2.5.4 ANÁLISIS DE VIENTOS EN SITIOS PUNTUALES MEDIANTE DIAGRAMAS DE ASTILLAS

Para complementar el análisis de los patrones de viento se analizaron los vientos en 6 sitios de especial interés: Aeropuerto del D.F., Cuernavaca, Mor., Ozumba, Mex., Pachuca, Hgo., Puebla, Pue., y Toluca, Mex. Este análisis se realizó para los meses de marzo y septiembre de 2010 con datos horarios y en 8 niveles: superficie (10 m), 2,400 m, 2,700 m, 3,000 m, 4,000 m 5,000 m, 6,000 m y 7,000 m. Los valores de altura están referidos al nivel medio del mar, excepto los de superficie que son relativos al nivel del suelo local (Figura 4.1).

2.5.4.1 MARZO DE 2010

Es notable que en los niveles de altura prácticamente en todos los sitios se presentan los mismos vientos. En altura los vientos predominantes fueron del oeste, con variaciones del suroeste y noroeste. La señal diurna es bastante notoria en superficie y va disminuyendo en altura, aproximadamente hasta los 3,000 m.

En Pachucha los vientos en superficie tienen una señal diurna, siendo del sur durante la tarde y del norte, noreste y noroeste el resto del día. En marzo de 2010 hubo un período, entre los días 8 y 11, en que sólo se observaron vientos del noreste, lo cual está asociado a vientos de esa dirección en altura. La señal diurna es bastante clara hasta los 3,000 m sobre el nivel medio del mar, mientras que a 4,000 m prácticamente no se observa.

En el Aeropuerto los vientos son relativamente débiles, con una señal diurna menos intensa pero persistente a lo largo del mes. La señal diurna se observa hasta los 3,000 m snmm. Hubo un evento el día 23 de marzo que generó vientos del norte durante todo el día, siendo más intensos que el promedio.

En Toluca también se oberva una señal diurna con vientos predominantemente del sur y del sureste. A lo largo del día cambian de dirección llegando a tenerese vientos del norte pero más débiles que los vientos del sur. En Ozumba la señal diurna es muy intensa, con vientos intensos del suroeste alternados con vientos muy débiles y en ocasiones vientos del noreste.

En Cuernavaca también se observa una señal diurna marcada con vientos alternados del sur y del norte. A diferencia de otros sitios, durante el mes casi no se observan variaciones asociadas a eventos de escala sinóptica en este lugar.

En Puebla hay una clara señal diurna con vientos del sur alternados con calmas o vientos del norte. La señal diurna se debilita rápidamente y casi no se observa a los 2,700 m snmm.

2.5.4.2 SEPTIEMBRE DE 2010

En forma similar al mes de marzo, los vientos en altura fueron muy similares en todos los sitios en que se observaron, pero a diferencia de marzo, en

septiembre predominaron los vientos del este, variando del noreste y noroeste.

En Pachucha se observa una señal diurna menos clara que en marzo, con períodos en que predominan los vientos del noreste (del 1 al 5, del 10 al 17 y del 23 al 30). La señal diurna es muy clara hasta los 3000 m snmm.

En el Aeropuerto, durante este mes predominaron los vientos del norte, particularmente en tres períodos: del primero al 5, del 11 al 17 y del 24 al 30. Los períodos del 6 al 11 y del 18 al 23, presentaron mayor variación diurna en dirección con vientos débiles.

En Toluca los vientos tienen una variación diurna más intensa que en marzo, con vientos del noreste y sureste principalmente. Un evento meteorológico entre el 18 y 24 provocó que los vientos del sureste predominaran en ese período. Los vientos del noreste predominaron entre el 12 y el 17 y entre el 24 y el 30 de septiembre.

En Ozumba la señal diurna es muy intensa con vientos del noreste alternados con vientos del norte. Hay periodos de escala sinóptica en que predominan unos u otros, aunque modulados por una señal diurna. La señal diurna se observa hasta los 3,000 m snmm.

En Cuernavaca hay una señal diurna muy clara que casi no sufre modificaciones a lo largo del mes. Predominan los vientos del sur alternados con calmas.

En Puebla hay una señal diurna clara en donde se alternan vientos del suroeste con vientos del noroeste; se observa una fuerte modulación por los eventos sinópticos provocando que por períodos los vientos no cambien de dirección, siendo del norte constantemente, con una modulación diurna de intensidad.

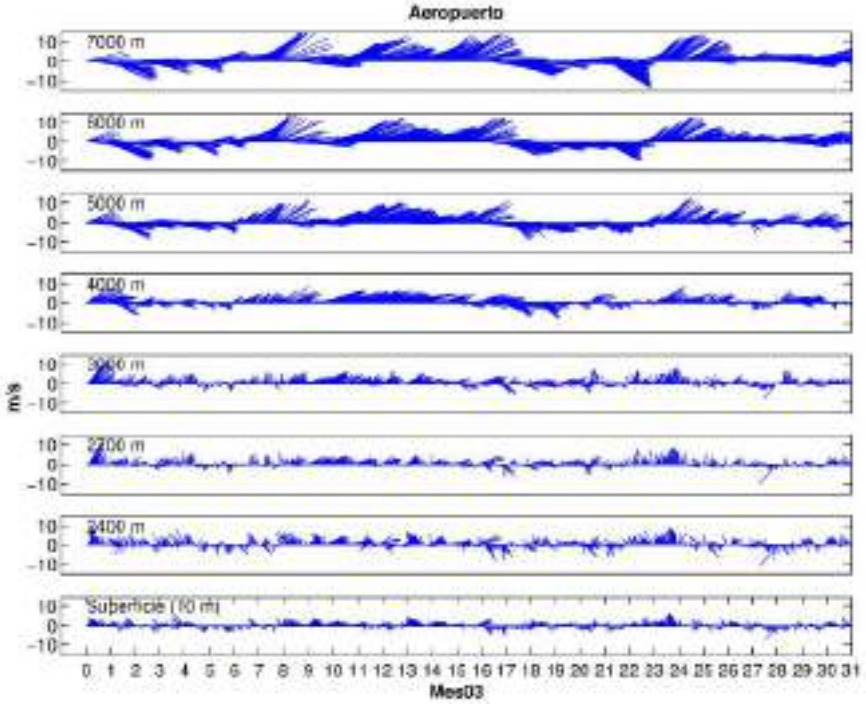


Figura A02-40.1. *Vientos en el Aeropuerto del D.F. en marzo de 2010. Se considera la altura sobre el nivel medio del mar y para superficie los vientos a 10 m sobre el suelo.*

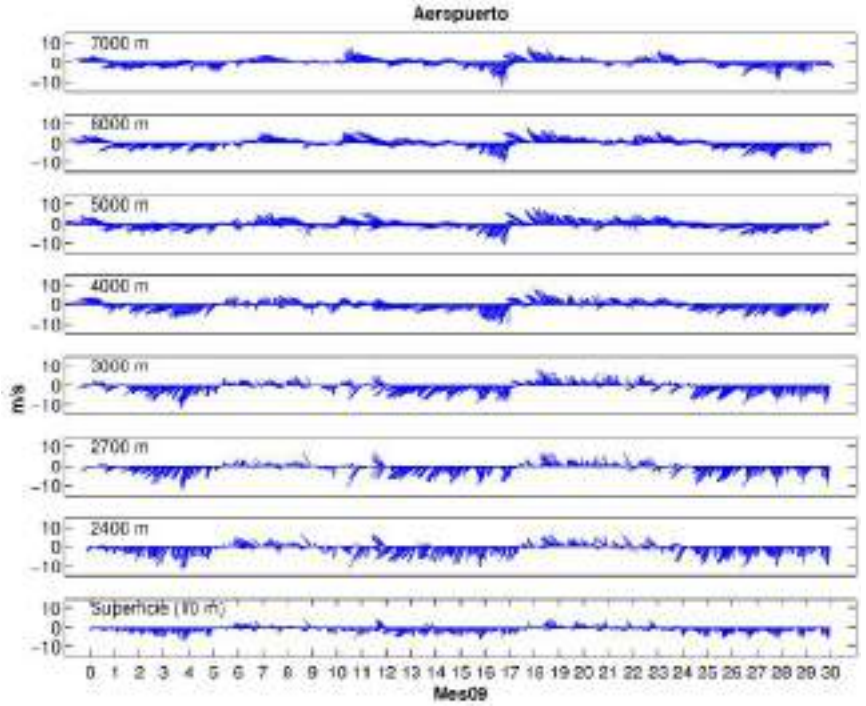


Figura A02-40.1 (cont.). *Vientos en el Aeropuerto del D.F. en septiembre de 2010.*

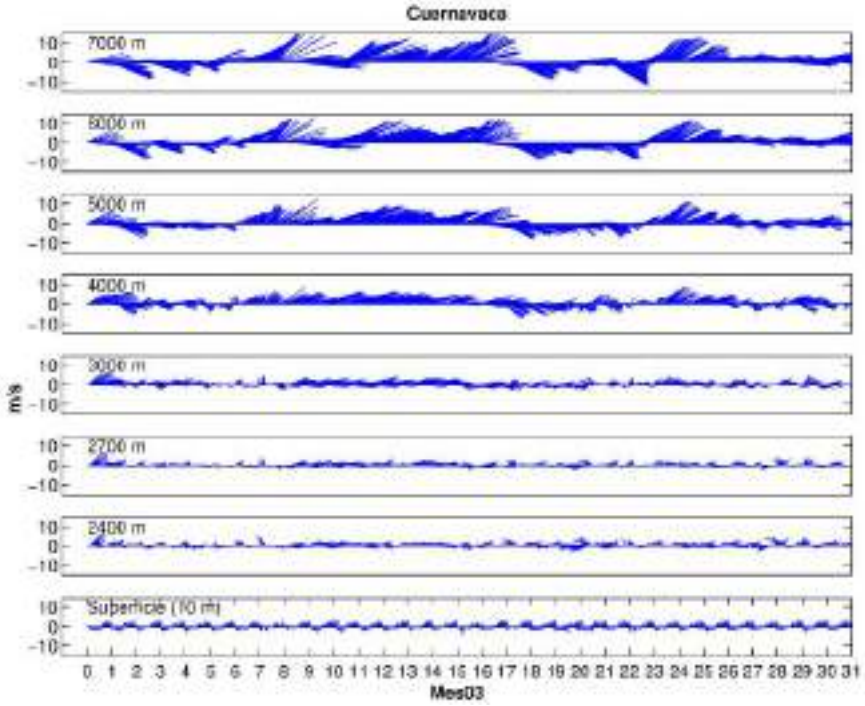


Figura A02-40.1 (cont.). *Vientos en Cuernavaca, Mor., en marzo de 2010.*

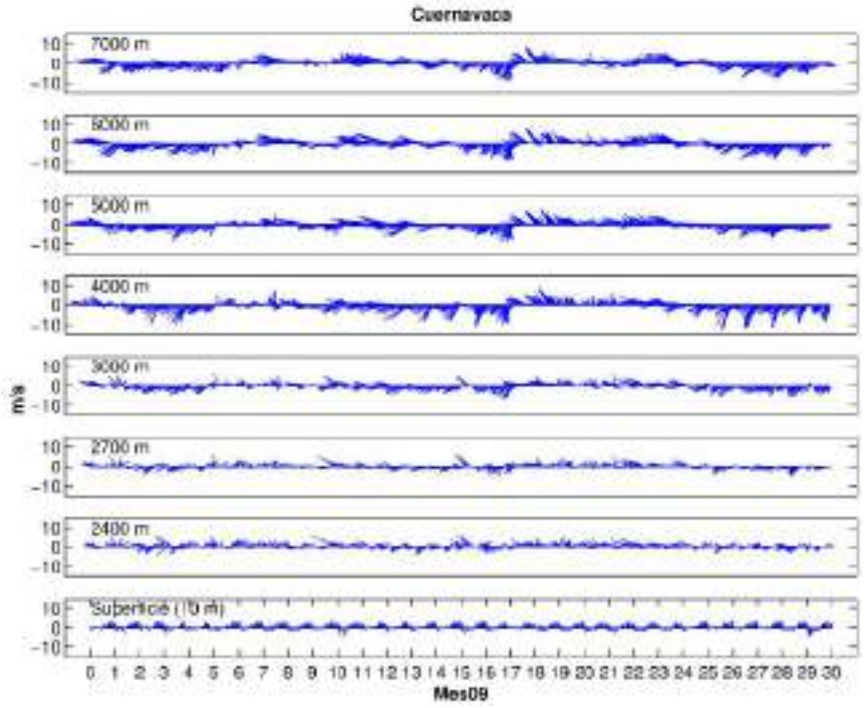


Figura A02-40.1 (cont.). *Vientos en Cuernavaca, Mor., en septiembre de 2010.*

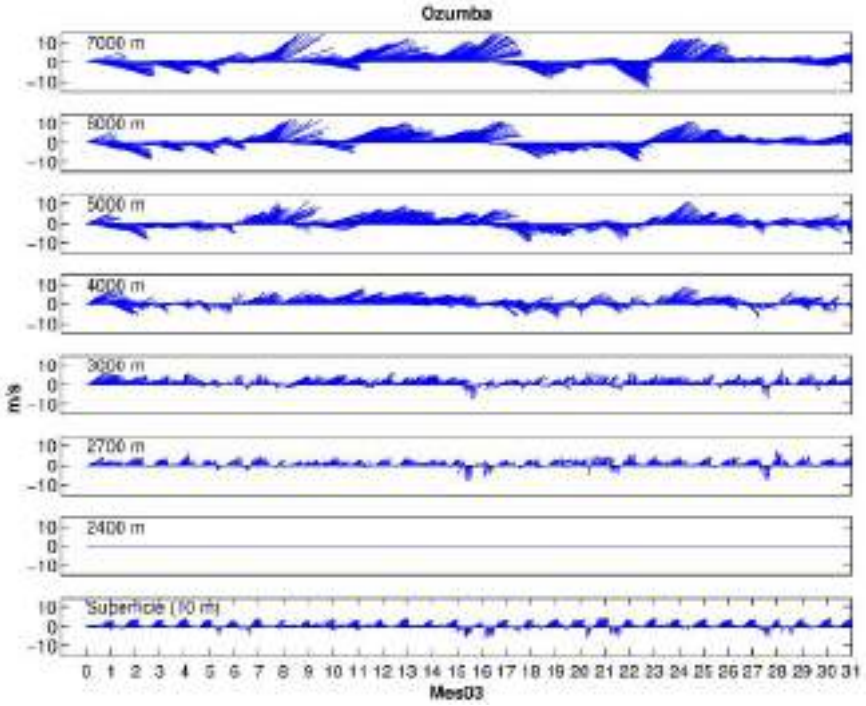


Figura A02-40.1 (cont.). *Vientos en Ozumba, Méx., en marzo de 2010.*

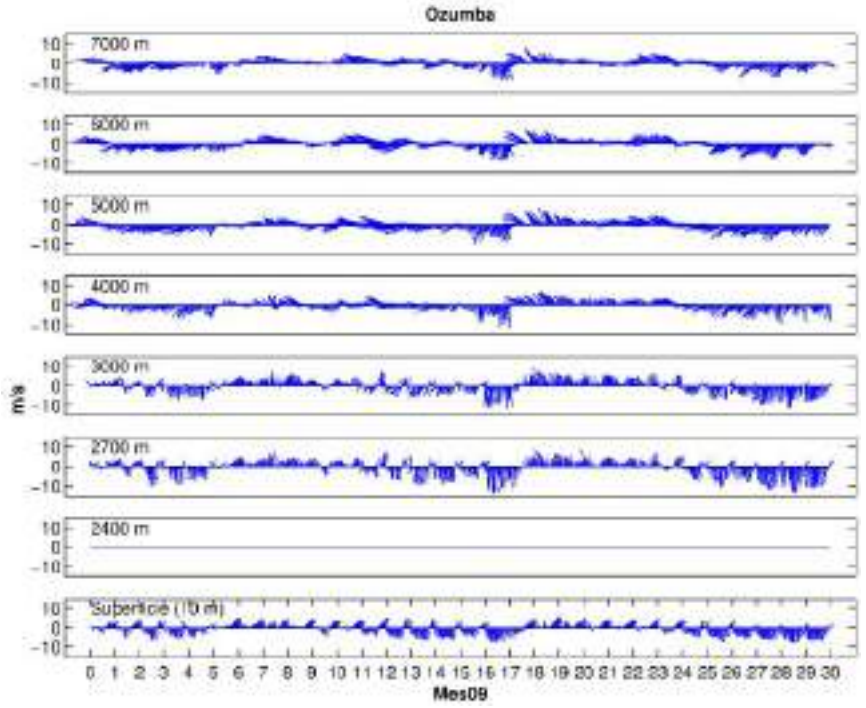


Figura A02-40.1 (cont.). *Vientos en Ozumba, Méx., en septiembre de 2010.*

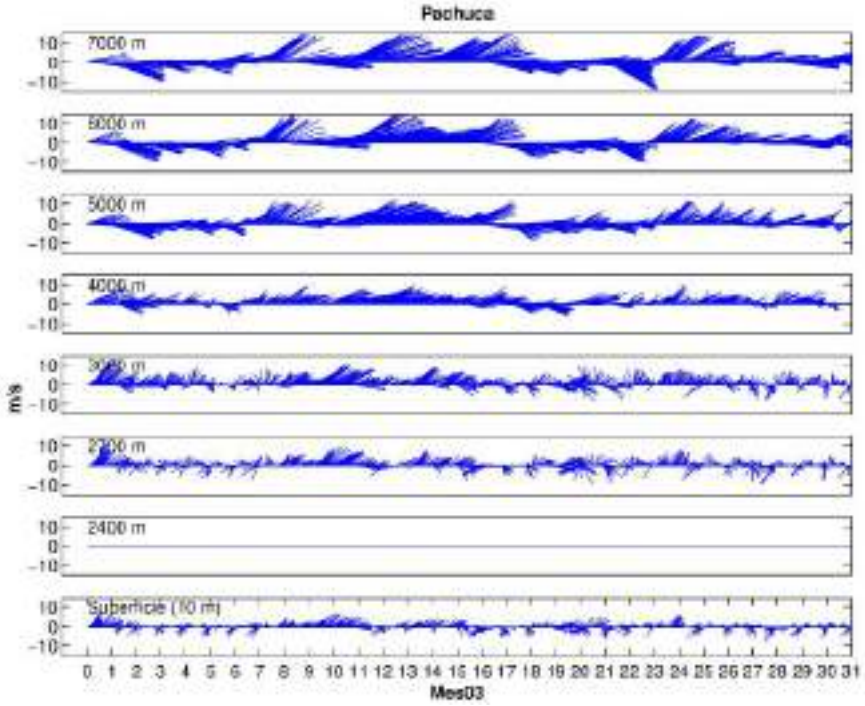


Figura A02-40.1 (cont.). *Vientos en Pachuca, Hgo., en marzo de 2010.*

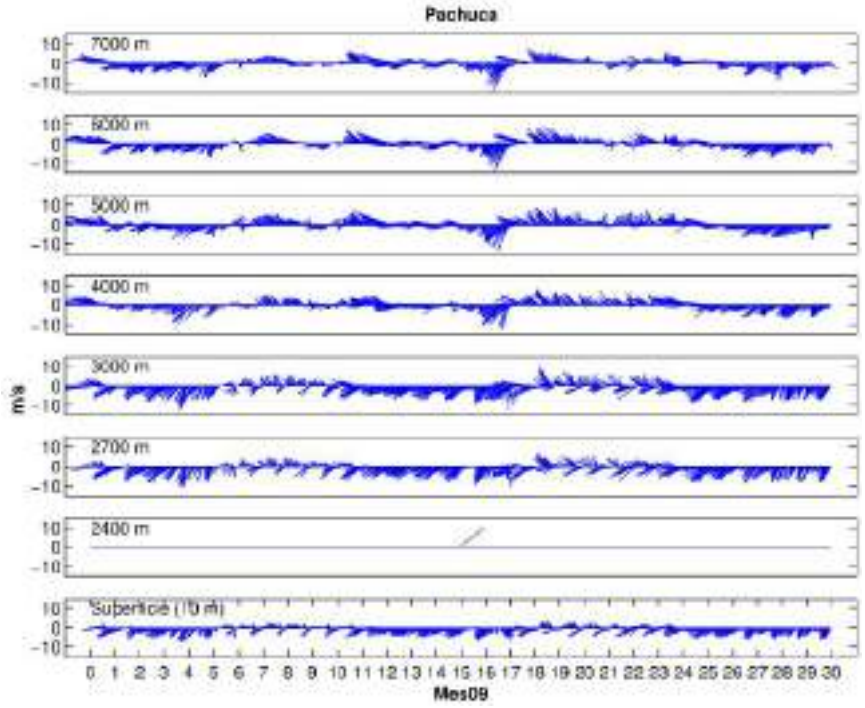


Figura A02-40.1 (cont.). *Vientos en Pachuca, Hgo., en septiembre de 2010.*

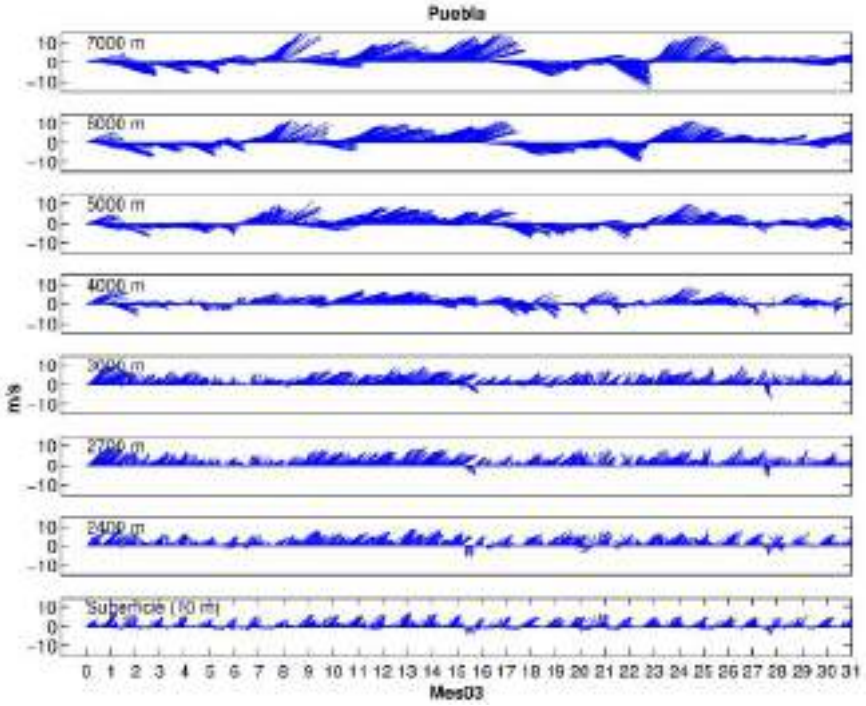


Figura A02-40.1 (cont.). *Vientos en Puebla, Pue., en marzo de 2010.*

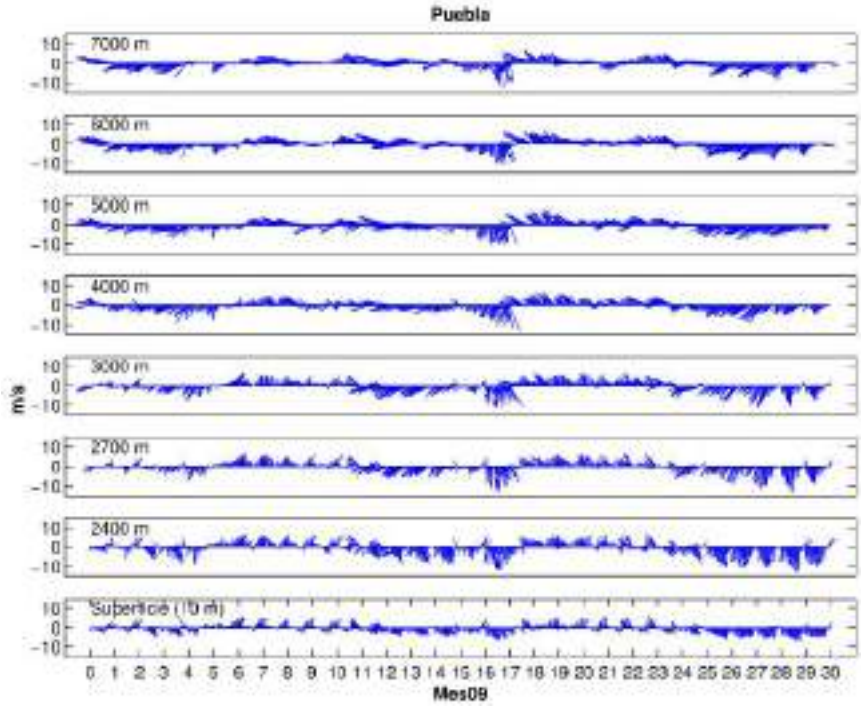


Figura A02-40.1 (cont.). *Vientos en Puebla, Pue., en septiembre de 2010.*

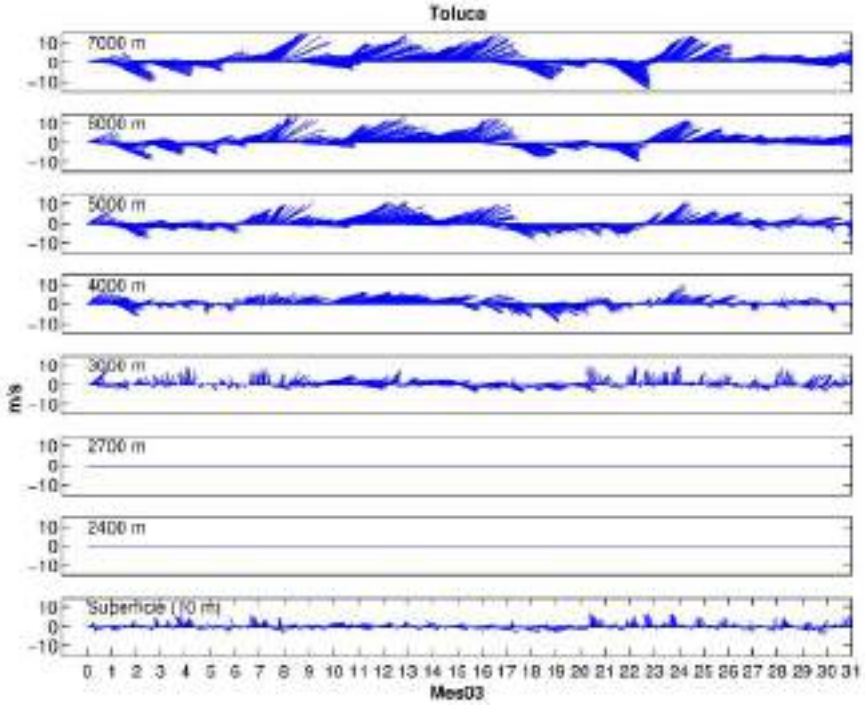


Figura A02-40.1 (cont.). *Vientos en Toluca, Méx., en marzo de 2010.*

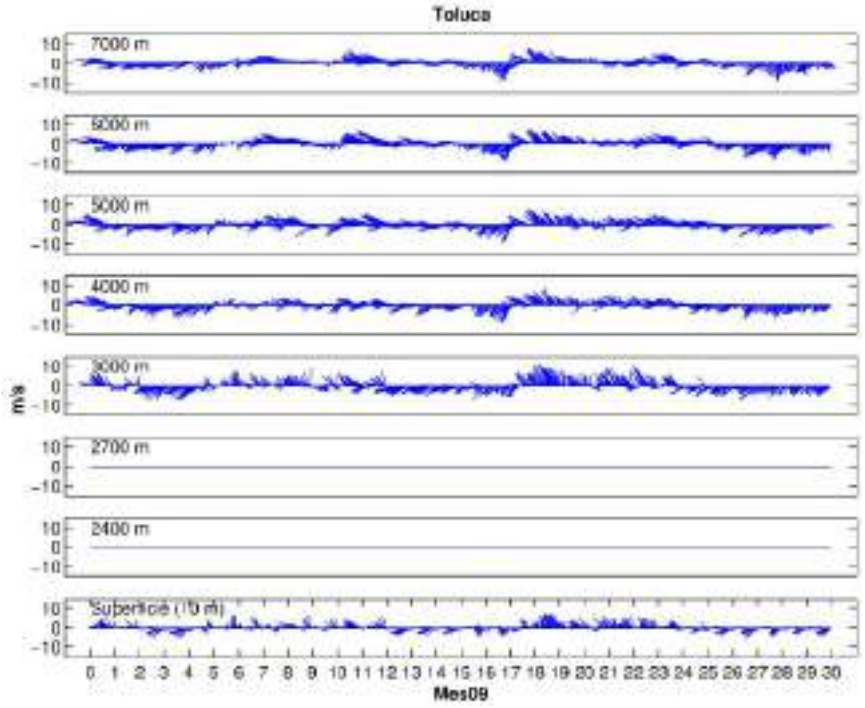


Figura A02-40.1 (cont.). *Vientos en Toluca, Méx., en septiembre de 2010.*

2.5.5 CIRCULACIÓN EN ALTURA

Para analizar los patrones de circulación en diferentes niveles de la atmósfera, se interpolaron los vientos en niveles geopotenciales (igual altura sobre el nivel del mar) para los meses de marzo y septiembre de 2010. Se eligieron los niveles de: 2400 m, 2,700 m, 3,000 m y 4,000 m sobre el nivel medio del mar (Figura 5.1). Debido a la altura sobre el nivel del mar de la meseta central, al calcular los vientos en diferentes niveles algunas regiones no tienen información por encontrarse por debajo o muy cerca del nivel referido.

Una de las características de la meseta central sobre la zona de la CRCM es que en niveles altos los vientos casi no cambien ni en magnitud ni en dirección sobre la región, y en escala diurna cambian poco, aunque a lo largo del año sí se observan cambios muy importantes. Conforme se analizan los vientos en niveles más cercanos a la superficie, los vientos tienen variaciones muy grandes de una región a otra y a lo largo del día. La orografía y las diferentes alturas sobre el nivel del mar de los valles, la presencia de varias sierras y diferente uso de suelo van generando diversos procesos físicos que provocan esta compleja variabilidad espacial y temporal de los vientos.

2.5.5.1 MARZO DE 2010

A los 4,000 m de altura los vientos fueron del oeste, con una pequeña variación espacial y temporal; a la 01:00 hrs GMT, en la zona norte (Hidalgo y zona norte de Puebla) tuvieron una pequeña componente hacia el noreste, mientras que en la zona central tuvieron dirección hacia el este, excepto por una pequeña desviación hacia el noroeste por el efecto de la Sierra del Ajusco-Chichinautzin y la Sierra Nevada. A los 3,000 m se observa una mayor diferencia. La zona del Nevado de Toluca, la Sierra del Ajusco y la Sierra Nevada presentan zonas sin datos debido a su altura. También se observa que los vientos adquieren una componente hacia el noroeste en la zona oriental, sobre Tlaxcala, a sotavento de la Sierra Nevada, y un flujo hacia en norte-noreste al oeste de la Sierra Nevada. Dependiendo de la hora del día, a las 07:00 y 13:00 GMT la zona occidental del dominio, sobre el noroeste del Estado de México, los vientos adquieren una componente hacia el noreste, mientras que a la 01:00 GMT tienen una dirección hacia el oeste. A 2,700 m, al suroeste del DF los vientos tienen una dirección hacia el este y al sureste del DF hacia el noroeste. La componente hacia el noroeste es máxima a la 01:00 GMT y mínima a las 13:00 GMT. Los flujos hacia el norte a los lados oriental y occidental de la Sierra Nevada se observan a lo largo del día pero son más ntensos a las 19:00 hrs GMT. A los 2,400 m es notoria una variación diurna de la dirección de los vientos en la zona noreste del dominio y una convergencia de los vientos sobre el estado de Hidalgo. En el Valle de México también se observa un cambio en la intensidad y dirección de los vientos, teniendo una dirección hacia el noreste a la 01:00 hrs GMT, muy débiles a las 07:00 hrs GMT y 13:00 hrs GMT y hacia el este a las 19:00 hrs GMT. La zona sobre la Ciudad de Puebla tiene una intensa variación diurna,

con vientos débiles hacia el oeste a las 13:00 hrs GMT y hacia el norte a la 01:00, 07:00 y 19:00 hrs GMT, que son las que hemos considerado.

2.5.5.2 SEPTIEMBRE DE 2010

En 4,000 m de altura los vientos dominantes son del este con una pequeña variación diurna, siendo hacia el este-sureste a la 01:00 y a las 19:00 hrs GMT mientras que a las 07:00 y 13:00 hrs GMT son casi del este en todo el dominio. Cabe subrayar que la dirección es contraria con relación a la que se observó en marzo de 2010. A los 3,000 m de altura se observan vientos dominantes del noreste la mayor parte del día y del este en la zona occidental del dominio a las 13:00 hrs GMT. Sobre el Valle de México los vientos son del noreste, excepto a las 13:00 hrs GMT en que son muy débiles. A 2,700 m la variación diurna es mayor, con el desarrollo de un giro ciclónico sobre el noreste del DF y la zona contigua del Estado de México que se observa a las 07:00 y 13:00 hrs GMT pero no a la 01:00 y 19:00 hrs GMT. Se observan flujos hacia el sur entre la Sierra del Ajusco-Chichinautzin y la Sierra Nevada, excepto a las 19:00 hrs GMT en que hay flujos de Morelos hacia el Estado de México. A los 2,400 m la señal diurna es más intensa. En el Valle de México los vientos cambian del noroeste a las 19:00 y 01:00 hrs GMT a vientos del noreste a las 07:00 hrs y 13:00 hrs GMT.

2.5.5.3 MARZO – 2400 M

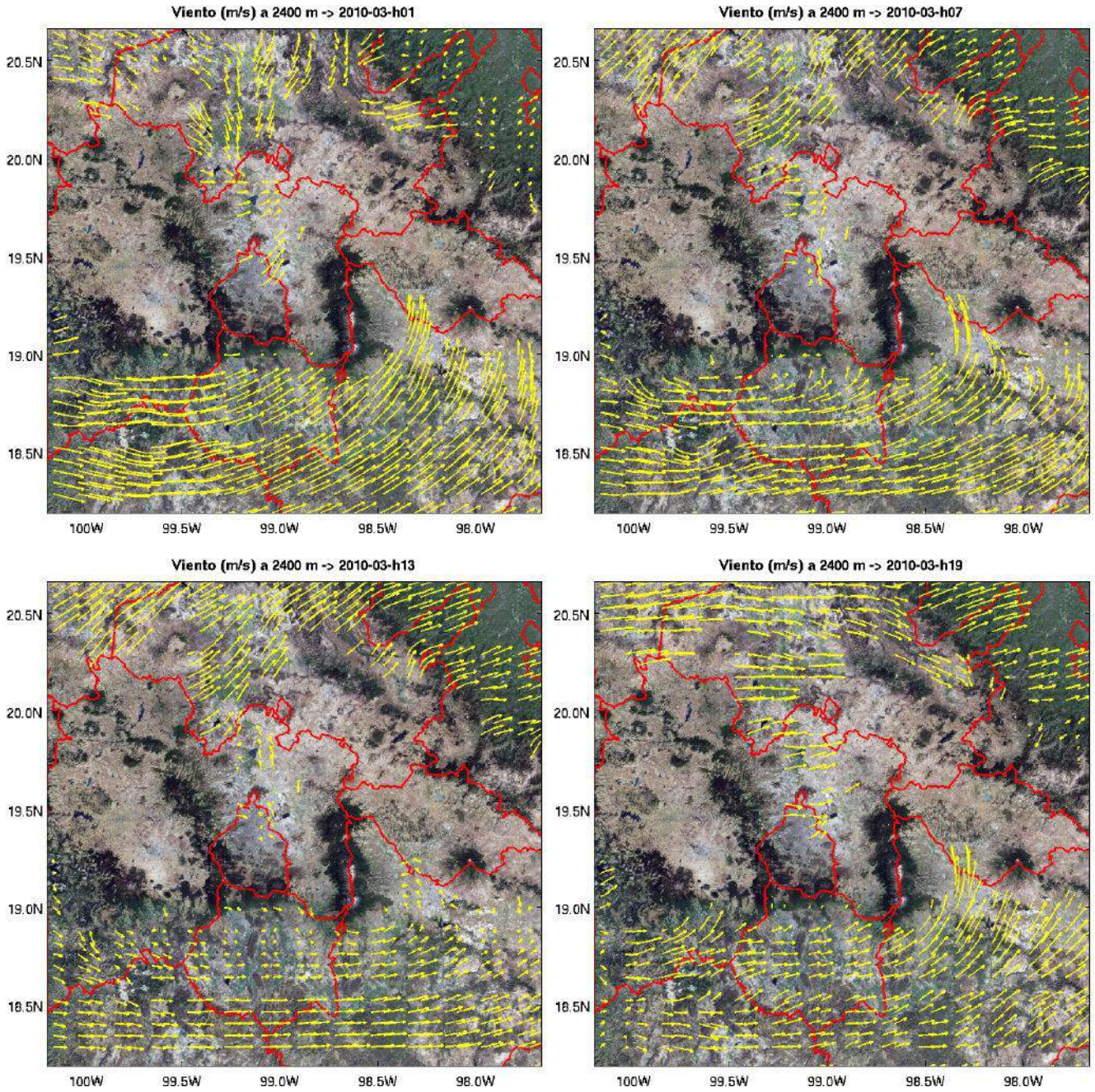


Figura A02-41.1. *Vientos promedio para marzo de 2010 a 2,400 m sobre el nivel medio del mar para el centro de México. Viento a la 01:00, 07:00, 13:00 y 19:00 hrs GMT.*

2.5.5.4 MARZO – 2700 M

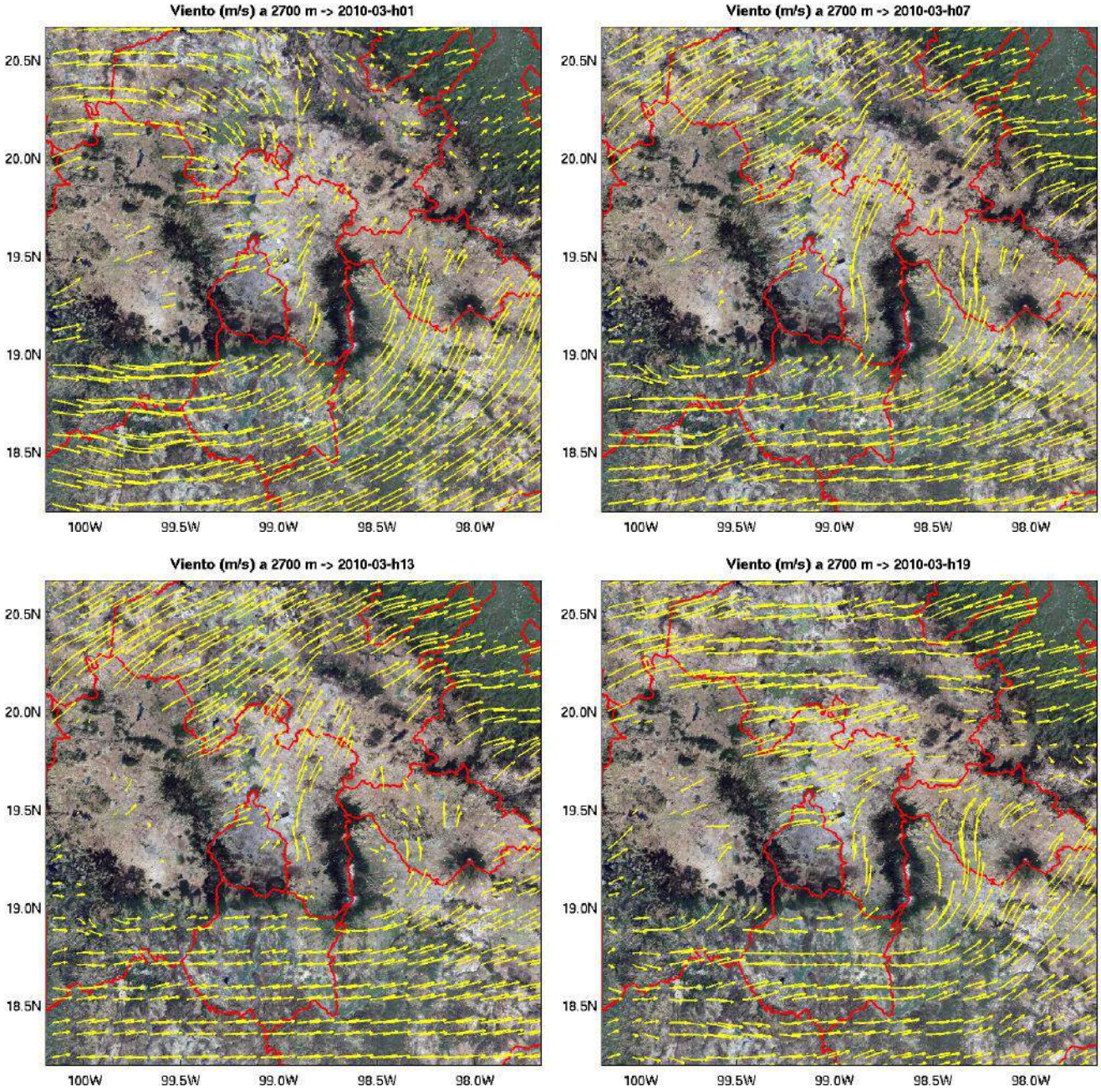


Figura A02-41.1 (cont.). *Vientos promedio para marzo de 2010 a 2,700 m sobre el nivel medio del mar para el centro de México. Viento a la 01:00, 07:00, 13:00 y 19:00 hrs GMT.*

2.5.5.5 MARZO – 3000 M

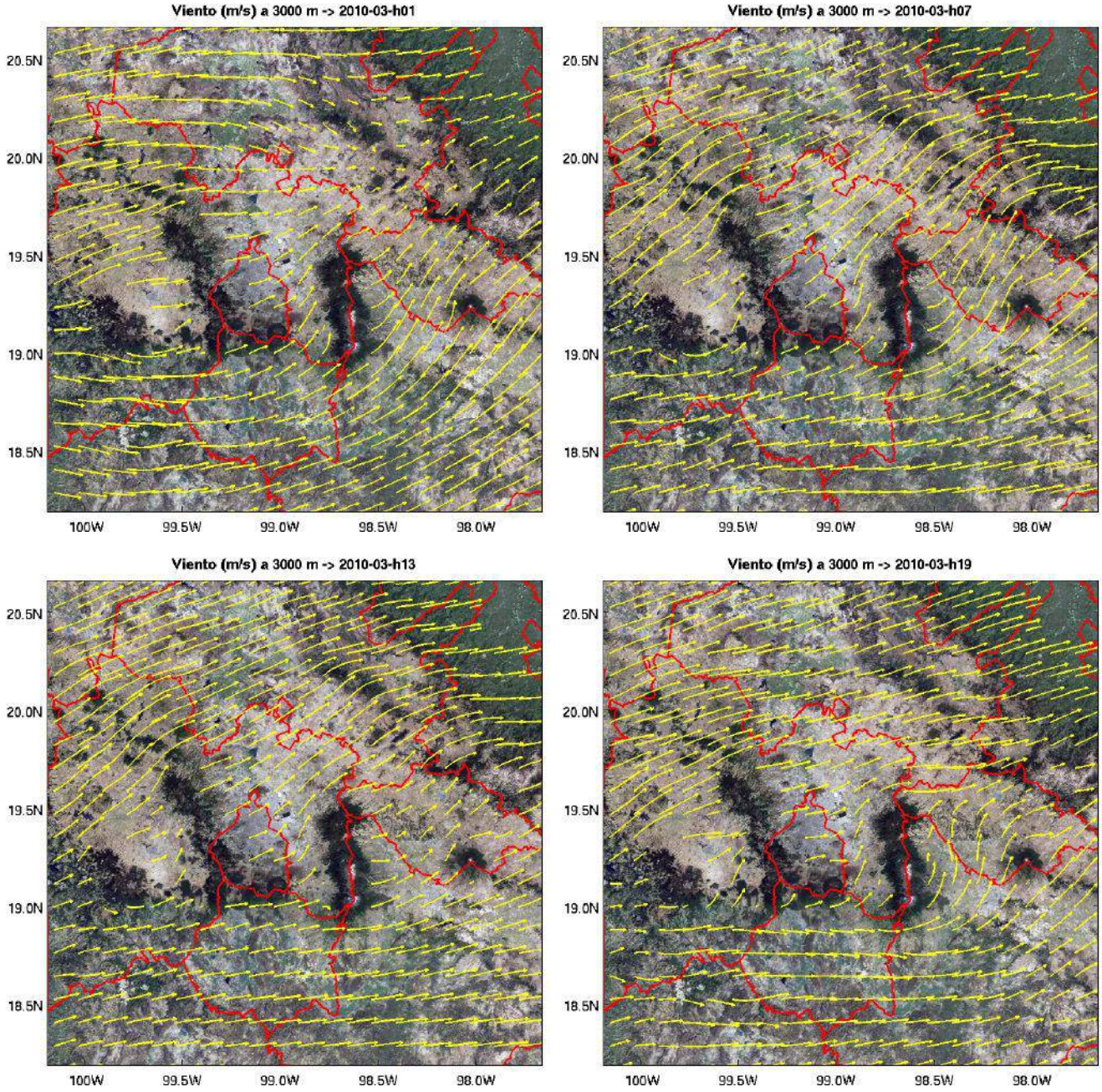


Figura A02-41.1 (cont.). *Vientos promedio para marzo de 2010 a 3,000 m sobre el nivel medio del mar para el centro de México. Viento a la 01:00, 07:00, 13:00 y 19:00 hrs GMT.*

2.5.5.6 MARZO – 4000 M

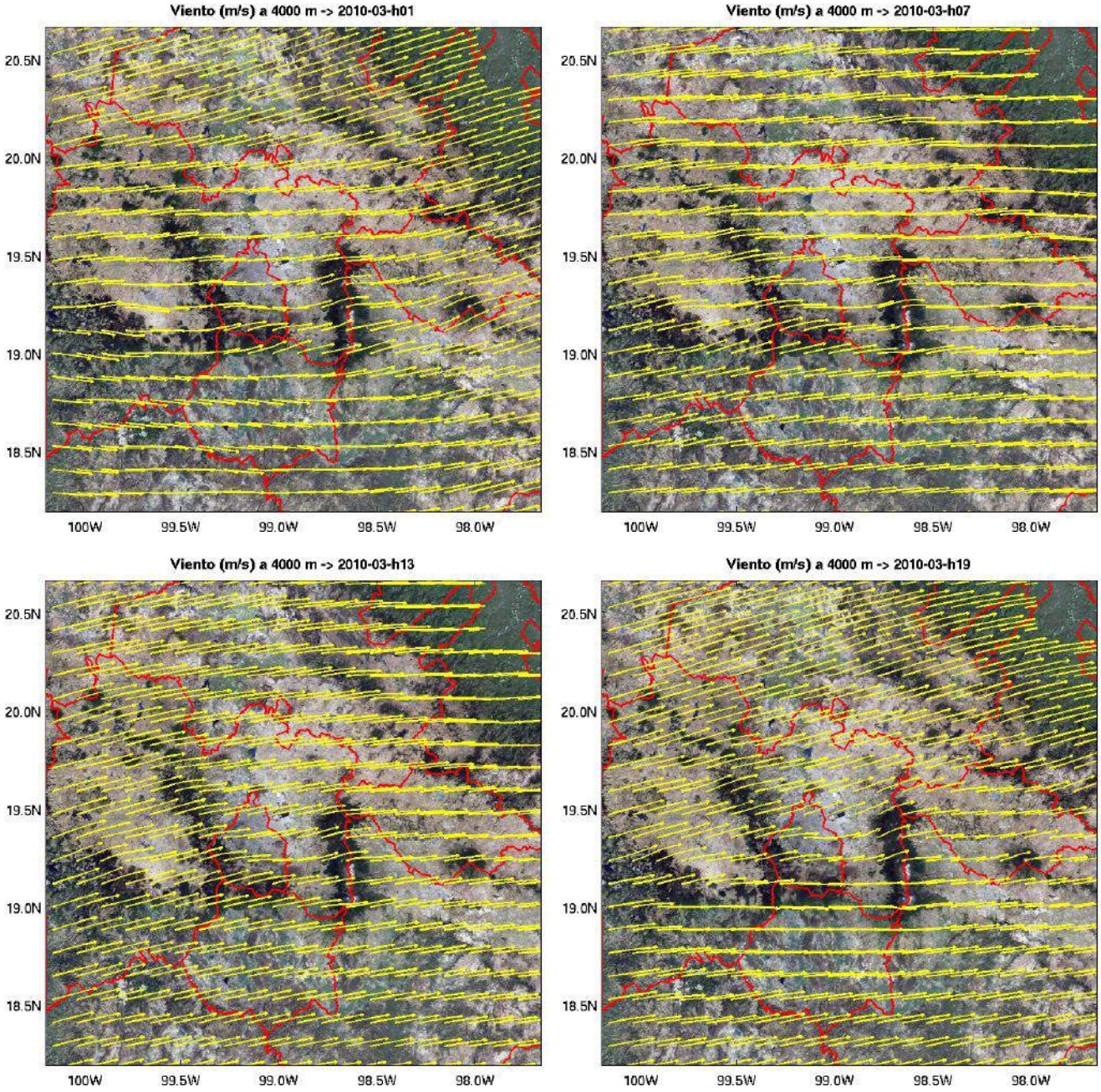


Figura A02-41.1 (cont.). *Vientos promedio para marzo de 2010 a 4,000 m sobre el nivel medio del mar para el centro de México. Viento a la 01:00, 07:00, 13:00 y 19:00 hrs GMT.*

