1 y las cuatro Kuo son menores, mientras que aumentan para valores por encima y por debajo de alrededor del umbral de 20 mm.

En la Figura 3.14, vemos que los resultados del estadístico POD son muy similares a los obtenidos para el AB, con una tendencia descendente desde los umbrales bajos a los altos. Los mejores resultados para umbrales por debajo de 20 mm los proporciona la configuración Kuo4. Para umbrales mayores que este valor, Kuo3 y NoC muestran una mejor representación, donde Kuo3 logra los mejores resultados para los umbrales más altos. Como en el caso del índice AB, Kuo3 produce en general los mejores resultados para todos los umbrales. Finalmente, se observa cómo KF2 y KF3 ofrecen pobres resultados para el estadístico POD, que son incluso peores para intensidades más elevadas.

El estadístico FAR se representa en la Figura 3.14e, con una ligera tendencia ascendente para umbrales bajos, más pronunciada entre 10 y 20 mm, indicando un incremento de falsa alarma. Dentro de estos umbrales, casi todas las configuraciones indican valores FAR similares, excepto KF3 que muestra un rápido aumento en el número de falsa alarma. A partir de los 20 mm, el comportamiento de los diferentes experimentos se puede dividir en dos grupos. Por un lado, Kuo1, Kuo3, Kuo4 y KF2 presentan un ligero ascenso hasta el umbral de 40 mm mientras que el resto de simulaciones empiezan una evidente tendencia descendente. La configuración Kuo3 incrementa el número de falsa alarma para umbrales altos, mientras que Kuo1 y Kuo4 empiezan a decaer por encima del umbral de 40 mm. En el caso de las simulaciones Kuo2 y KF1 hay una reducción del número de falsa alarma para intensidades más elevadas de precipitación. Debido a la significativa subestimación de la precipitación modelizada por las configuraciones KF2 y KF3 y la elección de umbrales, no siempre ha sido posible calcular el estadístico FAR.

3.6. Validación del sistema de predicción operativa del UVI

Con el fin de comprobar si la nueva herramienta implementada produce una previsión UVI acertada, se ha llevado a cabo una validación de los datos de ozono y de

los resultados producidos por la simulación del modelo SBDART. En este sentido, hemos comparado los datos TOC correspondientes a la previsión GFS con los datos TOC procedentes del sensor OMI. Así mismo, se han comparado las variables UVER y UVI modelizadas utilizando ambas fuentes de ozono, con los datos experimentales.

Número de días (%)					
Ozono $< \text{Media} - 2\sigma_{1998-2007}$	OMI	GFS _D	GFS _{D+1}	GFS _{D+2}	GFS _{D+3}
Prat de Cabanes	1,2	0,3	0,6	0,0	1,1
Aras de los Olmos	1,7	1,4	1,1	1,7	3,0
Valencia	1,1	0,3	0,0	0,6	1,4
Denia	0,9	0,3	2,0	1,4	2,9
La Mata	0,9	0,3	0,3	1,7	2,6

Tabla 3.6. Valores de ozono menores que la media mensual menos dos veces la desviación estándar.

En relación a los datos de ozono, en la Figura 3.15, se representa los datos TOC diarios del GFS y OMI para el año 2008. Para comparar esta información en este periodo con años anteriores, se ha calculado la media mensual para del sensor TOMS-OMI durante los 10 años anteriores (1998-2007). Para identificar valores anómalos de datos de ozono, se ha seleccionado un valor umbral, correspondiente al valor medio mensual menos o más dos veces la desviación estándar (Antón et al., 2008). La mayor parte de los datos se incluyen en este rango.

Número de días (%)					
Ozono $> \text{Media} + 2\sigma_{1998-2007}$	OMI	GFS _D	GFS _{D+1}	GFS _{D+2}	GFS _{D+3}
Prat de Cabanes	2,7	2,9	2,3	2,3	2,6
Aras de los Olmos	3,2	2,6	2,3	2,0	1,7
Valencia	3,3	2,9	2,9	2,6	2,9
Denia	1,7	2,9	2,9	2,9	2,6
La Mata	3,0	2,3	2,6	3,1	2,6

Tabla 3.7. Valores de ozono mayores que la media mensual más dos veces la desviación estándar.

Menos del 3 % de los casos analizados cae dentro de la categoría de bajos eventos, la mayor parte de los cuales pertenecen a Aras de los Olmos, como se puede ver en la Tabla 3.6. En cuanto a la frecuencia de eventos mayores, se observa una tendencia ligeramente superior, aunque tampoco se excede del 3 % del total (Tabla 3.7).

En general, tanto GFS como OMI muestran el mismo porcentaje de eventos superiores e inferiores.