2.5.5.7 SEPTIEMBRE – 2400 M

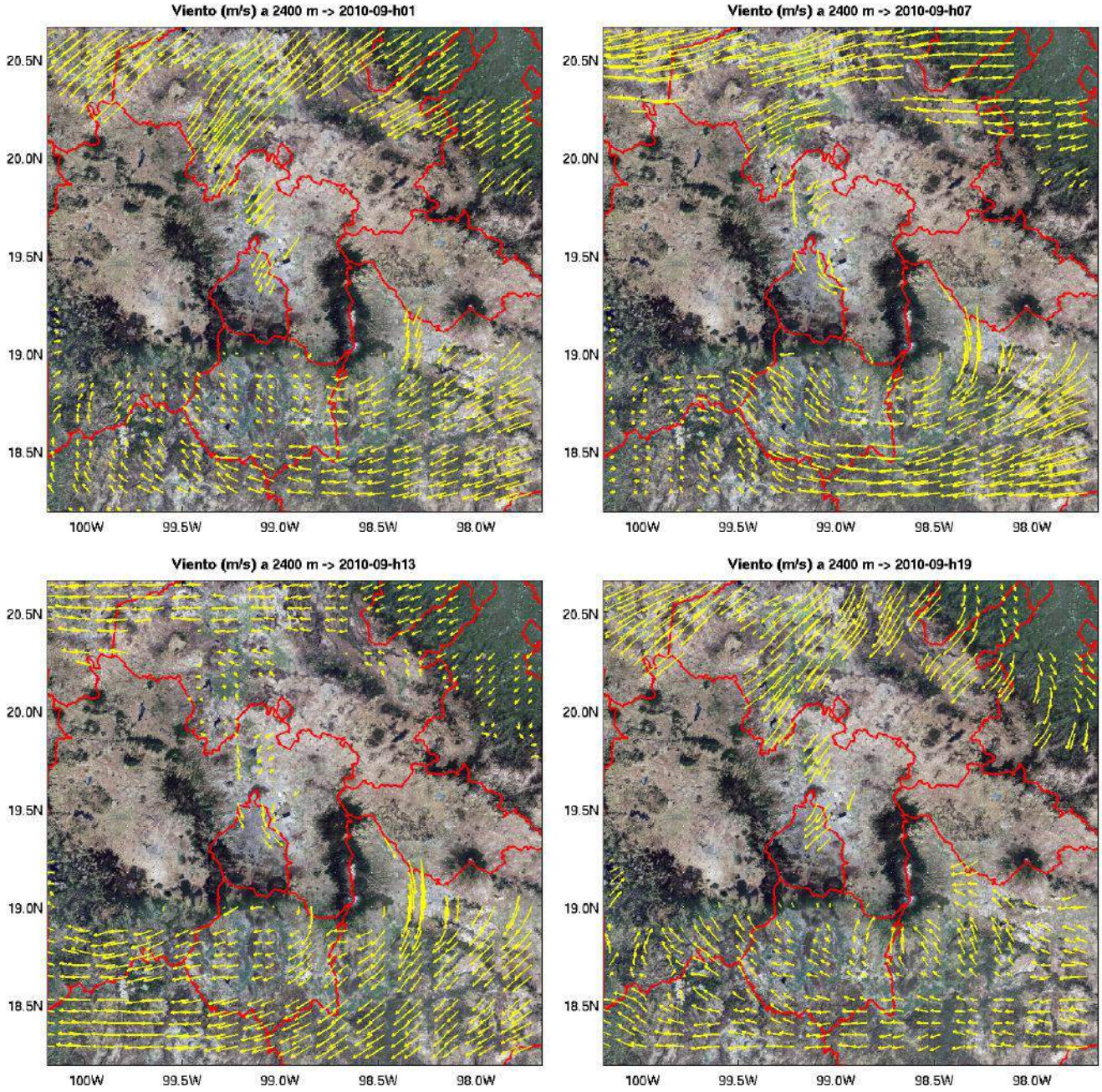


Figura A02-41.1 (cont.). *Vientos promedio para septiembre de 2010 a 2,400 m sobre el nivel medio del mar para el centro de México. Viento a la 01:00, 07:00, 13:00 y 19:00 hrs GMT.*

2.5.5.8 SEPTIEMBRE – 2700 M

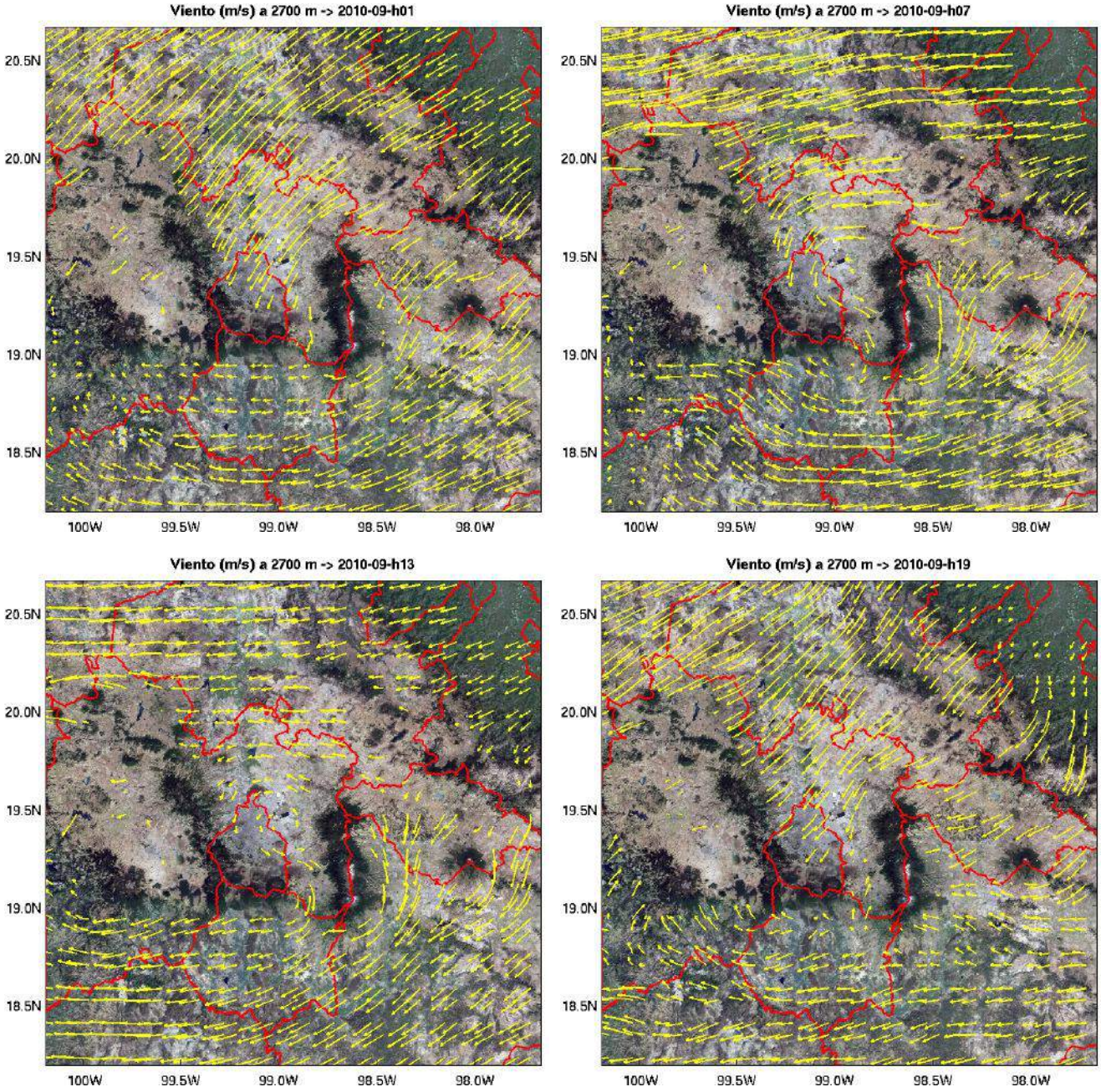


Figura A02-41.1 (cont.). *Vientos promedio para septiembre de 2010 a 2,700 m sobre el nivel medio del mar para el centro de México. Viento a la 01:00, 07:00, 13:00 y 19:00 hrs GMT.*

2.5.5.9 SEPTIEMBRE – 3000 M

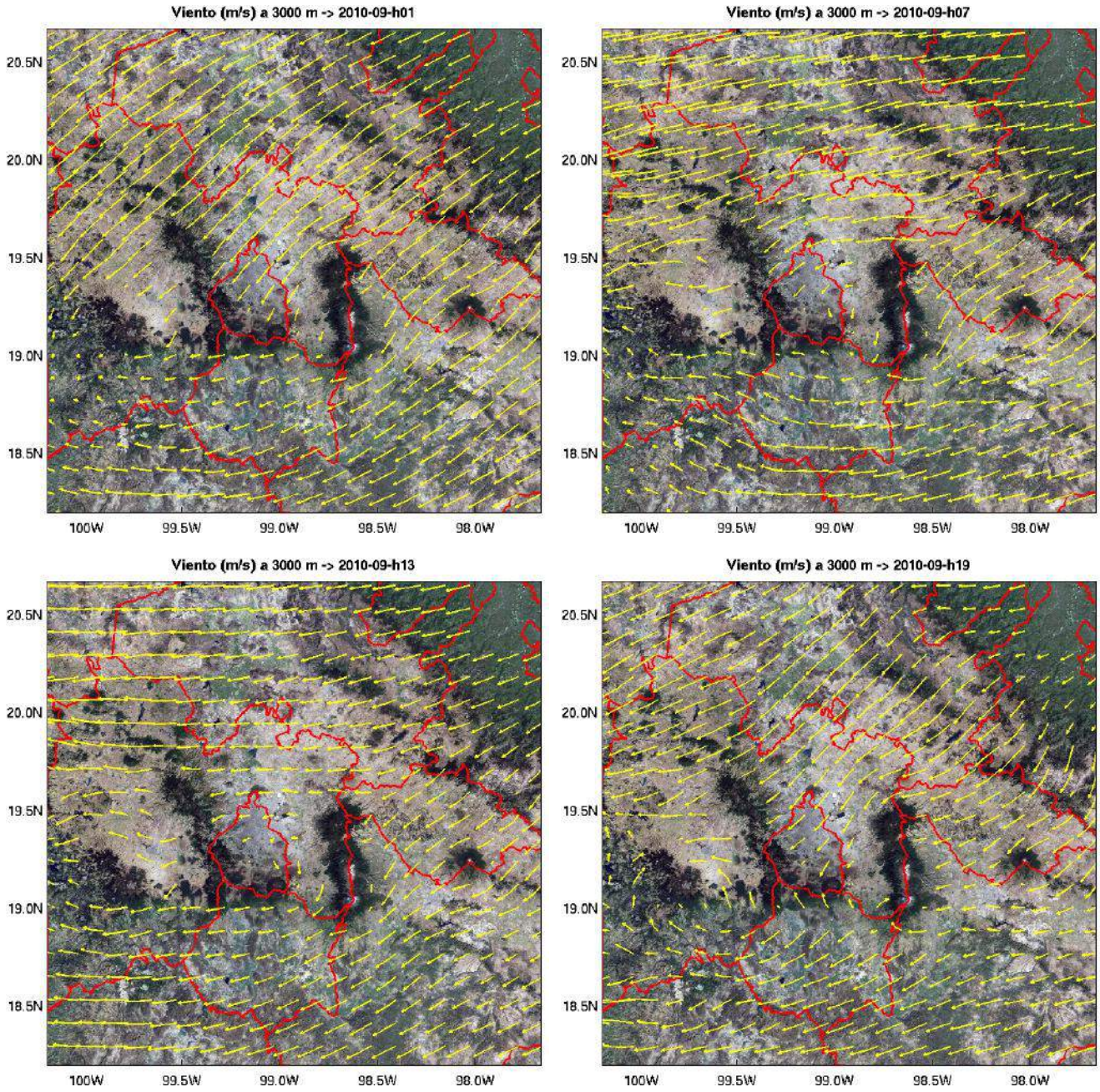


Figura A02-41.1 (cont.). *Vientos promedio para septiembre de 2010 a 3,000 m sobre el nivel medio del mar para el centro de México. Viento a la 01:00, 07:00, 13:00 y 19:00 hrs GMT.*

2.5.5.10 SEPTIEMBRE – 4000 M

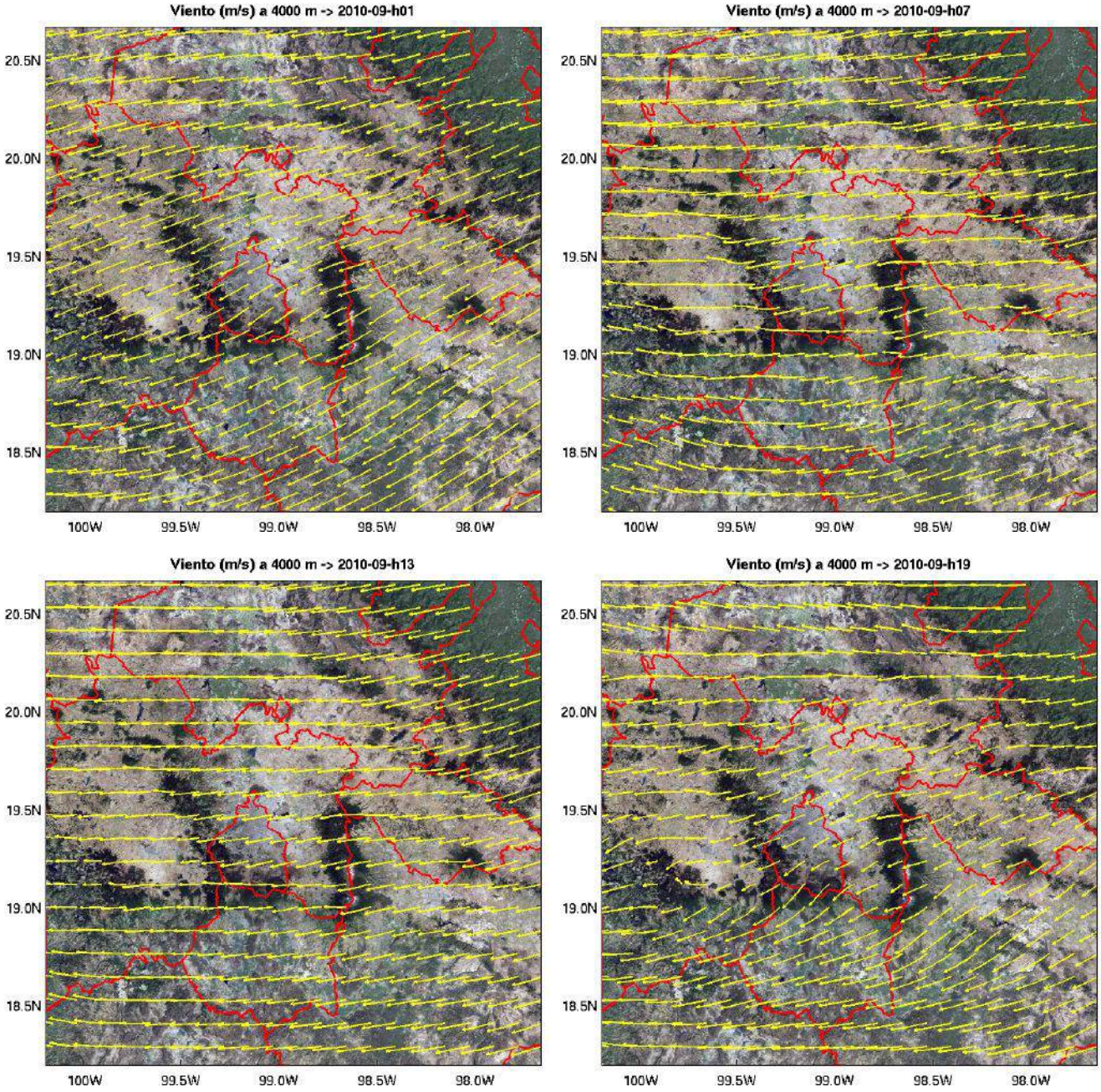


Figura A02-41.1 (cont.). *Vientos promedio para septiembre de 2010 a 4,000 m sobre el nivel medio del mar para el centro de México. Viento a la 01:00, 07:00, 13:00 y 19:00 hrs GMT.*

2.5.6 DESPLAZAMIENTO DE PARCELAS DE AIRE EN SUPERFICIE MEDIANTE SIMULACIONES CON PARTÍCULAS

RESUMEN

Este análisis tiene como propósito identificar las trayectorias más probables que siguen las emisiones en superficie en las zonas urbanas de la corona regional de México, localizar las zonas de mayor concentración producto del transporte y la convergencia de los vientos e identificar los intercambios entre cuencas. Para ello, se generan emisiones con concentraciones uniformes por unidad de área y sin ninguna reacción química o fotoquímica en las zonas urbanas. No se consideran los movimientos verticales, aunque se identifican las zonas en que ocurren con más frecuencia por estar asociadas a las convergencias. Es importante subrayar que los resultados no pretenden representar las concentraciones observadas de algún contaminante sino identificar los procesos de transporte, las trayectorias, los intercambios entre cuencas y las zonas de convergencia.

Se analizó la dispersión de emisiones de la ciudad de México, Toluca, Pachuca, Cuernavaca y Puebla-Tlaxcala. Se simuló la dispersión de las parcelas de aire mediante partículas sembradas uniformemente sobre la zona urbana para cada hora de cada día del año 2010 y para los meses de marzo y septiembre de los años 2011 a 2013.

Los resultados muestran que el patrón del Valle de México es muy diferente del de las otras ciudades, pues consistentemente se desarrollan convergencias que generan concentraciones muy por encima de las emisiones, es decir, el transporte de partículas se concentra (converge) en la zona centro-norte del Distrito Federal.

2.5.6.1 MÉTODOS

Se simuló la dispersión mediante partículas sembradas uniformemente sobre la zona urbana, para cada hora de cada día del año 2010 y para los meses de marzo y septiembre de los años 2011 a 2013. Se dejó evolucionar a las partículas por 24 horas y se obtuvieron los valores promedio de cada mes. Se realizaron 24 simulaciones por día para todo el año 2010, que representan 8,760 casos, y para los meses de marzo y septiembre de 2011 a 2013, que representan 4,320 casos, para un total de 13,080 casos. Para cada mes se obtuvo el promedio de las concentraciones para cada hora después de la emisión, durante las primeras 24 hrs. Se graficaron las concentraciones al momento de la emisión y 4, 8, 12, 18 y 23 hrs después (**Figura A02-6.1**). Por el método que se empleó es posible que se alcancen valores mayores que el incial en las zonas de convergencia debido a que no se consideran los movimientos verticales. Estos altos valores de concentración de partículas son indicativos solamente de zonas de convergencia y probable convección pero no directamente de posible concentración de contaminantes.

2.5.6.2 CICLO ANUAL (CON BASE EN EL AÑO 2010)

Todas las ciudades conjuntamente

Enero

Considerando simultáneamente las emisiones en las cinco zonas estudiadas, en los promedios del mes de enero se observa que en la zona norte-centro del DF las concentraciones de partículas son mucho mayores al 100%, alcanzando concentraciones del orden de 150% cuatro horas después de que ocurren las emisiones y manteniéndose por arriba del 100% hasta 23 horas después de la emisión, aunque con concentraciones menores a las observadas 4 horas después de la emisión. En este mes destacan zonas de convergencia y alta concentración en una región en el Estado de México, al norte del DF, cerca de Zumpango y al noreste de Tepozotlán. Otras zonas de alta concentración por convergencia se observan al oriente y sur de Cuautla, Mor. (no se consideraron emisiones de esta ciudad en este ejercicio). En Puebla se observa una zona de altas concentraciones en San Martín Texmelucan, una zona que tampoco se consideró en las zonas de emisiones. En el Estado de México, en el Valle de Toluca, al oeste del DF se observan concentraciones altas a lo largo de una línea de convergencia, difusa, con orientación noroeste-sureste. En Hidalgo y en la zona norte de Puebla, al este de Hidalgo, se observan bandas de alta concentración producto de convergencias, también con orientación noroeste-sureste. Las diferentes zonas que aparecen como parches se deben a que las convergencias varían de posición en diferentes días.

Febrero

En febrero los patrones son similares a los de enero, mostrando que persiste la zona de alta concentración en el centro-norte del DF, el máximo en el Estado de México cerca de Zumpango y el máximo en la zona de San Martín Texmelucan. Hay diferencias en Morelos en donde no se observa la zona de alta concentración al oriente del estado pero aparece una banda, aunque con una concentración no muy alta, con orientación este-oeste, al sur de Cuernavaca. En general, aunque los patrones son similares, las concentraciones son más bajas debido a que los vientos son un poco más intensos.

Marzo

En marzo los patrones son similares a los de febrero pero se van diluyendo las zonas de alta concentración. En particular, destaca que aparecen pequeñas zonas de concentración relativamente alta al suroriente y al surponiente del DF. En la zona de San Martín Texmelucan se vuelve a observar el máximo relativo en la concentración, pero en dos bandas. Las concentraciones en otras regiones son menores que en los meses de enero y febrero. Las concentraciones en Puebla-Tlaxcala y en Morelos bajan rápidamente. En Morelos se concentran hacia el surponiente, a lo largo de la frontera con Guerrero.

Abril

En este mes se mantiene el patrón de convergencia del Valle de México y vuelve a observarse el máximo de Zumpango, en el Estado de México. Las concentraciones en Morelos son bajas, ubicándose en el suroeste del estado. Además del pequeño sito de alta concentración en Zumpango, también se observa un pequeño máximo en el Estado de México, cerca de la frontera entre el DF y Morelos. En Hidalgo se observa una banda de alta concentración, en la barranca de Metztitlán, al noreste de Pachuca.

Mayo

En el mes de mayo se mantiene el patrón en el centro-norte del DF con un máximo en esa región producto de la convergencia de los vientos, pero con valores más bajos que en los meses anteriores. En el Estado de México se forma un máximo justo en la frontera con Morelos y el DF y otro al oeste de este sitio, al sur de Toluca cerca de Tenango de Arista. Una banda de concentraciones altas se observa al oeste de la Sierra Nevada, entre Amecameca y Ozumba. Hay otro máximo en la frontera del Estado de México, Morelos y Puebla, al pie de la Sierra Nevada. En general, las concentraciones son más altas que en abril, sugiriendo que los vientos son más débiles en este mes.

Junio

En junio se mantiene el máximo en el centro-norte del DF, aunque con un decaimiento en el tiempo más rápido que en otros meses. Sobresalen máximos al este de la Sierra del Chichinautzin y de la Sierra Nevada, a lo largo de Amecameca y Ozumba. Asimismo, se observa un máximo al sur de Toluca y una banda que se extiende hacia Morelos, que no se observa en los meses anteriores.

Julio

Los patrones que se observaron en julio son similares a los que se observaron en junio. Esto no se esperaba pues es conocido que a finales de julio ocurre un mínimo relativo en las precipitaciones y se esperaba que se reflejara mediante diferencias en los patrones de advección de partículas.

Agosto

En agosto los valores de la concentración en el centro-norte del DF son más bajos y sobresalen bandas de alta concentración de Texcoco hacia Amecameca y Ozumba. También sobresalen bandas al oeste del Ajusco, al sur, oeste y al noreste de Toluca. Las concentraciones en Hidalgo son muy bajas o prácticamente nulas y en Morelos se observa una banda zonal a la latitud de Cuernavaca y otra banda al oeste de Morelos, producto del intercambio de Morelos con el Estado de México por el área de Ozumba.

Septiembre

En septiembre se observan algunos cambios en los patrones, aunque la zona de convergencia del DF se mantiene pero con concentraciones más bajas.

En el sureste del Estado de México se observan dos líneas paralelas de convergencia a lo largo de la Sierra Nevada, siguiendo la trayectoria a lo largo de Texcoco-Amecameca-Ozumba. Por otro lado, en el oeste del Estado de México se observan también dos líneas de convergencia, una al oeste del Ajusco y la otra, paralela a ésta, un poco más hacia el este. Al norte de Toluca también se observa una banda de alta concentración que se conecta con una segunda banda paralela a la Sierra de Chichinautzin. Cerca de la frontera entre Puebla, Morelos y el Estado de México, al suroeste del volcán Popocatépetl, también se observa una zona de alta concentración.

Octubre

En octubre las concentraciones en el DF tienden a ser menores, desplazándose hacia el oeste y posteriormente hacia el sur, a lo largo de la Sierra Nevada en donde se observan concentraciones muy altas. Estas altas concentraciones generan máximos al sur del Popocatépetl y a lo largo de la frontera entre Morelos y Puebla. En este mes las concentraciones en Hidalgo son muy bajas y las de Morelos relativamente altas en relación con otros meses. En el Estado de México vuelve a haber muy altas concentraciones cerca de la frontera con Morelos y el DF. Esta zona de máxima concentración se extiende hacia el centro-suroeste del estado. En Puebla una banda de alta concentración rodea al volcán La Malinche.

Noviembre

Noviembre presentó patrones similares a los de octubre, pero las concentraciones en el centro-norte del DF fueron mayores mientras que en la frontera de Puebla y Morelos y al sur y al oeste de Toluca fueron menores.

Diciembre

Las concentraciones en el centro-norte del DF alcanzan valores muy altos mientras que en Hidalgo son muy bajas. En Morelos, las concentraciones son relativamente altas, el máximo al sur de la Sierra Nevada se mantiene y parte de las partículas llegan a Guerrero, cerca de la frontera con Morelos y el Estado de México.

2.5.6.3 INTERCAMBIO ENTRE CUENCAS

Para complementar el análisis de transporte entre cuencas se estudió la trayectoria que siguieron las partículas emitidas en cada una de las zonas urbanas y se identificaron los casos en que una fracción significativa de ellas afectó otra región.

Transporte desde la ZMCM

En enero, febrero y marzo, buena parte de la contaminación de la ZMCM se transporta hacia el norte. En mayo disminuye el transporte hacia el norte y parte se transporta hacia el Estado de Morelos. En junio parte de la contaminación permanece cerca de la ZMCM y en el Estado de México; casi no hay transporte hacia Hidalgo.

Los patrones en julio y agosto son similares a los de junio, pero en agosto las bandas presentan mayor concentración. Se observa intercambio con Morelos a través de Ozumba. En septiembre parte importante de las emisiones del DF se trasportan hacia ambos lados del Estado de México y parte se transporta hacia Morelos a través de Ozumba, lo cual también se observa en octubre. En este mes, a través de la Sierra de las Cruces llegan partículas al Estado de México y hacia Morelos.

El patrón de noviembre es similar al de octubre, con concentraciones muy altas en la ZMCM, exportando hacia el Estado de México al este y hacia el oeste. Hacia el sur se exporta a través de Ozumba y a través de la Sierra de las Cruces. En diciembre se presentan muy altas concentraciones, la mayor parte se transporta hacia el sur, suroeste y sureste.

Transporte desde Toluca

En enero, febrero, marzo y abril: Exporta parte de sus partículas hacia Zumpango y el DF.

De mayo a agosto: No parece exportar a otras cuencas.

De septiembre a diciembre: Exporta una parte hacia el oeste del Ajusco, cerca de la frontera con Morelos y el DF.

Transporte desde Cuernavaca

De enero a abril: Parte de las emisiones llega al DF.

De mayo a octubre: Exporta hacia el oeste del Ajusco.

En noviembre: Parte vuelve a llegar al DF.

En diciembre: Las emisiones se desplazan hacia el suroeste del estado de Morelos y poco hacia el oeste del Ajusco.

Transporte desde Pachuca

De enero a marzo: Las emisiones se dispersan rápidamente.

De junio a diciembre: Las emisiones se dispersan rápidamente y, en general, se desplazan hacia el sureste y a lo largo de Texcoco-Amecameca-Ozumba.

Transporte desde Puebla-Tlaxcala

Enero: Una parte se va hacia el norte de Puebla, cruzando Tlaxcala, otra parte se va hacia la frontera con Morelos y se observa a lo largo de ésta, y otra parte se concentra cerca de San Martín Texmelucan.

De febrero a abril: Una parte se va hacia el norte de Puebla, cruzando Tlaxcala, y otra parte se concentra cerca de San Martín Texmelucan.

Mayo: En este mes no hay transporte apreciable hacia el norte y la mayor parte se desplaza, lentamente, hacia el suroeste.

Junio: Una parte se desplaza hacia el Valle de México, a través del paso de Ozumba.

Julio, agosto, septiembre: Una parte se desplaza hacia el Valle de México, a través del paso de Ozumba, se mantiene principalmente en el oriente del Estado de México. No hay transporte hacia norte de Puebla.

Octubre: Ya no se observa penetración hacia el Valle de México. Hay un máximo al sur del Popocatépetl.

Noviembre y diciembre: Se presentan concentraciones menores por una mayor difusión y desplazamiento hacia el suroeste.

2.5.6.4 VARIACIÓN INTERANUAL

Marzo

El transporte presenta un patrón similar en los cuatro años, encontrándose menor variación interanual que la que se observó en la variación a lo largo del año 2010. El patrón general se caracteriza por zonas de convergencia en el centro-norte del DF, en una zona que va del noreste al oeste de Toluca, una zona en la confluencia del Estado de México, Morelos y el DF. El corredor Texcoco-Amecameca-Ozumba, en el Estado de México, es una zona de altas concentraciones por el paso de flujos provenientes de zonas urbanas a lo largo de esa zona. Las emisiones de Puebla -Tlaxcala se desplazan en dos ramas, una hacia el sur y luego al oeste y la otra hacia el este. En el Estado de Morelos, se observan dos zonas de convergencia, una al oeste, a lo largo de la frontera con el Estado de México, y la otra hacia el este, a lo largo de la frontera con Puebla. La mayor diferencia interanual fue un menor transporte hacia el sur y menores concentraciones en Morelos y el Valle de Toluca en el año 2010. Otra diferencia que se observó es en la zona del corredor Texcoco-Amecameca-Ozumba, en donde ocurrió una mayor concentración en el año 2012.

Septiembre

En el mes de septiembre se observa poca variación interanual para el período 2010-2013. Se caracteriza por convergencias en el norte-centro del DF y en el Estado de México, cerca de la confluencia con el DF y Morelos, al oeste de la Sierra Ajuco-Chichinautzin y de la Sierra de las Cruces. Las emisiones de Pachuca predominantemente van hacia el sur, pasando por el corredor Texcoco-Amecameca-Ozumba hacia Morelos. Al norte y oeste de Toluca se genera una convergencia a lo largo de una línea con orientación noroeste-sureste. Hay también una convergencia en el este del Estado de México, al este del DF cerca de Texcoco, y otra paralela y al pie de la Sierra Nevada. Por esa última región se observa una densidad de partículas alta producto de que hay una convergencia y de que por ahí cruzan muchas partículas, en ambos sentidos, entre Morelos y el Estado de México. Al analizar con cuidado los mapas de densidad de partículas se observa que a lo largo del corredor Texcoco-Amecameca-Ozumba ocurren dos líneas de alta densidad, al parecer una asociada a los flujos del Estado de México hacia Morelos y la otra a los flujos de Morelos hacia el Estado de México.

La variación interanual es relativamente pequeña comparada con el ciclo anual. Aunque los patrones son muy similares, las concentraciones varían en las zonas de convergencia, por ejemplo al oeste de Toluca las concentraciones fueron un poco mayores en 2011 mientras que al noroeste fueron menores. La doble banda en el corredor Texcoco-Amecameca-Ozumba es más clara en 2010 y 2013 que en 2011 y 2012.

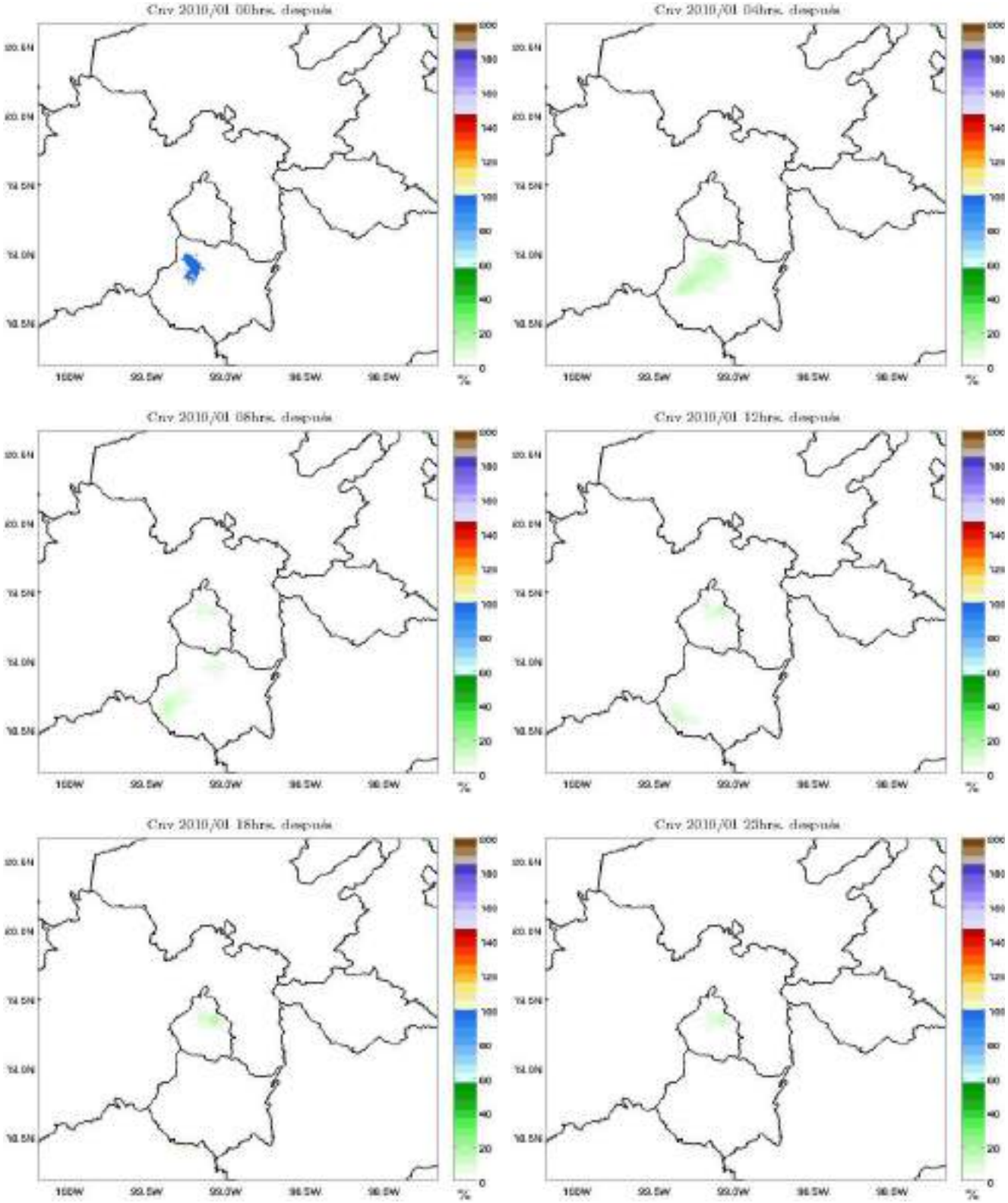


Figura A02-42.1*. Concentración promedio de partículas a las 00, 04, 08, 12, 18 y 23 hrs después de ser emitidas en Cuernavaca en el mes de enero de 2010.*

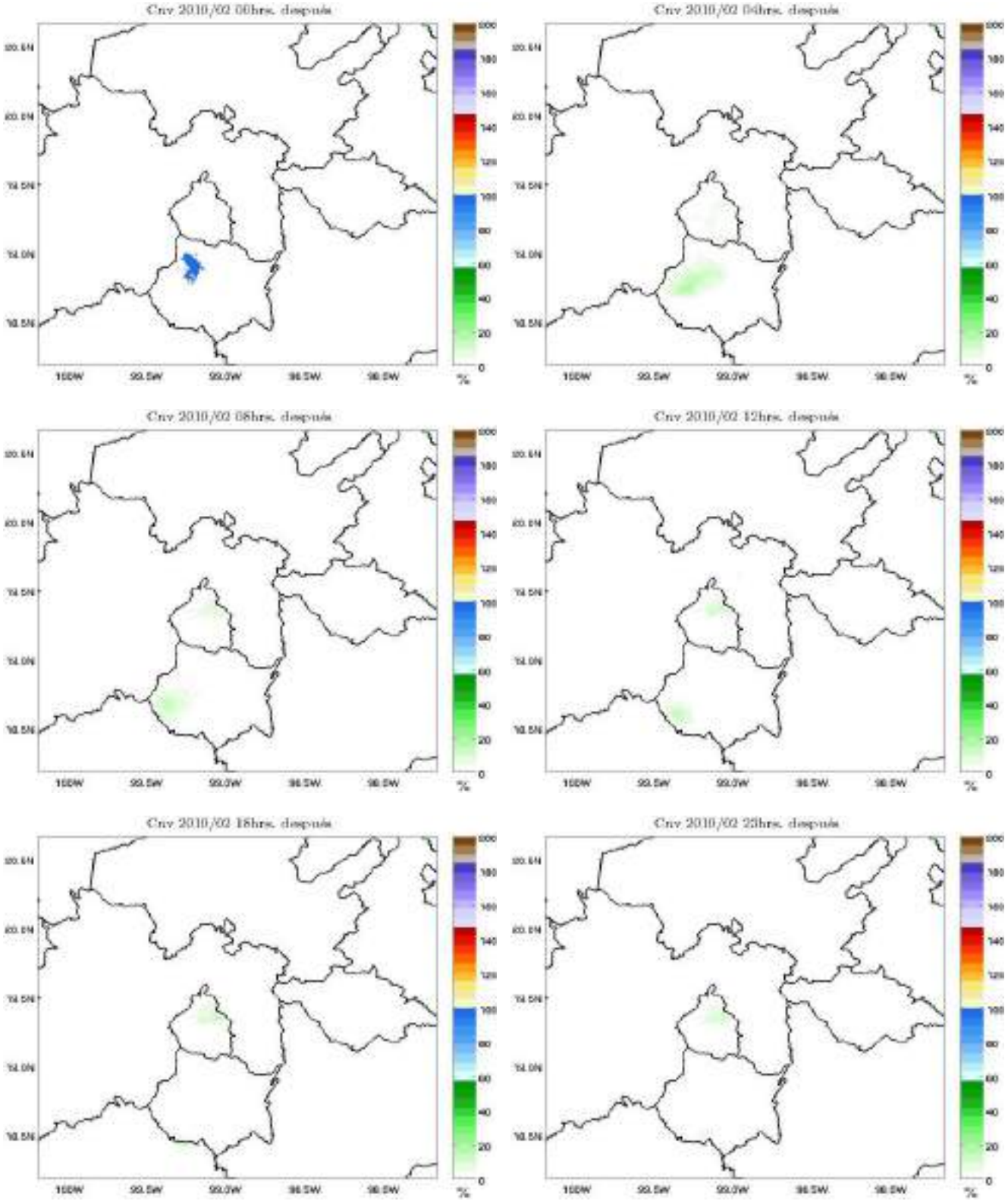


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de febrero de 2010.*

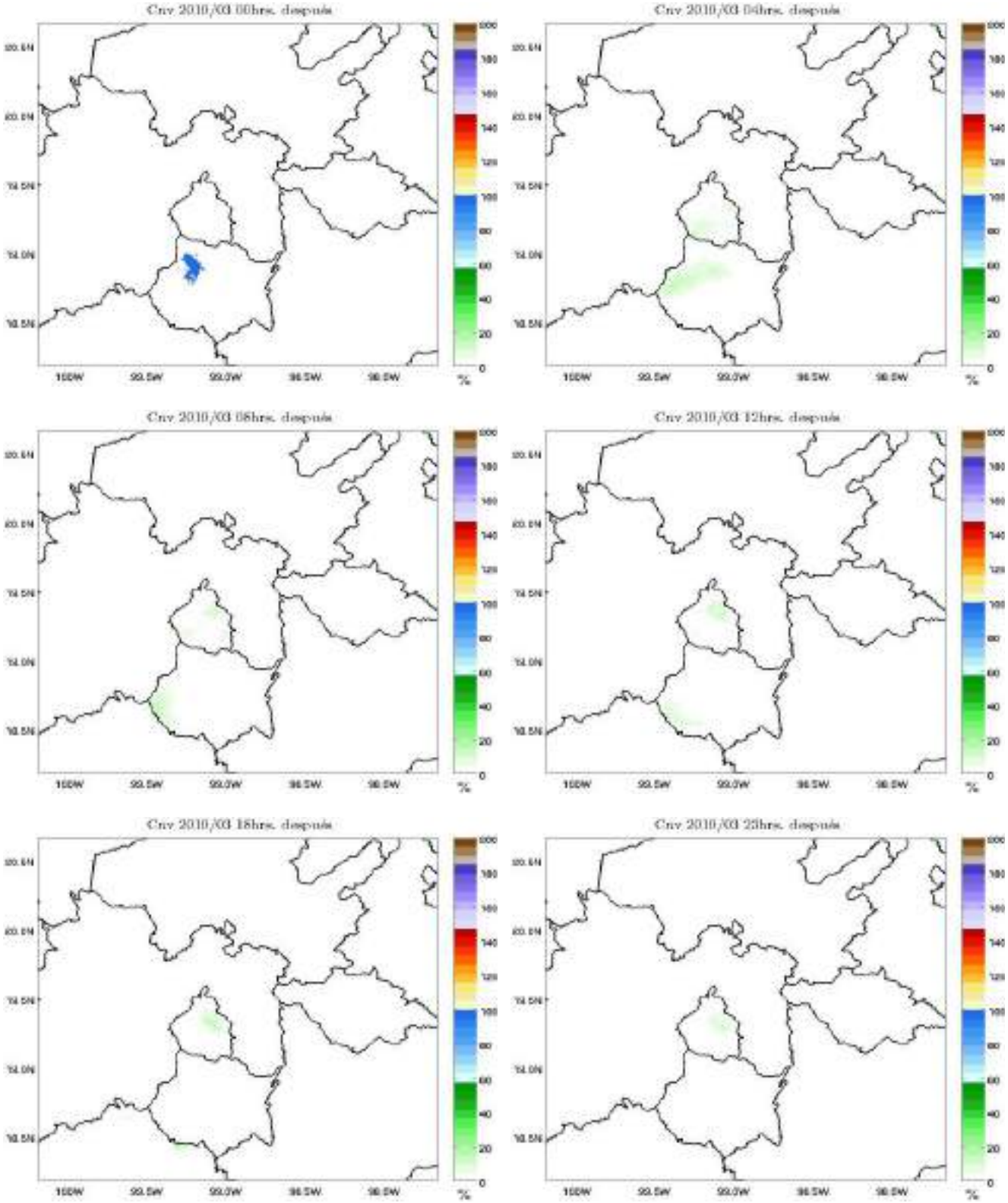


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de marzo de 2010.*

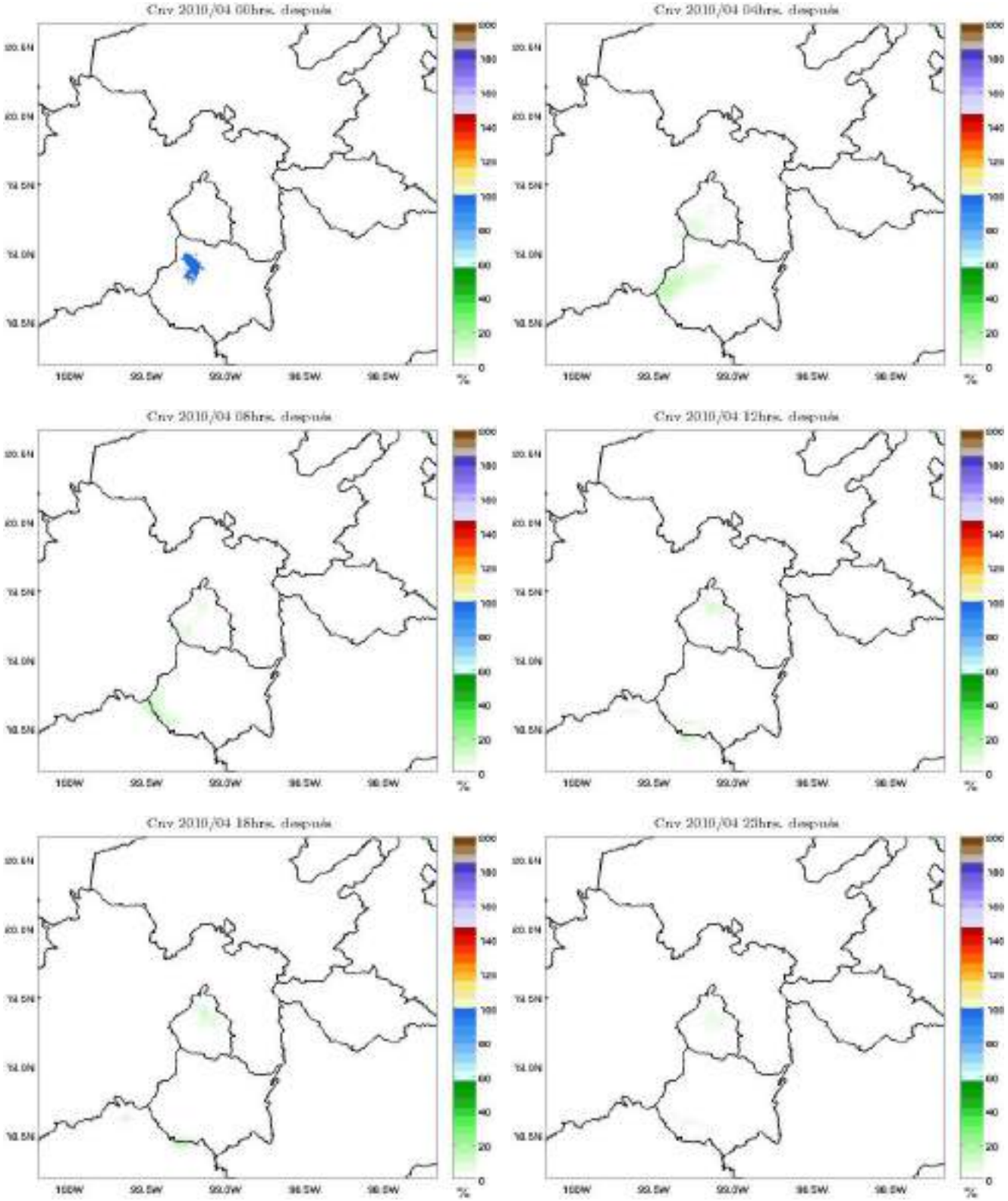


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de abril de 2010.*

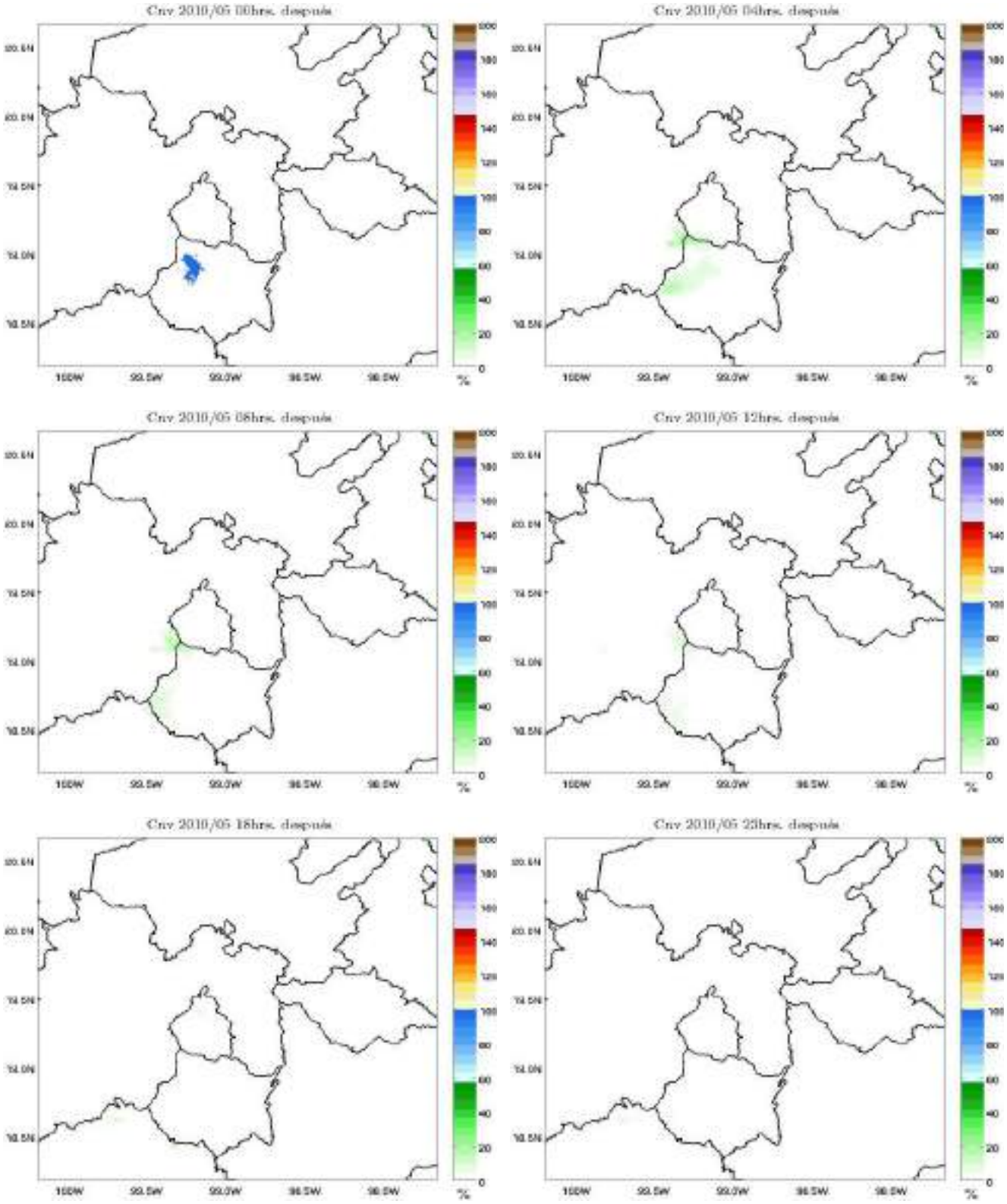


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de mayo de 2010.*

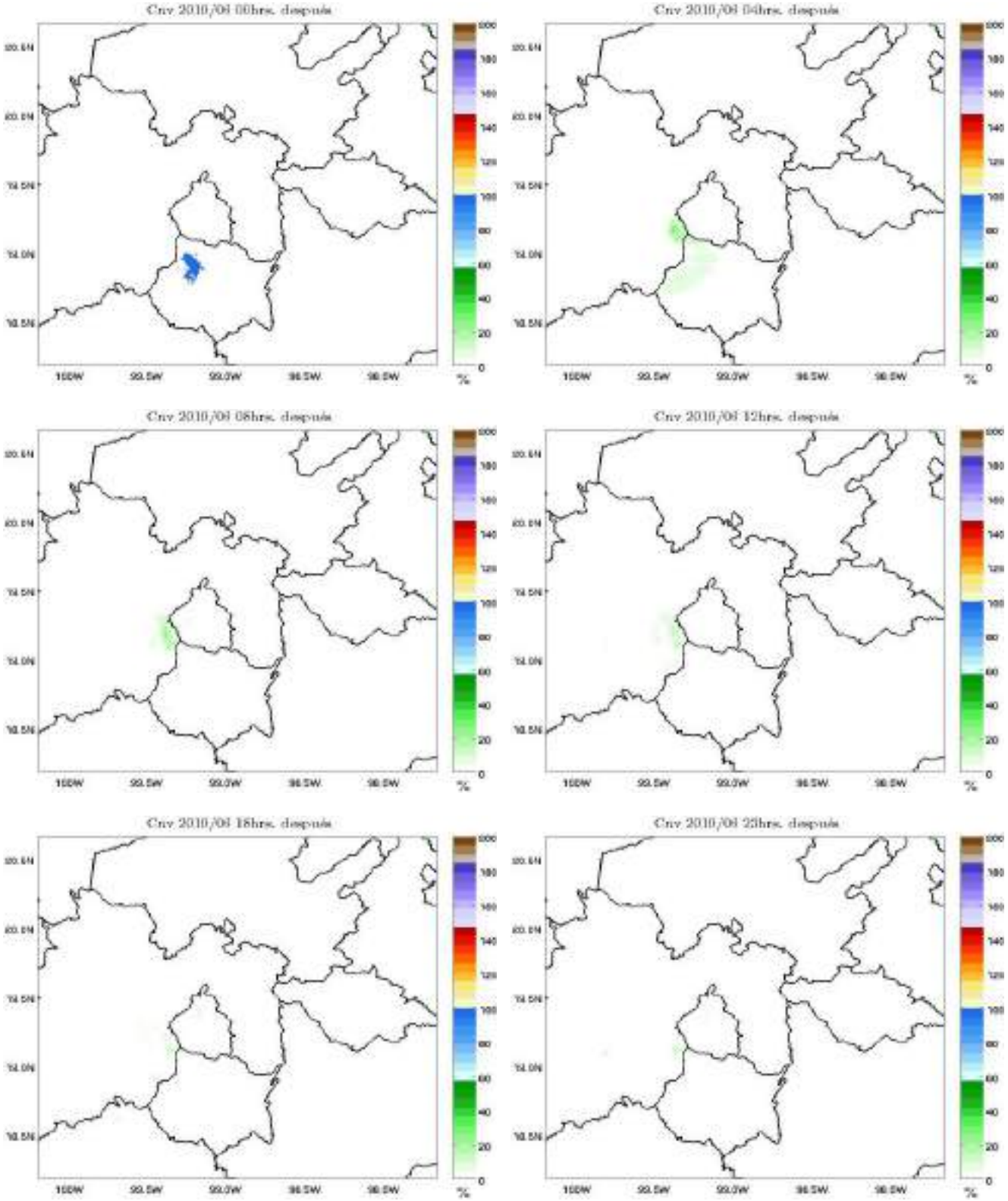


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de junio de 2010.*

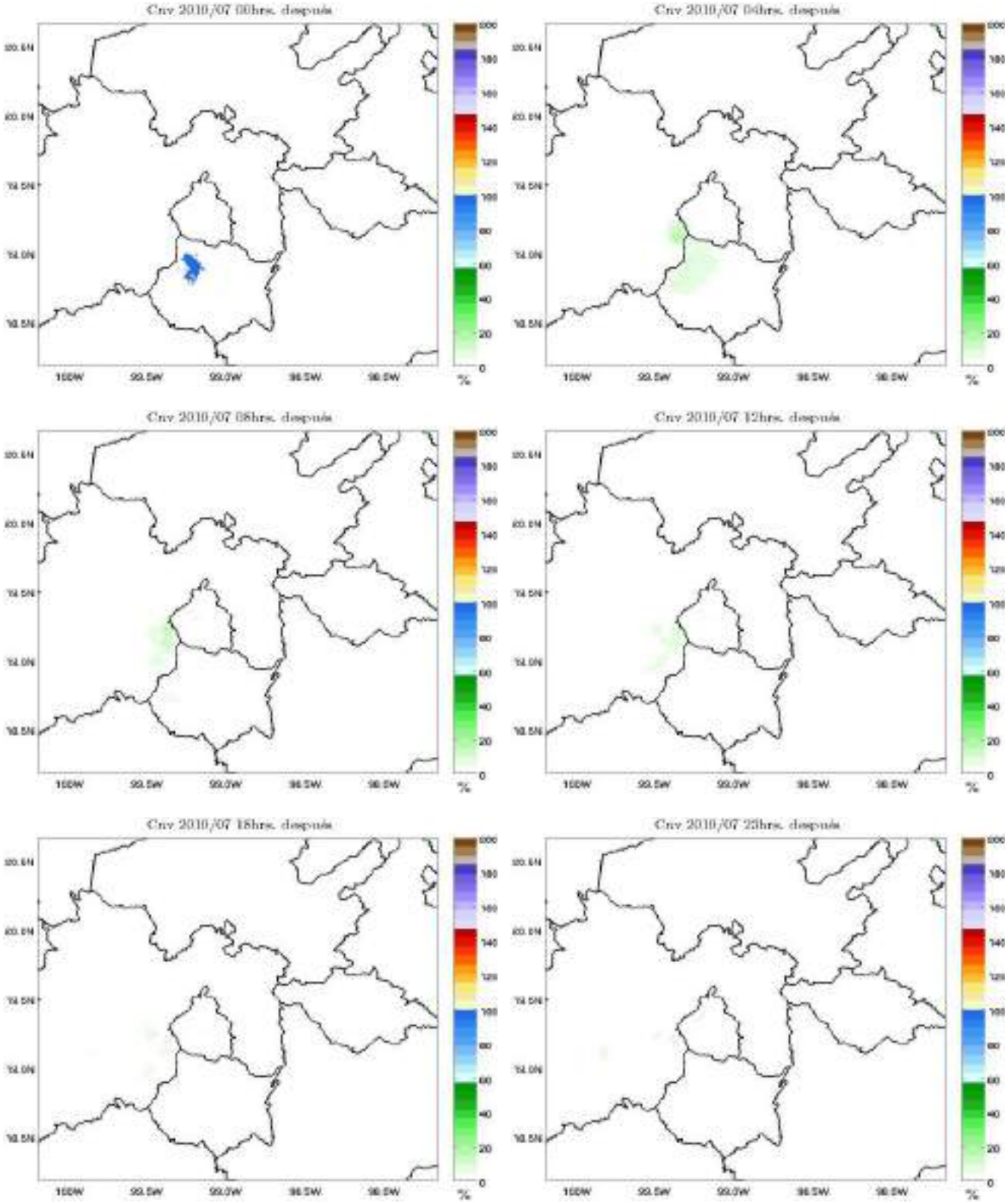


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de julio de 2010.*

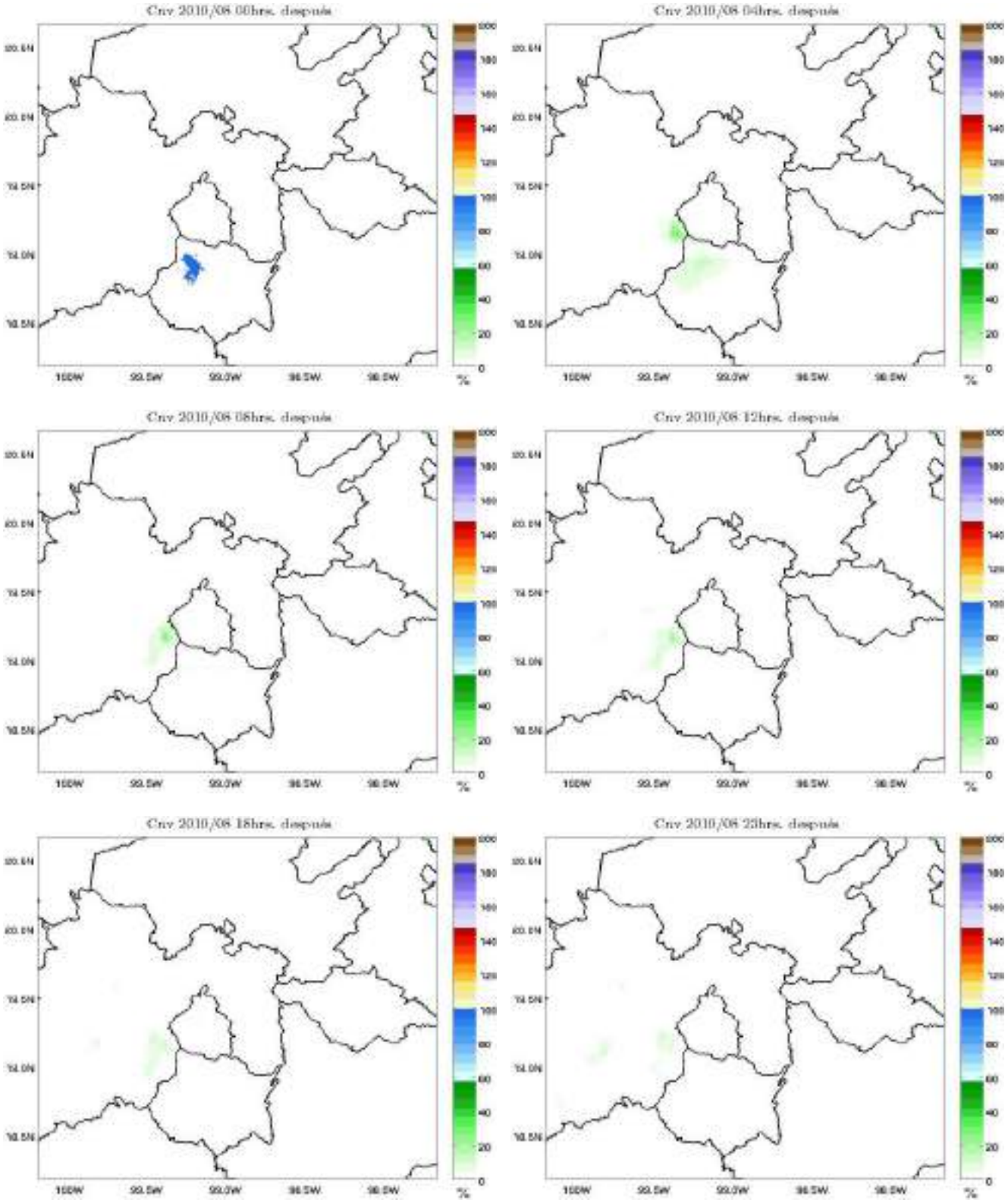


Figura A02-42.1 (cont.). Igual que la anterior pero para el mes de agosto de 2010.

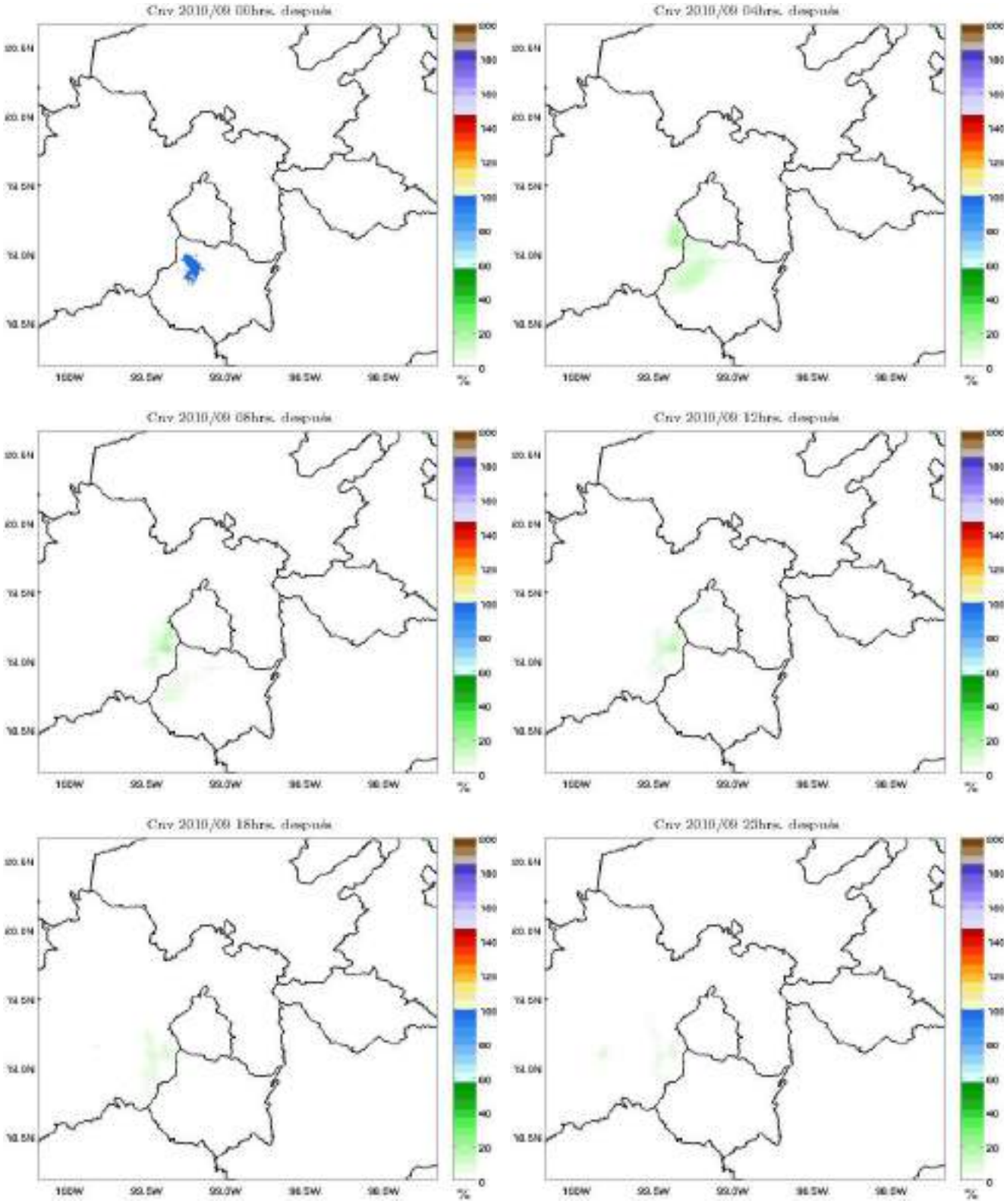


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de septiembre de 2010.*

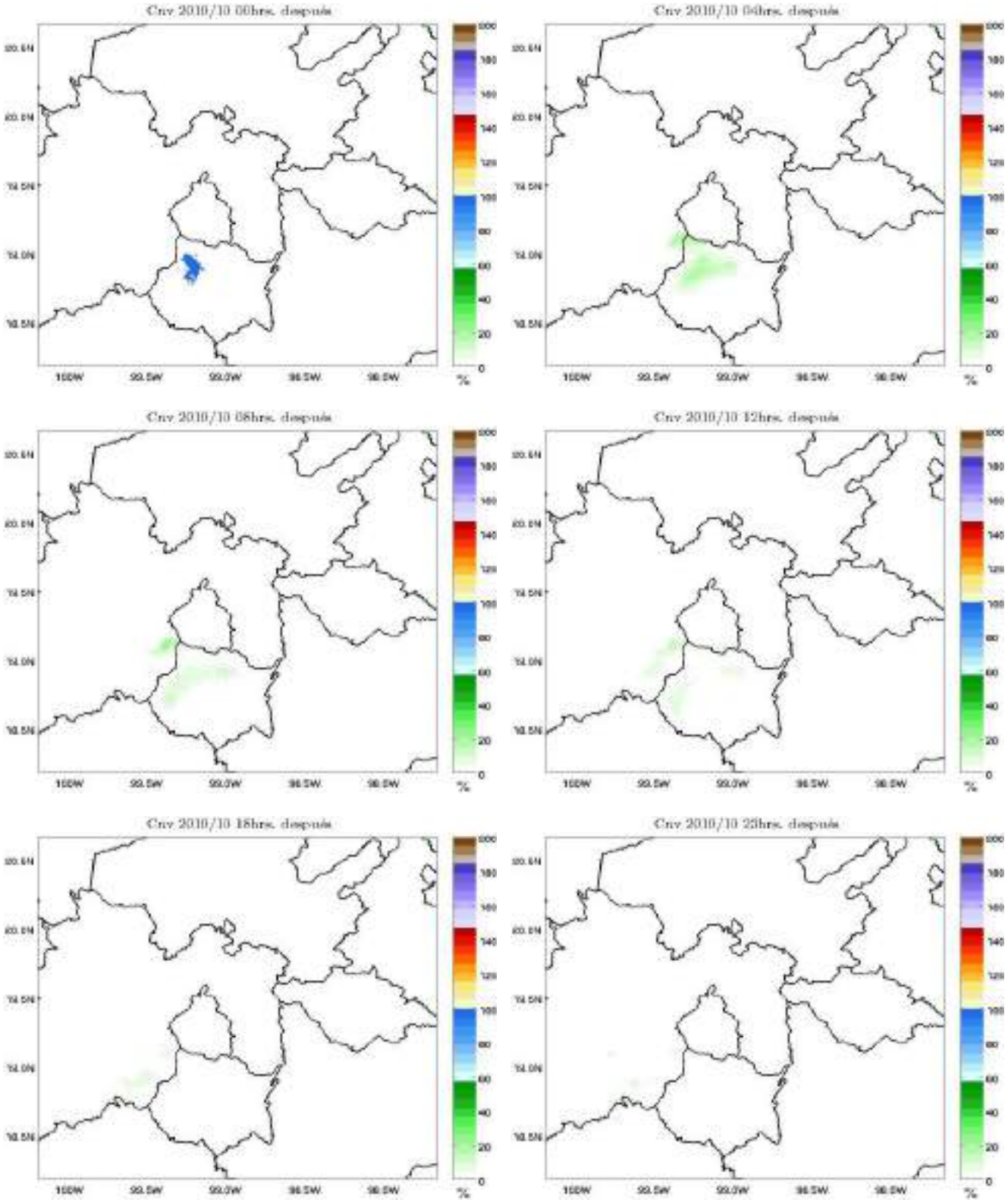


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de octubre de 2010.*

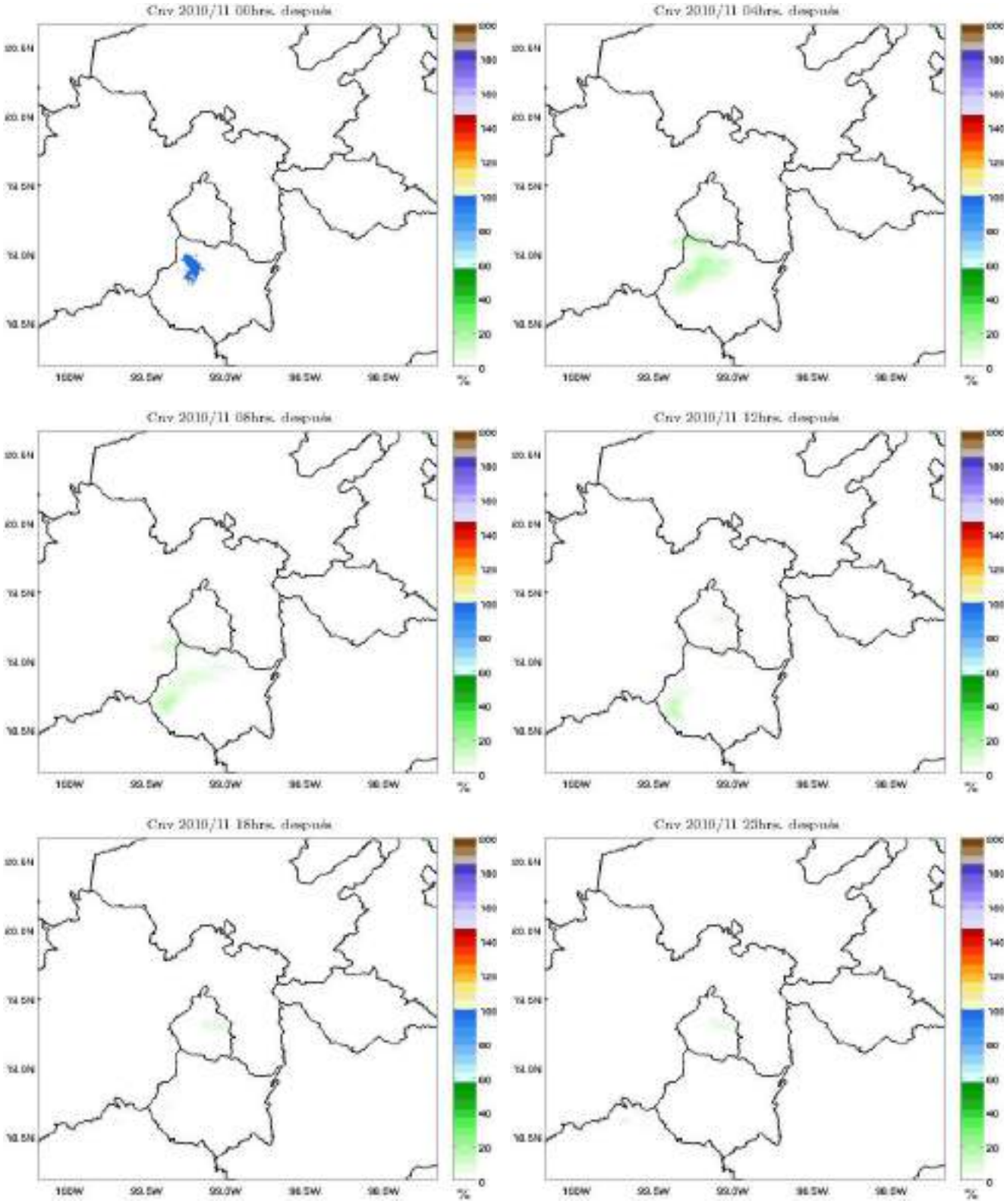


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de noviembre de 2010.*

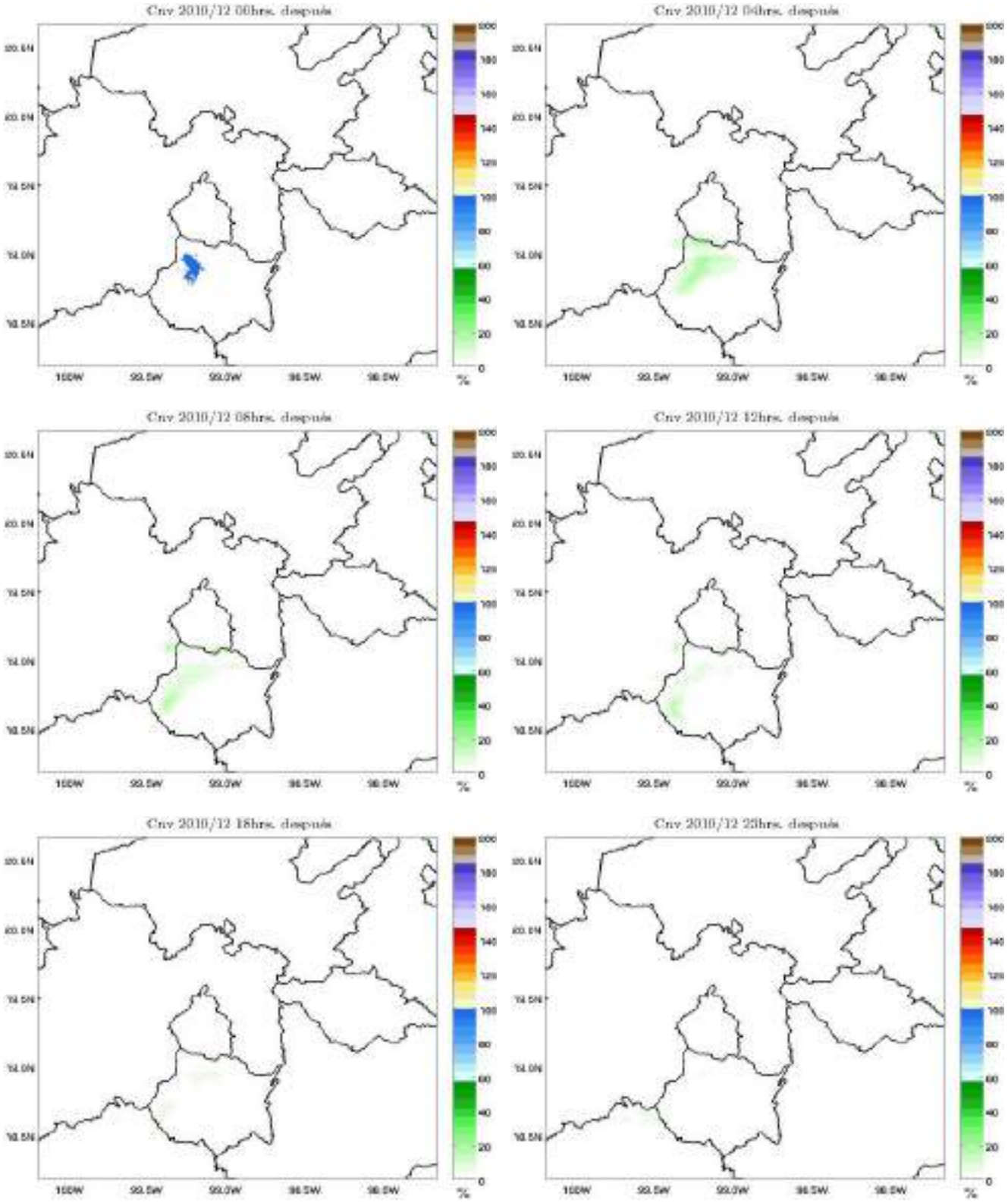


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de diciembre de 2010.*

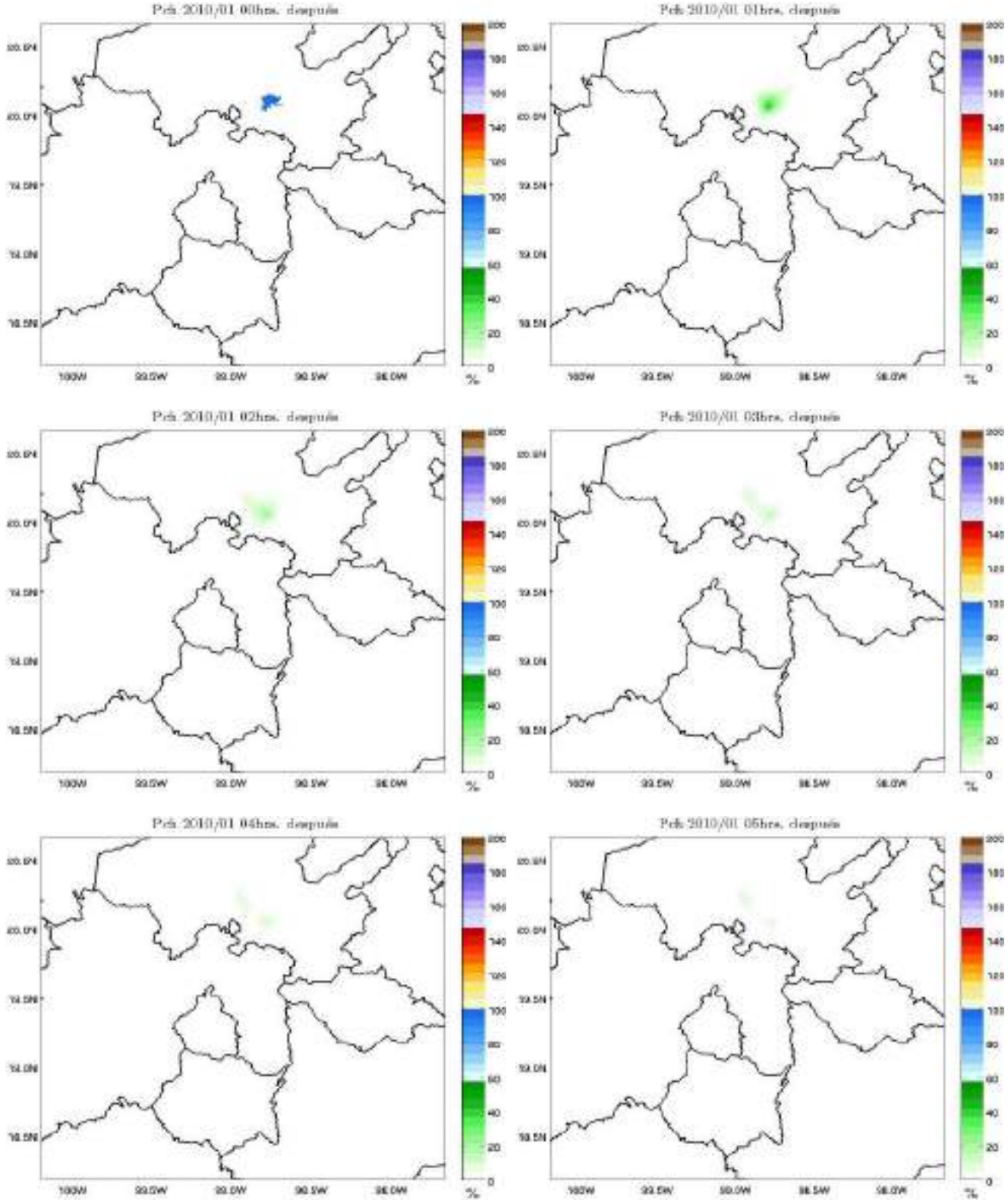


Figura A02-42.1*. Concentración promedio de partículas a las 00, 04, 08, 12, 18 y 23 hrs después de ser emitidas en Pachuca en el mes de enero de 2010.*