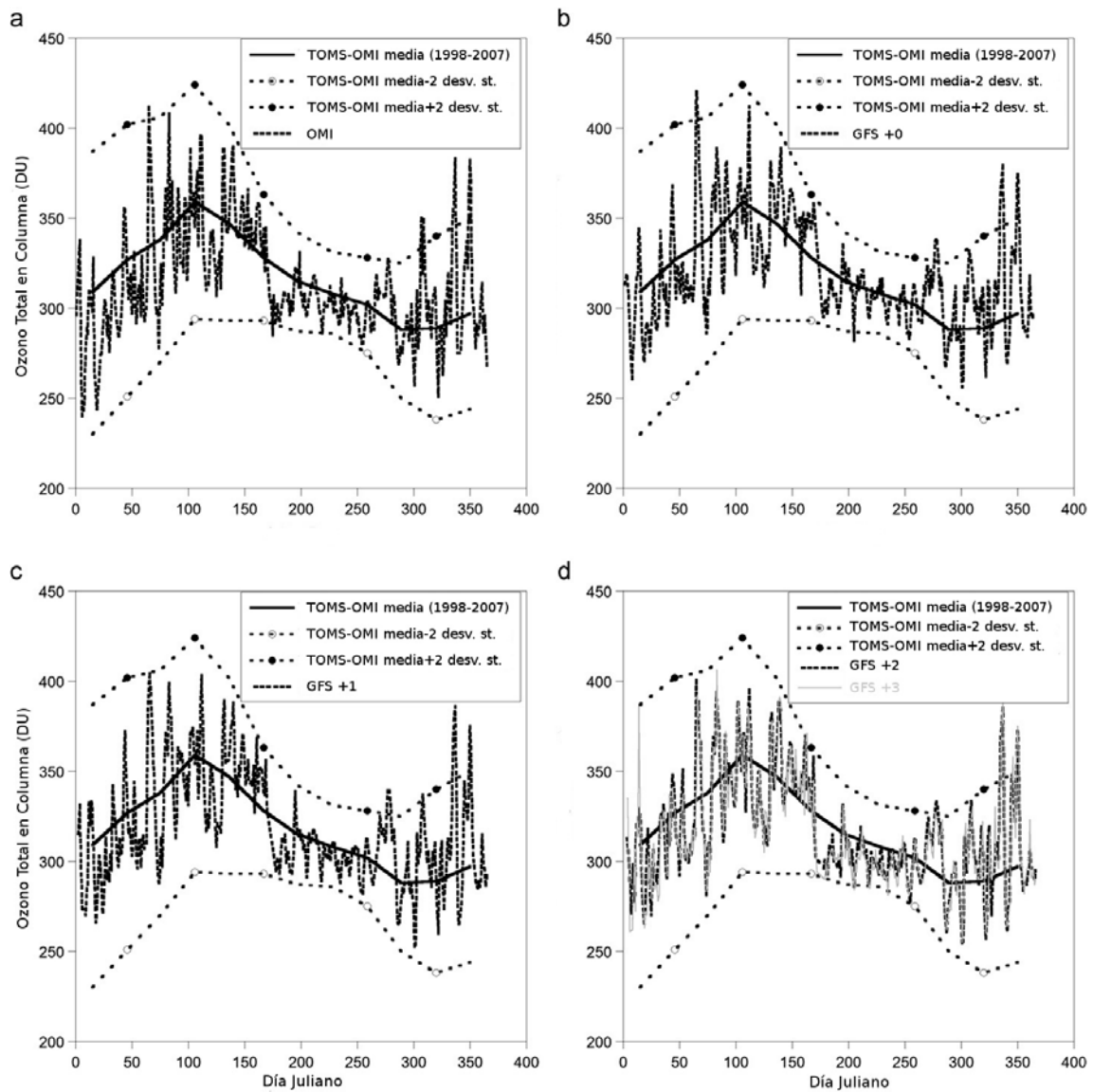


Figura 3.15. TOC diario en la estación de Valencia: OMI (a), GFS día actual, D (b), GFS D+1 (c), GFS D+2 y D+3 (d). El valor medio correspondiente a TOMS-OMI hace referencia a 10 años (1998–2007). También se representa el valor medio menos 2 veces la desviación estándar y el valor medio más 2 veces la desviación estándar.

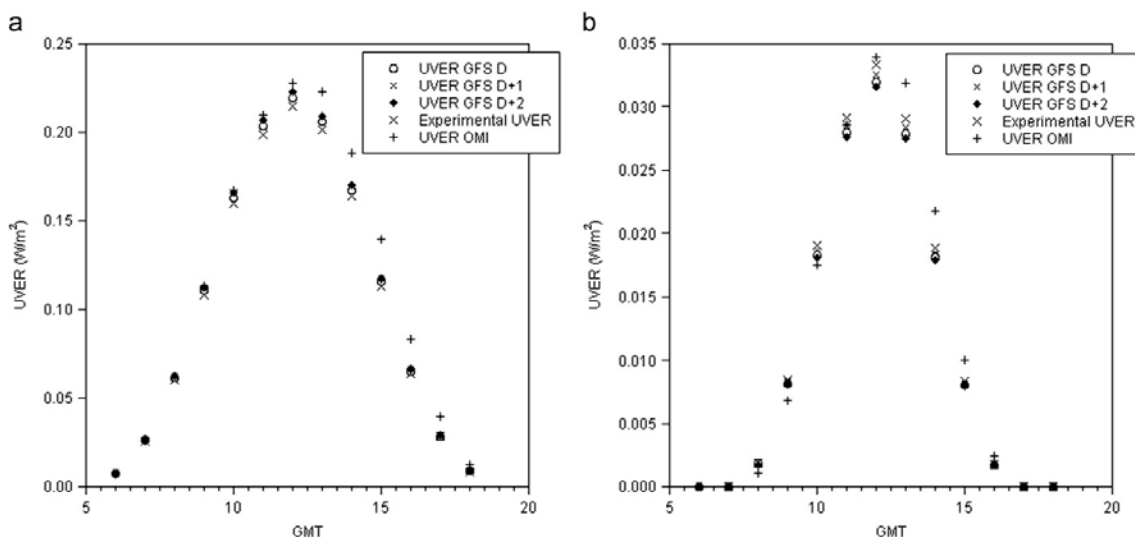


Figura 3.16. UVER modelizado y experimental en la estación de Prat de Cabanes: día de verano, 28 de Junio de 2008 (a) y día de invierno, 25 de Diciembre de 2008 (b).

El UVER modelizado se ha comparado con medidas in-situ, que se corresponde con un método usual de validación de productos de satélite (Kazadzis et al., 2009; Arola et al., 2009). En la Figura 3.16, se representa los datos de UVER tanto modelizados como experimentales para dos días despejados en la estación de Prat de Cabanes, correspondientes a un día de verano y otro de invierno. Se observa cómo los datos simulados se ajustan a los valores experimentales. Se puede ver, además, que el UVER que proporciona el modelo utilizando como datos TOC de entrada los del sensor OMI, es la curva que más difiere respecto de los datos experimentales. Como resultado, se obtiene que la magnitud TOC GFS mejora el UVER simulado.

Finalmente, se comparan los datos UVI modelizados utilizando la información TOC suministrada por el sensor OMI y la predicción GFS frente al valor del UVI experimental para días despejados. En la Tabla 3.8, se incluye el mismo cálculo para cada estación. El porcentaje de acierto o desacuerdo en una unidad de diferencia es alto, como podemos ver, por ejemplo, en el caso de Aras de los Olmos, con un 81 %, o La Mata, con un 94 % utilizando la previsión GFS como fuente de datos TOC. Si la simulación se realiza con el ozono del sensor OMI, el acierto en las estaciones anteriores, disminuye ligeramente hasta el 78 % y 85 %, respectivamente. De esta forma, vemos cómo los datos GFS propuestos en este trabajo son apropiados para el sistema de previsión implementado.

	UVI mod - UVI exp	OMI (%)	GFS _D (%)	GFS _{D+1} (%)	GFS _{D+2} (%)
Cabanés	= -1 unidad	15,0	13,2	13,2	11,1
	= 0 unidades	50,0	54,5	53,8	54,7
	= 1 unidad	18,1	20,1	20,1	21,3
	Suma	83,1	87,8	87,1	87,1
Aras	= -1 unidad	18,0	18,3	16,5	14,4
	= 0 unidades	36,7	43,7	44,9	45,6
	= 1 unidad	23,7	20,3	20,9	20,6
	Suma	78,4	82,3	82,3	80,6
Valencia	= -1 unidad	34,4	38,6	37,6	36,7
	= 0 unidades	34,0	37,7	38,6	39,9
	= 1 unidad	14,9	9,1	8,8	9,1
	Suma	83,3	85,4	85,0	85,7
Denia	= -1 unidad	20,4	21,4	20,6	19,5
	= 0 unidades	40,3	48,2	49,1	47,9
	= 1 unidad	23,0	19,3	18,9	21,3
	Suma	83,7	88,9	88,6	88,7
La Mata	= -1 unidad	24,4	33,8	31,0	28,6
	= 0 unidades	44,0	44,0	45,8	49,5
	= 1 unidad	16,9	14,8	14,8	15,5
	Suma	85,3	92,6	91,6	93,6

Tabla 3.8. Diferencia absoluta entre el UVI previsto (con GFS y OMI) y el UVI medido para días despejados.

3.7. Difusión de la información generada por los sistemas de vigilancia y alerta

Dado que los productos generados por los sistemas de vigilancia y alerta están destinados en última instancia a la población en general, una forma fácil y rápida de acceder a esta información es la utilización de Internet y los portales Web. Es por ello que la previsión UVI se incluye en un sitio Web. Además de los productos de previsión, se incluyen en este portal información útil para ayudar al público en general a entender tanto los productos de previsión, como los resultados obtenidos. Por ejemplo, se incluye información acerca de los efectos de la radiación en los seres humanos, así como diversos consejos útiles. Esta información, dado que no cambia, se mantiene estática en la Web y puede ser accedida siempre que el usuario lo desee. La otra parte de la Web se corresponde con la previsión del producto correspondiente. Así, podemos ver el UVI máximo esperado, así como la evolución horaria de este índice para cada una de las estaciones de la red de medidas y cada uno de los días de previsión.