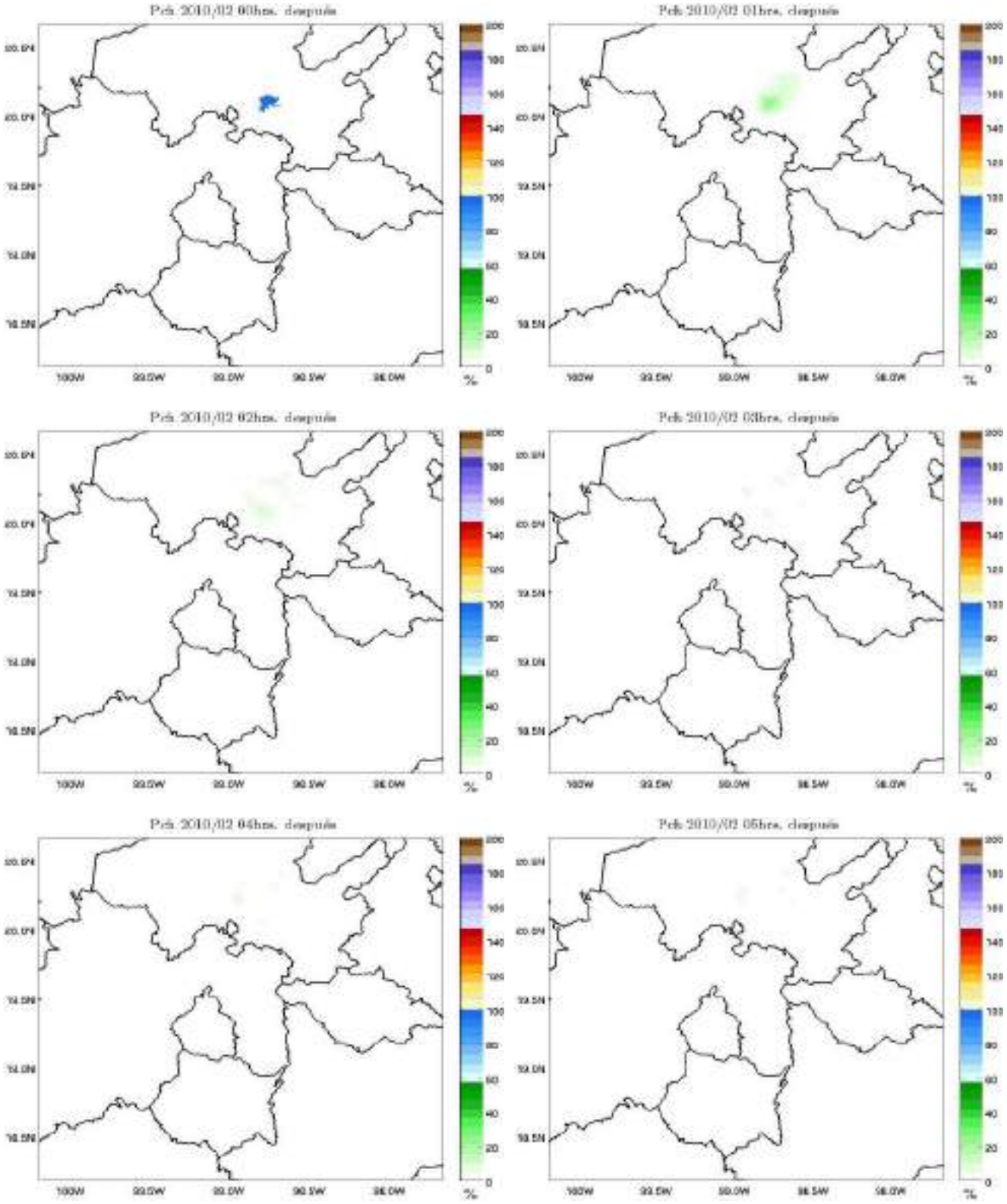


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de febrero de 2010.*

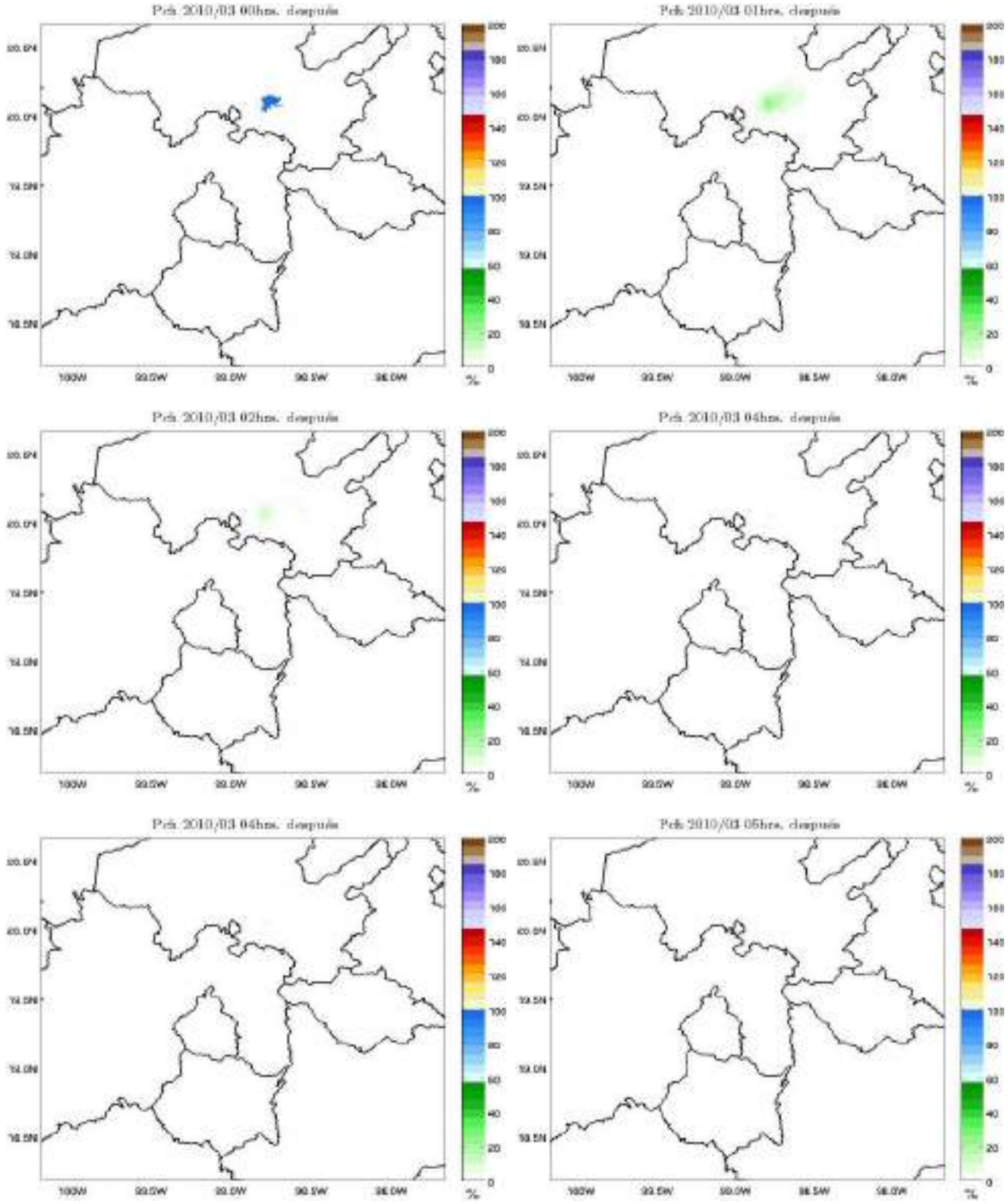


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de marzo de 2010.*

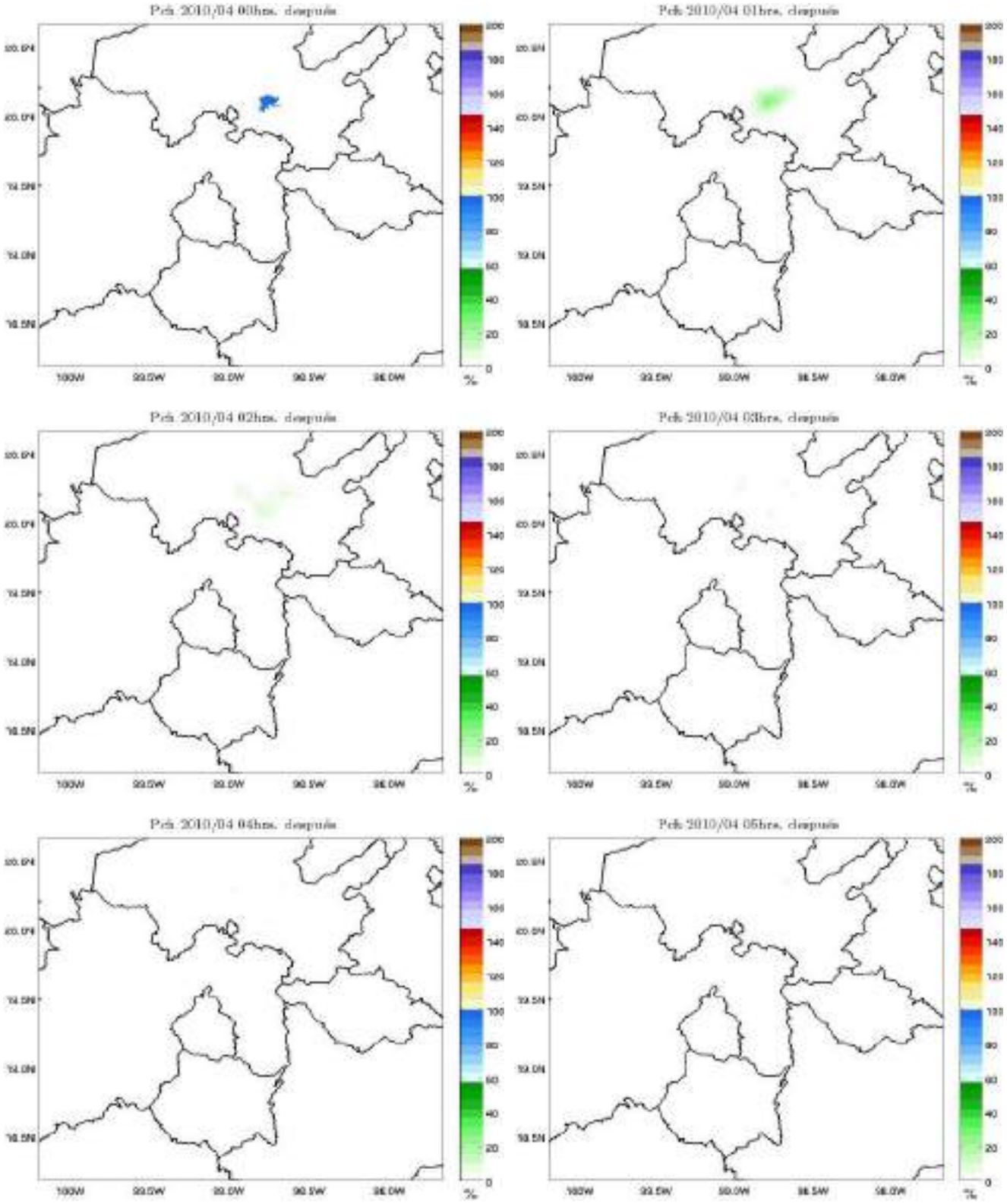


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de abril de 2010.*

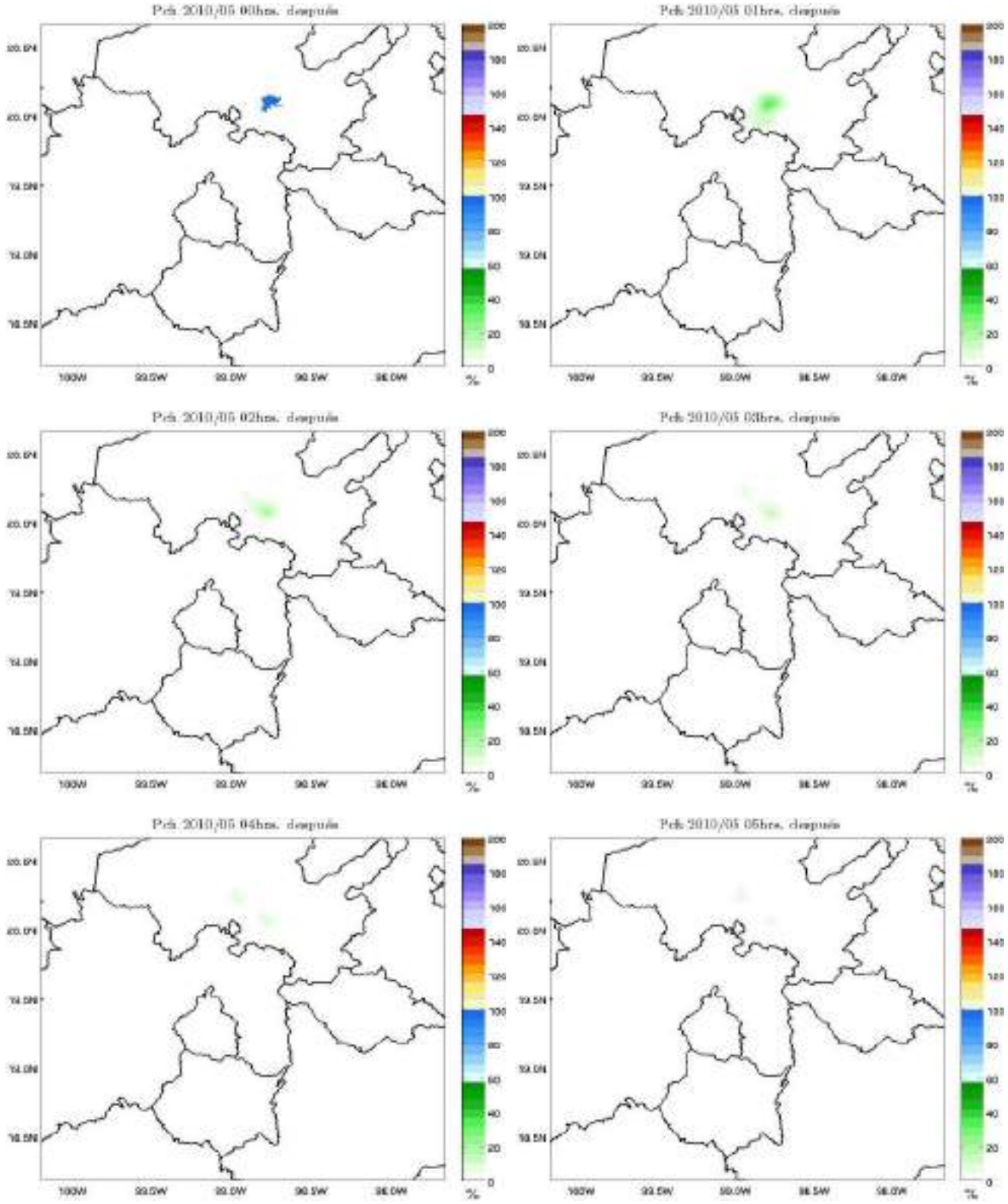


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de mayo de 2010.*

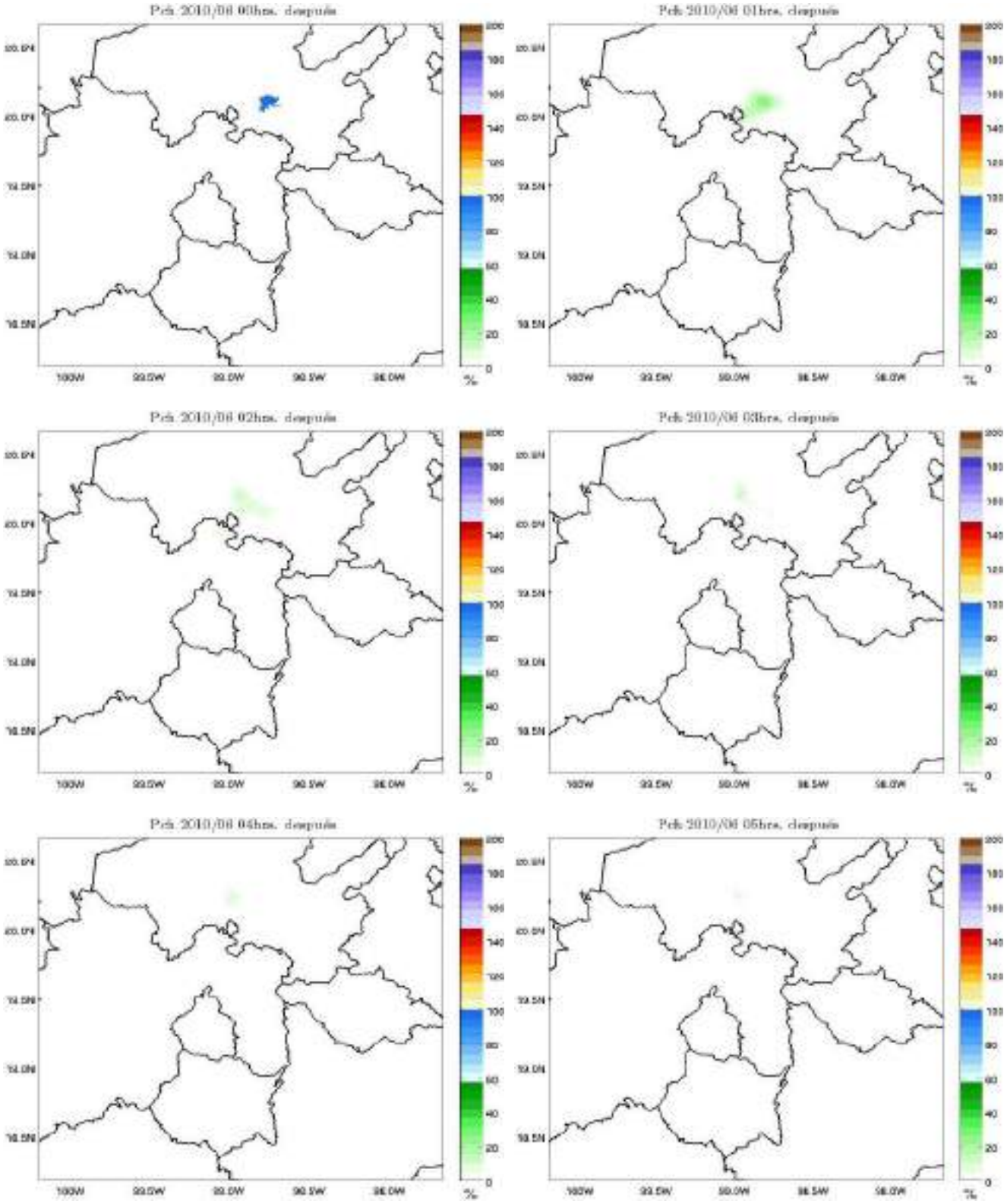


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de junio de 2010.*

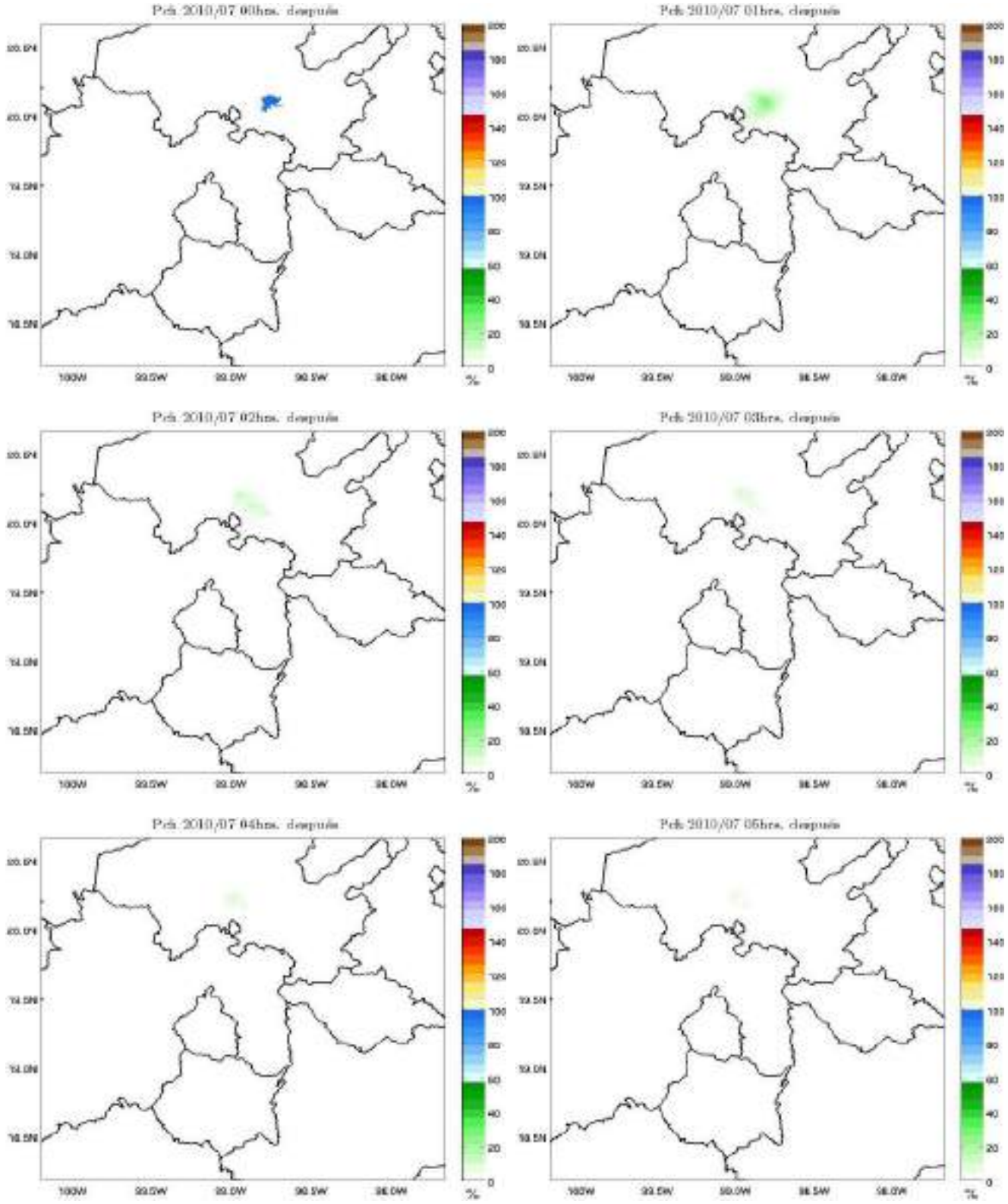


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de julio de 2010.*

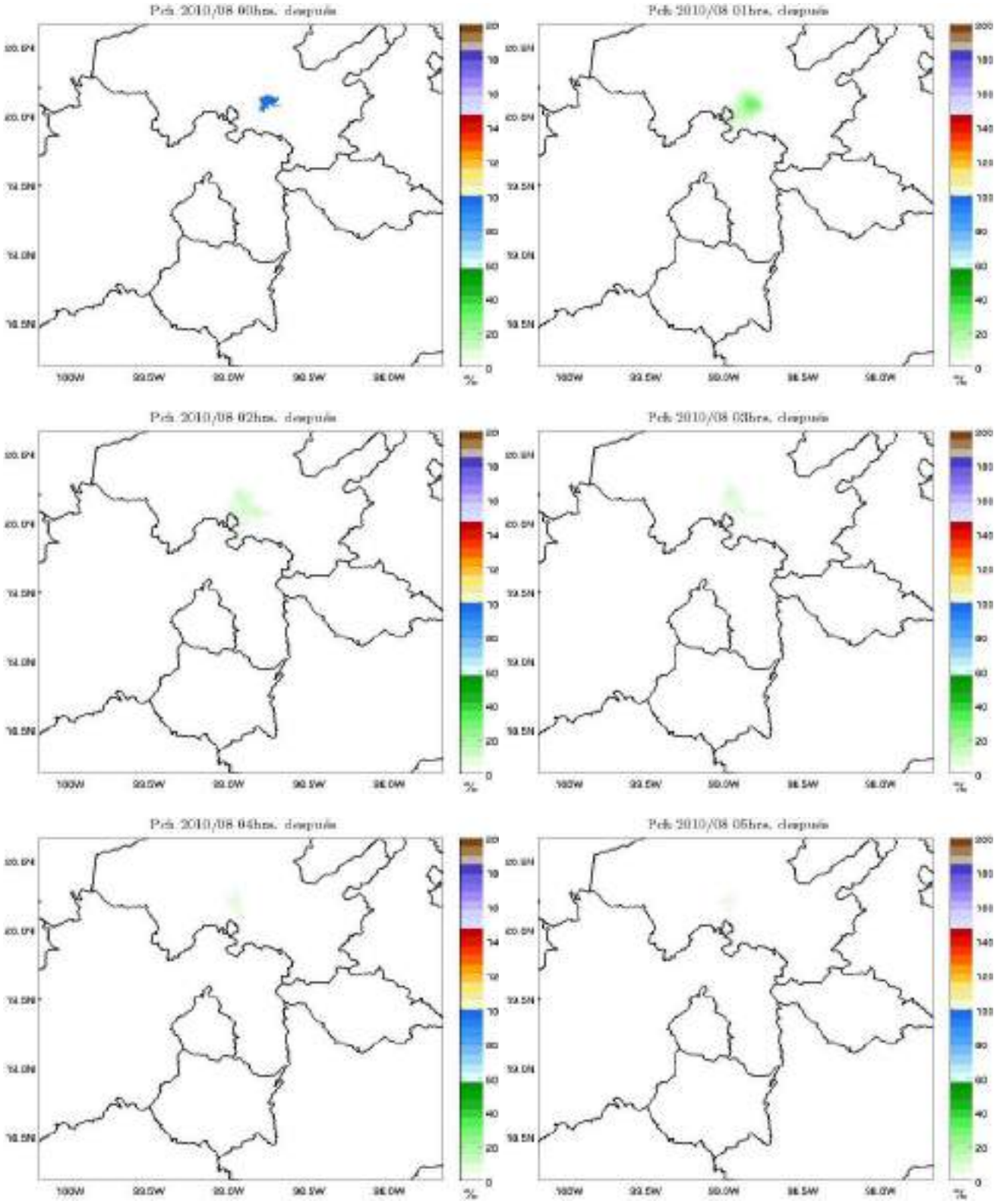


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de agosto de 2010.*

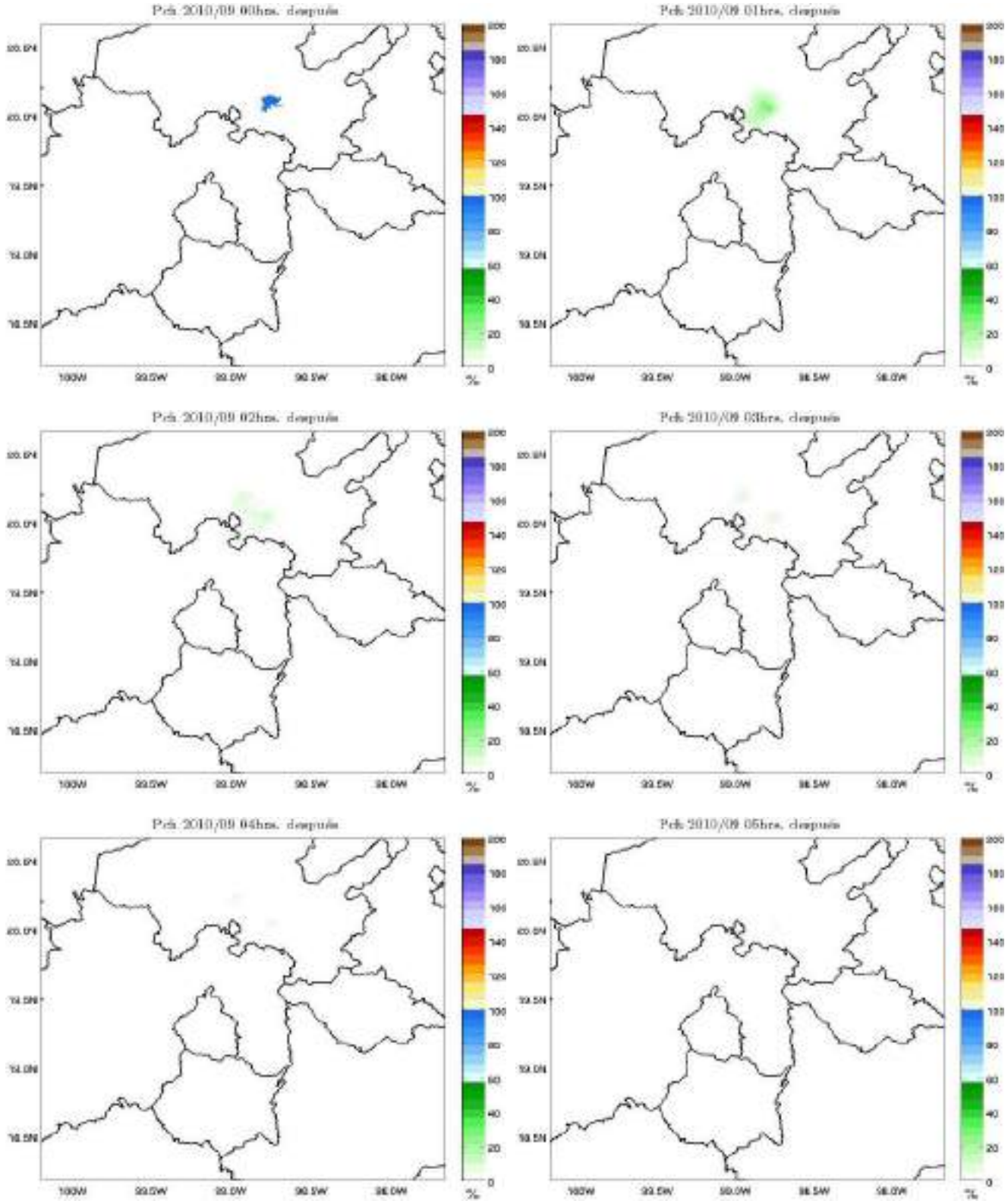


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de septiembre de 2010.*

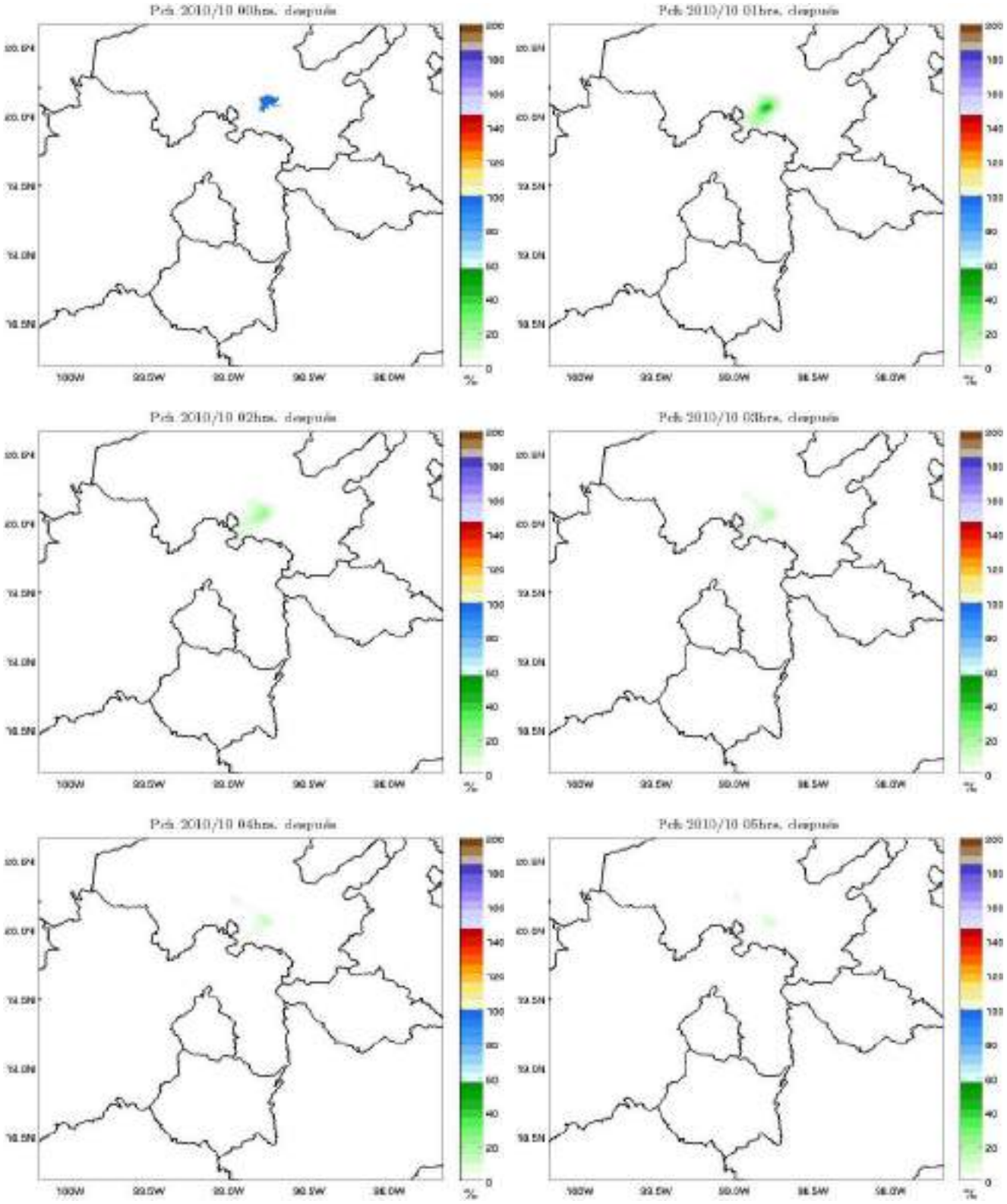


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de octubre de 2010.*

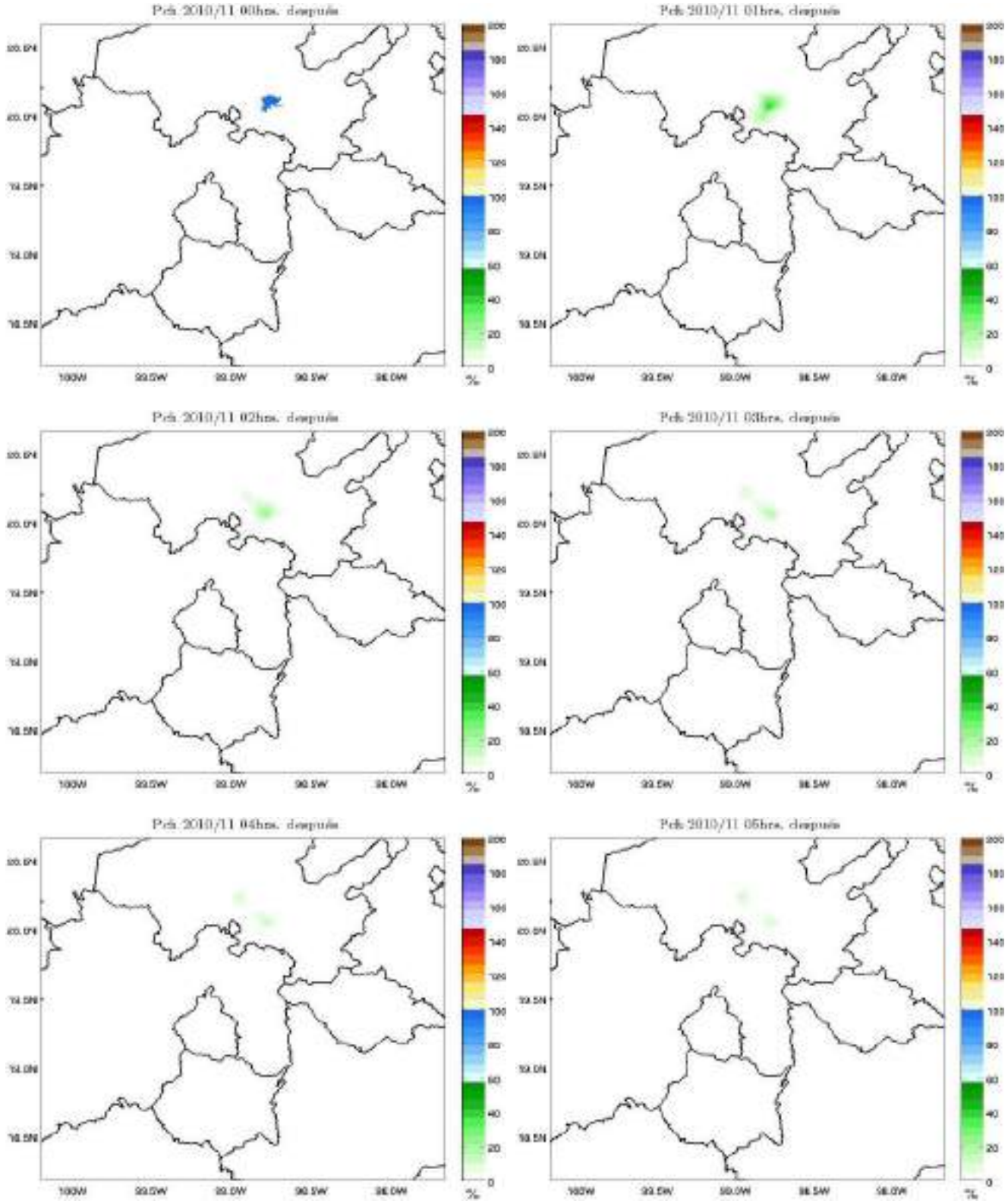


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de noviembre de 2010.*

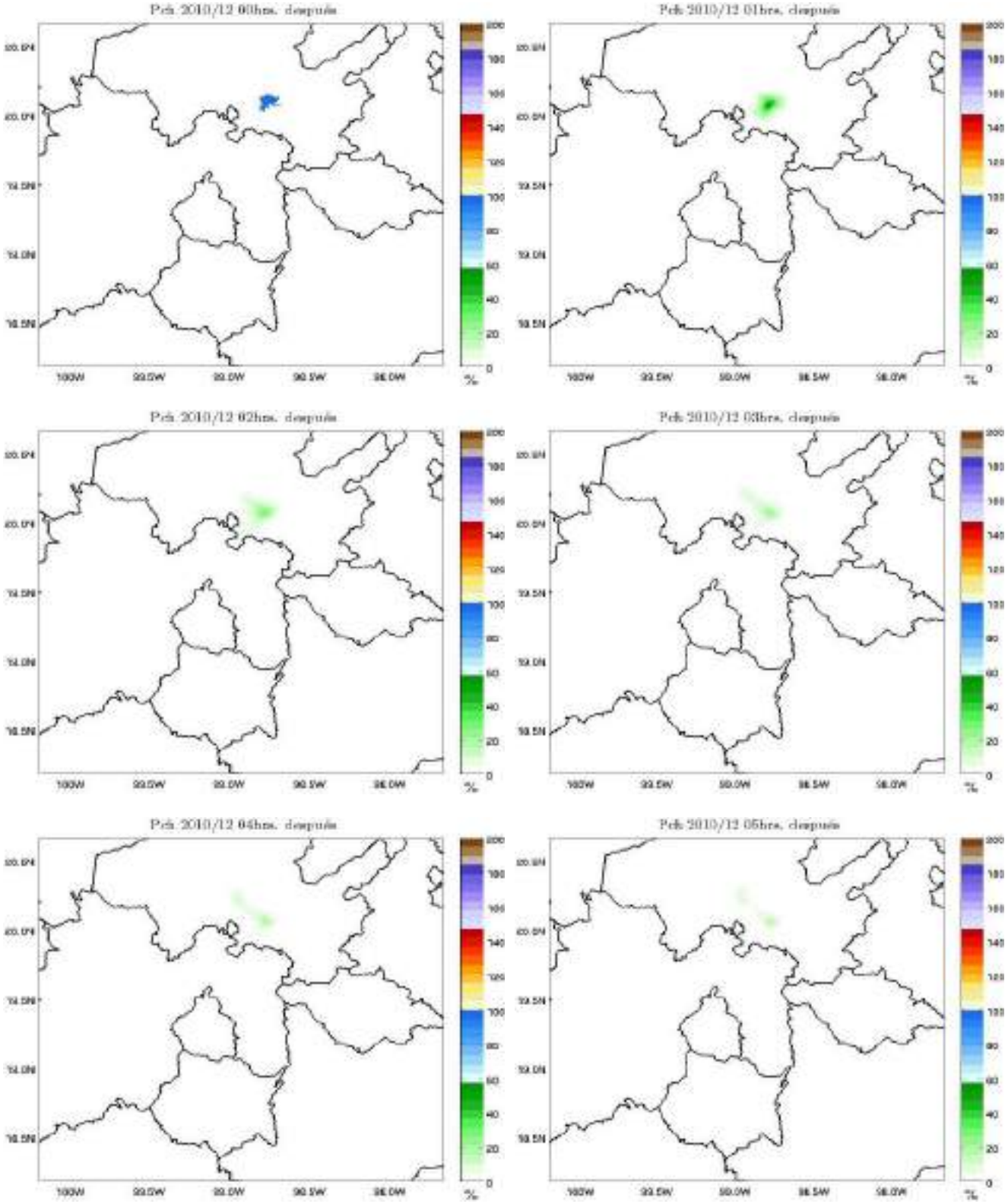


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de diciembre de 2010.*

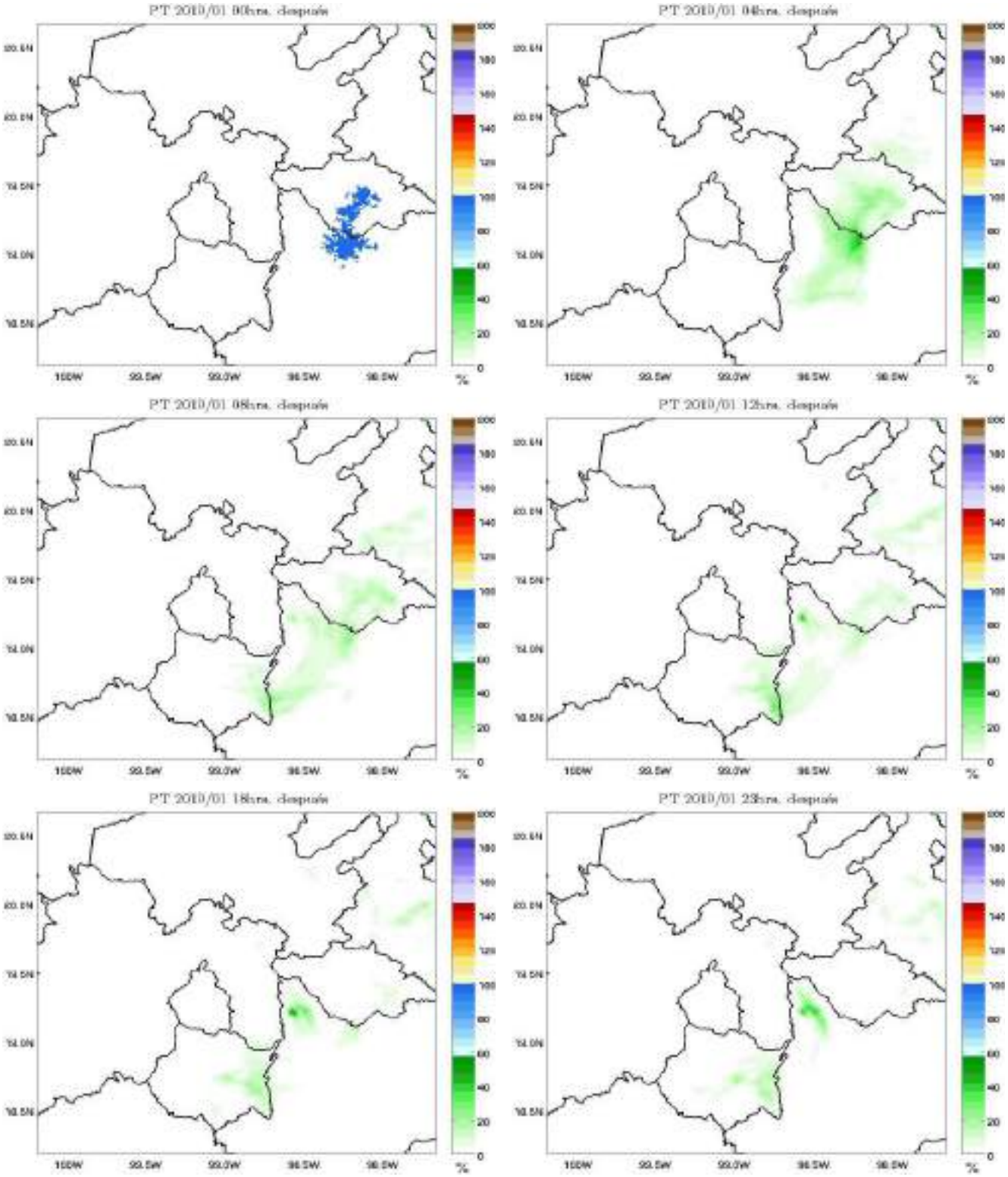


Figura A02-42.1. *Concentración promedio de partículas a las 00, 04, 08, 12, 18 y 23 hrs después de ser emitidas en la zona urbana Puebla-Tlaxcala en el mes de enero de 2010.*