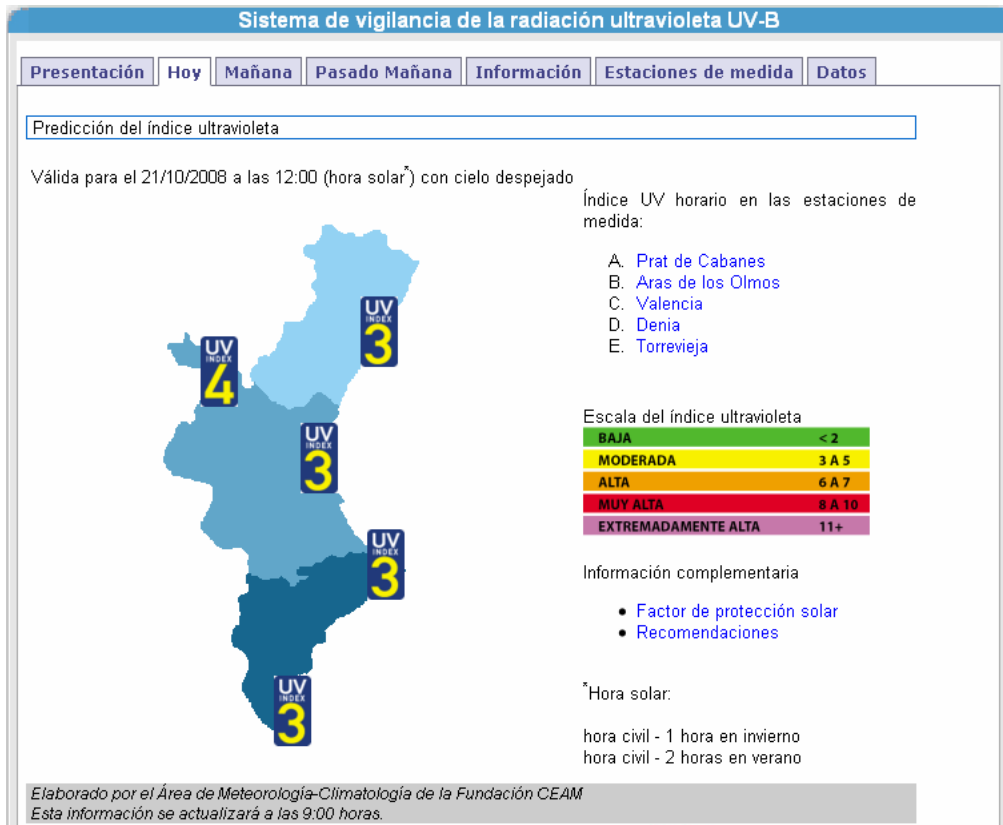


Figura 3.17. Imagen del mapa que indica el UVI máximo previsto.

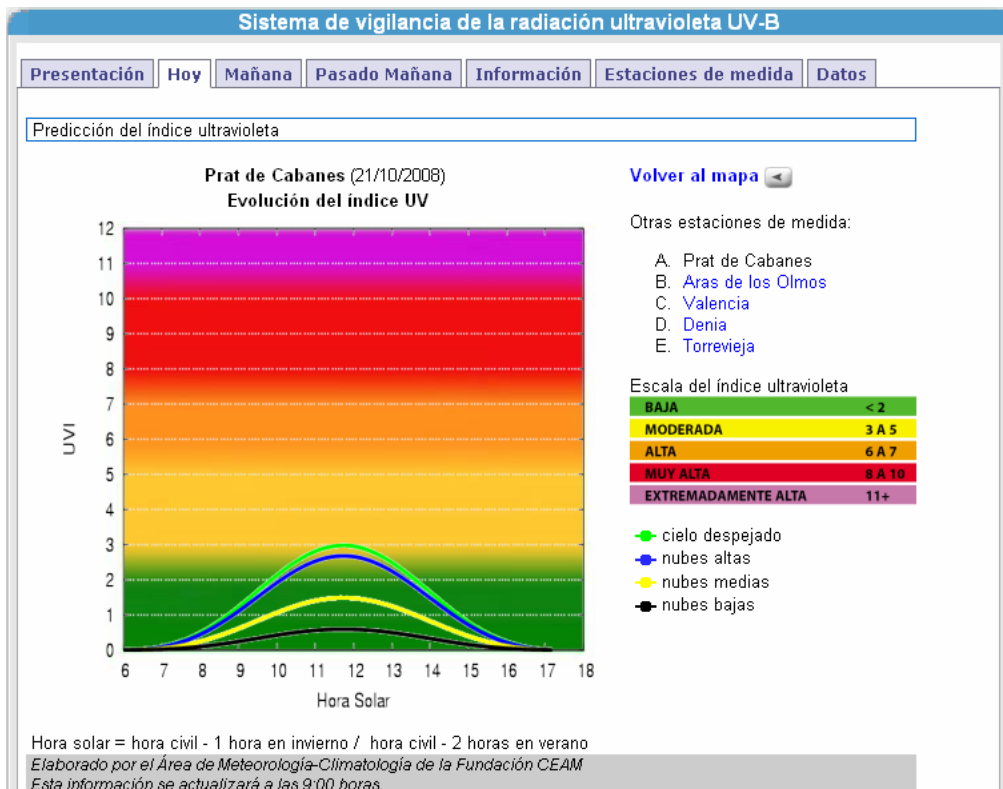


Figura 3.18. Imagen que muestra el gráfico de evolución horaria de la previsión UVI.

Esta información se actualiza cada día, y ofrece información para hoy, mañana y pasado mañana. Ejemplos de lo que se muestra en la red serían las Figuras 3.17 y 3.18.

Para tener información más detallada de los resultados de previsión UVI, así como de la implementación del Portal Web, se puede consultar el Anexo II.

Capítulo 4

Conclusiones

A veces sentimos que lo que hacemos es tan solo una gota en el mar, pero el mar sería menos si le faltara una gota.

Madre Teresa de Calcuta

Como resumen de lo expuesto en esta Memoria, podemos entresacar las siguientes conclusiones:

1. La perspectiva de futuro en relación al cambio climático prevé una agudización de los extremos y un incremento de los riesgos asociados en la Comunitat Valenciana. Ante este escenario, el diseño e implementación de sistemas orientados a la generación de productos de previsión de diferentes variables atmosféricas tiene un interés fundamental. En este sentido, aplicaciones y sistemas de información dirigidos a la predicción de riesgos climáticos suponen un soporte y una contribución esencial en actividades de mitigación y disminución de su impacto, así como de las consecuencias que se puedan derivar. La información generada por estos sistemas resulta de gran utilidad a la hora de tomar las medidas necesarias y oportunas adecuadas a un determinado riesgo climático: decisiones relacionadas con la salud de la población,

protección del territorio, transportes, infraestructuras, etc. El uso de portales Web y otras utilidades específicas permite además difundir esta información no solo a los gestores y personal encargado de dichas tareas, sino también al público en general.

2. En esta Tesis se ha propuesto una metodología orientada al diseño e implementación de sistemas de vigilancia y alerta utilizando las TIC. En concreto, se ha presentado el sistema integrado de previsión meteorológica en tiempo real, cuyo núcleo es el modelo mesoescalar RAMS, y el sistema de predicción del UVI para el territorio de la Comunitat Valenciana. Ambos sistemas constan de una serie de módulos que se ejecutan en modo *background* de forma automática, según el diseño previo y, de acuerdo a los requerimientos de previsión y los recursos computacionales disponibles. Además, se ha propuesto una metodología que permite administrar los sistemas anteriores, y que pretende hacerlos más operativos y accesibles a investigadores y a personal técnico, de forma que la información generada por el sistema pueda ser administrada de forma más efectiva. Esta metodología incluye una herramienta visual (GUI) que permite acceder al sistema operativo correspondiente, de forma transparente al usuario. Así, la entrada al sistema resulta más amigable y se facilita la operación del mismo. Igualmente, se han definido diferentes mecanismos que permiten reunir los procesos que se ejecutan en *background* en un entorno computacional simple pero lo suficientemente potente como para permitir la visualización y control de todo el sistema a los responsables de la operación de los mismos. En este sentido, con solo unas pocas acciones, un usuario puede monitorizar los sistemas descritos sin necesidad de acceder directamente a la implementación realizada a más bajo nivel, mientras los procesos implicados realizan su trabajo en segundo plano. Finalmente, la forma en que se han diseñado los diferentes sistemas y herramientas permite reorientar su funcionalidad, y/o ampliarla con mínimas variaciones de código, cuando surjan nuevas necesidades o ante la actualización de las funciones ya existentes. Se proporciona así un sistema robusto y estable que posibilita la utilización de otros modelos de mesoescala. Asimismo, la versatilidad de este procedimiento permite exportar este método para otras aplicaciones basadas en modelos atmosféricos en tiempo real, como puede ser sistemas de predicción de la calidad del aire u otros sistemas de prevención y respuesta de emergencia.

3. La estructura sinóptica del evento de precipitación que tuvo lugar los días 11 y 12 de Octubre de 2007, se corresponde con una advección fría del este-nordeste, debido

a un anticiclón ubicado en el norte y centro de Europa, hacia el mar Mediterráneo más caliente, junto a la presencia de aire frío en altura. Esta situación provoca la llegada de aire húmedo y potencialmente inestable sobre la costa de la Comunitat Valenciana. Debido al ascenso orográfico que imprimen las primeras barreras de la costa en esta masa de aire, se produce un significativo ascenso vertical que desarrolla nubosidad y origina la precipitación. Además, la presencia de una borrasca aislada en altura potencia la inestabilidad y proporciona las condiciones para el desarrollo del sistema convectivo mesoscalar severo que se desarrolló durante estos días. La alimentación de humedad que producen los vientos marítimos en los niveles medios y bajos de la troposfera ayuda a que el sistema de precipitación se mantenga estacionario durante varias horas en el sur de la provincia de Valencia y norte de Alicante. Como resultado, se registraron intensidades y valores de precipitación acumulada muy elevados.

4. Se ha llevado a cabo un análisis de sensibilidad utilizando el modelo RAMS para evaluar la influencia de la orografía en la simulación. Eliminar este parámetro de la zona de precipitación resulta en una disminución de la intensidad del ascenso orográfico observado en las primeras cadenas montañosas cercanas a la costa. Como consecuencia, la precipitación se ve disminuida considerablemente en relación a tener en cuenta la orografía en todos los dominios de simulación. Además, se observa un desplazamiento del grueso de precipitación modelizado hacia el interior de la Comunitat Valenciana. De esta forma, parece que la orografía de esta zona juega un papel clave en los eventos de precipitación, actuando como un mecanismo de disparo que inicia el proceso de convección que produce las lluvias intensas y condicionando además la localización de las mismas.

5. Se han realizado diferentes experimentos numéricos con el fin de evaluar la influencia en la simulación de las parametrizaciones convectivas actualmente implementadas en el modelo RAMS. Estos esquemas son los correspondientes a Kuo y Kain-Fritsch. Se ha podido constatar cómo este último produce valores de precipitación realmente bajos en comparación con las observaciones. De las configuraciones KF utilizadas, solo la KF1 muestra resultados aceptables. De esta forma, se ha visto que activar este esquema de convección en mallas interiores, tiene como consecuencia un empeoramiento de las predicciones. Por otro lado, el esquema de Kuo produce buenos

resultados en la distribución espacial de la precipitación acumulada para los diferentes experimentos. Sin embargo, tiene una clara tendencia a subestimar los totales correspondientes, especialmente en la zona de máxima precipitación. En el caso de la convección Kuo, a diferencia de KF, activar el esquema en dominios de mayor resolución mejora la predicción de precipitación, tanto en cuanto a la distribución espacial como en relación a los valores obtenidos, aunque con la tendencia indicada. Cuando esta parametrización se utiliza en todas las mallas de simulación, el pronóstico de precipitación mejora en términos del pico máximo estimado, pero no así en la extensión de la precipitación, donde los resultados son peores que cuando el modelo resuelve explícitamente la convección del dominio de mayor resolución horizontal. El experimento realizado sin utilizar ninguna parametrización convectiva presenta buenos resultados en relación a la distribución espacial, aunque, de nuevo, se tiende a infravalorar las observaciones.

6. En todas las simulaciones realizadas con diferentes parametrizaciones convectivas, se reproduce una advección húmeda en los niveles bajos sobre el mar Mediterráneo hacia la costa, que asciende en las cadenas montañosas cercanas a ésta, debido a la convección y al disparo orográfico. Sin embargo, se observan diferencias entre las simulaciones, en relación al campo de velocidad vertical. Los ascensos más pronunciados y mejor organizados se observan utilizando las configuraciones Kuo1, Kuo2, Kuo3, KF1 y NoC, potenciando el transporte de humedad desde niveles bajos a niveles medios y altos. Como resultado de estas circulaciones, se produce un incremento significativo y continuo de humedad hacia los niveles de condensación, favoreciendo el sistema de precipitación. Para el resto de experimentos, el movimiento vertical es más débil y la precipitación acumulada es claramente menor.

7. Con el propósito de realizar una validación objetiva de las simulaciones RAMS utilizando diferentes parametrizaciones convectivas, se ha comparado el campo de precipitación observado y simulado. Con esta información, se han calculado diversos índices estadísticos que nos permiten verificar los resultados del modelo en relación a las observaciones. Del análisis realizado, parece que el esquema de Kuo produce los mejores resultados en la previsión de la precipitación, en comparación con el esquema

de Kain-Fritsch. De éste, únicamente la simulación en que la convección se activa en la malla más externa, muestra resultados comparables con los experimentos de Kuo.

8. De lo indicado hasta este punto, vemos que la parametrización de Kuo produce, en general, resultados superiores a los de Kain-Fritsch. Activar el primero en mallas de mayor resolución produce una mejora tanto de la distribución de la precipitación como de los valores acumulados. Este efecto no es tan significativo en relación a la evolución temporal de la intensidad de la precipitación. Además, activar este esquema en la malla de mayor resolución horizontal implica, para este evento, resultados aceptables en términos de cantidad de precipitación acumulada. Sin embargo, los resultados son ligeramente peores en relación a la distribución espacial de la precipitación que en las otras simulaciones donde se utiliza el esquema Kuo. Así, la utilización de esta parametrización de cúmulos a muy alta resolución no parece recomendable, al menos para este estudio.