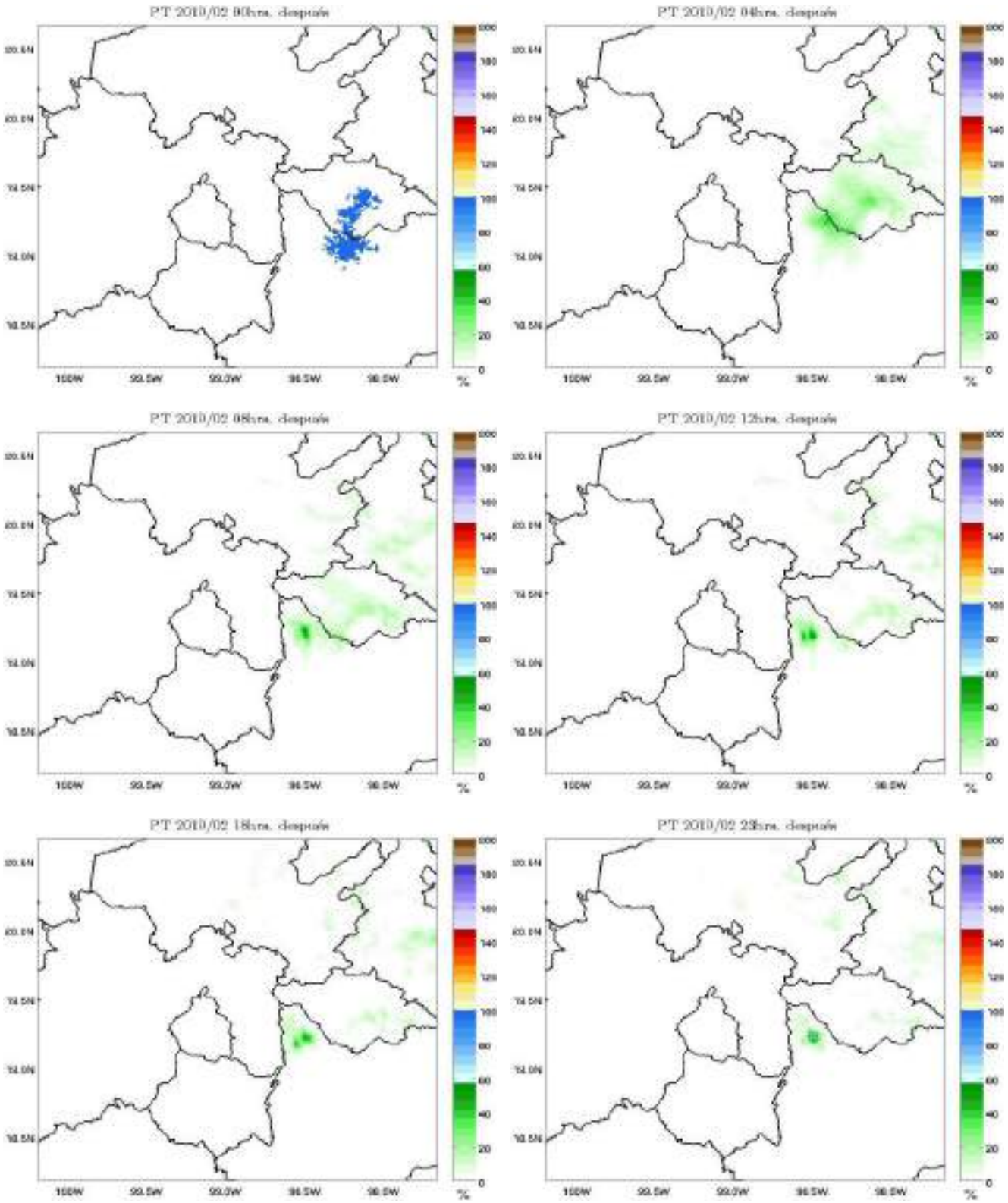


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de febrero de 2010.*

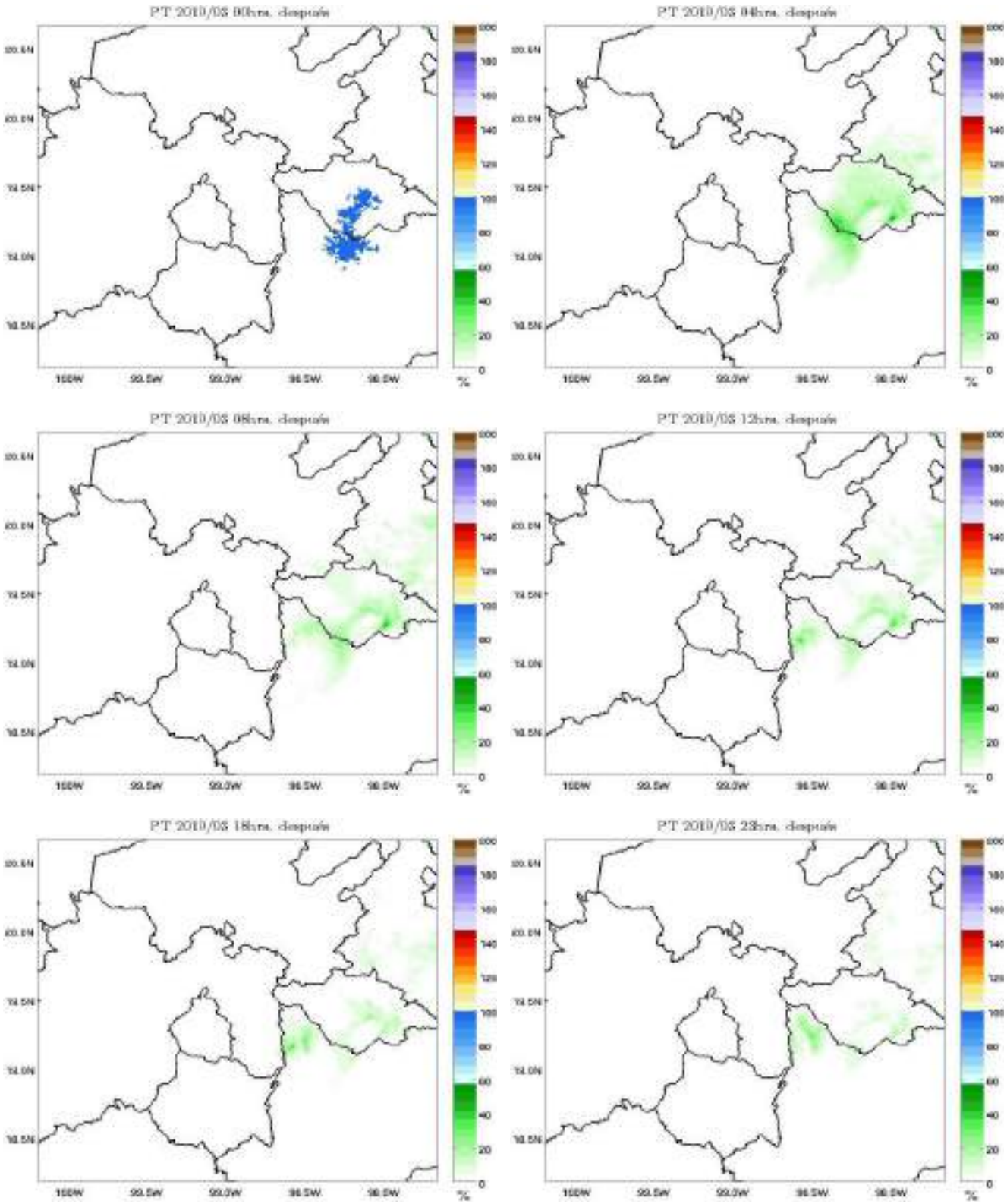


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de marzo de 2010.*

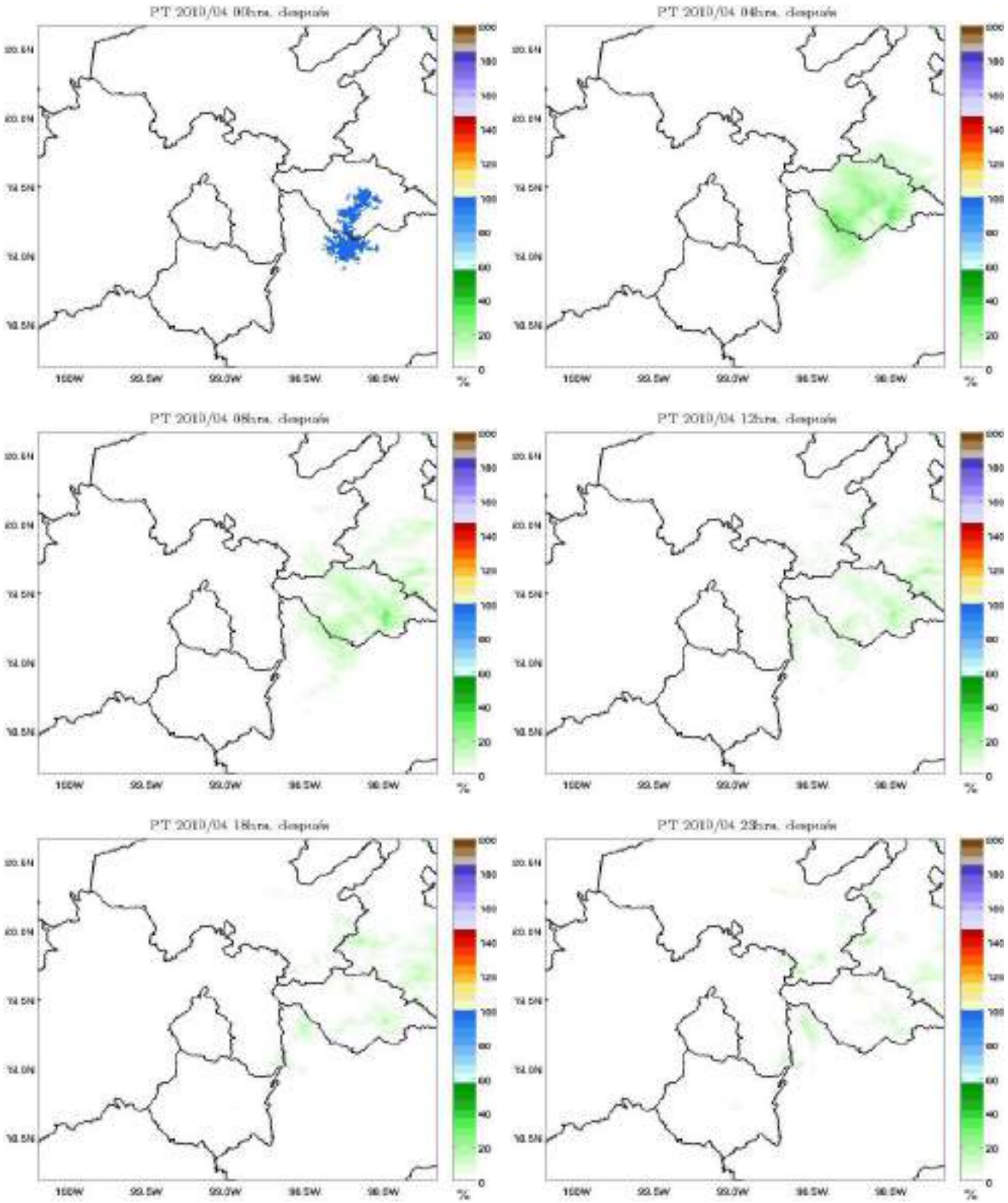


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de abril de 2010.*

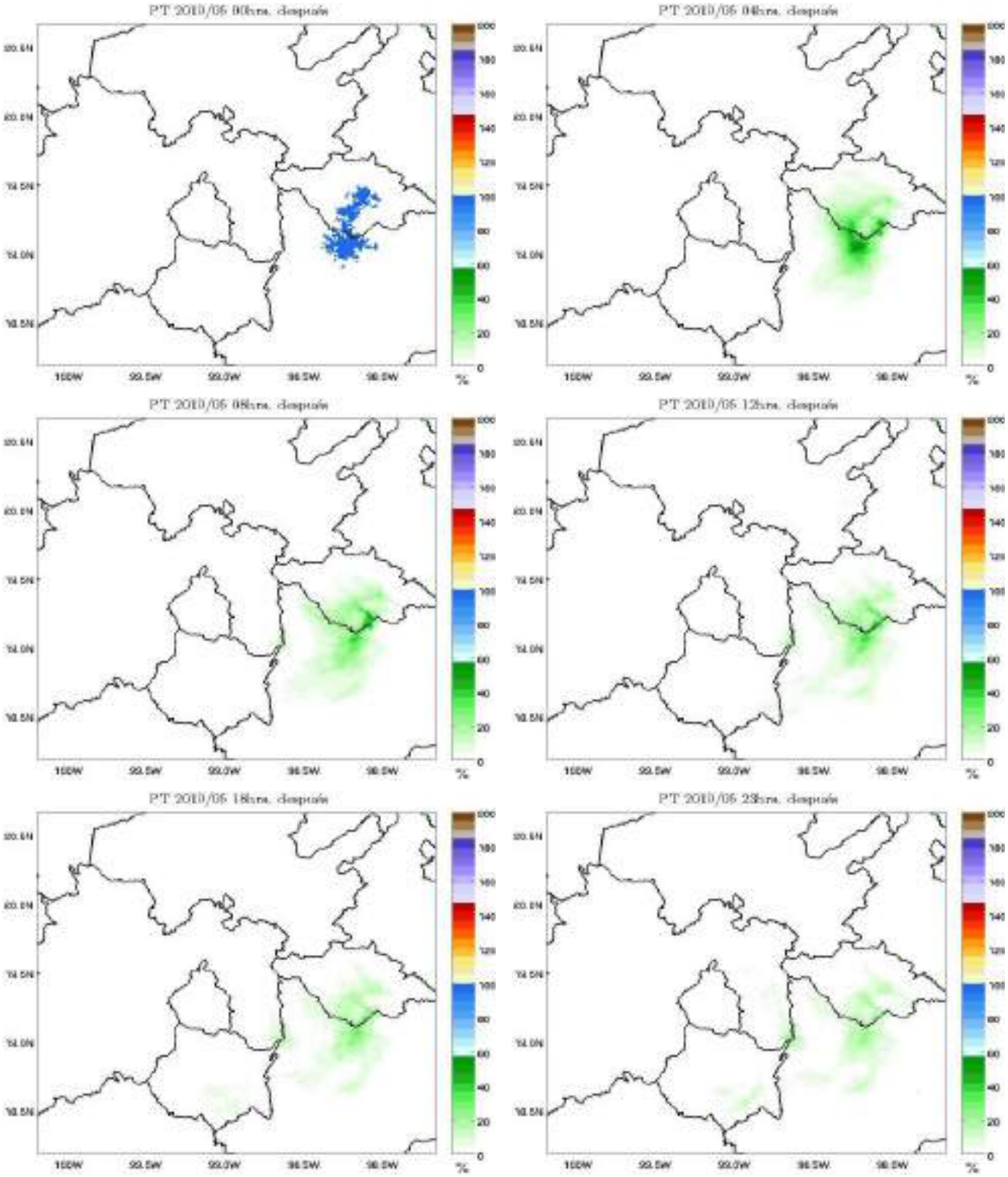


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de mayo de 2010.*

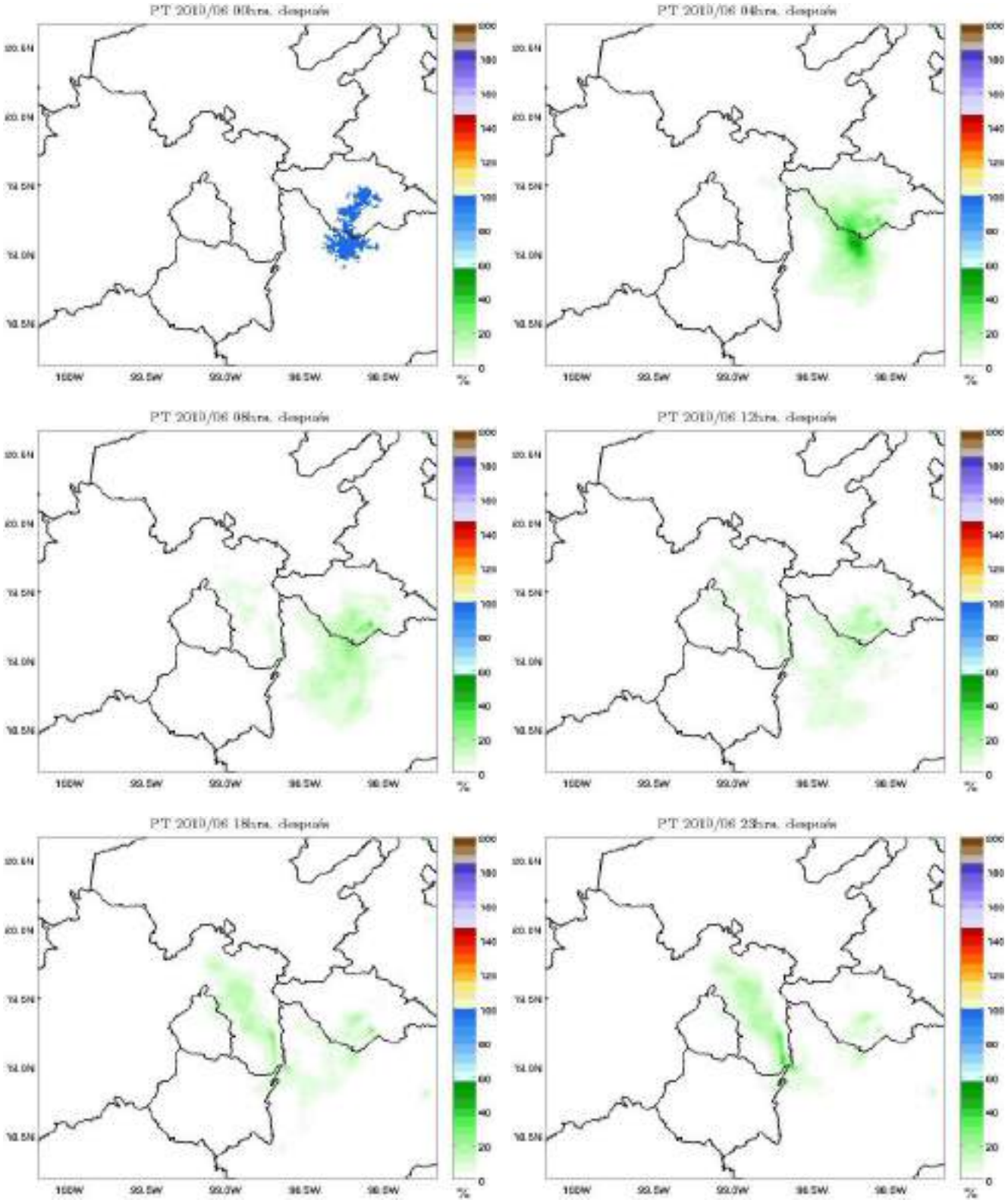


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de junio de 2010.*

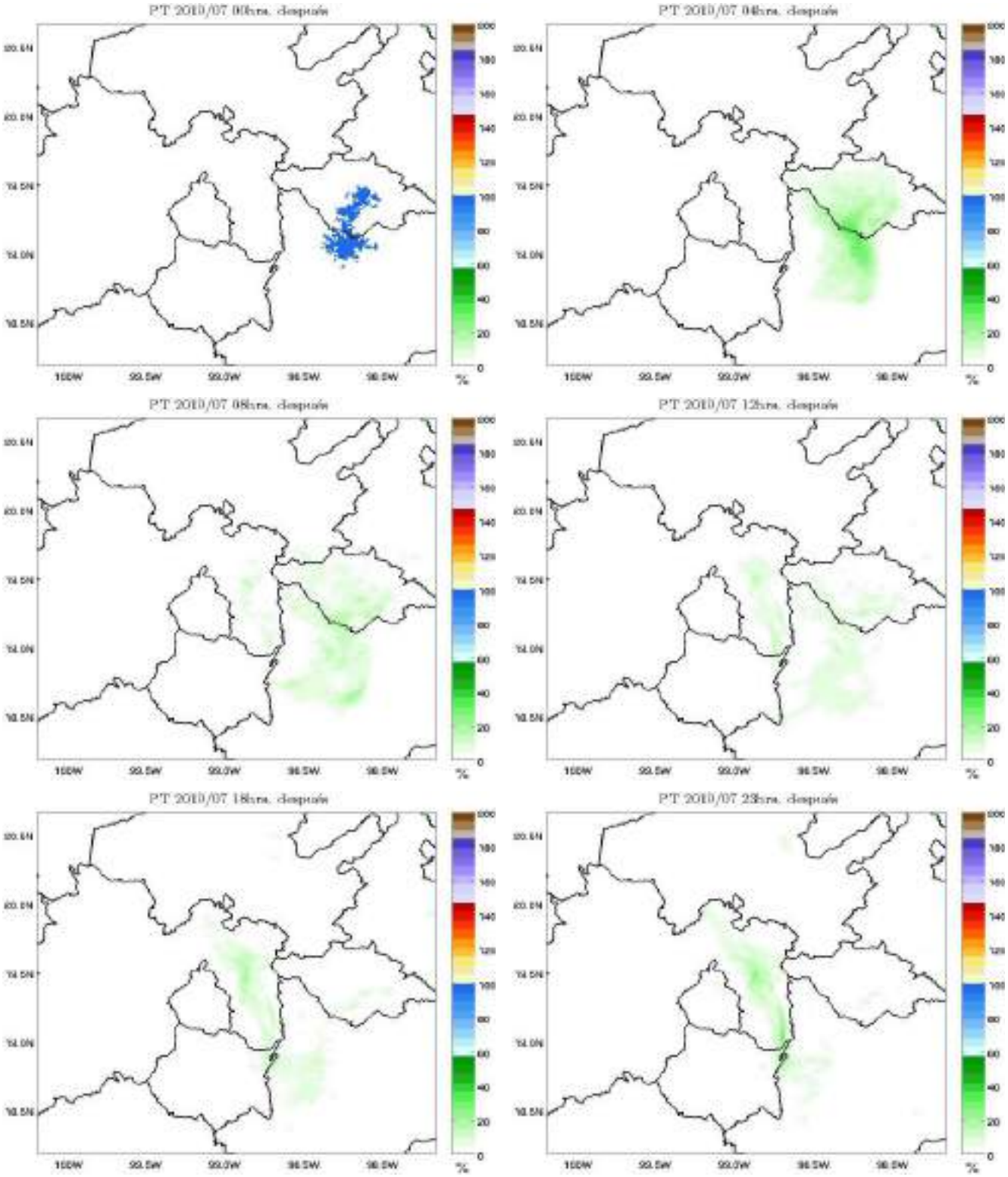


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de julio de 2010.*

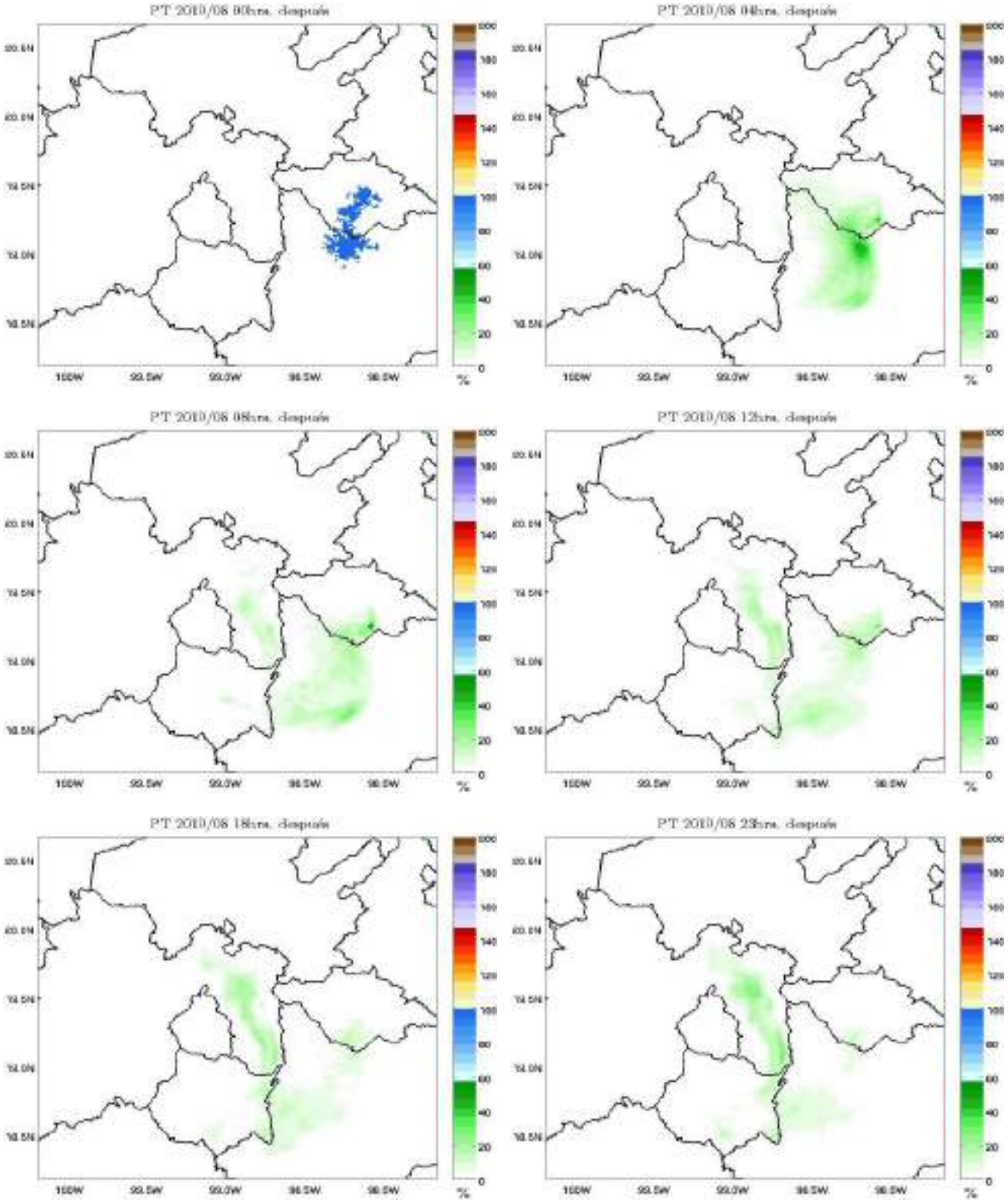


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de agosto de 2010.*

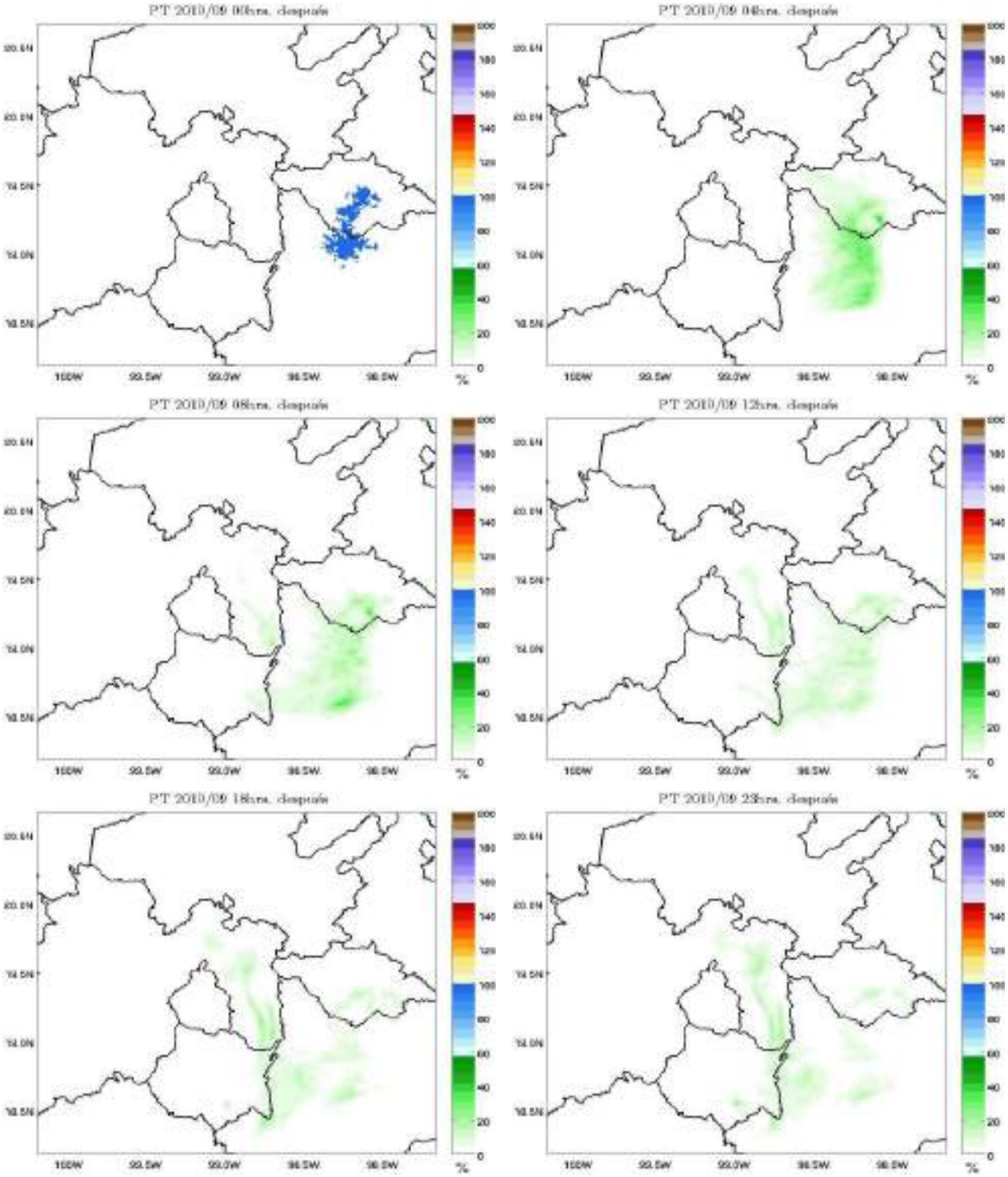


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de septiembre de 2010.*

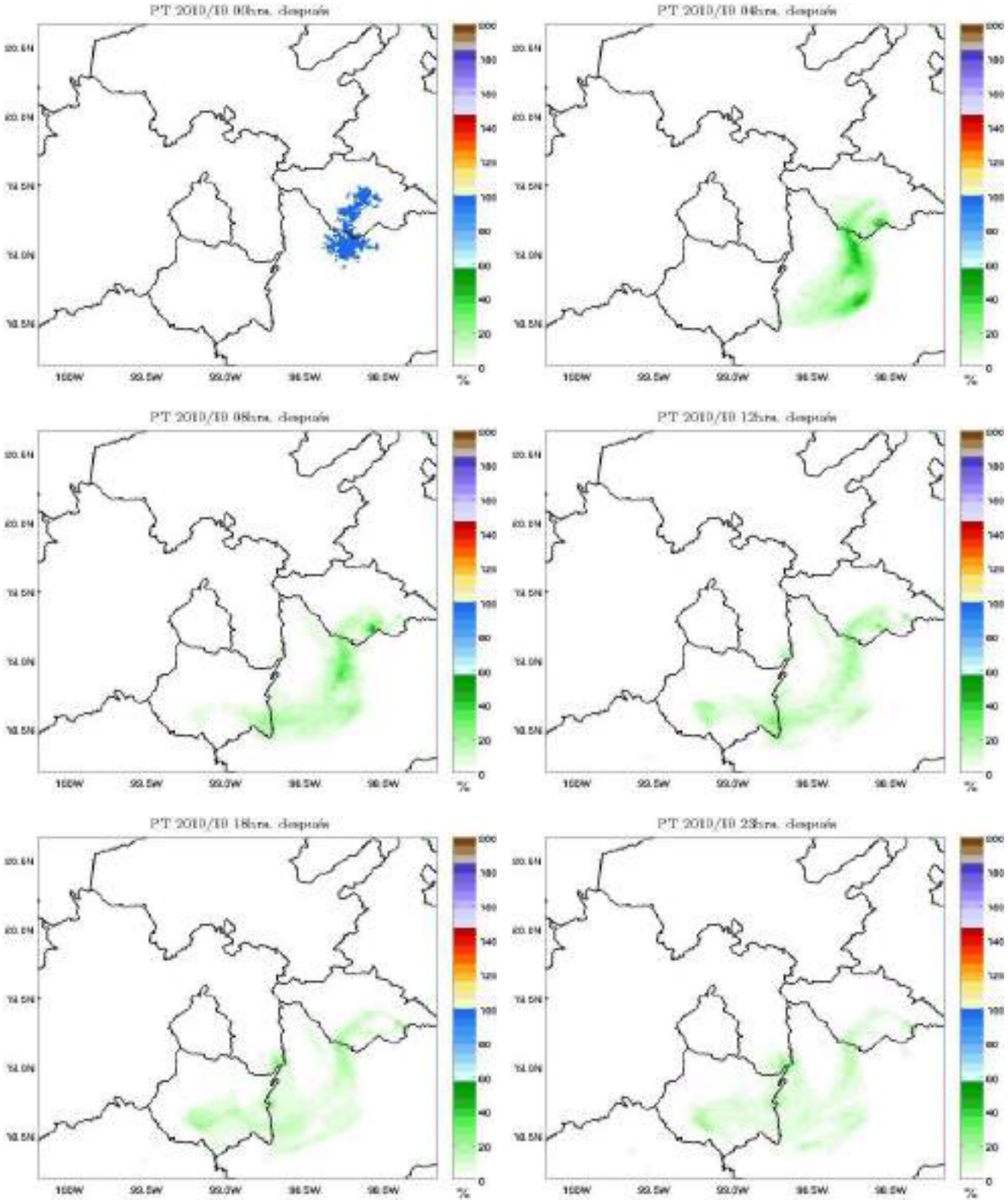


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de octubre de 2010.*

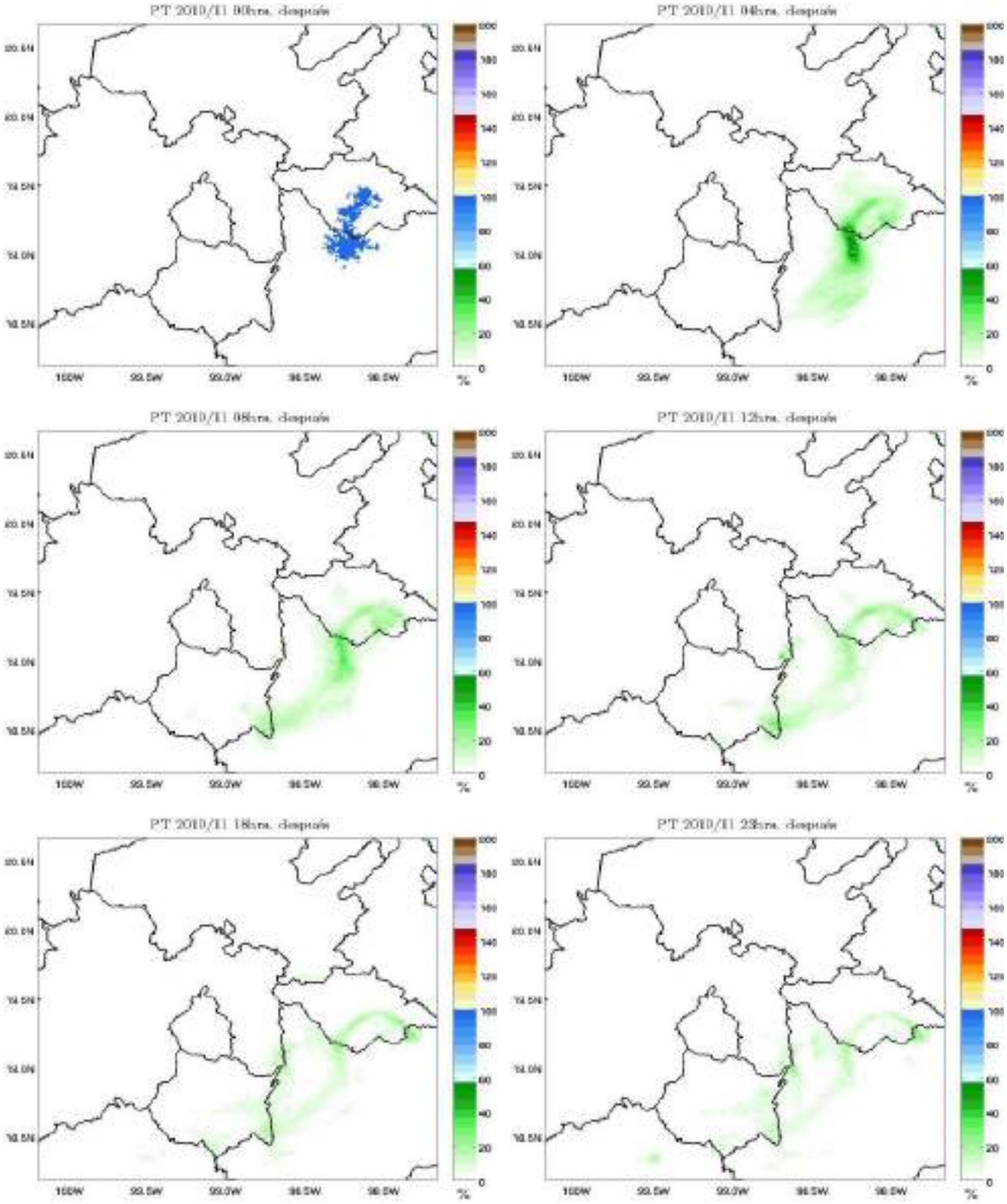


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de noviembre de 2010.*

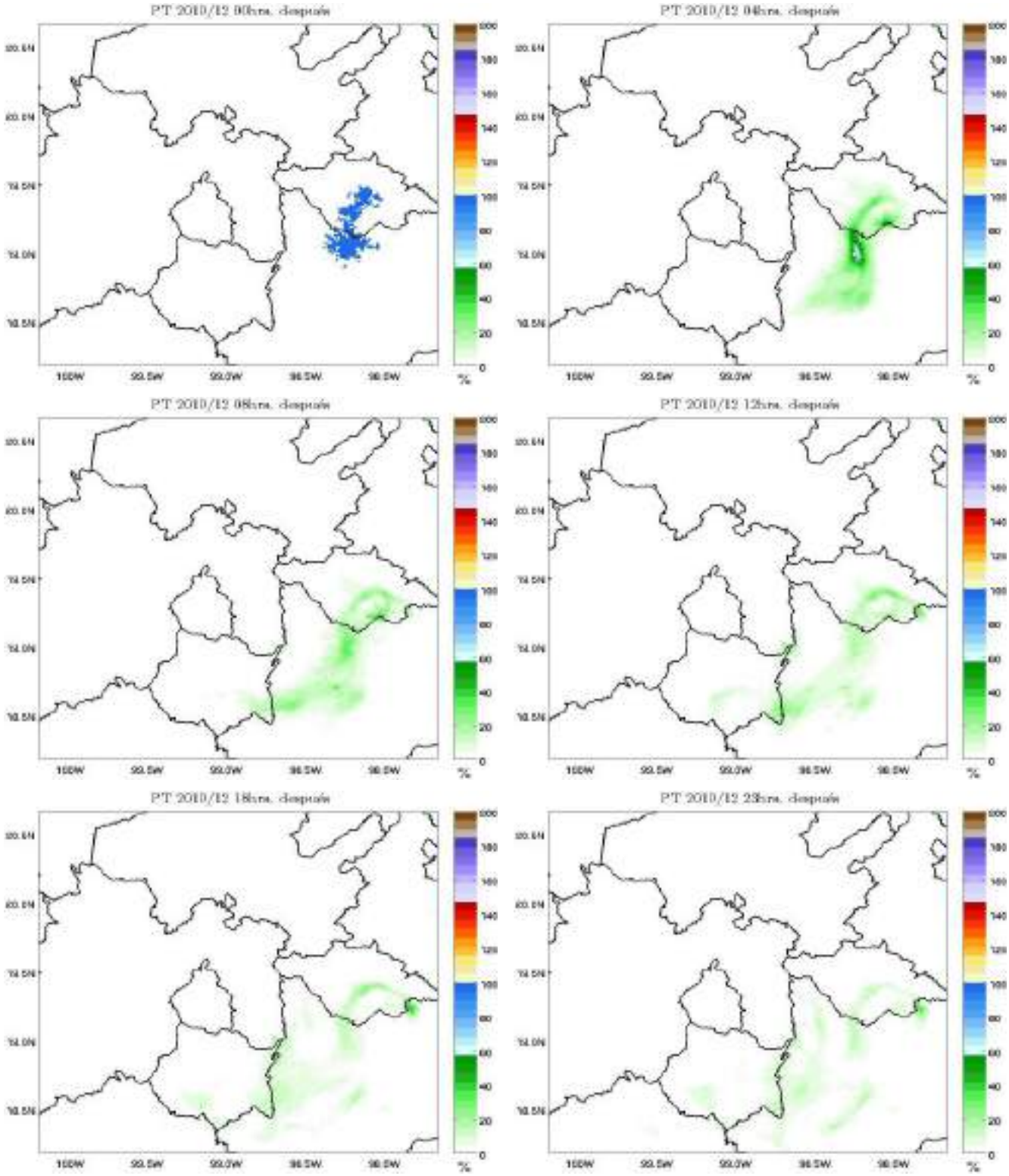


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de diciembre de 2010.*

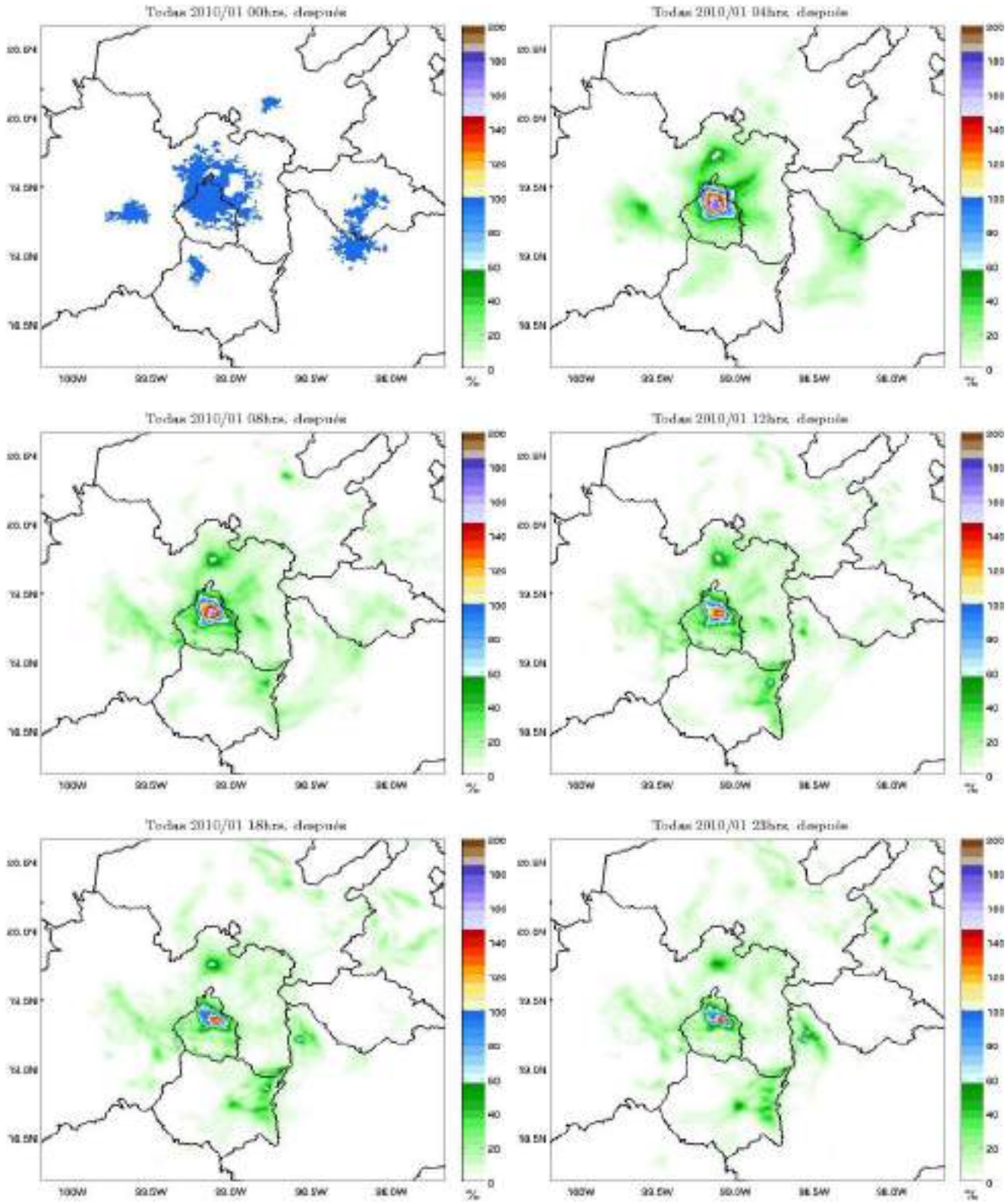


Figura A02-42.1*. Concentración promedio de partículas a las 00, 04, 08, 12, 18 y 23 hrs después de ser emitidas en todas las zonas urbanas consideradas en el mes de enero de 2010.*