9. En relación al sistema de previsión UVI, además de llevar a cabo todo su desarrollo, la principal mejora que se ha introducido consiste en utilizar datos TOC de previsión GFS que sustituyen a los datos TOC observados OMI, como parámetro de entrada del modelo SBDART. La razón de este cambio se debe al amplio intervalo temporal existente entre el día para el que se dispone de datos OMI y el día en que se realiza la predicción UVI. Esta diferencia resulta demasiado elevada para llevar a cabo dicha previsión. Además, la utilización del modelo GFS como fuente de datos de ozono permite extender el periodo de previsión. Así, el pronóstico diario que se hacía anteriormente ha sido reemplazado por una previsión a tres días vista.

10. La información generada en cada previsión UVI puede ser consultada por el público a través de la Web. Este formato facilita el acceso a la información para cualquier tipo de usuario. El sistema ha sido utilizado satisfactoriamente desde su implementación en 2008, dada la aceptación que ha tenido, especialmente en verano, cuando se registran los valores UVI más elevados.

11. Se ha diseñado una base de datos, que permite almacenar la información de ozono y UVI generada y utilizada en cada nueva previsión, y que ha sido aprovechada

para realizar la validación del sistema implementado, empleando para ello el año 2008. Se han comparado los datos de ozono para este año completo con los valores medios mensuales obtenidos utilizando los diez años anteriores. Se han seleccionado además unos umbrales, correspondientes al valor medio mensual obtenido menos y más 2 veces la desviación estándar, que permiten identificar valores anómalos o extremos de ozono. Los resultados indican que menos del 3% de los días se incluye en la categoría de bajos eventos. Del mismo modo, los valores de ozono mayores que la media mensual más 2 veces la desviación estándar suponen también menos del 3% de los días, aunque son ligeramente superiores a los anteriores. En general, tanto los datos de TOC modelizados con el GFS, como la información correspondiente al sensor OMI, muestran el mismo porcentaje de eventos extremos según lo establecido con los umbrales correspondientes. Además, no se observan diferencias muy importantes entre los datos de TOC GFS modelizados para los tres días de previsión y los datos OMI de observación.

12. La modelización de la magnitud UVER indica que los mejores resultados se obtienen cuando se utiliza como entrada al modelo SBDART la información correspondiente a los datos de ozono GFS de previsión, siendo la modelización realizada con TOC OMI la que más difiere de los resultados experimentales.

13. El modelo SBDART muestra un buen grado de acuerdo entre el valor UVI previsto y los datos experimentales, para cada una de las estaciones de la red de medidas. Si comparamos los resultados de modelización de este índice aplicando los datos TOC GFS y OMI vemos que, en ambos casos, el porcentaje de acuerdo entre el UVI modelizado y el experimental para días despejados con diferencia de 1 unidad se sitúa por encima del 80%, mayor en el caso de inicializar el SBDART con TOC GFS. En este caso, el porcentaje de acierto indicado aumenta hasta valores que superan el 90% en algunas estaciones, apuntando una ligera mejora en comparación con los resultados obtenidos utilizando el sistema anterior basado en datos TOC OMI.

14. Se confirma la idoneidad del sistema de previsión UVI implementado para el territorio de la Comunitat Valenciana, utilizando datos de ozono GFS de previsión para inicializar el modelo SBDART.

Bibliografía

Abbs, D., Herzfeld, M. y Waring, J., 2006. RAMS “Down Under”. In: 6th RAMS/BRAMS/OLAM International Users Workshop. Ubatuba, Brazil.

Antón, M., Serrano, A., Cancillo, M. L. y García, J. A., 2008. Total ozone and solar erythematous irradiance in southwestern Spain: Day-to-day variability and extreme episodes. *Geophysical Research Letters*, 35, 20804, doi:10.1029/2008GL035290.

ATMET, 2000. The Regional Atmospheric Modeling System: Technical description. Technical Report RAMS.

Bádenas, C., Caselles, V., Estrela, M. J. y Marchuet, R., 1997. Some improvements on the processes to obtain accurate maps of sea-surface temperature from AVHRR raw data transmitted in real time. Part 1: HRPT images”. *International Journal of Remote Sensing* 18(8), 1743-1767.

Bresson, R., Ricard, D., y Ducrocq, V., 2009. Idealized mesoscale numerical study of Mediterranean heavy precipitating convective systems, *Meteorology and Atmospheric Physics* 103, 45–55, doi:10.1007/s00703-008-0338-z.

Busch, N. E., Klug, W., Pearce, R. y White, P., 1994. Comments on Statistical Results of the Mesoscale Model Comparison Project. In: Pielke, R. A. y R. P. Pearce (Eds.). *Mesoscale Modeling of the Atmosphere*, Boston, 155-156.

Castro, C., Cheng, W., Beltrán, A., Marshall Jr, C., Pielke Sr, R., and Cotton, W., 2002. The incorporation of the Kain-Fritsch cumulus parameterization scheme in RAMS with a terrain-adjusted trigger function, in: Fifth RAMS Users Workshop, Santorini Island, Greece, 29 September-October 3.

Chen, C. y Cotton, W. R., 1983. A one dimensional simulation of the stratocumulus-capped mixed layer. *Boundary-Layer Meteorology* 25, 289-321.

CIE, 1998. Erythema reference action spectrum and standard erythema dose. Vienna. ISO 17166:1999/CIE S007-1998.

Cotton, W. R., Pielke Sr, R. A., Walko, R. L., Liston, G. E., Tremback, C. J., Jiang, H., McAnelly, R. L., Harrington, J. Y., Nicholls, M. E., Carrio, G. G. y McFadden, J. P., 2003. RAMS 2001: Current status and future directions. *Meteorology and Atmospheric Physics* 82, 5-29.

Davolio, S., Miglietta, M. M., Moscatello, A., Pacifico, F., Buzzi, A., y Rotunno, R., 2009. Numerical forecast and analysis of a tropical-like cyclone in the Ionian Sea, *Natural Hazards and Earth Systems Sciences* 9, 551–562, doi:10.5194/nhess-9-551-2009.

Doswell III, C. A., Ramis, C., Romero, R., y Alonso, S., 1998. A diagnostic study of three heavy precipitation episodes in the western Mediterranean, *Weather and Forecasting* 13, 102–124.

Eckel B., 2002. Thinking in Java. Prentice Hall, 1098 pp.

Esteve, A. R., Martínez-Lozano, J. A., Marín, M. J., Estellés, V., Tena F., y Utrillas, M. P., 2009. The influence of ozone and aerosols on the experimental values of UV erythral radiation at ground level in Valencia. *International Journal of Climatology*. DOI: 10.1002/joc.1847.

Estrela, M. J., Millán, M. M., Peñarrocha, D. y Pastor, F., 2002. De la gota fría al frente de retroceso. Colección Interciencias. UNED, 260 pp.

Estrela, M., Pastor, F., y Millán, M., 2003. Air Mass Change along Trajectories in the Western Mediterranean Basin in the Torrential Rain Events in the Valencia Region, in: Mediterranean Storms, CD of Proceedings of the 4th EGS Plinius Conference 2002 (ISBN: 84-7632-792-7).

Estrela, M. J., Pastor, F., Miró, J., **Gómez, I.** y Barbera, M., 2007. Heat waves prediction system in a Mediterranean area (Valencia Region). 7th EMS Annual Meeting / 8th European Conference on Applications of Meteorology. San Lorenzo de El Escorial (Madrid), 1-5 Octubre 2007.