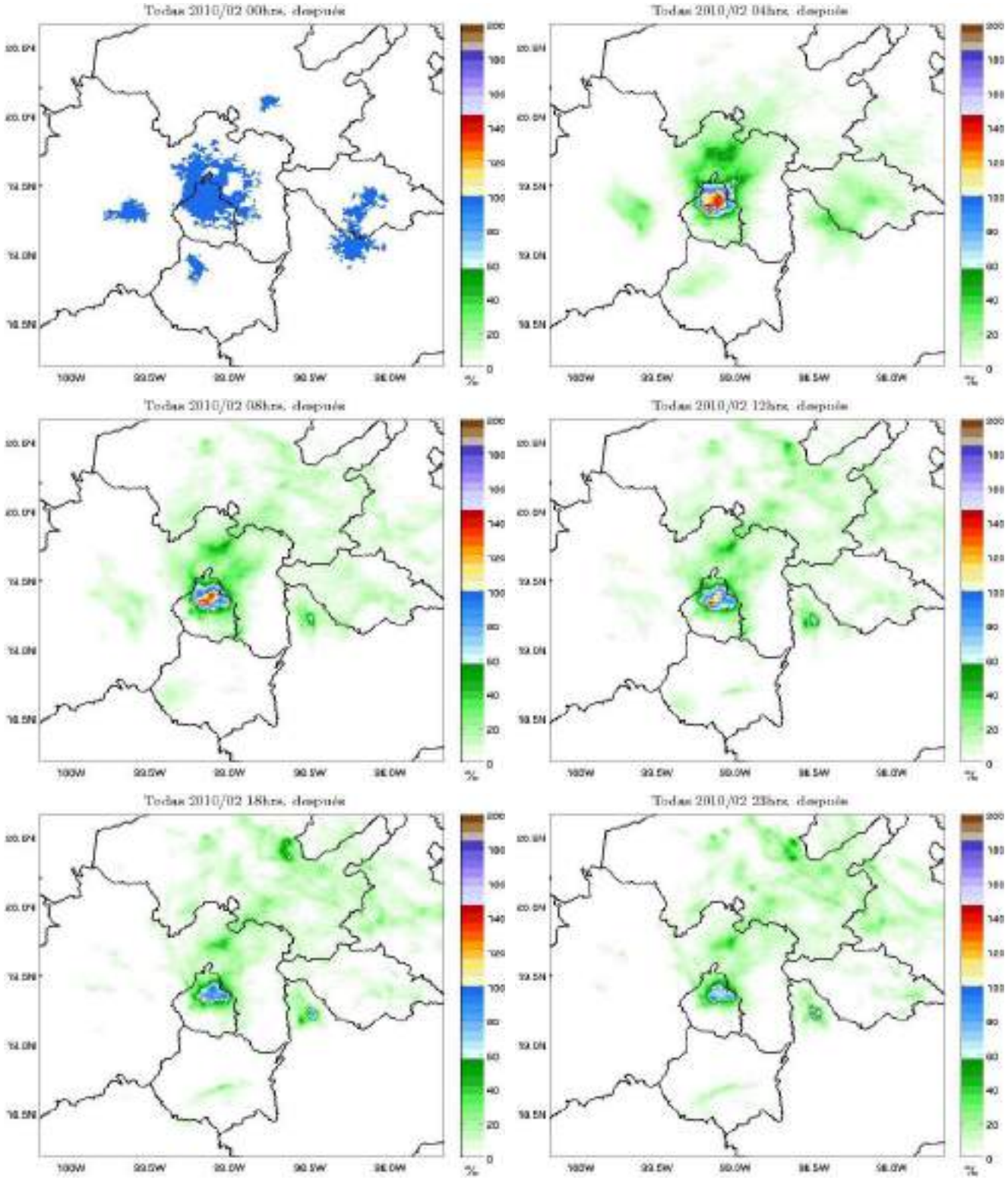


Figura A02-42.1 *(cont.). Mes de febrero de 2010.*

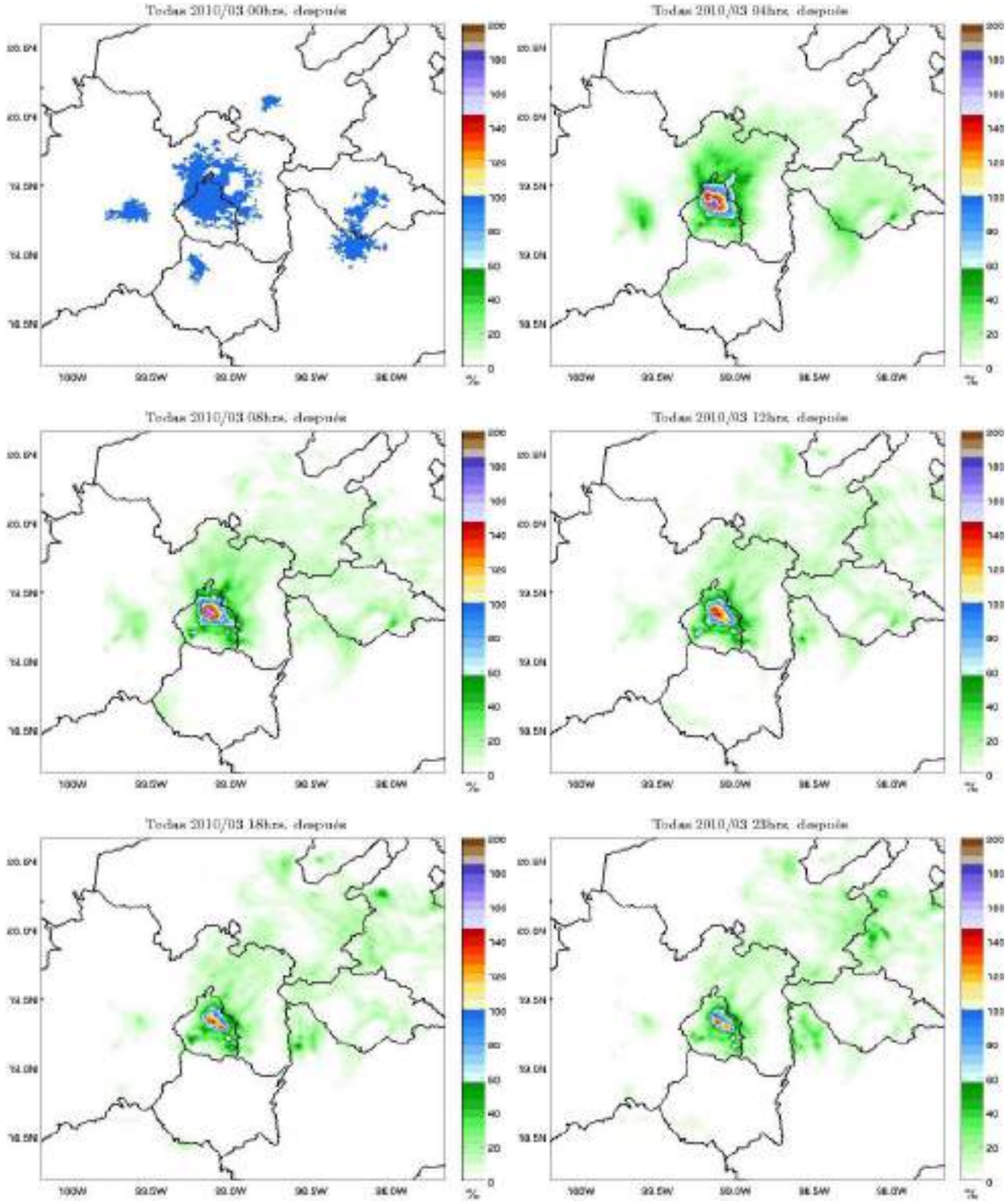


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de marzo de 2010.*

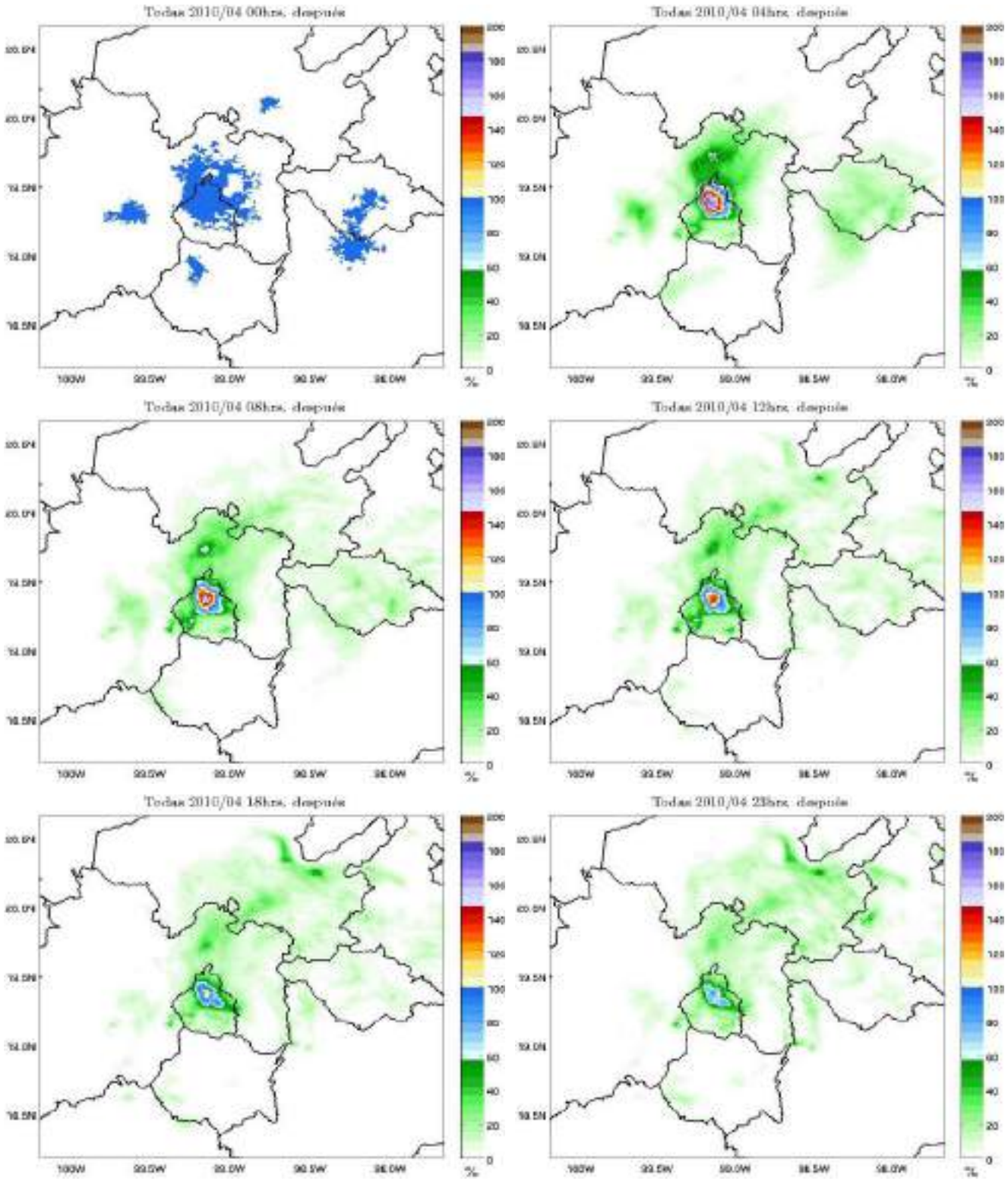


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de abril de 2010.*

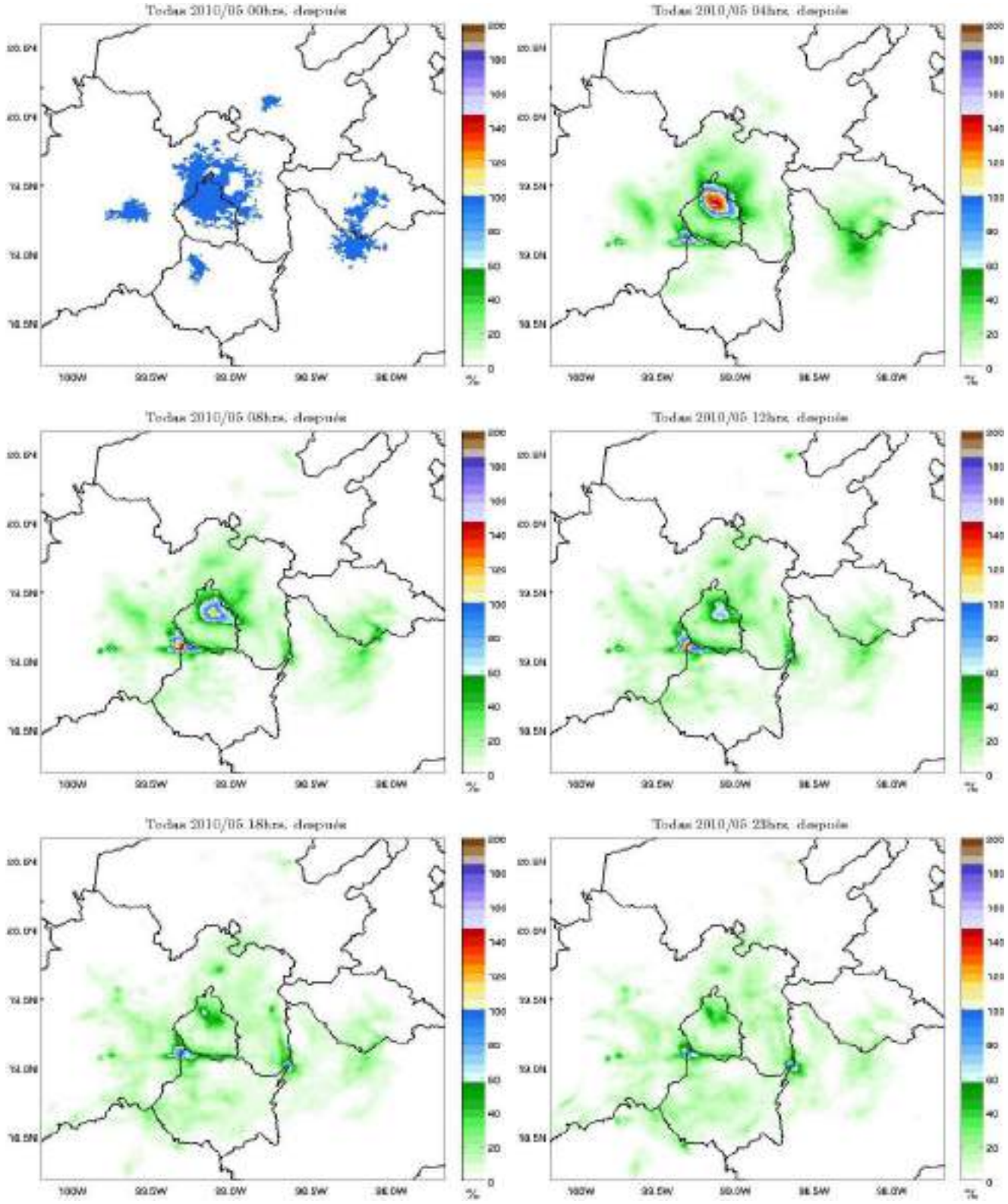


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de mayo de 2010.*

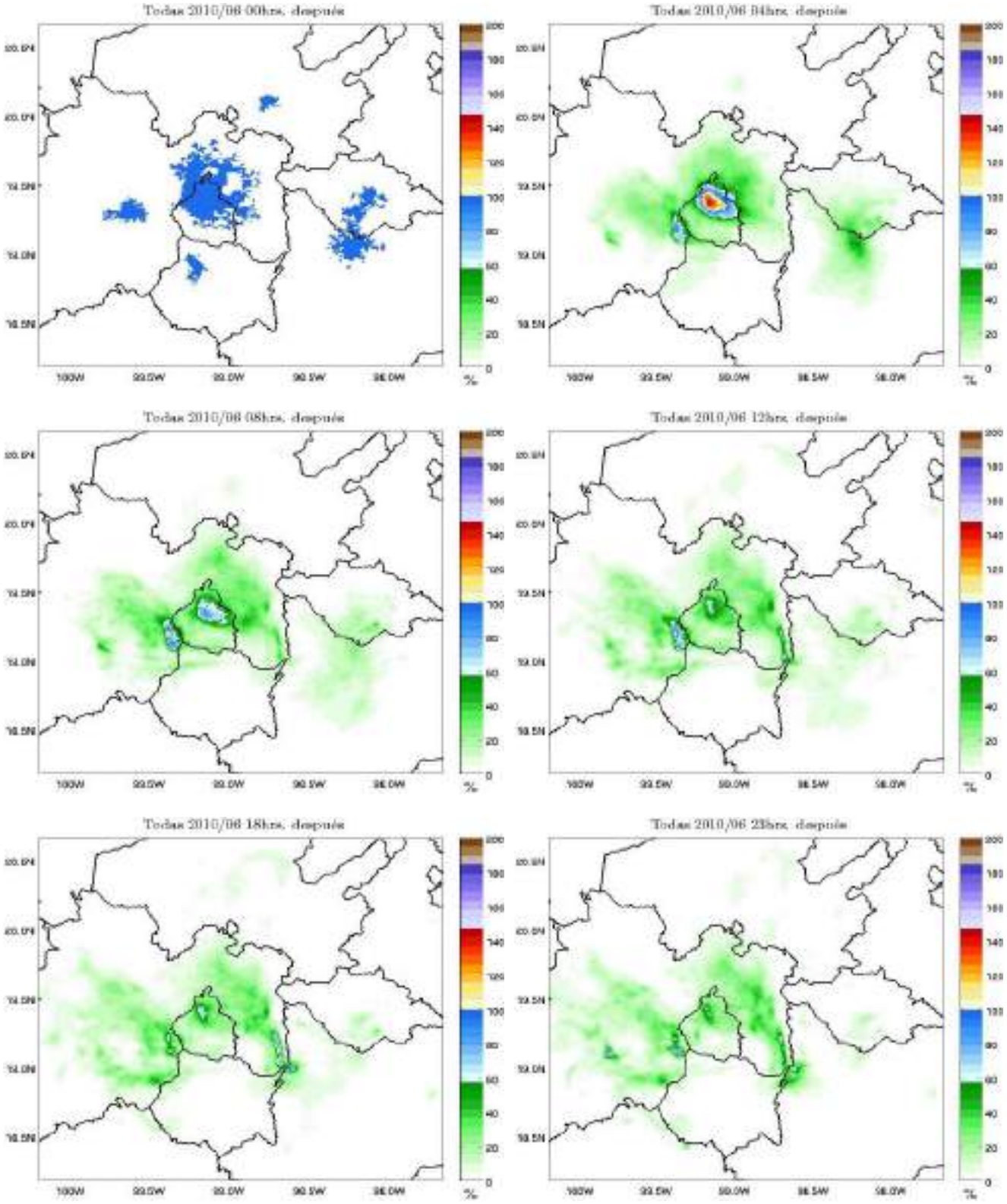


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de junio de 2010.*

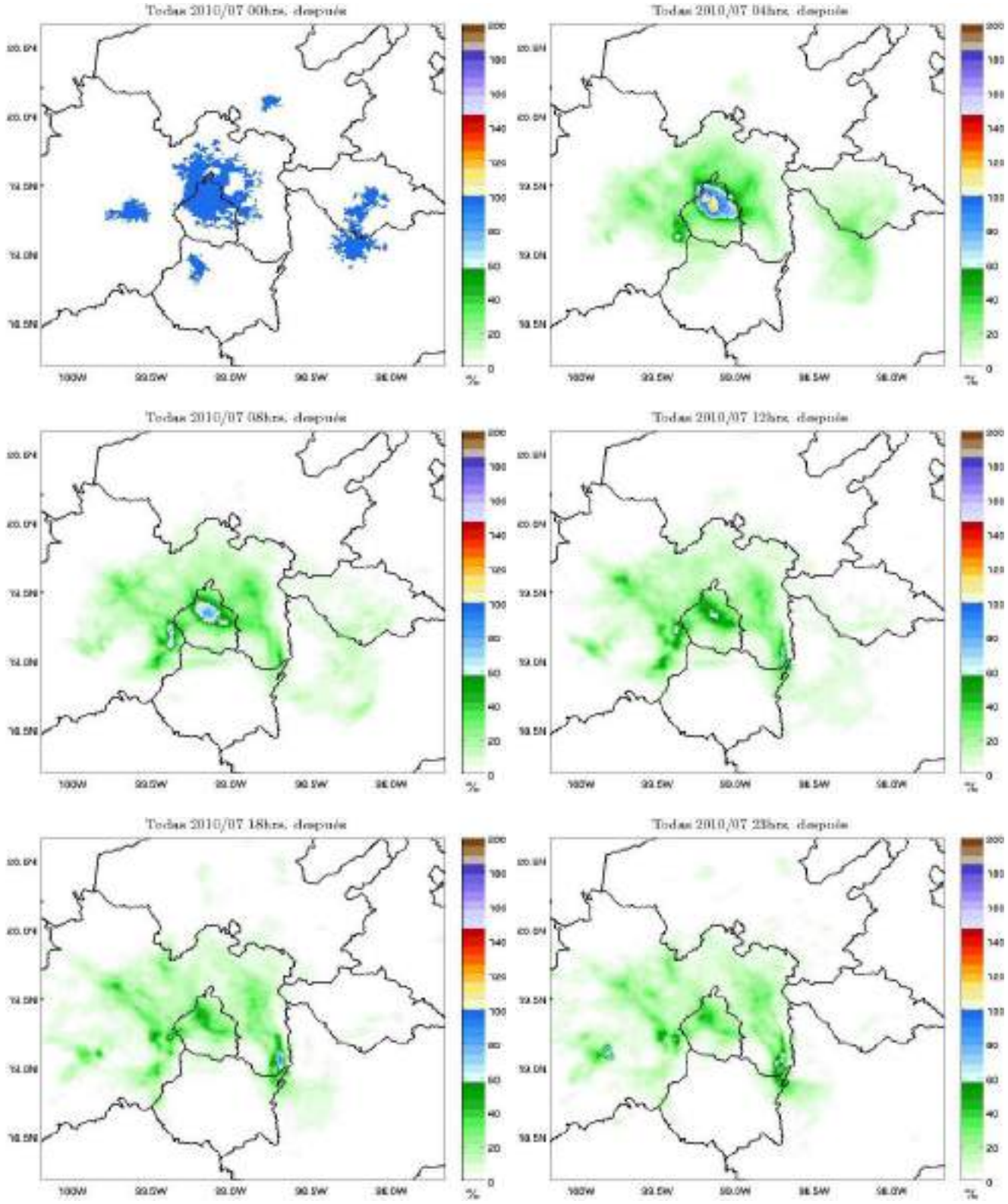


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de julio de 2010.*

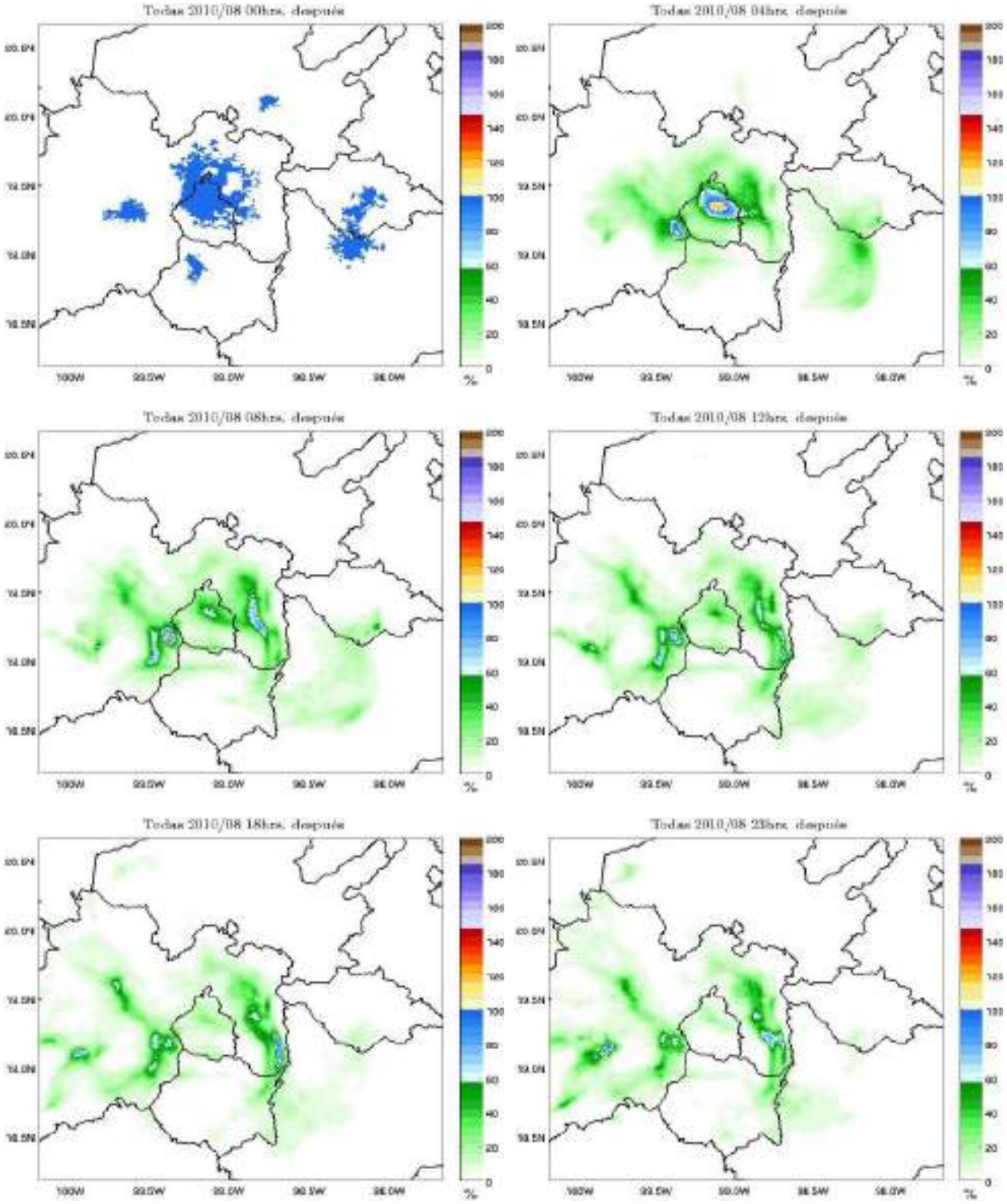


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de agosto de 2010.*

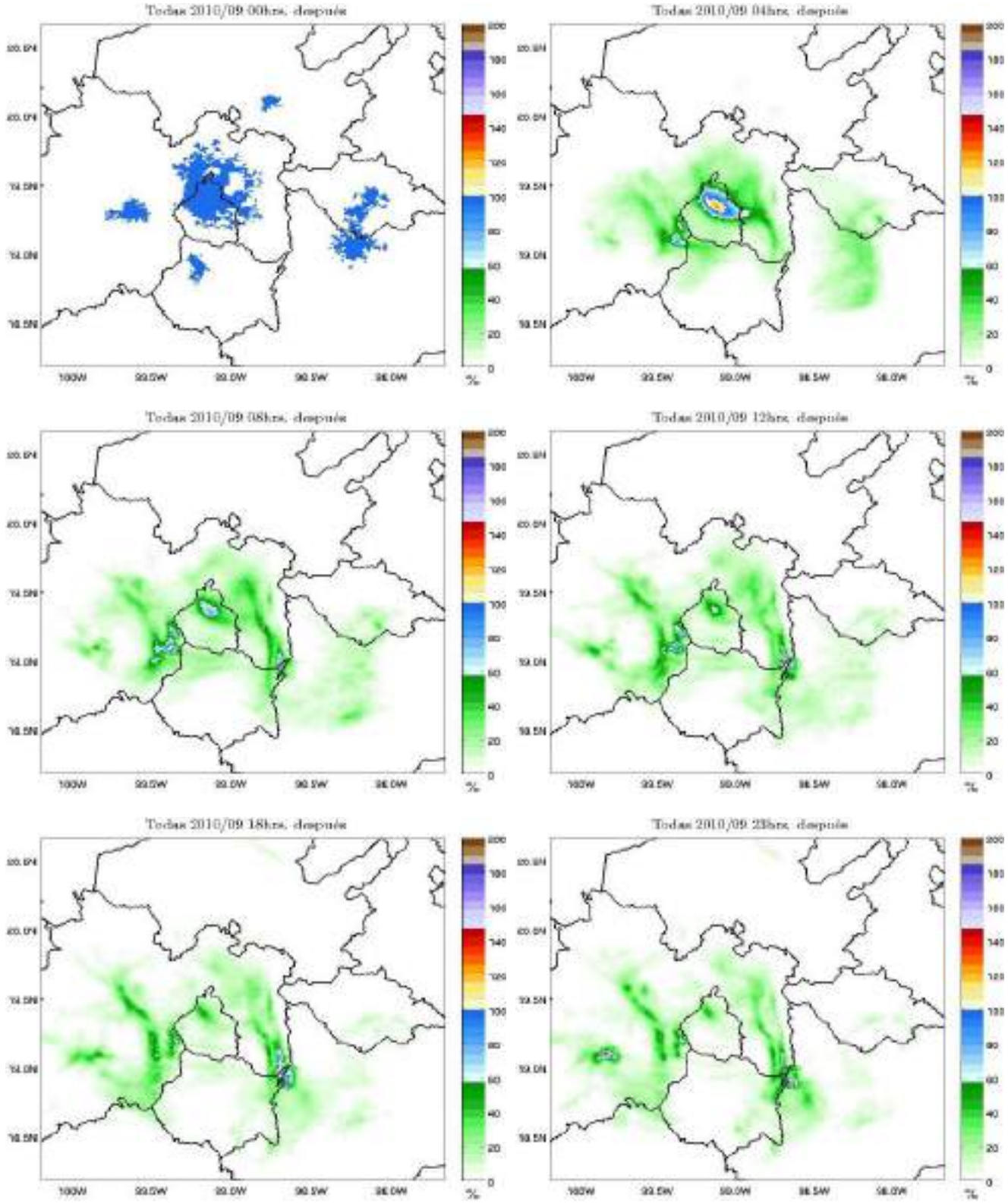


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de septiembre de 2010.*

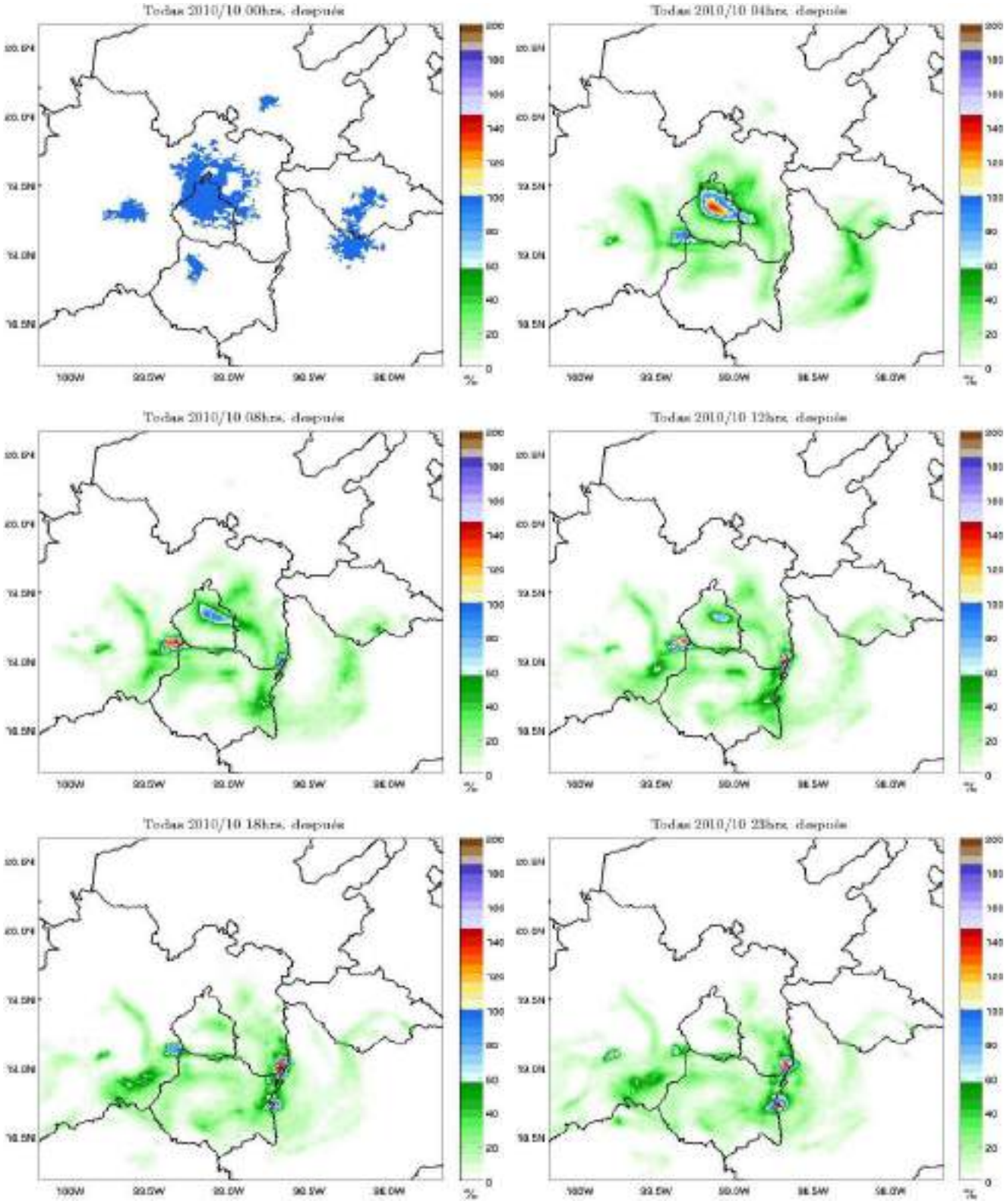


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de octubre de 2010.*

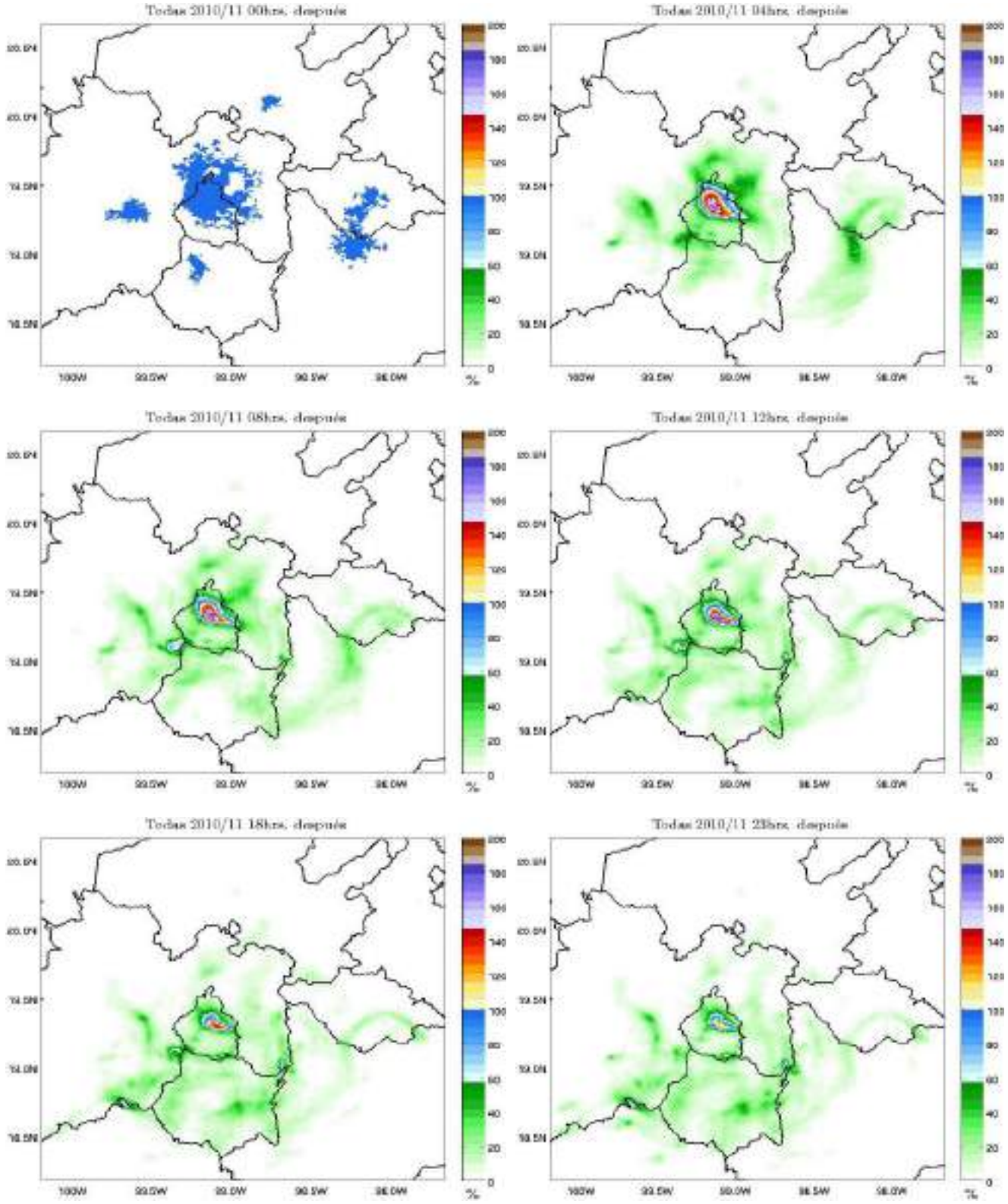


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de noviembre de 2010.*

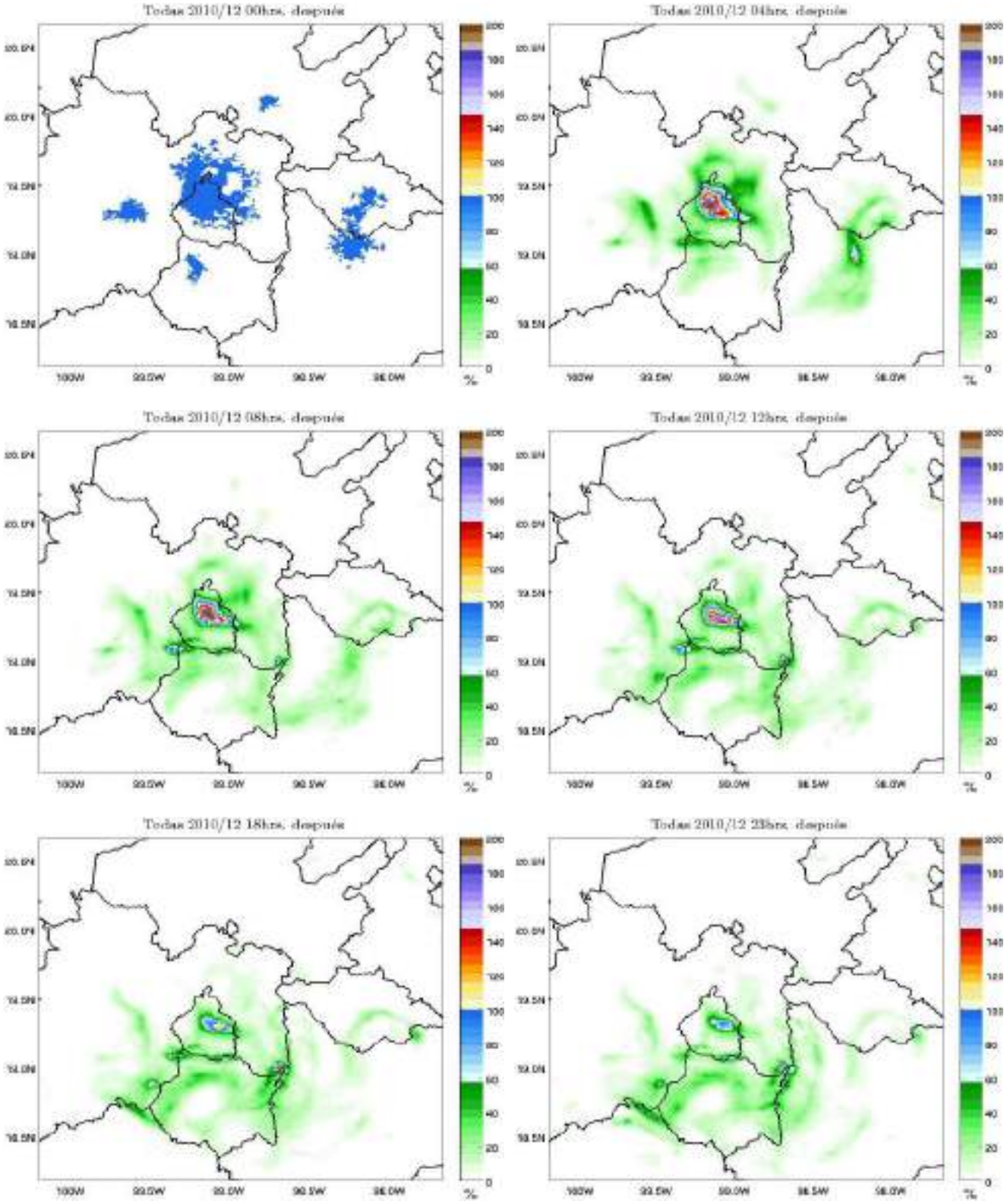


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de diciembre de 2010.*

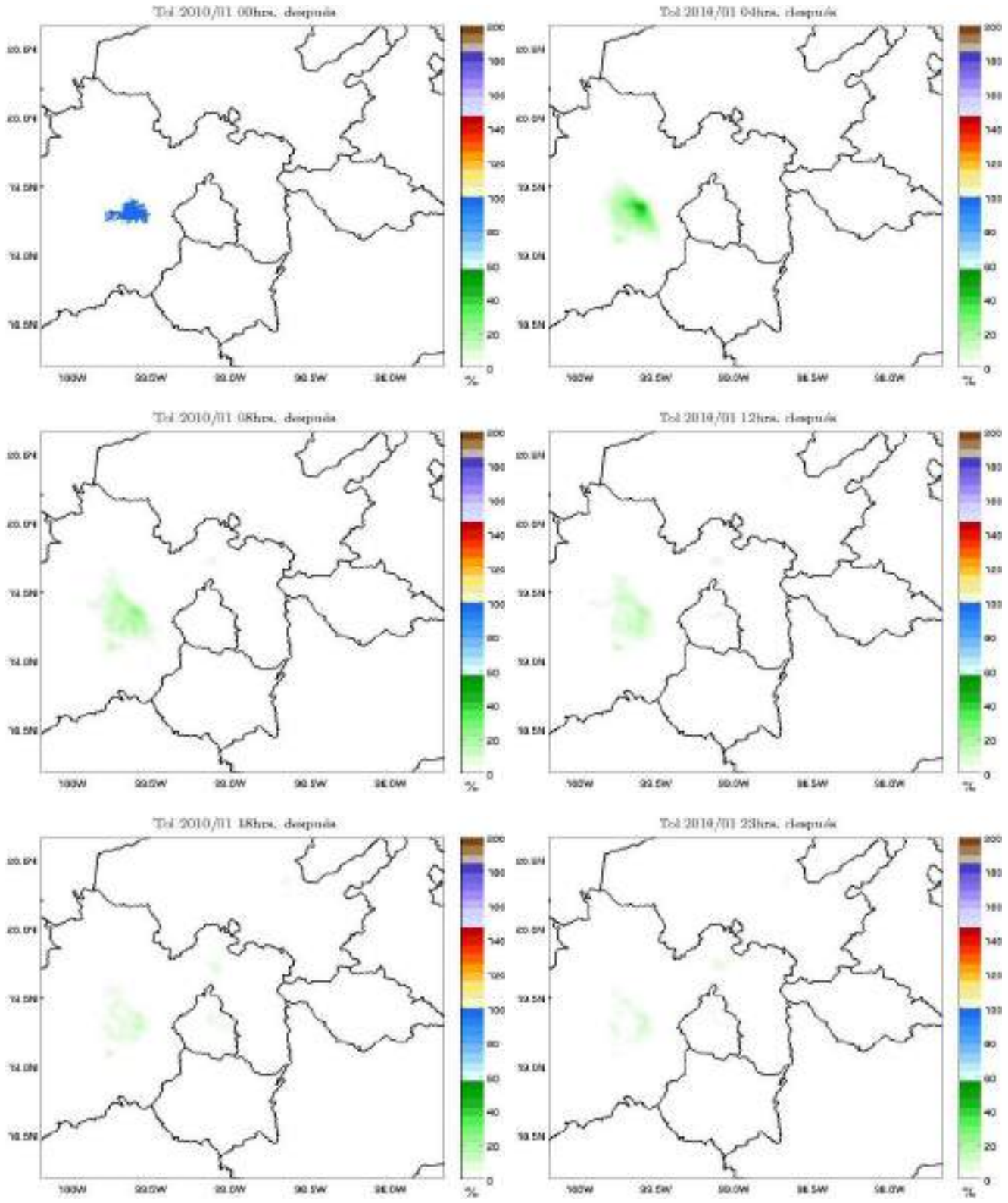


Figura A02-42.1. *Concentración promedio de partículas a las 00, 04, 08, 12, 18 y 23 hrs después de ser emitidas en Toluca en el mes de enero de 2010.*