Estrela, M. J., Pastor, F., Miró, J., **Gómez, I.** y Barbera, M., 2008. Diseño de un sistema de predicción operativa de niveles de riesgo por temperaturas extremas para la Comunitat Valenciana. Olas de Calor. En: Estrela M. J. (Ed.). Riesgos climáticos y cambio global en el Mediterráneo Español. ¿Hacia un clima de extremos? Colección interciencias. UNED-CEAM, 310 pp.

Fast, J. D., O'Steen, B. L. y Addis, R. P., 1995. Advanced Atmospheric Modeling for Emergency Response. *Journal of Applied Meteorology* 34, 626-649.

Federico, S., Avolio, E., Bellecci, C., Lavagnini, A., Colacino, M., y Walko, R. L., 2008. Numerical analysis of an intense rainstorm occurred in southern Italy, *Natural Hazards and Earth System Sciences* 8, 19–35, doi:10.5194/nhess-8-19-2008.

Gangoiti, G., **Gómez-Domenech, I.**, Sáez de Cámara, E., Alonso, L., Navazo, M., Iza, J., Garcia, J. A., Ilardia, J. L. y Millán, M. M., 2011. Origin of the water vapor responsible for the European extreme rainfalls of August 2002. 2: A new methodology to evaluate evaporative moisture sources, applied to the August 11-13 Central European rainfall episode. *Journal of Geophysical Research - Atmospheres* 116, D21103, doi: 10.1029/2010JD015538.

Global Climate and Weather Modeling Branch. Environmental Modeling Center (2003). The GFS atmospheric model. NCEP Office Note 442, 14pp. [<http://www.emc.ncep.noaa.gov/officenotes/newernotes/on442.pdf>]

Gómez, I., Pastor, F., Estrela, M. J., Miró, J., Barbera, M., 2007. Development of a Java-Based Graphical User Interface to Control/Monitor a Real-time Forecast and Alert Time. 7th EMS Annual Meeting / 8th European Conference on Applications of Meteorology. San Lorenzo de El Escorial (Madrid), 1-5 Octubre 2007.

Gómez, I., Marín, M. J., Pastor, F., Estrela, M. J., 2008. Implementació d'un sistema de previsió de l'índex ultraviolat (UVI) a la Comunitat Valenciana. I Jornades de Meteorologia de la Mediterranea Occidental, Barcelona, Spain.

Gómez, I., Estrela, M. J., 2009a. Operational forecasting of daily temperatures in the Valencia Region. Part I: maximum temperatures in summer. 9th EMS Annual Meeting/ 9th European Conference on Applications of Meteorology, Toulouse, France.

Gómez, I., Estrela, M. J., 2009b. Operational forecasting of daily temperatures in the Valencia Region. Part II: minimum temperatures in winter. 9th EMS Annual Meeting/ 9th European Conference on Applications of Meteorology, Toulouse, France.

Gómez, I. y Estrela, M. J., 2010a. Previsió en temps real de les temperatures màximes i mínimes diàries a la Comunitat Valenciana durant el període estival. 2nd Meeting on Meteorology and Climatology of the Western Mediterranean, Valencia, Spain.

Gómez, I. y Estrela, M. J., 2010b. Design and development of a Java-based graphical user interface to monitor/control a meteorological real-time forecasting system. *Computers & Geosciences* 36, 1345-1354, doi:10.1016/j.cageo.2010.05.005.

Gómez, I., Pastor, F., y Estrela, M., 2010c. Sensitivity of precipitation forecasts to convective parameterization in the October 2007 Flash Flood in the Valencia Region (Eastern Spain), *Advances in Geosciences* 26, 7–11, doi:10.5194/adgeo-26-7-2010.

Gómez, I., Pastor, F., y Estrela, M. J., 2011. Sensitivity of a mesoscale model to different convective parameterization schemes in a heavy rain event. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 11, 343-357, doi: 10.5194/nhess-11-343-2011.

Gómez, I., Marín, M. J., Pastor, F., Estrela, M. J., 2012. Improvement of the Valencia region ultravioleta index (UVI) forecasting system. *Computers & Geosciences* 41, 72-82, doi: 10.1016/j.cageo.2011.08.015.

Gómez-Tejedor, J. A., Estrela, M. J. y Millán, M. M., 1999. A mesoscale model application to the fire weather winds. *International Journal of Wildland Fire* 9, 255-263.

Hamill, T. M., 1999. Hypothesis tests for evaluating numerical precipitation forecasts, *Weather and Forecasting* 14, 155–167.

Homar, V., Romero, R., Stensrud, D. J., Ramis, C., y Alonso, S., 2002. A Quasi-tropical Cyclone Over The Western Mediterranean: Dynamical Vs Boundary Factors, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 129, 1469–1490.

Horvath, K., Fita, L., Romero, R., Ivancan-Picek, B., and Stiperski, I.: Cyclogenesis in the lee of the Atlas Mountains, 2006. a factor separation numerical study, *Advances in Geosciences* 7, 327–331, doi:10.5194/adgeo-7-327-2006.

ICNIRP, 1995. Global Solar UV Index. WHO/WMO/INCIRP recommendation. *INCIRP publication* no 1/95, Oberschleissheim.

ICNIRP, 2004. Guidelines on limits of exposure of UV radiation. *Health Physics* 87, 171-186.

Jansa, A., Genoves, A., Picornell, M., Campins, J., Riosalido, R., y Carretero, O., 2001: Western Mediterranean cyclones and heavy rain. Part 2: Statistical approach, *Meteorological Applications* 8, 43–56.

Kain, J. y Fritsch, J.: Convective parameterization for mesoscale models: The Kain-Fritsch scheme, 1993. The representation of cumulus convection in numerical models, pp. 165–170, 24, *Meteorological Monographs*, American Meteorological Society.

Koepke, P., Bais, A., Balis, D., Buchwitz, M., de Backer, H., de Cabo, X., Eckert, P., Eriksen, P., Gillotay, D., Heikkilä, A., Koskela, T., Lapeta, B., Litynska, Z., Lorente, J., Mayer, B., Renaud, A., Ruggaber, A., Shauberger, G., Seckmeyer, G., Seifert, P., Schmalwieser, A., Schwander, H., Vanicek, K. y Weber, M., 1998. Comparison of Models Used for UV Index Calculations. *Photochemistry and Photobiology* 67, 657-662.

Kotroni, V. y Lagouvardos, K., 2001. Precipitation forecast skill of different convective parameterization and microphysical schemes: application for the cold season over Greece, *Geophysical Research Letters* 28, 1977–1980.

Kotroni, V. y Lagouvardos, K., 2004. Evaluation of MM5 High-Resolution Real-Time Forecasts over the Urban Area of Athens, Greece, *Journal of Applied Meteorology* 43, 1666–1678.

Lagouvardos, K., Kotroni, V., Dobricic, S., Nickovic, S., y Kallos, G., 1996. The storm of October 21-22, 1994, over Greece: Observations and model results, *Journal of Geophysical Research - Atmospheres* 101, 26217–26226.

Lagouvardos, K., Kotroni, V., Nickovic, S., Jovic, D., Kallos, G., y Tremback, C., 1999. Observations and model simulations of a winter sub-synoptic vortex over the central Mediterranean, *Meteorological Applications* 6, 371–383.

Lebeaupin, C., Ducrocq, V., y Giordani, H., 2009: Two-way onedimensional high-resolution airsea coupled modelling applied to Mediterranean heavy rain events, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 135, 187–204, doi:10.1002/qj.338.