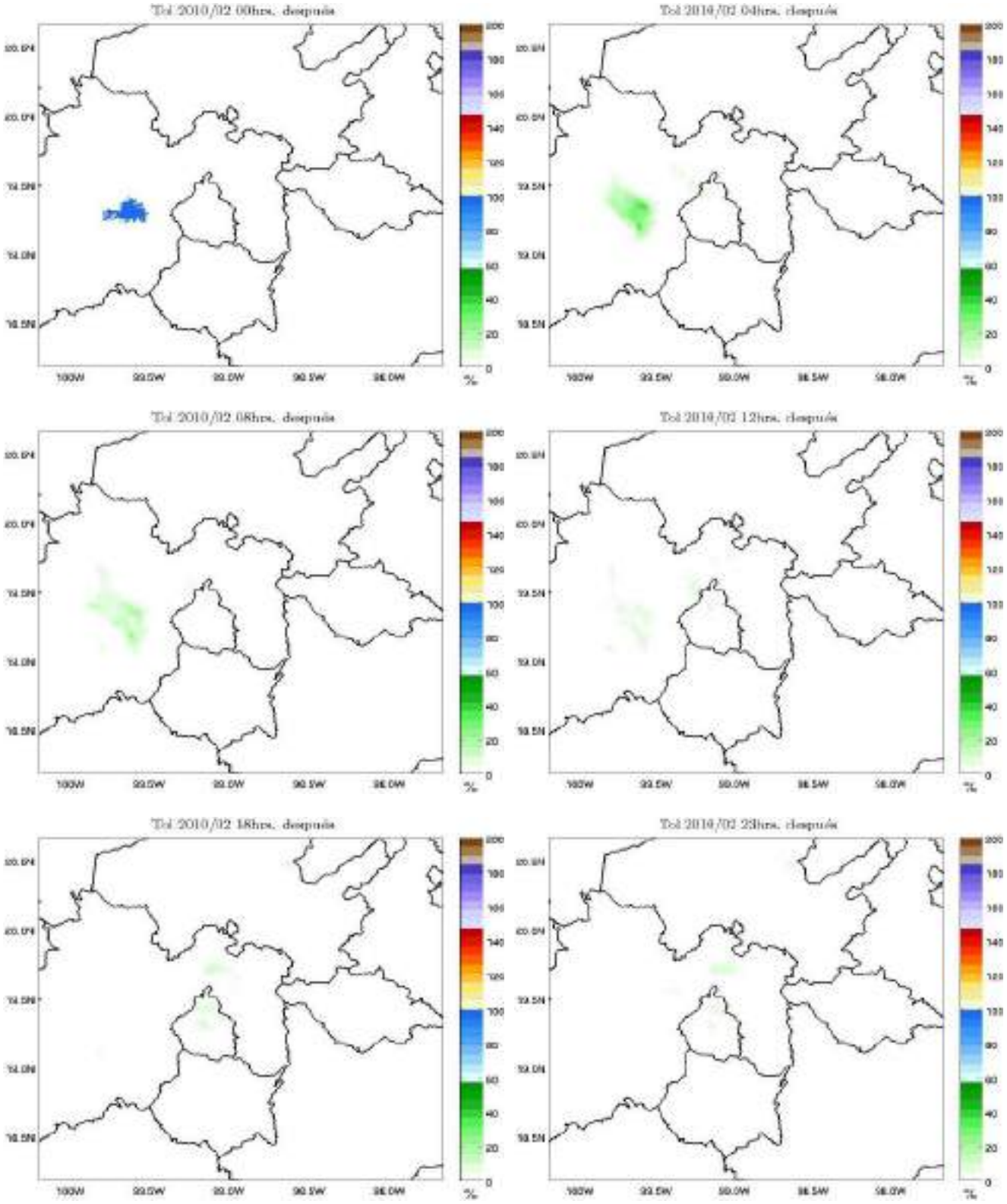


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de febrero de 2010.*

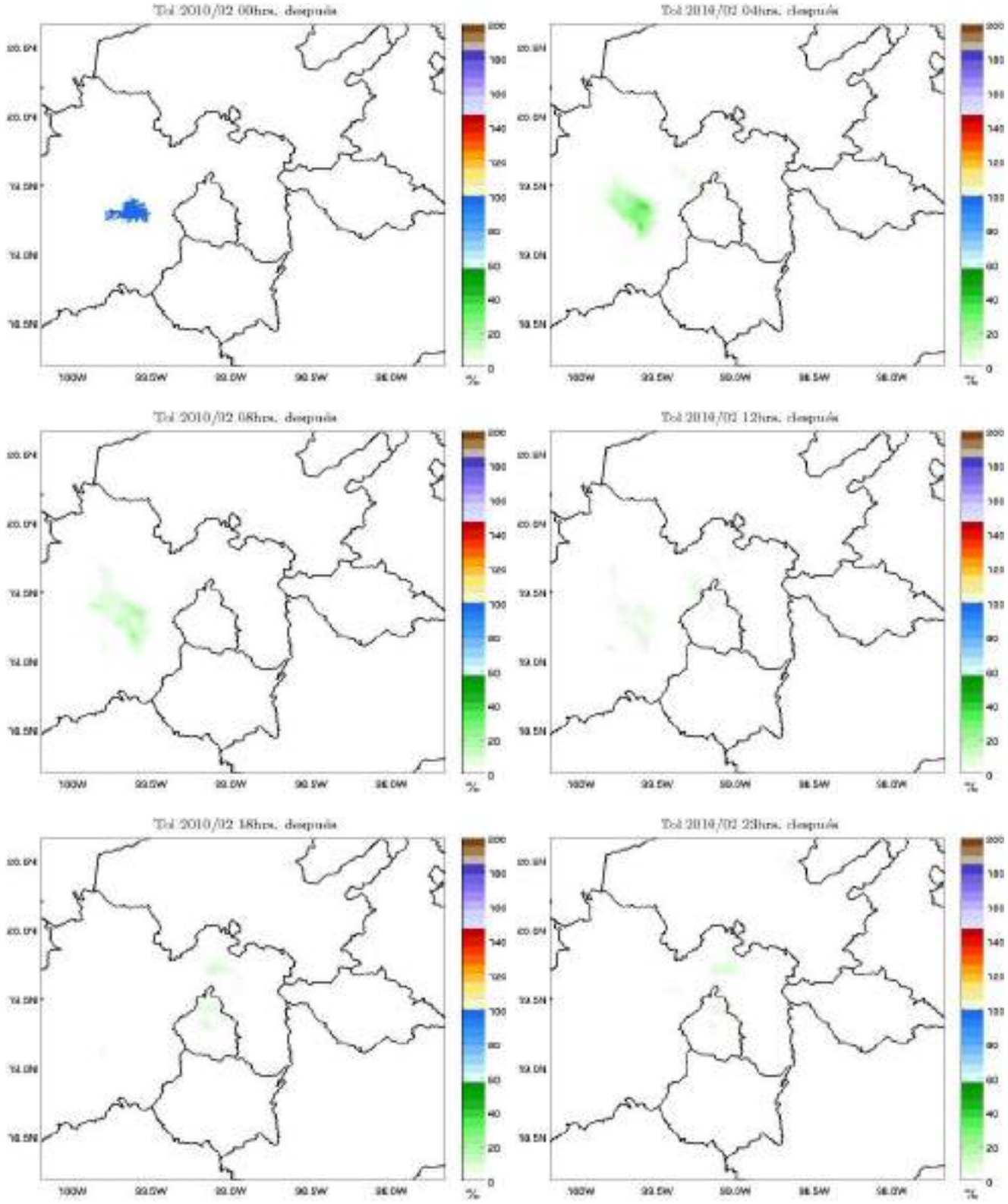


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de febrero de 2010.*

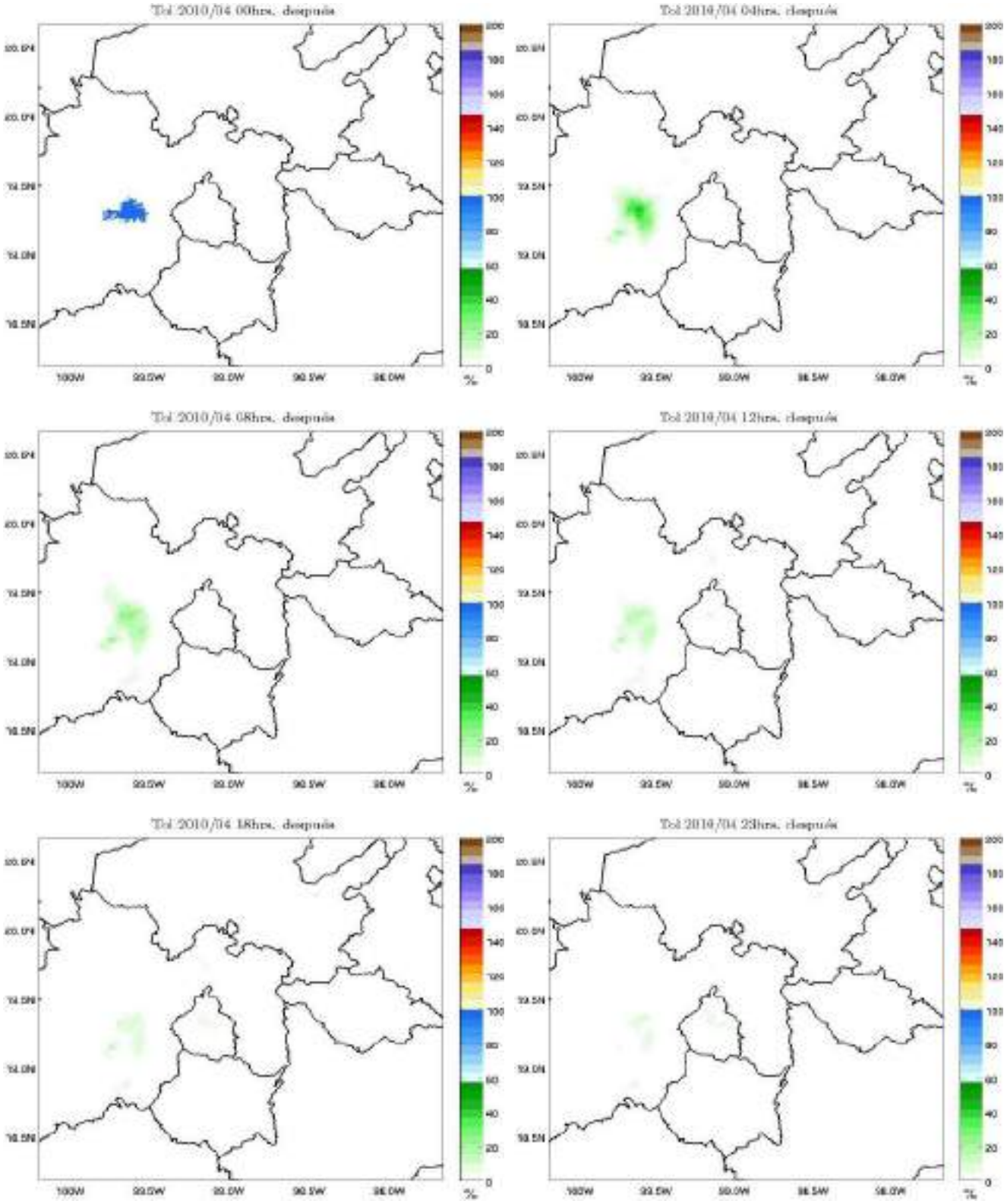


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de abril de 2010.*

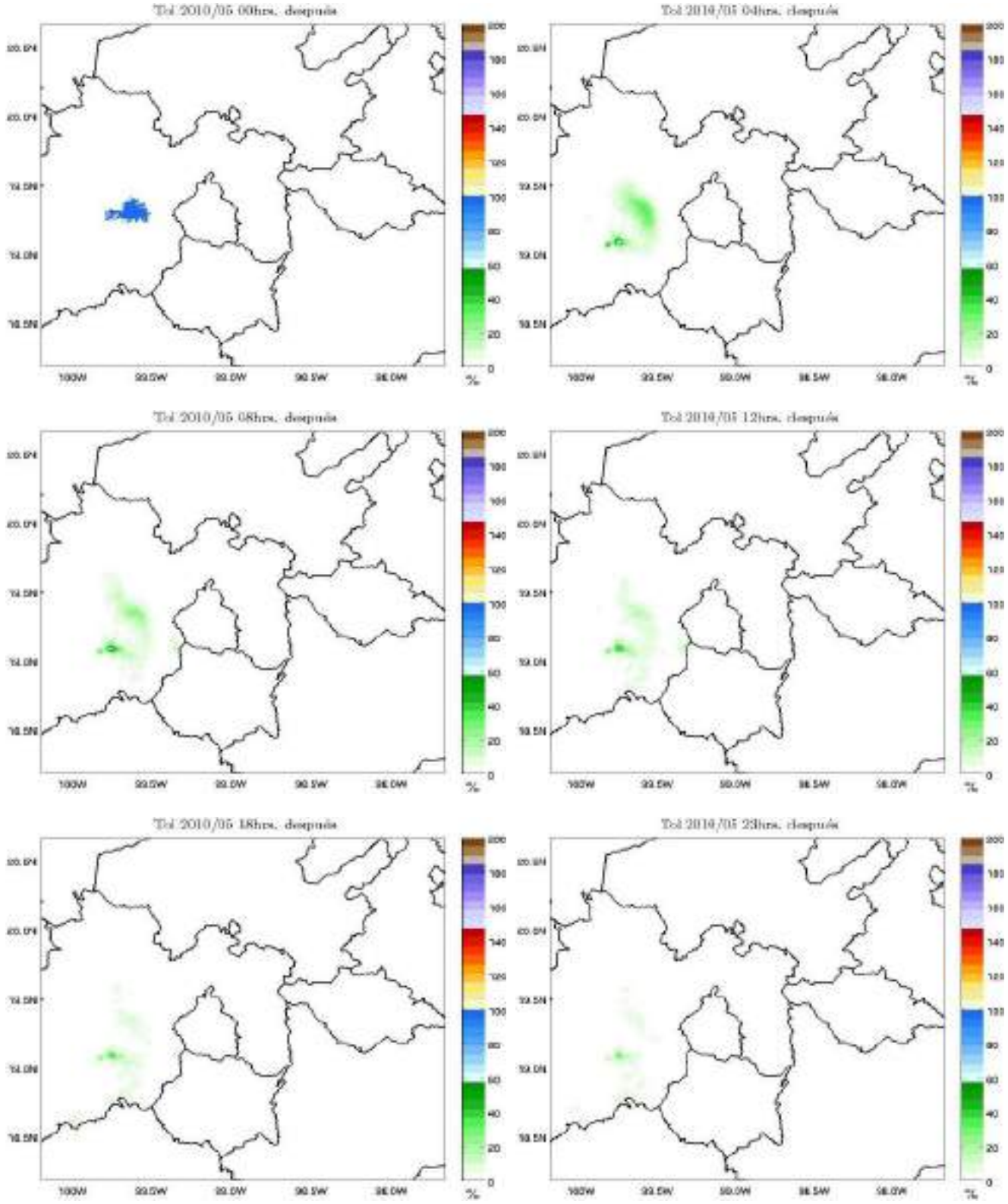


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de mayo de 2010.*

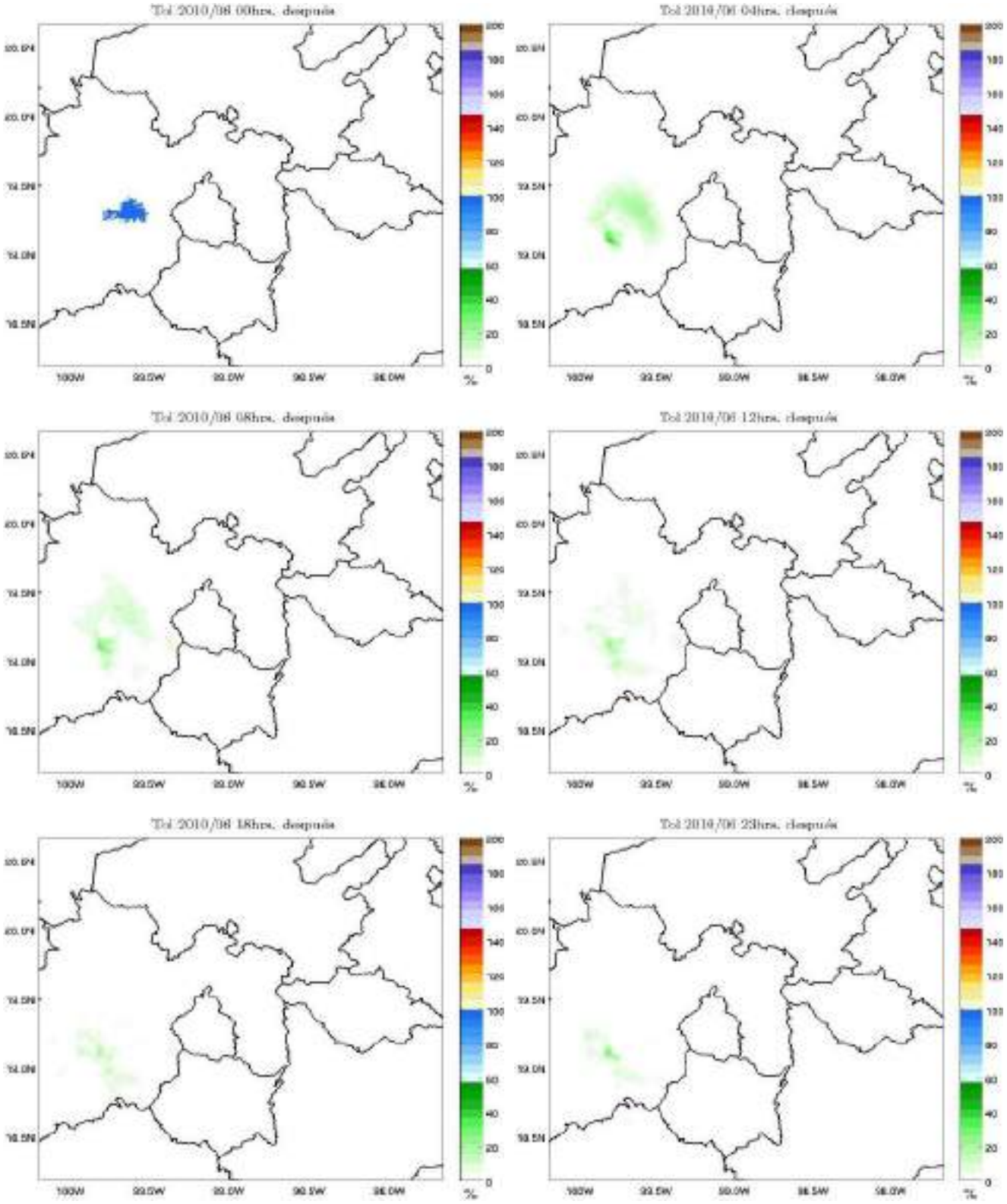


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de junio de 2010.*

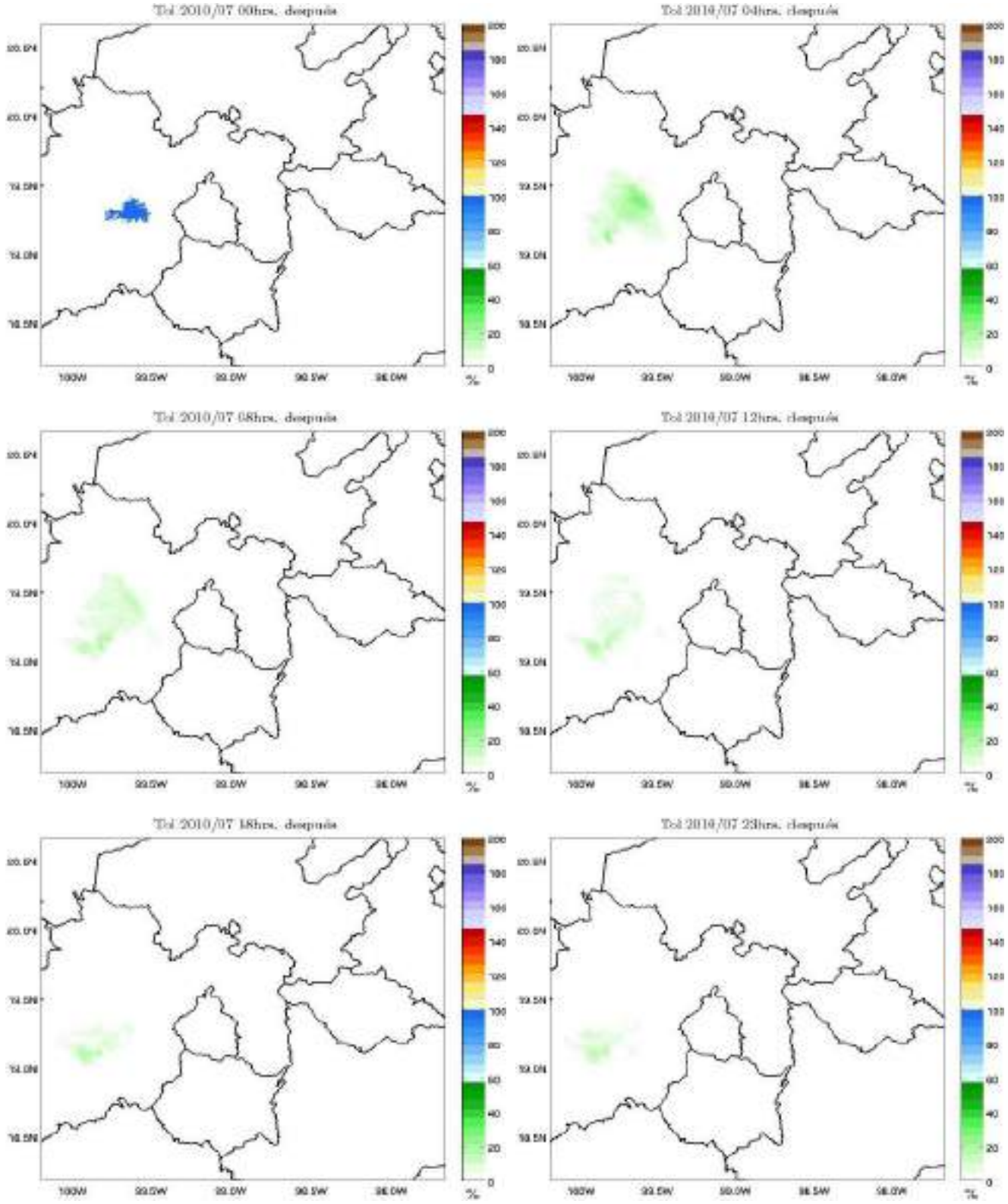


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de julio de 2010.*

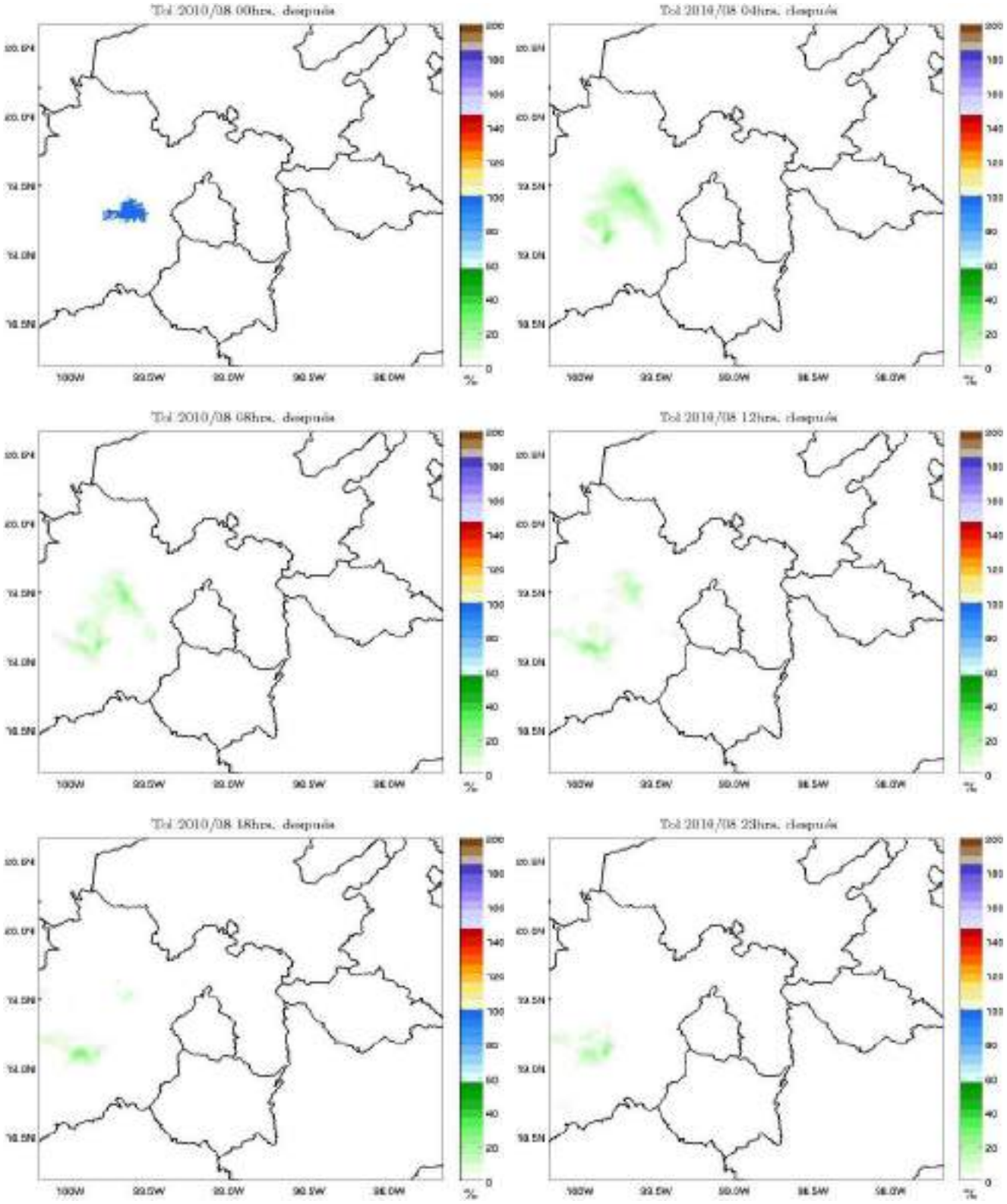


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de agosto de 2010.*

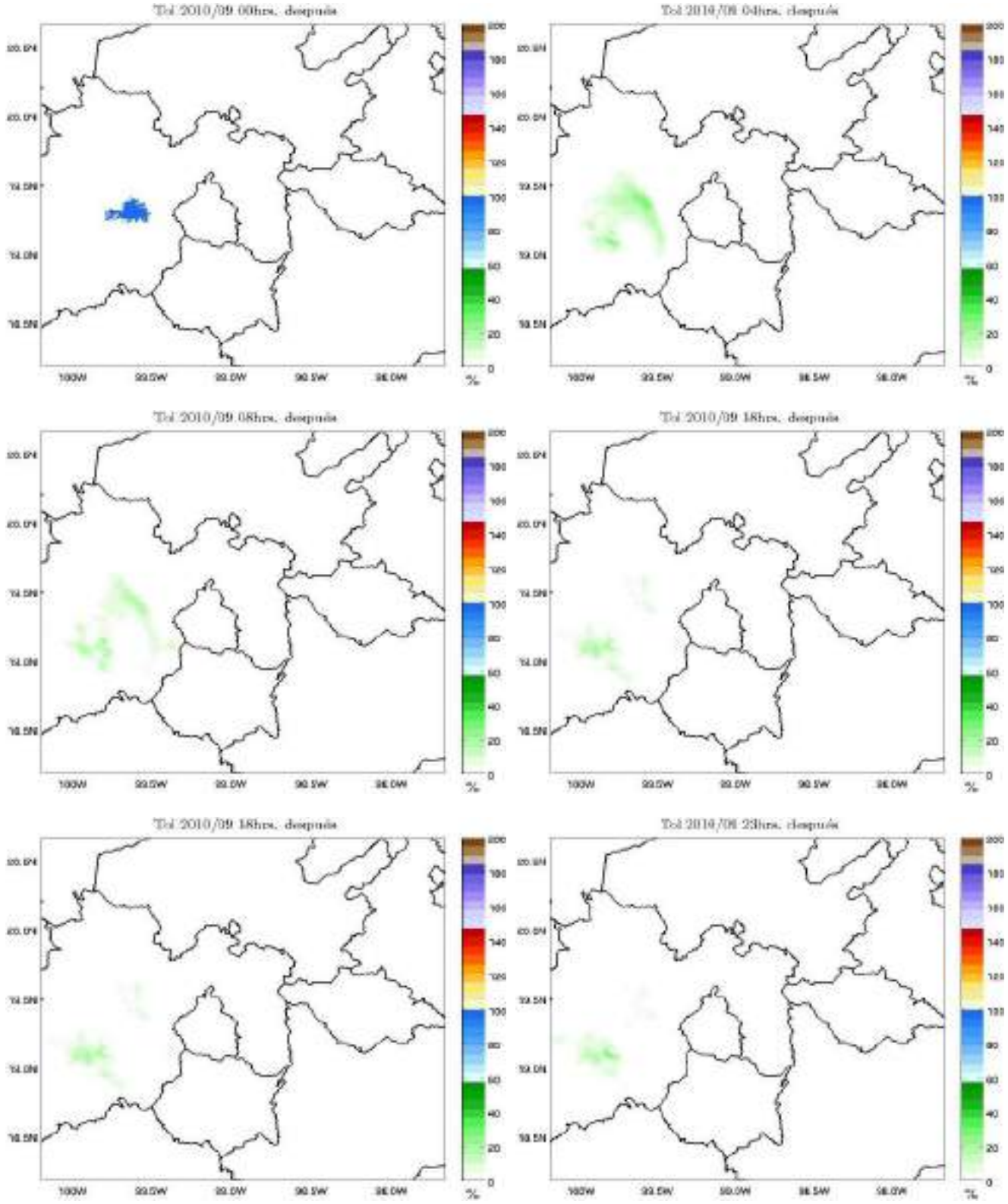


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de septiembre de 2010.*

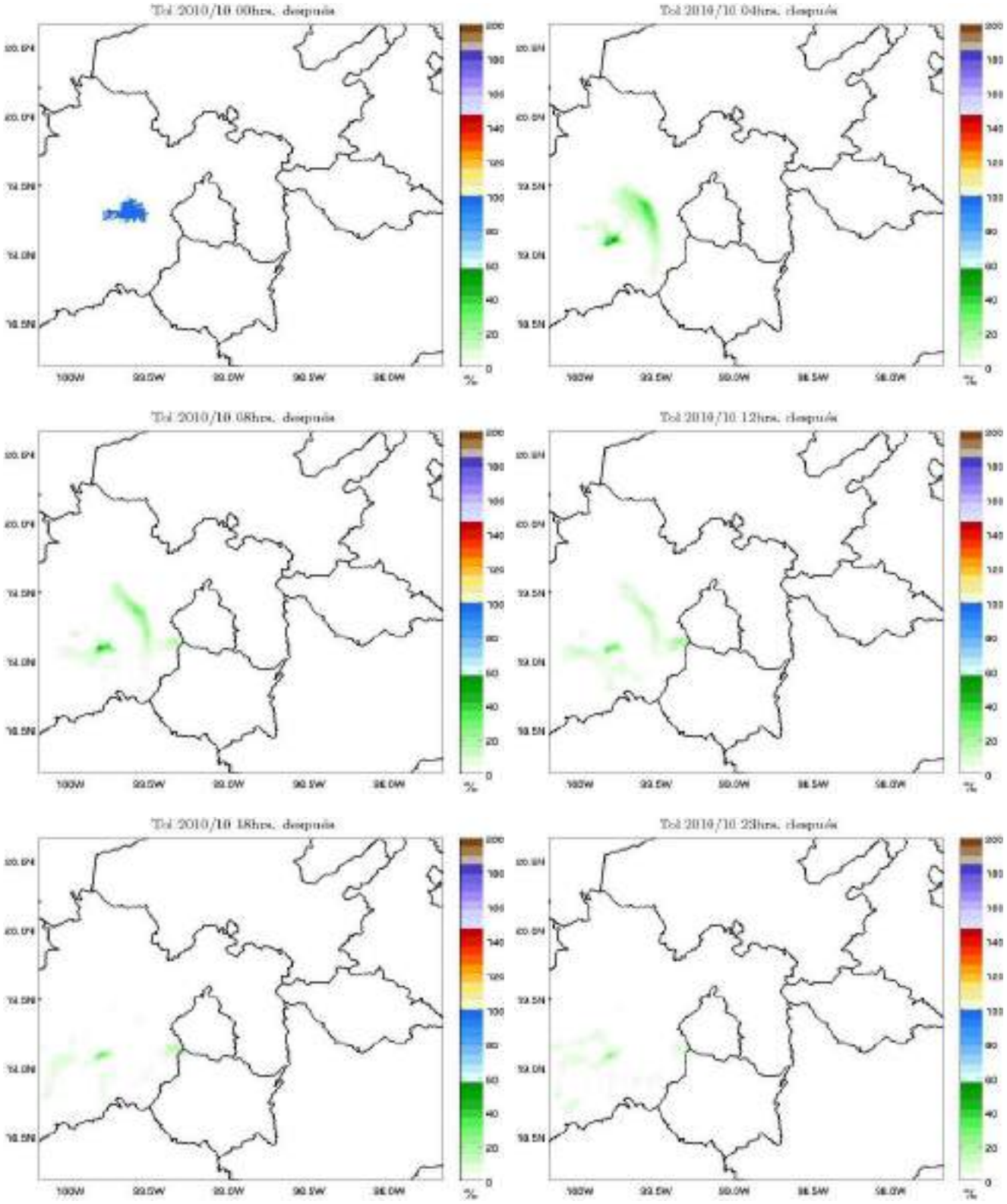


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de octubre de 2010.*

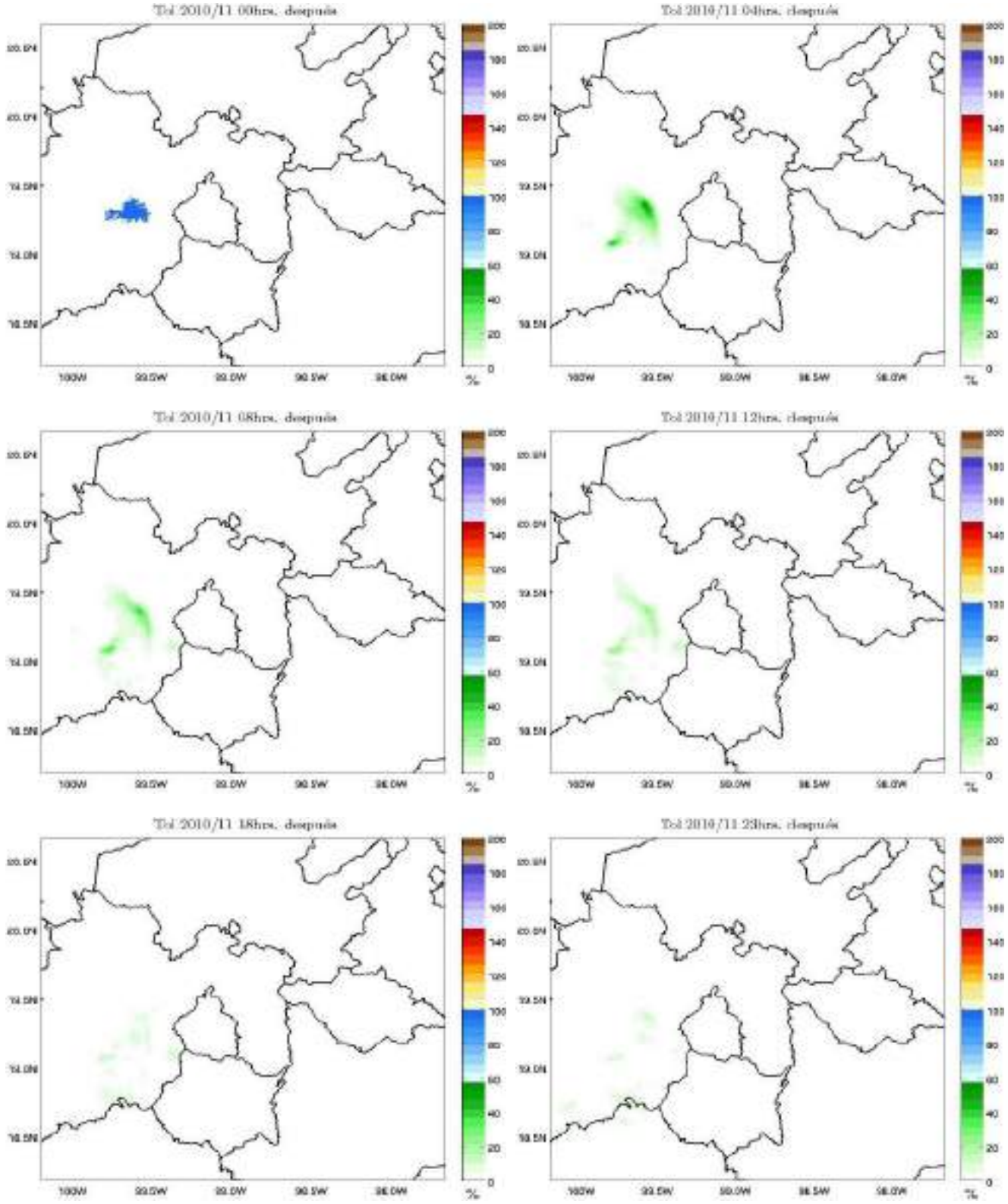


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de noviembre de 2010.*

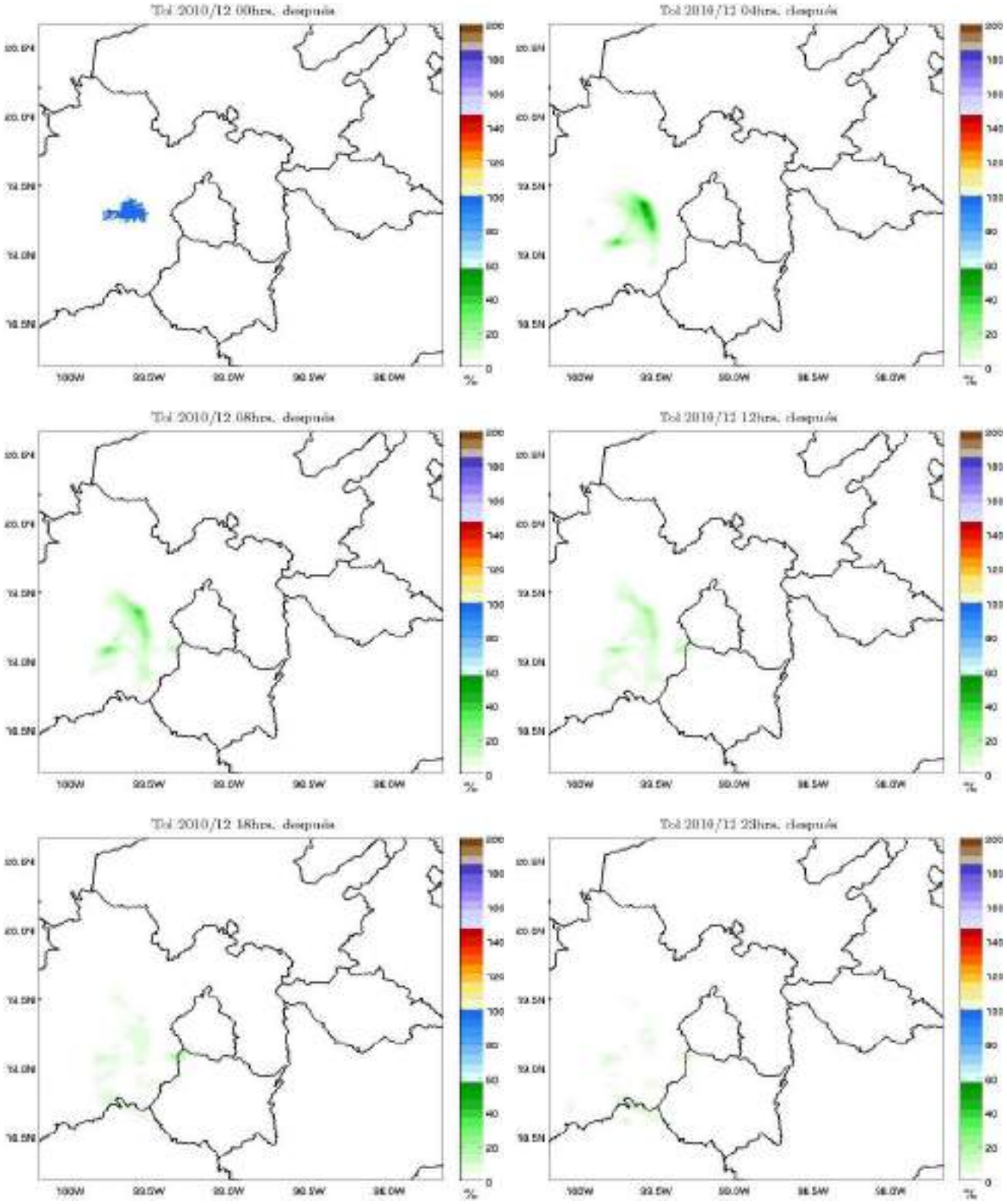


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de diciembre de 2010.*

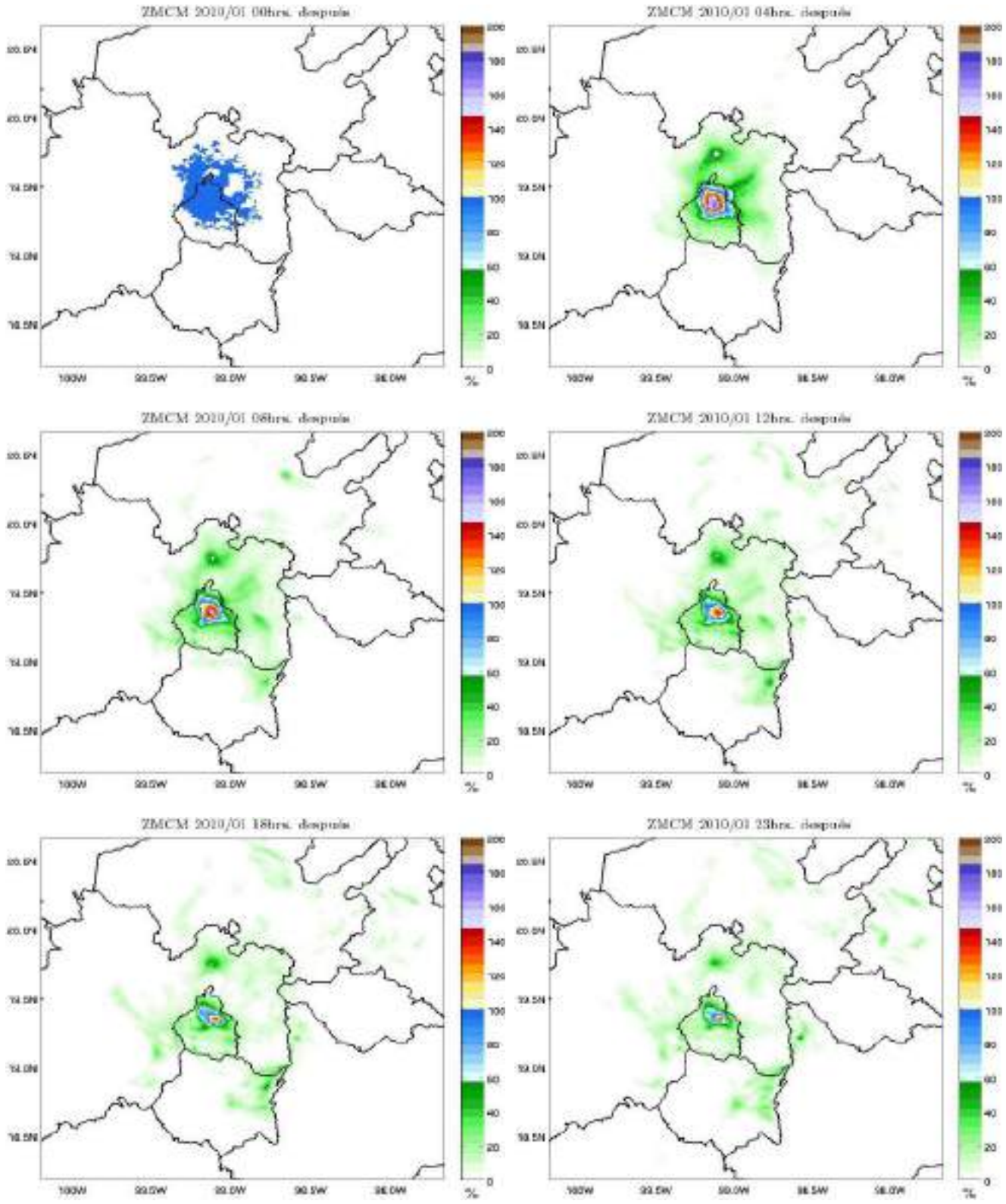


Figura A02-42.1*. Concentración promedio de partículas a las 00, 04, 08, 12, 18 y 23 hrs después de ser emitidas en la ZMCM en el mes de enero de 2010.*