Madronich, S., 1994. *The need for global UV monitoring*, W.M.O. Global Atmosphere.

Mariani, S., Casaioli, M., Accadia, C., Llasat, M. C., Pasi, F., Davolio, S., Elementi, M., Ficca, G., and Romero, R., 2005. A limited area model intercomparison on the “Montserrat-2000” flashflood event using statistical and deterministic methods, *Natural Hazards and Earth System Sciences* 5, 565–581, doi:10.5194/nhess-5-565-2005.

Marín, M. J., Esteve, A. R., Tena, F., Utrillas, M. P. y Martínez-Lozano, J. A., 2007. UVI dependence on ozone amount and turbidity in Valencia. *Óptica Pura y Aplicada* 40 (1), 25-30.

Marín, M. J., Tena, F., **Gómez, I.**, Utrillas, M. P. and Martínez-Lozano, J. A., 2009. Ozono total en columna obtenido a partir de los satélites OMI, SCIAMACHY y GOME2 para la Comunidad Valenciana en 2008 (Total column ozone retrieved from OMI, SCIAMACHY and GOME2 satellites for the Valencia Region). XXXII Biental de la Real Sociedad Española de Física, 316-317. ISBN: 978-84-692-4956-7, Ciudad Real (España).

Marín, M. J., **Gómez, I.**, Tena, F. and Estrela, M. J., 2009. Comparación de los datos de ozono obtenidos a partir de los satélites OMI, SCIAMACHY y GOME2. Idoneidad para la predicción del índice UV en Valencia (OMI, SCIAMACHY and GOME2 ozone data comparison. Competence for UV index forecasting in Valencia). XIII Congreso de la Asociación Española de Teledetección. Teledetección, Agua y desarrollo sostenible, 357-360. ISBN: 978-84-613-4257-0. Calatayud, Zaragoza (España), 23-26 Septiembre, 2009.

Mazarakis, N., Kotroni, V., Lagouvardos, K., and Argiriou, A. A., 2009. The sensitivity of numerical forecasts to convective parameterization during the warm period and the use of lightning data as an indicator for convective occurrence, *Atmospheric Research* 94, 704–714.

McKinlay, A.F. y Diffey, B.L., 1987. A reference spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin. *CIE Journal* 6, 17-22.

Meneguzzo, F., Pasqui, M., Messeri, G., and Rossi, M., 2000. High resolution simulation of a deep Mediterranean cyclone using RAMS model, Proc. Second EGS Plinius Conf. on Mediterranean Storms, Siena, Italy, EGS, 225–235.

Meneguzzo, F., Menduni, G., Maracchi, G., Zipoli, G., Gozzini, B., Grifoni, D., Messeri, G., Pasqui, M., Rossi, M., and Tremback, C. J., 2001. Explicit forecasting of precipitation: sensitivity of model RAMS to surface features, microphysics, convection, resolution, in: Mediterranean Storms, 3rd Plinius Conference, edited by: Deidda, R., Mugnai, A., and Siccardi, F., GNDCI Publ. N. 2560, ISBN: 88-8080-031-0, 79–84.

Meneguzzo, F., Pasqui, M., Menduni, G., Messeri, G., Gozzini, B., Grifoni, D., Rossi, M., and Maracchi, G., 2004. Sensitivity of meteorological high-resolution numerical simulations of the biggest floods occurred over the Arno river basin, Italy, in the 20th century, *J. Hydrol.*, 288, 37–56, doi:10.1016/j.jhydrol.2003.11.032 [<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V6C-4BS0FVN-2/2/cec126252e1ca4b77d7c89403794e227>]

Miglietta, M. M. y Regano, A., 2008: An observational and numerical study of a flash-flood event over south-eastern Italy, *Natural Hazards and Earth Systems Sciences* 8, 1417–1430, doi:10.5194/nhess-8-1417-2008.

Millán, M., Estrela, M. J., and Caselles, V., 1995: Torrential Precipitations on the Spanish East Coast: The role of the Mediterranean Sea Surface Temperature, *Atmospheric Research* 36, 1–16.

Millán, M. M., Estrela, M. J., Sanz, M. J., Mantilla, E., Martín, M., Pastor, F., Salvador, R., Vallejo, R., Alonso, L., Gangoiti, G., Hardia, J. L., Navazo, M., Albizuri, A.,

- Artiñano, B., Ciccioli, P., Kallos, G., Carvalho, R. A., Andrés, D., Hoff, A., Werhahn, J., Seufert, G. y Versino, B., 2005a. Climatic feedbacks and desertification: the Mediterranean model. *Journal of Climate* 18, 684-701.
- Millán, M. M., Estrela M. J., y Miró, J., 2005b. Rainfall components: variability and spatial distribution in a Mediterranean area. *Journal of Climate* 18, 2682-2705.
- Miró, J. J., Estrela, M. J. y Millán, M. M., 2006. Summer temperature trends in a Mediterranean area (Valencia region). *International Journal of Climatology* 26, 1051-1073.
- Miró, J. J. y **Gómez, I.**, 2008. Base de datos Rimarc 100. En: Estrela MJ (Eds.): En: Estrela M. J. (Ed.). Riesgos climáticos y cambio global en el Mediterráneo Español. ¿Hacia un clima de extremos? Colección interciencias. UNED-CEAM, 310 pp.
- Molinari, J., 1985. A general form of Kuo's cumulus parameterization. *Monthly Weather Review* 113, 1411-1416.
- Odegaard, V., D'Allura, A., Baklanov, A., Diéguez, J. J., Fay, B., Finardi, S., Glaab, H., Hoe, S. C., Millán, M.M., Mahura, A., Neunhäuserer, L., Palau, J. L., Pérez-Landa, G., Havard, L., Stein, A., Havskov, J., 2005. Study of the sensitivity of UAP forecasting urban air pollution and population exposure (FUMAPEX). Norwegian Meteorological Institute, met.no, Report: #13, 2005, Norway, 104 pp.
- Palau, J. L., Pérez-Landa, G., Dieguez, J. J., Monter, C., and Millán, M. M., 2005. The importance of meteorological scales to forecast air pollution scenarios on a complex-terrain coastal site of the Iberian Peninsula. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions* 5, 4701-4738.
- Palau, J. L., Pérez-Landa, G., Dieguez, J. J., Monter, C., and Millán, M. M., 2005. The importance of meteorological scales to forecast air pollution scenarios on coastal complex terrain. *Atmospheric Chemistry and Physics* 5, 2771-2785.
- Pastor F., Estrela, M. J., Peñarrocha D. y Millán, M. M., 2001. Torrencial rains on the Spanish Mediterranean coast: Modelling the effect of the sea surface temperatura. *Journal of Applied Meteorology* 40, 1180-1195.
- Pastor, F., **Gómez, I.**, y Estrela, M. J., 2010. Numerical study of the October 2007 flash flood in the Valencia region (Eastern Spain): the role of orography. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 10, 1331-1345, doi:10.5194/nhess-10-1331-2010.
- Peñarrocha D. y Estrela, M. J., 2002. Classification of daily rainfall patterns in a Mediterranean area with extreme intensity levels: the Valencia Region. *International Journal of Climatology* 22, 677-695.
- Pérez Cueva, A. (Ed.), 1994. Atlas Climàtic de la Comunitat Valenciana, Generalitat Valenciana, Conselleria d'Obres Públiques, Urbanismo i Transports.
- Pérez Cueva, A. and Armengot, R., 1983. El Temporal de Octubre de 1982, Cuadernos de Geografía, la Riada del Júcar (Octubre 1982).

Pérez-Landa, G., Ciais, P., Sanz, M. J., Gioli, B., Miglietta, F., Palau, J. L., Gangoiti, G., and Millán, M. M., 2007a. Mesoscale circulations over complex terrain in the Valencia coastal region, Spain - Part 1: Simulation of diurnal circulation regimes. *Atmospheric Chemistry and Physics* 7, 1835-1849.

Pérez-Landa, G., Ciais, P., Gangoiti, G., Palau, J. L., Carrara, A., Gioli, B., Miglietta, F., Schumacher, M., Millán, M. M., and Sanz, M. J., 2007b: Mesoscale circulations over complex terrain in the Valencia coastal region, Spain - Part 2: Modeling CO₂ transport using idealized surface fluxes, *Atmospheric Chemistry and Physics* 7, 1851–1868, doi:10.5194/acp-7-1851-2007.

Pielke, R. A., 1984. *Mesoscale Meteorological Modeling*. Academic Press, 612 pp.

Pielke, R. A., 1991. A recommended specific definition of “resolution”. *Bulletin of the American Meteorological Society* 72, 1914.

Pielke, R. A., Cotton, W. R., Walko, R. L., Tremback, C. J., Lyons, W. A., Grasso, L. D., Nicholls, M. E., Moran, M. D., Wesley, D. A., Lee T. J., y Copeland, J. H., 1992. A comprehensive Meteorological Modeling System RAMS. *Meteorology and Atmospheric Physics* 49, 69-91.

Pielke, R. A. y Walko, R. L., 1994. RAMS. The Regional Atmospheric Modeling System. Technical Description (Draft). ASTeR Division of MRC, 45 pp.

Pielke, R. A. y Uliasz, M., 1998. Use of meteorological models as input to regional and mesoscale air quality models – limitations and strengths. *Atmospheric Environment* 32, 1455-1466.

RDA, 2013. The Research Data Archive (RDA) is managed by the Data Support Section of the Computational and Information Systems Laboratory at the National Center for Atmospheric Research (NCAR). NCAR is sponsored by the National Science Foundation (NSF). The original data are available from the RDA (<http://dss.ucar.edu>) in dataset number ds083.2.

Ricchiazzi, P., Yang, S., Gautier C. y Sowle, D., 1998. SBDART: A Research and Teaching Software Tool for Plane-Parallel Radiative Transfer in the Earth's Atmosphere. *Bulletin of the American Meteorological Society* 79 (10), 2101-2114.

Romero, R., Ramis, C., and Alonso, S., 1997. Numerical simulation of an extreme rainfall event in Catalonia: Role of orography and evaporation from the sea, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 123, 537–559.

Romero, R., Guijarro, J. A., Ramis, C., y Alonso, S., 1998. A 30-year (1964–1993) daily rainfall data base for the Spanish Mediterranean regions: First exploratory study, *International Journal of Climatology* 18, 541–560, doi:10.1002/(SICI)1097-0088(199804)18:5h541::AID-JOC270i3.0.CO;2-N.

Romero, R., Doswell III, C. A., and Ramis, C., 2000. Mesoscale Numerical Study of two Cases of Long-Lived Quasistationary Convective Systems Over Eastern Spain, *Monthly Weather Review* 128, 3731–3751, 2000.

Salvador, R., Millán, M. M., Mantilla, E., y Baldasano, J. M., 1997. Mesoscale modelling of atmospheric processes over the western Mediterranean area during summer. *International Journal of Environment and Pollution* 8, 513-529.

Salvador, R., Calbó, J., Millán, M. M., 1999. Horizontal Grid Size Selection and its Influence on Mesoscale Model Simulations. *Journal of Applied Meteorology* 38, 1311-1329.

Scotto, J., Cotton, G., Urbach, F., Berger, D. y Fears, T., 1988. Biologically effective ultraviolet radiation: surface measurements in the United States. 1974 to 1985. *Science* 239, 762-764.

Shaw, B. L., Pielke, R. A., Ziegler, C. L., 1997. A three-dimensional numerical simulation of a Great Plains dryline. *Monthly Weather Review* 125, 1489-1506.

SIAR (Sistema de Información Agro-climática para el Regadío), 2003. Características de las estaciones agro-climáticas. [<http://crea.uclm.es/siar/webphp/local.php>; <http://www.mapa.es/siar/descripcion.asp>; http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=177]

Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M., y Miller, H. L. (Eds.), 2007. The Physical Science Basis, in: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): Climate Change 2007, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA.

Stein, U. y Alpert, P., 1993. Factor separation in numerical simulations. *Journal of Atmospheric Sciences* 50(14), 2107–2115.

Tremback, C. J. y Walko, R. L., 2001. The Regional Atmospheric Modeling System (RAMS): Development for Parallel Processing Computer Architectures. Technical document ASTER Division.

Tremback, C. J., 2006. Planned developments for RAMS. In: 6th RAMS/BRAMS/OLAM International Users Workshop. Ubatuba, Brazil.

Trigo, I., Bigg, G. R., and Davies, T. D., 2002: Climatology of Cyclogenesis Mechanisms in the Mediterranean, *Monthly Weather Review* 130, 549–569.

USGS (United States Geological Survey), 2002. Global Land Cover Characterization.

Vanicek, K., Frei, T., Litynska, Z. and Schnalwieser, A., 2000. UV-Index for the public, *COST-713 Action (UV-B Forecasting)*, Brussels, 27 pp. [<http://www.lamma.rete.toscana.it/uvweb/index.html>]

Vilaplana, J. M., Cachorro V. E., Sorribas M., Luccini E., de Frutos A. M., Berjon A., de la Morena B., 2006. Modified calibration procedures for a Yankee Environmental Systems UVB-1 Biometer based on spectral measurements with a Brewer spectrophotometer. *Photochemistry and Photobiology* 82: 508-514.

Walko, R. L., Cotton, W. R., Meyers, M. P. y Harrington, J. Y., 1995. New RAMS cloud microphysics parameterization. Part I: The single-moment scheme. *Atmospheric Research* 38, 29-62.

Walko, R. L., Band, L. E., Baron, J., Kittel, T. G. F., Lammers, R., Lee, T. J., Ojima, D., Pielke, R. A., Taylor, C., Tague, C., Tremback, C. J. y Vidale, P. L., 2000. Coupled atmosphere-biophysics-hydrology models for environmental modelling. *Journal of Applied Meteorology* 39, 931-944

Warner, T. T. y Hsu, H.-M., 2000. Nested-Model Simulation of Moist Convection: The Impact of Coarse-Grid Parameterized Convection on Fine-Grid Resolved Convection, *Monthly Weather Review* 128, 2211–2231.

Weissbluth, M., 2000. MOCCA: Model Operation, Configuration, and Control Architecture. In: 4th RAMS Users Workshop. New Jersey, USA.

WMO, 1998. Report of the WMO-WHO meeting of experts on standardization of UV indices and their dissemination to the public *WMO-GAW report*, No. 127 (WMO TD No. 921), Geneva.

WHO, 2003. *Global Solar UV Index. A practical guide*. 32 pp. World Health Organization (WHO), World Meteorological Organization (WMO), United Nations Environment Programme (UNEP), Internacional Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). Watch no 95, WMO/TD No. 625, Switzerland.

WRFP, 2009. WRF Portal. [<http://www.wrfportal.org/>]