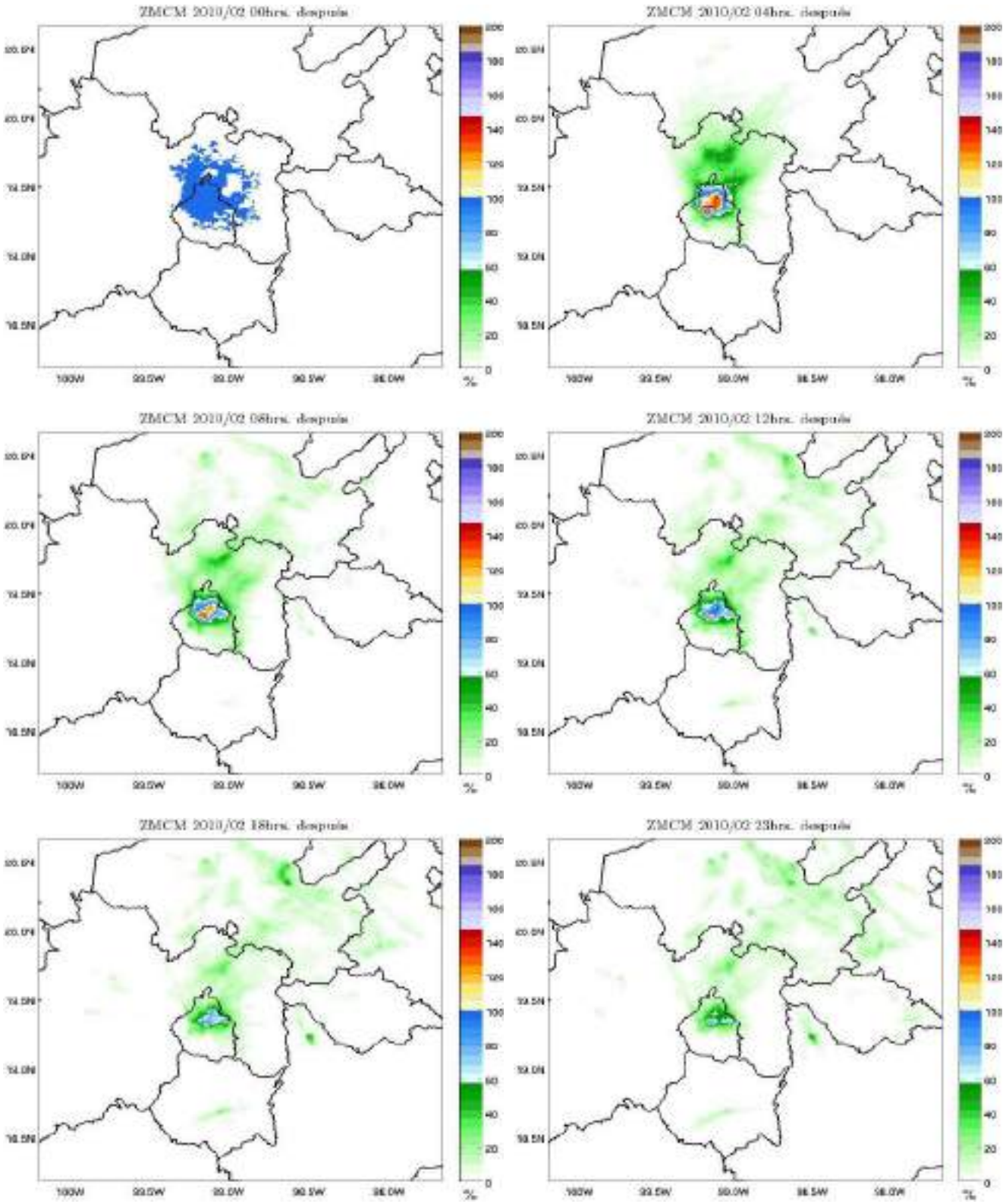


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de febrero de 2010.*

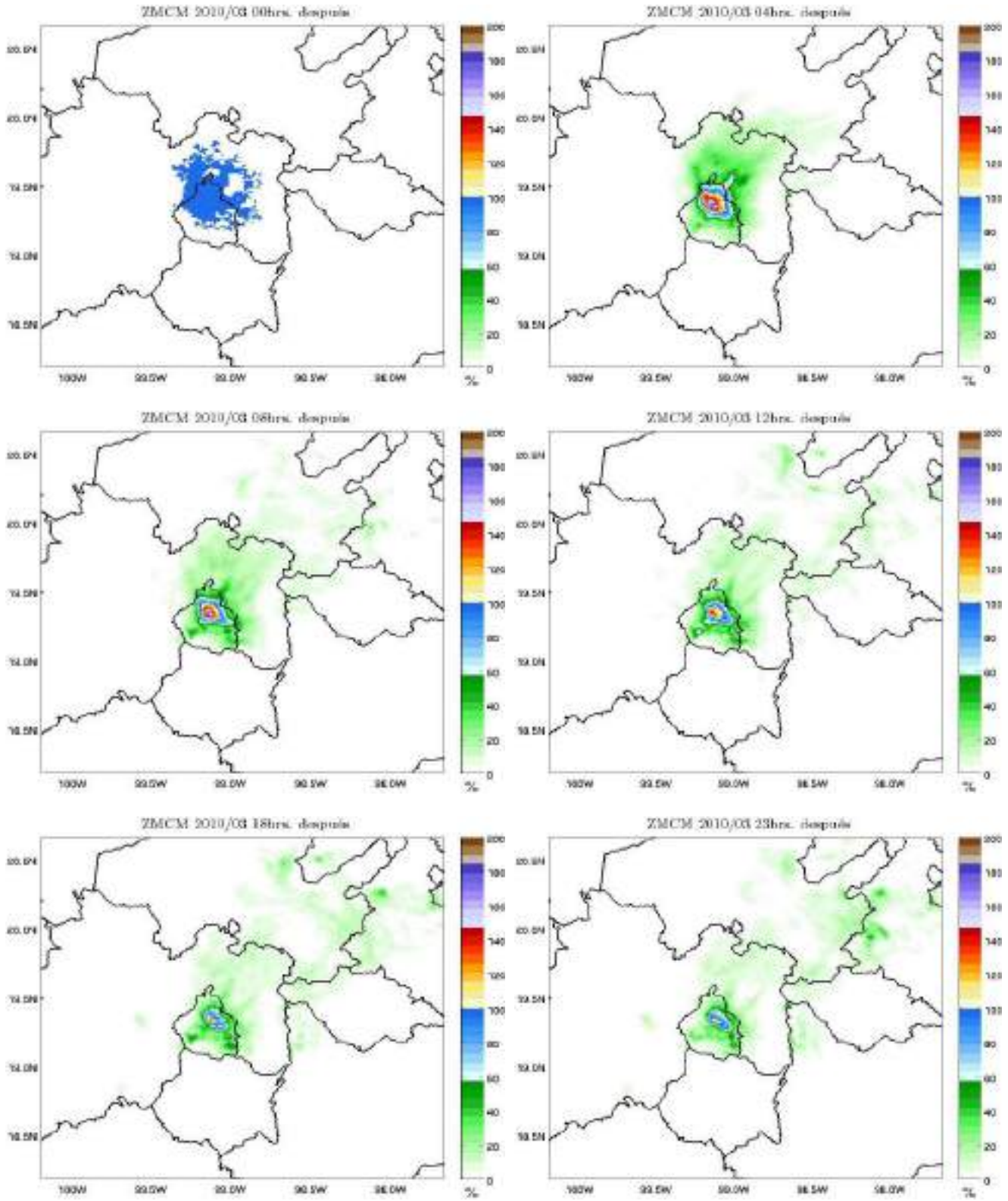


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de marzo de 2010.*

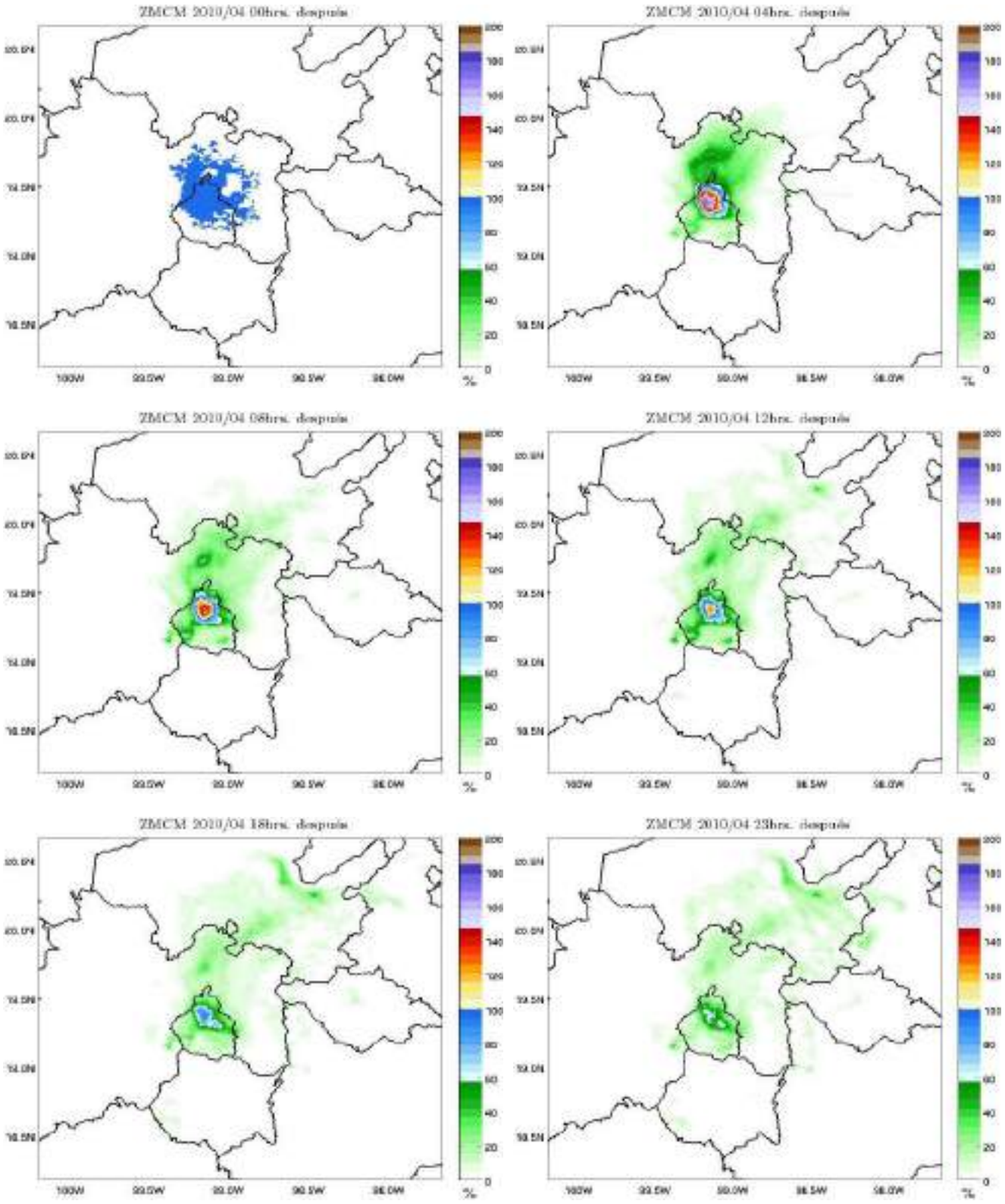


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de abril de 2010.*

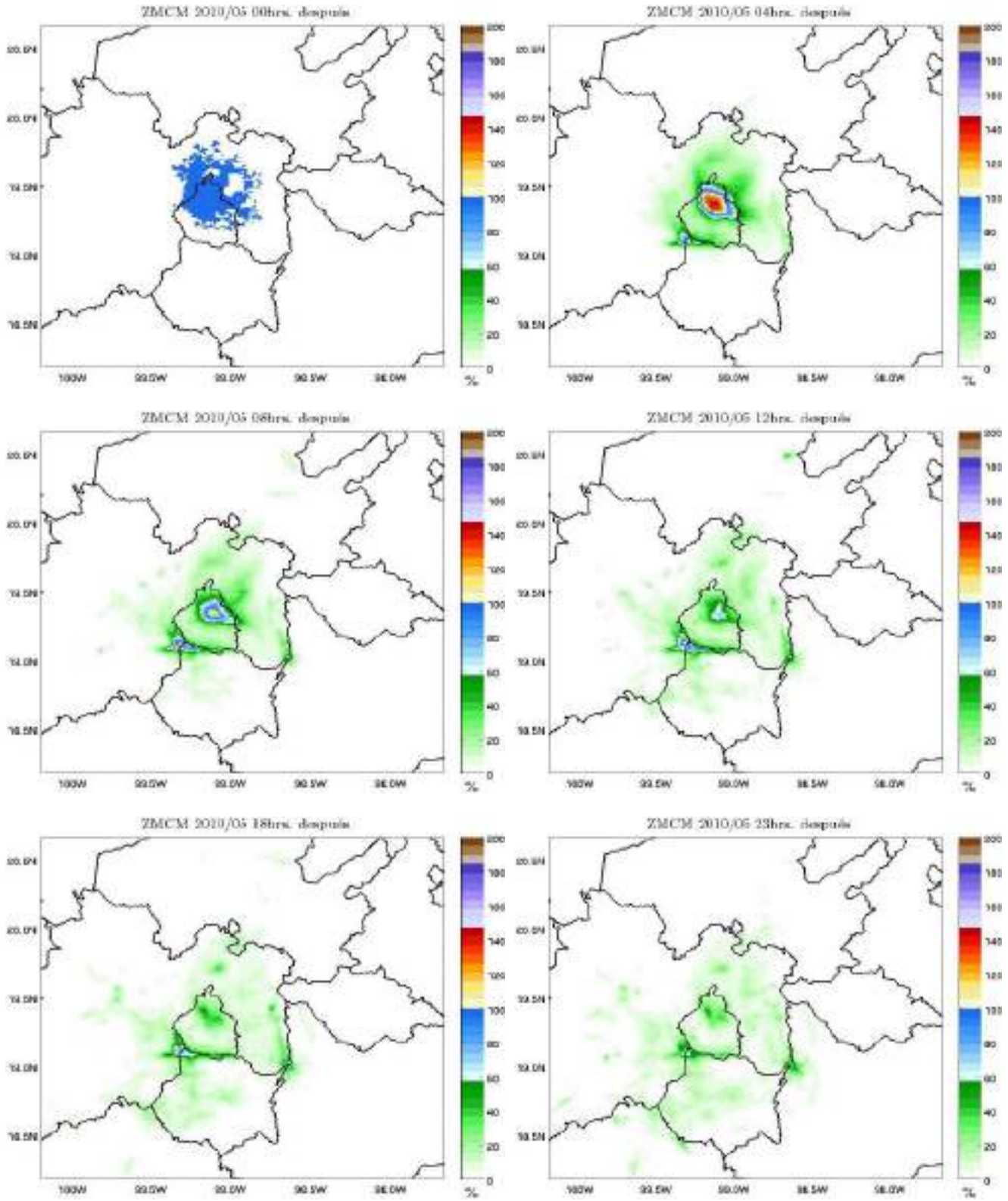


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de mayo de 2010.*

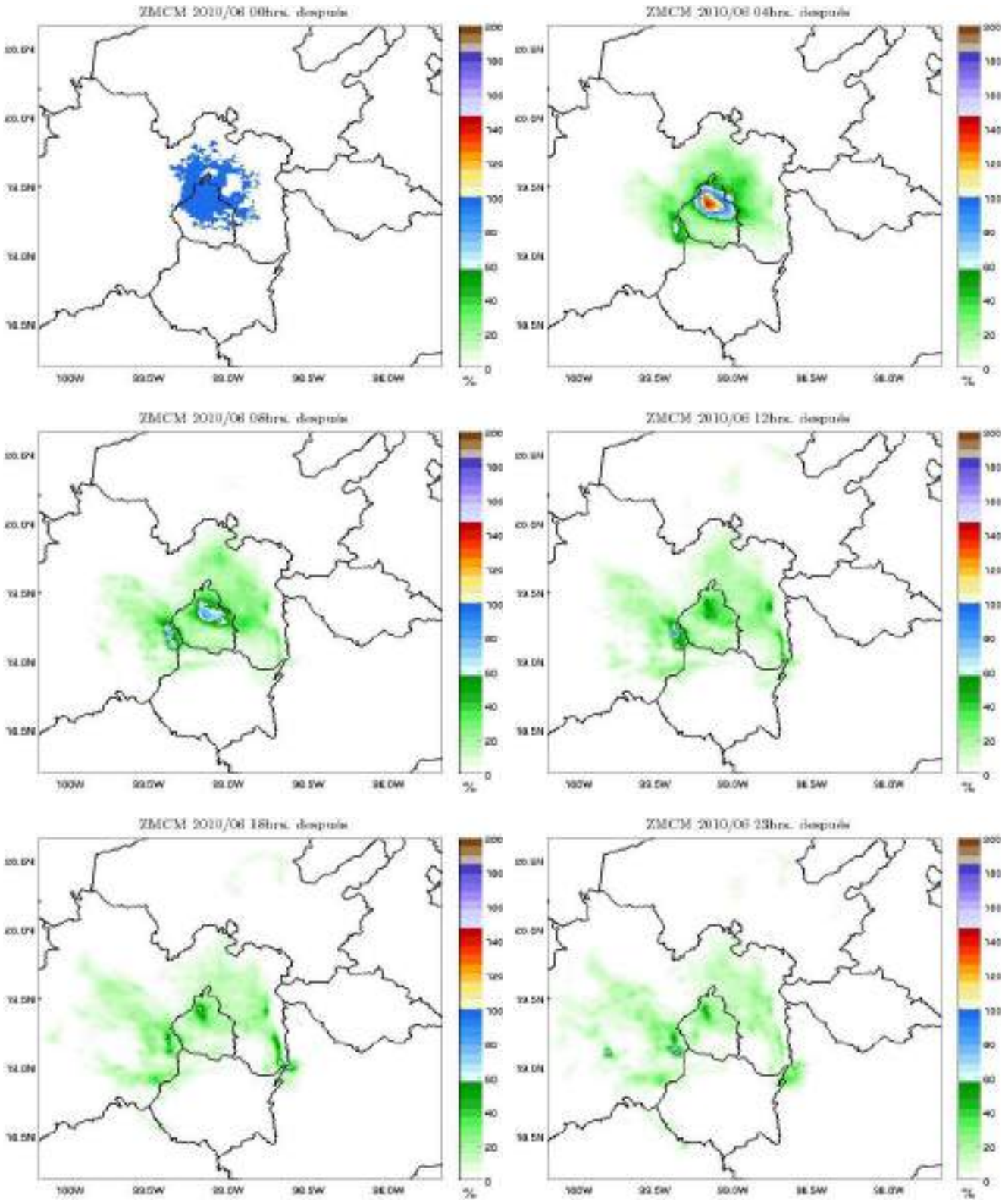


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de junio de 2010.*

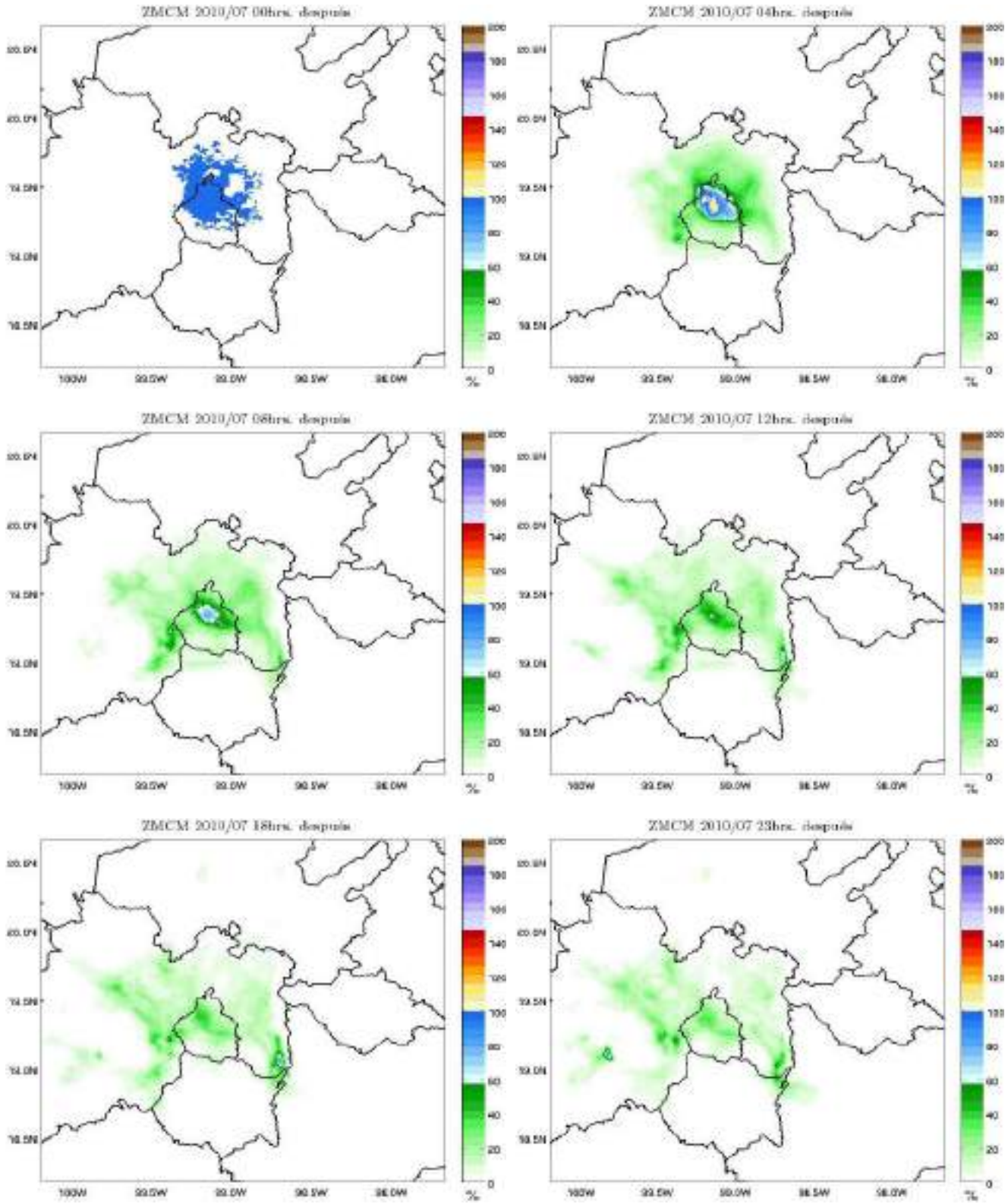


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de julio de 2010.*

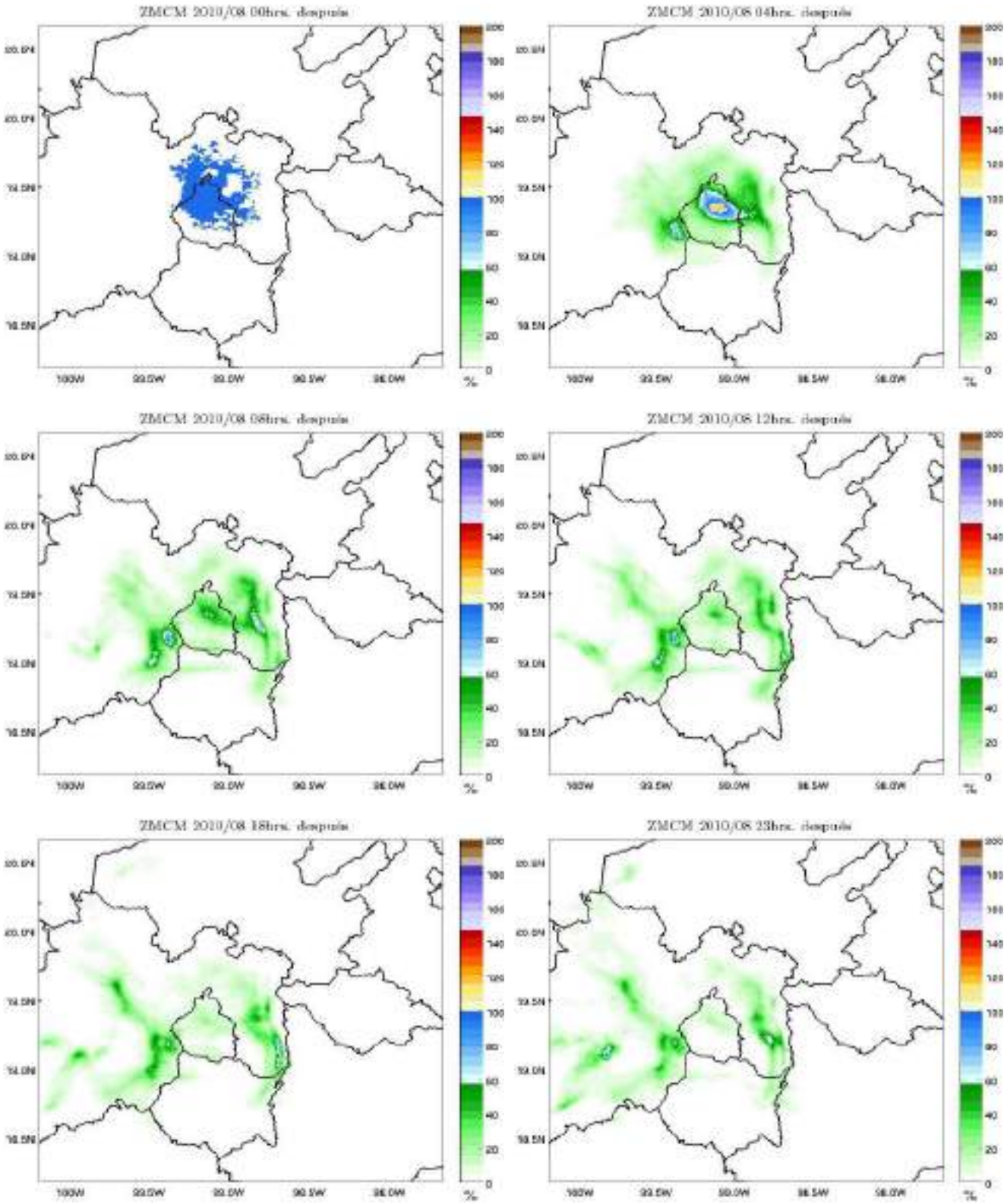


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de agosto de 2010.*

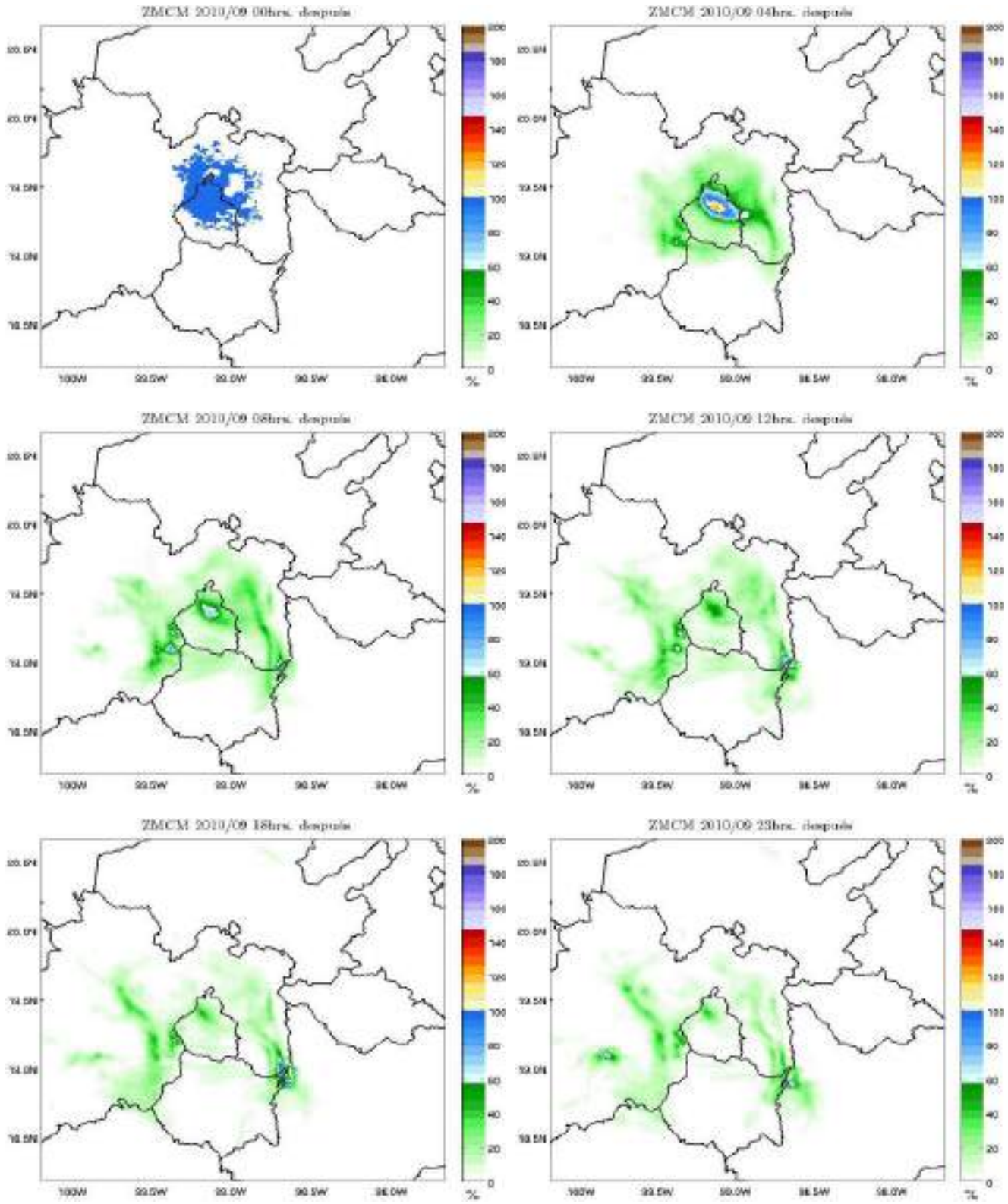


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de septiembre de 2010.*

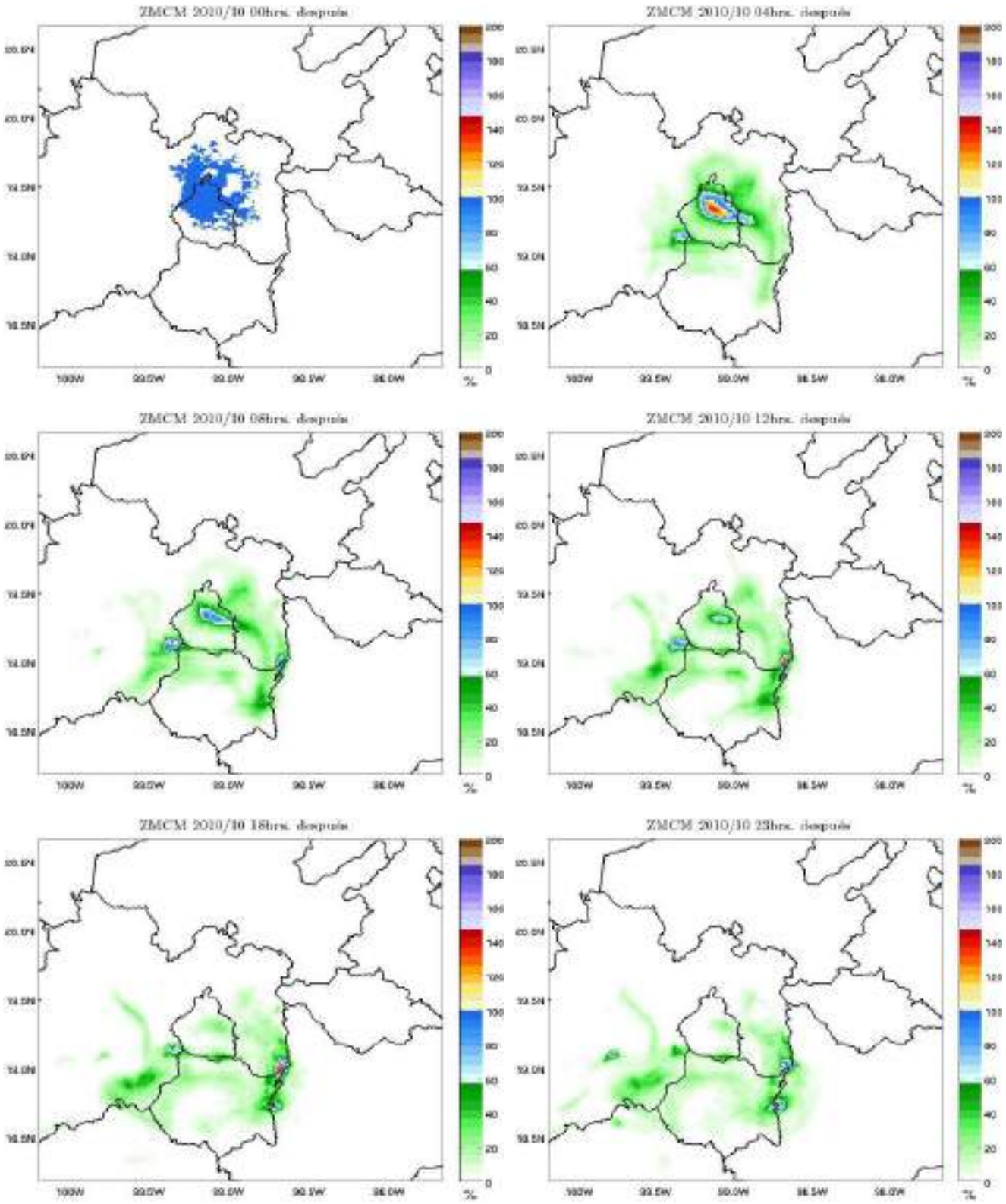


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de octubre de 2010.*

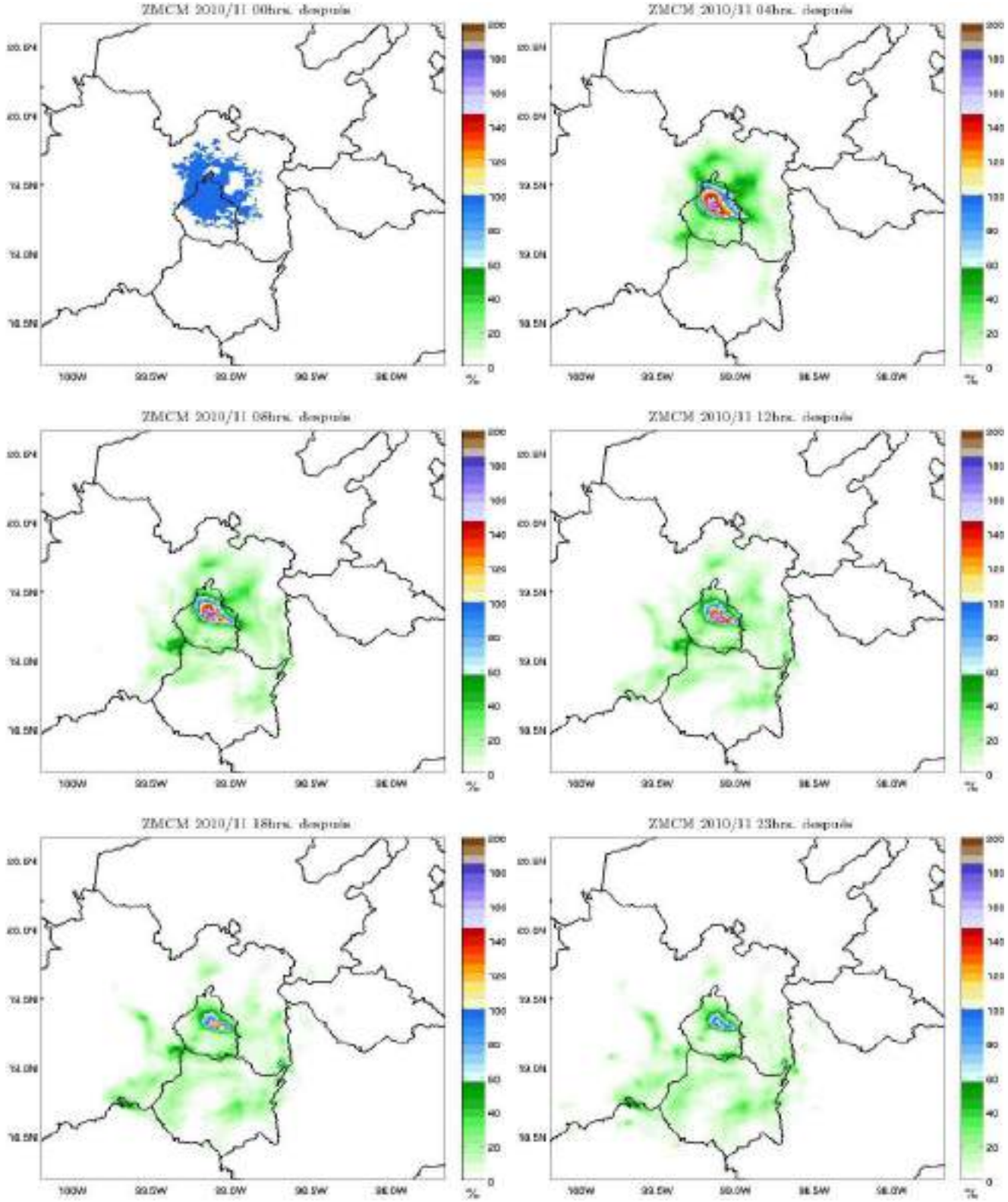


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de noviembre de 2010.*

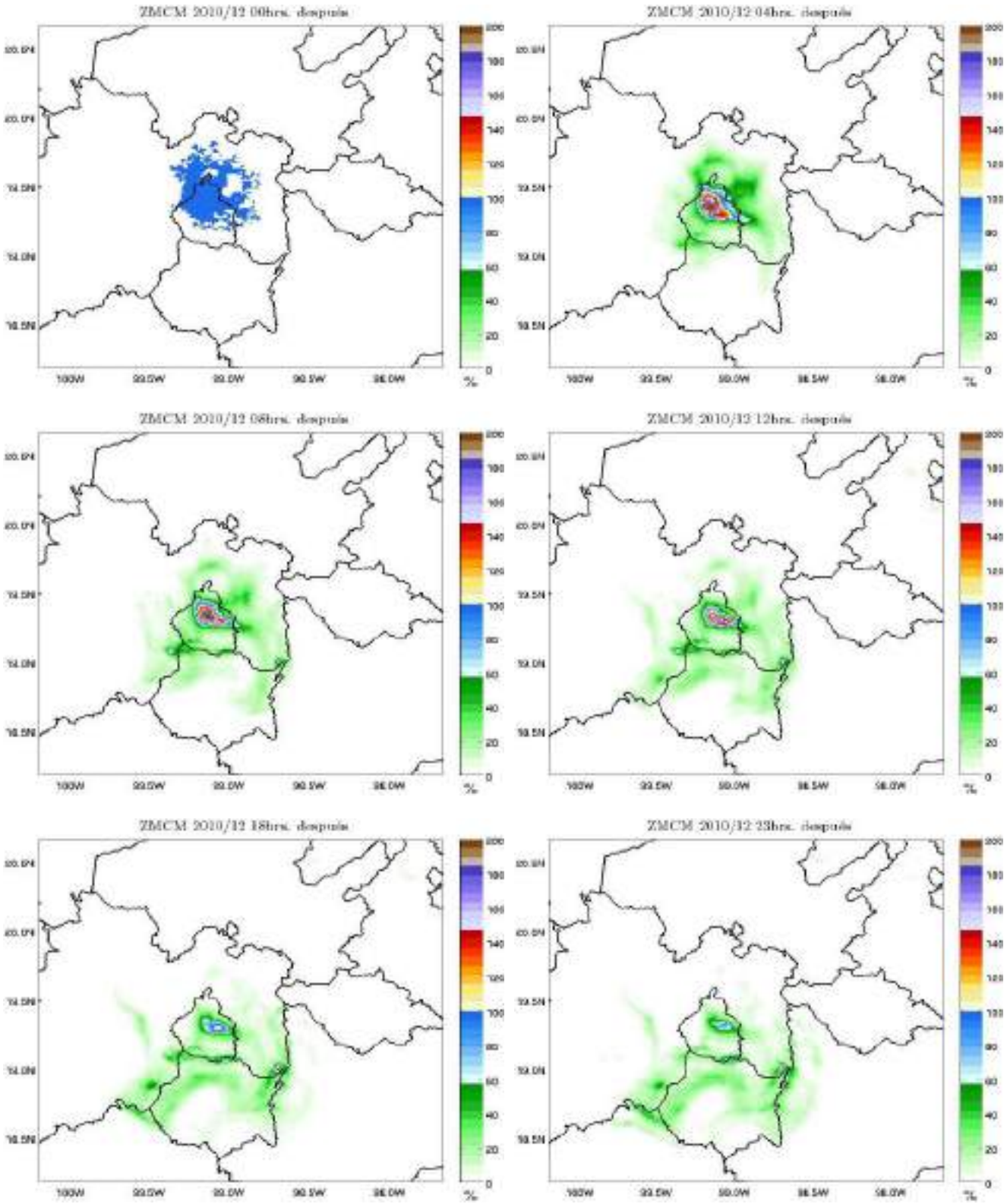


Figura A02-42.1 *(cont.). Igual que la anterior pero para el mes de diciembre de 2010.*

2.5.7 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El número de estudios cuyo objetivo principal es el de estudiar la dinámica de la circulación entre cuencas atmosféricas es muy pequeño. En la revisión que se llevó a cabo sólo se encontró material relevante en cuatro estudios. En la mayoría de estos estudios el enfoque e interés fundamental es caracterizar la química atmosférica en el volumen de la cuenca. Las campañas de medición evolucionaron incluyendo más mediciones fuera de la cuenca y aumentando el período de observación con nuevos sensores y perfiladores.

Por otro lado, subsisten serias dudas sobre la ocurrencia de ciertos procesos físicos involucrados en la generación y desarrollo de las circulaciones, como la formación de masas de aire frío asociadas al ciclo diurno en vientos de montaña-valle y la intensidad de las inversiones en la cuenca atmosférica. Estas dudas las expuso muy bien Whiteman *et al.* (2000) pero poco o nada se ha hecho para resolver esta ambigüedad. La mayor parte de los investigadores suponen que la cuenca atmosférica de la CRCM tiene un comportamiento dinámico y termodinámico muy similar al de sus contrapartes en latitudes medias. Por ello, es importante incluir, en una próxima fase de desarrollo de proyectos en la CRCM, un diseño de red de mediciones que permita cerrar el balance de energía midiendo flujos turbulentos de energía y radiación (Whiteman sugiere una red de piranómetros) en lugares que tengan cierta independencia espacial de superficies complejas y edificios.

Es necesario realizar campañas de medición, limitadas en tiempo pero intensivas, que conecten los periodos de secas con los de lluvias. La transición entre época de secas y de lluvias es muy importante para determinar cómo son afectados los procesos físicos locales en la cuenca atmosférica por el cambio de un régimen de flujo a otro.

Consideramos que es necesario mantener, por periodos de tiempo largos, una red mínima de estaciones, diseñada a partir de estudios de modelación que sugieran en dónde deben estar localizadas las estaciones de superficie, los perfiladores de viento, temperatura y humedad. Esto es más que práctico, considerando que la cuenca atmosférica de la CRCM estará expuesta a una diversidad de contaminantes, con nuevas composiciones y nuevas afectaciones tanto a los procesos físicos, químicos y biológicos como a la salud.

En este estudio se propone que las cuencas atmosféricas pueden delimitarse con base en los campos de divergencia. Se mostró que los patrontes de viento en superficie (a 10 m) son muy diferentes para el mes de marzo con relación al mes de septiembre. En particular, se encontró que las zonas de divergencia (convergencia) se encuentran en lados opuestos de las Sierras de Chichinautzin, de las Cruces y la Sierra Nevada. También se mostró que los vientos cambian de dirección, lo cual tiene importantes implicaciones para el transporte de contaminantes atmosféricos, además de sus implicaciones meteorológicas y climáticas.

Con base en el análisis de los gráficos de los vientos de superficie y los de dispersión de partículas se construyeron esquemas de los vientos en superficie y zonas de convergencia para los meses de marzo y septiembre de 2010 para las 00:00, 06:00, 12:00 y 18:00. Se simplifican los vientos para mostrar esquemáticamente las trayectorias en superficie en la vecindad de las zonas urbanas de la ciudad de México, Pachuca, Toluca, Cuernavaca y Puebla-Tlaxcala. En ellas se observa que la zona centro-norte del Distrito Federal es una zona de convergencia (líneas rojas) y convección (círculo rojo) (Figura A02-43.1).

Para el mes de marzo de 2010 se observan convergencias en el Valle de México por la madrugada, localizadas al pie de la Sierra de las Cruces y el Ajusco y a lo largo de una línea que va de la Sierra de las cruces hacia el noreste. Durante el se día continúa observándose la convergencia al pie de la Sierra de la Cruces y una zona de convección en el centro-norte del DF. A través del paso de Ozumba dominan los vientos de Morelos hacia el Estado de México en su sector oriental, siendo más intensos estos flujos a las 18:00 hrs GMT (12:00 hrs local). En la zona urbana Puebla-Tlaxcala los vientos cambian de dirección a lo largo del día: siendo hacia el sur y suroeste en la madrugada (12:00 hrs GMT). Al pie oriental de la Sierra Nevada se observa una línea de convergencia. En Toluca se observa una línea de convergencia sobre la zona urbana que se desplaza hacia el suroeste-noreste a lo largo del día. En Cuernavaca los vientos están dominados por la señal diurna con brisas del Valle y de Montaña.

En el mes de septiembre de 2010 los patrones fueron muy diferentes a los de marzo de ese año, los flujos a través de Ozumba son predominantemente hacia Morelos, se observa una zona frontal al pie occidental de la Sierra nevada en el Valle de México y otra al pie occidental de la Sierra de las Cruces. En el Valle de México se observa una zona de convergencia y una zona de convección en el centro-norte del DF. En Morelos y en particular la zona de Cuernavaca está dominada por el ciclo diurno y la brisas de Valle y de Montaña hacia la Sierra del Ajusco-Chichinautzin.

El análisis realizado con cuatro años de simulaciones numéricas, con salidas horarias muestra que los vientos en superficie y en niveles bajos sobre la meseta central y el Valle de Cuernavaca son sumamente complejos. Mientras que en niveles altos, a más de 3,000 m sobre el nivel del mar los vientos tienen una dirección e intensidad bastante similar en las localidades de la CRCM, en niveles bajos y en superficie los vientos son muy variables de una región a otra y a lo largo del ciclo diurno. Son varios los procesos que van afectando a los vientos en niveles bajos y se requieren estudios detallados para conocer los términos dominantes en cada región. Es de esperarse que las brisas valle-montaña y montaña-valle, los gradientes de presión causados por diferencias de densidad reforzados por la variación del uso del suelo, las zonas de convergencia y convección y las restricciones orográficas sean factores fundamentales. También la interacción con la orografía de la

meseta central de diferentes sistemas meteorológicos provenientes del Pacífico y del Golfo de México.

Los vientos en niveles altos tuvieron dirección opuesta en marzo de 2010 y en septiembre de 2010, siendo predominantemente del oeste en marzo y del este en septiembre. En marzo, la circulación en altura (500 hPa) está dominada por un patrón ciclónico sobre el sur de los Estados Unidos y en ocasiones un sistema de anticiclónico sobre el sur de México y/o centroamérica. Estos patrones se modifican dependiendo del desplazamiento norte-sur y este-oeste de estos sistemas y de su intensidad. Se verificó que estos patrones también se observaron en los años 2011-2013.

En septiembre los vientos se ven afectados por la presencia de ciclones tropicales, por ejemplo la presencia de un ciclón en la Bahía del Campeche en el Golfo de México provocó vientos del norte el día 16 de septiembre de 2010. La meseta central también se ve afectada por la llegada de frentes fríos que penetran hacia el sur en el Golfo de México, como ocurrió a finales de septiembre de 2010, aunque en esa ocasión también influyó en la región un ciclón sobre la península de Yucatán.

En superficie los vientos se ven influenciados tanto por lo que ocurre en altura como por los procesos cercanos a la superficie y la orografía. En este estudio se encontró que algunas regiones tienen más influencia de las variaciones en altura que otras, pero la respuesta es diferente cuando ocurren diferentes perturbaciones. Aunque la respuesta a cambios en la intensidad y dirección de los vientos en altura varía dependiendo de las características del evento, en general Cuernavaca es el sitio con menor influencia, manteniendo su patrón diurno con poca variación. Ozumba y Puebla también tuvieron poca respuesta, Toluca y Aeropuerto respondieron a eventos con vientos de suroeste. En septiembre, Cuernavaca mantuvo poca respuesta a cambios en los vientos en altura y el resto de los sitios analizados presentaron cambios importantes en sus vientos cuando variaron los vientos en altura. En particular Ozuma que casi no presentó variaciones en marzo tiene cambios importantes de dirección en escala sinóptica, aunque manteniendo la modulación del ciclo diurno.

La ZMCM exporta partículas hacia el norte (Estado de México e Hidalgo) entre enero y marzo, hacia el estado de Morelos en mayo, julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre, hacia el este del Estado de México de septiembre a diciembre; en mayo permanecen en el Valle de México y zonas aledañas.

Toluca exporta hacia Zumpango y el DF, en septiembre-diciembre hacia el oeste del Ajusco.

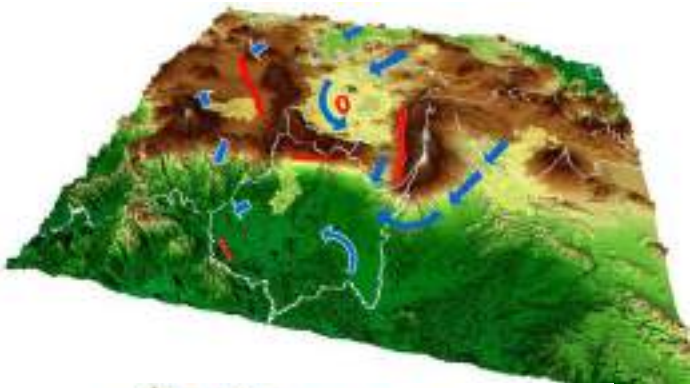
Cuernavaca exporta hacia el DF a través de la Sierra del Chichinautzin y hacia el oeste del Ajusco a través de la frontera con el Estado de México y posteriormente cruzando la serrania localizada entre el Ajusco y el Nevado de Toluca. Pachuca exporta hacia el este del Estado de México, a través del corredor Texcoco-Amecameca y Ozumba, principalmente entre junio y diciembre. Puebla-Tlaxcala exporta hacia el norte del estado de Puebla en

enero-abril y noviembre-diciembre, mientras que lo hace hacia la frontera con Morelos en enero, hacia San Martín Texmelucan en enero-abril, en mayo hacia el suroeste, hacia el Valle de México a través de Ozumba en junio-septiembre.

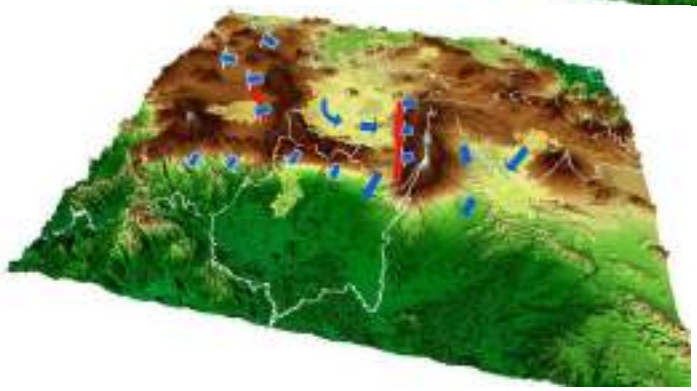
Las cuencas como tradicionalmente se han concebido, con base a los valles y las serranias, se ratifican del análisis de los patrones de viento, los cálculos de la divergencia y los intercambios de partículas. Se puede definir que la cuenca de la ZMCM está delimitada al sur por la Sierra del Ajusco-Chichinautzin, al oeste por la Sierra de las Cruces y al oriente por la Sierra Nevada. Al norte su delimitación es más difusa pues los intercambios de parcelas de aire se extienden hasta el estado de Hidalgo. El valle de Toluca está incluido en otra cuenca delimitada al oriente por la Sierra de las Cruces, al sur por la serranía que une al Ajusco con el Nevado de Toluca y al norte por las serranias discontinuas. La zona urbana de Puebla-Tlaxcala se encuentra en otra cuenca delimitada al oeste por la Sierra Nevada y hacia el norte por las sierras ubicadas al norte de Tlaxcala. Al sur y al oeste no hay una delimitación precisa. Cuernavaca se ubica en una región delimitada al norte por la Sierra del Ajusco-Chichinautzin, con intercambios a través de paso de Ozumba. En otras direcciones se encuentra poco delimitada por serranias hacia Guerrero.

2.5.7.1 SEPTIEMBRE, 2010

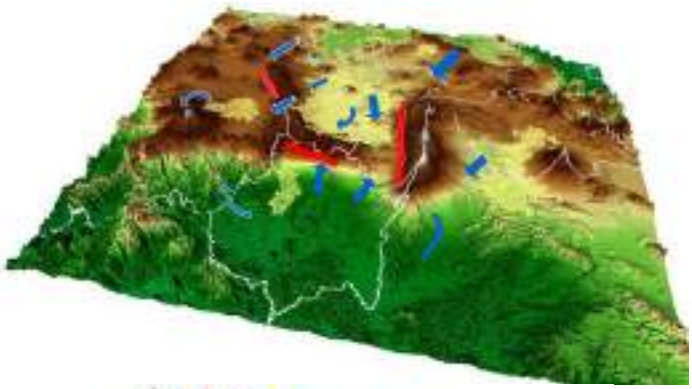
06 HRS



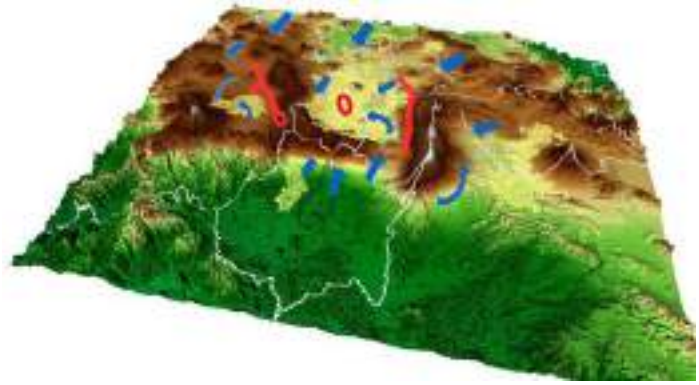
12 HRS



18 HRS

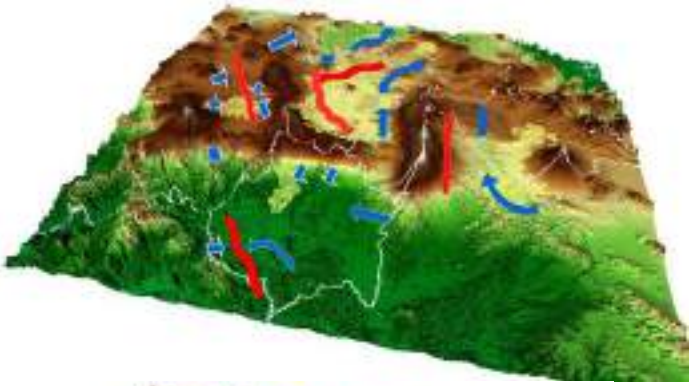


00 HRS

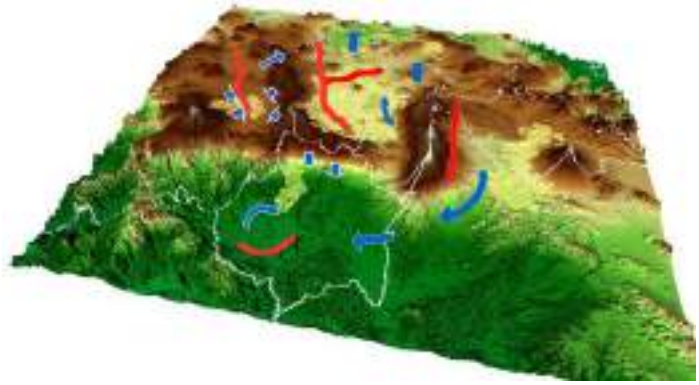


2.5.7.2 MARZO, 2010

06 HRS



12 HRS



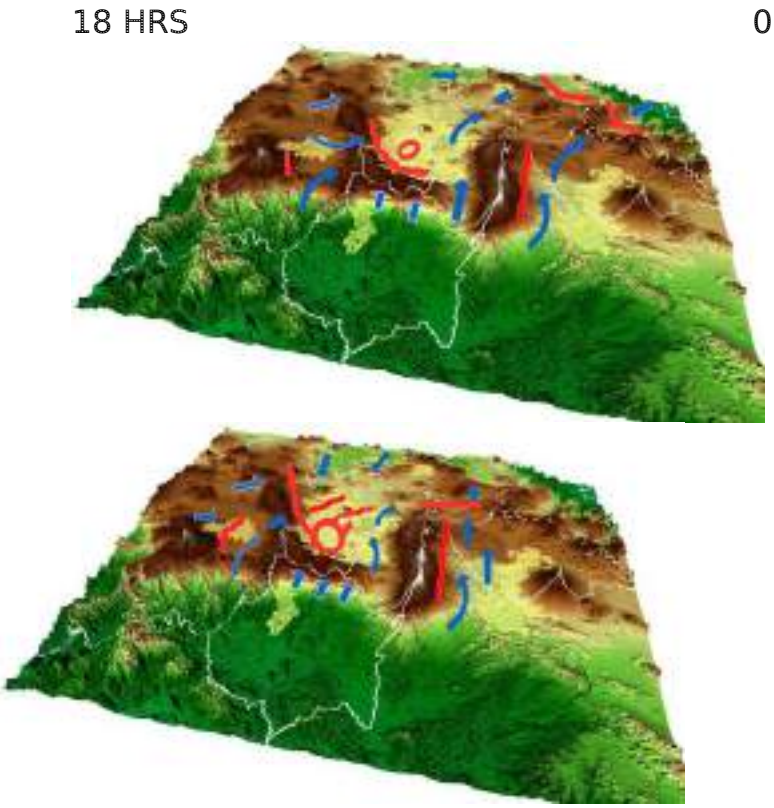


Figura A02-43.1. *Esquema de los vientos (flechas azules) y zonas de convergencia (líneas rojas).*

Referencias

REVISIÓN

Baumgardner, D., Grutter, M., Allan, J., Ochoa, C., Rappenglueck, B., Russell, L. M., and Arnott, P., 2009: Physical and chemical properties of the regional mixed layer of Mexico's Megapolis. *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 5711–5727, doi:10.5194/acp-9-5711-2009.

Bossert, J.E., 1997: An investigation of flow regimes affecting the Mexico City region. *J. App. Meteor*. 36, 119-140.

Doran, J. C., and Coauthors, 1998: The IMADA-AVER boundary layer experiment in the Mexico City area. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 79, 2497–2508.

Jáuregui, E., 1971: Mesomicroclima de la ciudad de México. *Imprenta Universitaria*, Instituto de Geografía, unam.

Jáuregui, E., 1973: The urban climate of Mexico City. *Erdkunde*, 28 (4), 298-307.

Jáuregui, E., 19 . El clima urbano y su relación con los contaminantes del aire.

Jáuregui, E., 1988: Local wind and air pollution interaction in the Mexico City Basin. *Atmosfera*, 1, 131-140.

Karnaskaus, K. B., R. Seager, A. Giannini, A. J. Busalacchi, 2013: A simple mechanism for the climatological midsummer drought along the Pacific coast of Central America. Atmosfera, 26 (2): 261-281.

Mosiño, A. P., 1958: Una clasificación de las configuraciones del flujo aéreo en la República Mexicana. *Ingeniería Hidráulica*, 12 (2): 29-54.

Mosiño, A. P., y García, E., 1968: Evaluación de la sequía intraestival en México. *Esc. Nal. de Agricultura*. Chapingo, Serie 6.

Nickerson, E. G., Sosa, G., Hochstein, H., McCaslin, P., Luke, W., Schanot, A., 1992: Project Aguila: in situ measurements of Mexico City air pollution by a research aircraft. *Atmos. Environ*. 26, 445-451.

Whiteman, C.D., 1990: Observations of thermally developed wind systems in mountainous terrain. Chapter 2 in "Atmospheric Processes in Complex Terrain" (W. Blumen, Ed.), *Meteorological Monographs*, 23, No. 45. American Meteorological Society, Boston, Massachussets, 5-42.

Whiteman, C.D., S. Zhong, X. Bian, J.D. Fast, and C. Doran, 2000: Boundary layer evolution and regional-scale diurnal circulations over the Mexico Basin and the Mexican plateau. *J. Geophys. Res*. 105, 10081-10102.

SECCIÓN 2.1

Skamarock W. C., and Coauthors, 2008: A description of the advanced research wrf version 3. ncar Tech. Note ncar/TN-4751STR, 113pp. [Disponible en http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/arw_v3.pdf.]

cisl Research Data Archive: Data for Atmospheric and Geosciences Research (http://rda.ucar.edu).

SECCIÓN 2.2

Anderson, J.R., Hardy, E.E., Roach, J.T., Witmer, R.E., 1976. A land use and land cover classification system for use with remote sensor data. Tech. rep., U.S. Geological Survey Professional Paper No. 964.

Bicheron, P., Defourny, P., Borockmann, C., Schouten, L., Vancutsem, C., Huc, M., Bontemps, S., Leroy, M., Anchard, F., Herold, M., Ranera, F., Arino, O., 2008. Products descriptions and validations report:GLOBCOVER 2005. Tech. rep., ESA, ESAGlobcover Project and MEDIAS'France/POSTEL.

Bontemps, S., Defourny, P., Bogaert, E. V., Arino, O., Kalogirou, V., Ramos-Perez, J., 2011. Products description and validation GLOBCOVER2009. Tech. rep., UCLouvain and ESA Team.

Chen, F., 2007. The Noah Land Surface Model in wrf: A short tutorial. ncar, LSM group meeting, 30 pp. [Available at: http://www.atmos.illinois.edu/ ~snesbitt/ATMS597R/notes/noahLSM-tutorial.pdf]. Fecha 09-05-2015.

Cohen, J., 1960. A coefficient of agreement for nominal scales. Educational and Psychological Measurements, 20:37-46.

Conapo, 2010. Indicadores Demográficos Básicos 1990-2030. Consejo Nacional de Población. [http://www.conapo.gob.mx/index.php?option=com_content&view =article&id=125&Itemid=193]. Fecha 9-05-2014.

Estrada, F., A. Martínez-Arroyo, A. Fernández-Eguiarte, E. Luyando and C. Gay, 2009. Defining climate zones in Mexico using multivariate analysis. *Atmósfera* 22, 175-193.

Friedl, M.A., McIver, D.K., Hodges, J. C.F., Zhang, X.Y., Muchoney, D., Strahler, A.H., Woodcock, C.E., Gopal, S., Schneider, A., Cooper, A., Baccini, A., Gao, F., Schaaf, C., 2002. Global land cover mapping from MODIS: algorithms and early results. *Remote Sensing of Environment,* 83, 287-302.

Ge, J., Qi, J., Lofgreen, B.M., Moore, N., Torbick, N., Olson, J.M., 2007. Impacts of land use/cover classification accuracy on regional climate simulations. *J. Geophys. Res.*, 112, D05107.

Grossman-Clarke, S., J. A. Zehnder, W. Stefanov and M. Moeller, 2005. Remote sensing derived land use/cover data for urban modeling in MM5 and wrf. wrf Land Surface Modeling Workshop. PowerPoint PPT presentation. Boulder, CO, USA.

Jáuregui, E., 2005. Possible impact of urbanization on the thermal climate of some large cities in México. *Atmósfera* 18, 249-252.

Latifovic, R., Zhu, Z., Cihlar, J., Giri, C., Olthf, I., 2004. Land cover mapping of North and Central America - Global Land Cover 2000. *Remote Sensing of Environment* 89, 116-127.

López-Espinoza, E. D., Zavala-Hidalgo, J., and Gómez-Ramos, O., 2012, Weather forecast sensitivity to changes in urban land covers using the wrf model for central Mexico. *Atmósfera*, 25(2), 127-154.

Loveland, T.R., Reed, B.C., Brown, J.F., Ohlen, D.O., Zhu, Z., Yang, L.,Merchant, J.W., 2000. Development of a global land cover characteristics database and igbp DISCover from 1 km avhrr data. *Int. J. Remote Sensing,* 21, 1303-1330.

Oke, T. R., 1973. City size and urban heat island. Atmos. Environ. 7, 769-779.

Ran, L., J. E. Pleim and R. C. Gilliam, 2010. Impact of high resolution land-use data in meteorology and air quality modeling systems. Chapter 1, (G. Douw Steyn and S. Trivikrama Rao, Eds.). Air Pollution Modeling and its Applications XX. Springer Netherlands, Netherlands, C (Section 1.1), 3-7.

Sertel, E., A. Robock. and C. Ormeci, 2009. Impacts of land cover data quality on regional climate simulations. *Int. J. Climatol.* DOI: 10.1002/joc.2036.

SECCIÓN 2.3

*Fast, J. D., and S. Zhong (1998): Meteorological factors associated with inhomogeneous ozone concentrations within the Mexico City basin. J. Geophys. Res., 103(D15), 18927–18946, doi:*10.1029/98JD01725*.*

Oke, T. R., G. Zeuner, and E. Jauregui, 1992: The surface energy balance in Mexico City. *Atmos. Environ.,* 26B, 433–444.

*Whiteman, C. D., S. Zhong, X. Bian, J. D. Fast, and J. C. Doran (2000): Boundary layer evolution and regional-scale diurnal circulations over the Mexican plateau. J. Geophys. Res., 105(D8), 10081–10102, doi:*10.1029/2000JD900039*.*

SECCIÓN 2.5

Bossert, J.E., 1997. An investigation of flow regimes affecting the Mexico City region. *J. App. Meteor*. 36, 119-140.

de Foy B., J. D. Fast, S. J. Paech, D. Phillips, J. T. Walters, R. L. Coulter, T. J. Martin, M. S. Pekour ,W. J. Shaw, P. P. Kastendeuch, N. A. Marley, A. Retama, and L. T. Molina, 2008. Basin-scale wind transport during the MILAGRO field campaign and comparison to climatology using cluster analysis.

Dennis, R.L. and R. Mathur, 2001. Airshed domains for modeling atmospheric deposition of oxidized and reduced nitrogen to the Neuse/Pamlico system. *Hydrological Science and Technology*, Special Issue, 17, No. 1-4, 107-117.

Doran, J.C. and S. Zhong, 2000. Thermally driven gap winds into the Mexico City Basin. *J. Appl. Meteorol.*, 39, 1330-1340.

Garcia-Reynoso, J.A. , L.G. Ruiz-Suárez, J.S. García-Escalante y N.A. Resendiz-Juárez. "Comportamiento de los contaminantes en cuencas atmosféricas: metodología y estudio de caso." Proy. INE/A1-004/2009 (www.inecc.gob.mx/descargas/calaire/2009_inf_cuencas2.pdf)

Guzman, F. and G.E. Streit, 1993. Mexico City Air Quality Research Initiative. *'Air Pollution, 93'*, P. Zanneti, C.A. Brebbia, J.A. Garcia Gardea, and G.A Milian, Eds., Computational Mechanics Publications, 599-609.

Jauregui, E., 1973. The urban climate of Mexico City. *Erdkunde*, 28 (4), 298-307.

Jauregui, E., 1988. Local wind and air pollution interaction in the Mexico City Basin. *Atmosfera*, 1, 131-140.

Magaña, V.O. y E. Caetano, 2007. Identificación de Cuencas Atmosféricas en México. Dirección General de Investigación sobre la Contaminación Urbana y Regional. Informe Final. INE/A1-001/2007

Stull, R. B., 1988: *An Introduction to Boundary Layer Meteorology*. Kluwer Academic.

Whiteman, C.D., 1990. Observations of thermally developed wind systems in mountainous terrain. Chapter 2 in "Atmospheric Processes in Complex Terrain" (W. Blumen, Ed.), *Meteorological Monographs*, 23, No. 45. American Meteorological Society, Boston, Massachussets, 5-42.

Whiteman, C.D., S. Zhong, X. Bian, J.D. Fast, and C. Doran, 2000. Boundary layer evolution and regional-scale diurnal circulations over the Mexico Basin and the Mexican plateau. *J. Geophys. Res*. 105, 10081-10102.

Apéndice 1

Tabla A02-A01-1 Variables de salida del modelo WRF

	Nombre	Descripción
1	ALBBCK	Albedo de fondo libre de nieve
2	ALBEDO	Aldebo
3	CANWAT	Dosel de agua
4	CF1	Constante de extrapolación de 2o orden
5	CF2	Constante de extrapolación de 2o orden
6	CF3	Constante de extrapolación de 2o orden
7	CFN	Constante de extrapolación
8	CFN1	Constante de extrapolación
9	COSALPHA	Coseno local del mapa de rotación
10	DN	Valores d(eta) entre niveles medios (masa)
11	DNW	Valores d(eta) entre niveles completos (w)
12	DZS	GROSOR DE LAS CAPAS DE SUELO
13	E	Termino de Coriolis coseno de la latitud
14	EDT_OUT	EDT PARA el esquema GD
15	EMISS	Emisidad de la superficie
16	F	Termino de Coriolis seno de la latitud
17	FNM	Peso superior para el estrechamiento vertical
18	FNP	Peso inferior para el estrechamiento vertical
19	GLW	Flujo de onda corta hacia abajo en la superficie del suelo
20	GRAUPELNC	Acumulación total de GRAUPEL en escala de malla
21	GRDFLX	Flujo de calor en la tierra
22	HFX	Flujo de calor en la superficie hacia arriba
23	HGT	Altura del terreno
24	HGT_SHAD	Altura de la sombra orográfica
25	ISLTYP	Categoría del suelo dominante
26	ITIMESTEP	
27	IVGTYP	Categoría de la vegetación dominante
28	LANDMASK	Mascara de tierra (1 para tierra, 0 para agua)
29	LH	Flujo de calor latente en la superficie
30	LU_INDEX	Categoría de uso de tierra

	Nombre	Descripción
31	MAPFAC_M	Factor de escala del mapa en el centroide
32	MAPFAC_MX	Factor de escala del mapa en el centroide, dirección x
33	MAPFAC_MY	Factor de escala del mapa en el centroide, dirección y
34	MAPFAC_U	Factor de escala del mapa en la malla u
35	MAPFAC_UX	Factor de escala del mapa en la malla u, dirección x
36	MAPFAC_UY	Factor de escala del mapa en la malla u, dirección y
37	MAPFAC_V	Factor de escala del mapa en la malla v
38	MAPFAC_VX	Factor de escala del mapa en la malla v, dirección x
39	MAPFAC_VY	Factor de escala del mapa en la malla v, dirección y
40	MAX_MSTFX	Máximo factor de mapa en el dominio, X
41	MAX_MSTFY	Máximo factor de mapa en el dominio, Y
42	MF_VX_INV	Inverso del factor de escala del mapa en la malla v, dirección x
43	MU	Perturbación de la masa de aire seco en la columna
44	MUB	Estado base de la masa de aire seco en la columna
45	NEST_POS	
46	OLR	TOA onda larga de salida
47	P	Perturbación de la presión
48	PB	Estado base de la presión
49	PBLH	PBL altura
50	PH	perturbación geopotencial
51	PHB	Estado base geopotencial
52	POTEVP	Evaporación acumulada geopotencial
53	PRATEC	Taza de precipitación del esquema de cumulus
54	PSFC	SFC presión
55	P_TOP	Presión en la parte superior del modelo
56	Q2	QV at 2 M
57	QCLOUD	Razón de mezcla de nubes agua.
58	QFX	Flujo de humedad hacia arriba en la superficie
59	QNDROPSOURCE	Fuente de numero de gotas
60	QRAIN	Relación de mezcla de agua-lluvia
61	QVAPOR	Relación de mezcla de vapor-agua
62	RAINC	Precipitación acumulada total de los cumulus
63	RAINCV	PASOS DE TIEMPO PARA LA PRECIPITACIÓN DE CUMULUS

	Nombre	Descripción
64	RAINNC	PRECIPITACIÓN ACUMULADA TOTAL EN ESCALAS DE MALLA.
65	RDN	Valores inversos d(eta) entre niveles medios (masa)
66	RDNW	Valores inversos d(eta) entre niveles completos (w)
67	RDX	LONGITUD DE MALLA X INVERSA
68	RDY	LONGITUD DE MALLA Y INVERSA
69	RESM	CONSTANTE DE PESO PARA EL TIEMPO EN PASOS PEQUEÑOS
70	RHOSN	DENSIDAD DE NIEVE
71	SEAICE	BANDERA DE HIELO MARINO
72	SFROFF	INUNDAMIENTO EN SUPERFICIE
73	SH2O	AGUA LÍQUIDA EN EL SUELO
74	SINALPHA	Coseno local de rotación de mapa
75	SMOIS	HUMEDAD DEL SUELO
76	SNOPCX	Cambio de fase del flujo de calor
77	SNOW	EQUIVALENTE DE AGUA DE NIEVE
78	SNOWC	BANDERA INDICANDO LA COVERTURA DE NUEVE (1 PARA COVERTURA DE NIEVE)
79	SNOWH	PROFUNDIDAD FÍSICA DE LA NIEVE
80	SNOWNC	ACUMULACION TOTAL DE HIELO Y NIEVE EN ESCALA DE MALLAS.
81	SOILTB	Temperatura del suelo.
82	SR	Fracción de precipitación congelada
83	SST	Temperatura de la superficie del mar
84	SWDOWN	Flujo de onda corta hacia abajo en la superficie terrestre
85	T	Perturbación de temepratura potencial (theta-t0)
86	T2	Temperatura en 2 M
87	TH2	POT TEMP en 2 M
88	TMN	Temperatura del suelo en límite inferior
89	TSK	Temperatura de la piel de la superficie
90	TSLB	Temperatura del suelo
91	Times	
92	U	Componete x del viento
93	U10	U en 10 M
94	UDROFF	Escorrentía subterranea
95	UST	U* en Teoría de similaridad
96	V	Componente y del viento

	Nombre	Descripción
97	V10	V a 10 M
98	VEGFRA	Fracción de vegetación
99	W	Componete z del viento
100	XICEM	Bandera de hielo de mar (paso previo)
101	XLAND	Mascara de tierra (1para Tierra, 2 para agua)
102	XLAT	Latitud, sur es negativo
103	XLAT_U	Latitud, sur es negativo
104	XLAT_V	Latitud, sur es negativo
105	XLONG	Longitud, oeste es negativo
106	XLONG_U	Longitud, oeste es negativo
107	XLONG_V	Longitud, oeste es negativo
108	XTIME	Minutos desde el inicio de la simulación
109	ZETATOP	Zeta en la tope del modelo
110	ZNU	Valores de eta en niveles medios (masa)
111	ZNW	Valores de eta en niveles completos (w)
112	ZS	Profundidades de centros de capa de suelos