

EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL MODELO ETA/CPTEC PARA PRONOSTICAR TRES EVENTOS DE VIENTO ZONDA

Marcelo E. Seluchi^{1*}, Federico A. Norte²

¹Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC).
Rodovía Pres. Dutra Km 39 (12630-000) Cachoeira Paulista, São Paulo, Brasil
seluchi@cptec.inpe.br

² Programa Regional de Meteorología (PRM), Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias ambientales, IANIGLA (CRICYT)/CONICET. Mendoza, Argentina
fnorte@prmarg.org

Resumen

En este trabajo se analizan tres situaciones de viento Zonda sobre la región de Cuyo, que representan eventos clásicos de manifestaciones diferentes, con el fin de evaluar el modelo Eta/CPTEC como potencial herramienta de pronóstico.

Los tres fenómenos analizados pudieron ser pronosticados con muy buena precisión con un plazo aproximado de 48 horas. El modelo fue capaz de prever la aparición de viento Zonda y de reproducir fielmente los perfiles termodinámicos observados a ambos lados de la cordillera. Por otra parte el Eta logró distinguir las diferentes etapas del desarrollo y las diferencias en la intensidad y modalidad de las situaciones estudiadas (Zonda de superficie o altura). A partir de las marchas pronosticadas de temperatura y, especialmente, de humedad fue también posible establecer con bastante precisión la hora de comienzo y finalización del fenómeno, tanto en el llano como en las estaciones de montaña.

1. Introducción

El Zonda es un viento extremadamente cálido y seco que sopla preferentemente durante los meses de invierno y primavera sobre la ladera oriental de los Andes.

Norte (1988), realizó un análisis descriptivo exhaustivo de las condiciones climáticas, sinópticas y termodinámicas de estos eventos, utilizando datos de localidades aerológicas y de superficie para un período de 10 años. Este autor distinguió dos tipos de manifestaciones diferentes: el “Zonda de altura” que sólo alcanza a las localidades ubicadas en la pre-cordillera y el “Zonda de superficie” detectado sobre las planicies al este de los Andes, típicamente en las proximidades de Mendoza y San Juan. Siguiendo la definición adoptada por Norte (1988), en los 10 años utilizados se observaron 220 episodios de altura, de los cuales sólo un 5.7% alcanzó la estación El Plumerillo. Norte consideró como casos severos a aquellos que registraron vientos máximos iguales o superiores a 15 m/s (equivalente a la categoría 7 de la escala Beaufort) y como muy severos a los que presentaron valores mayores a 25 m/s (“temporal muy fuerte” según la escala Beaufort).

El sentimiento de incomodidad e irritabilidad que el Zonda produce sobre la población, y los daños que éste puede generar, obliga a contar con pronósticos confiables y precisos. Sin embargo la corta extensión espacial y temporal de este fenómeno, su aparición repentina, la escasez de estaciones meteorológicas (especialmente de montaña) y la presencia de una barrera orográfica de gran pendiente atentan contra esta necesidad. En tal sentido Norte (1988) desarrolló un método estadístico de predicción utilizando el Análisis Discriminante Escalonado a partir de datos de superficie a ambos lados de los Andes, que ha brindado resultados satisfactorios hasta el momento. Este método fue posteriormente extendido por Norte y Seluchi (1993), quienes utilizaron información del perfil termodinámico a ambos lados de los Andes. Norte y Silva (1995) mostraron algunas diferencias sinópticas y dinámicas de los eventos moderados y severos, y desarrollaron un

* Dirección permanente: Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA)/CONICET, Buenos Aires, Argentina

programa predictor con base estadística, que establece la probabilidad de ocurrencia para distintas categorías de intensidad. Más recientemente Norte (1999) desarrolló con eficacia un sistema experto híbrido para predecir la ocurrencia del viento Zonda y su posible condición de moderado o severo.

El modelo regional Eta/CPTEC está siendo utilizado por el Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos de Brasil (CPTEC) en forma rutinaria desde mediados de 1996. Su característica más destacada es el empleo de la coordenada vertical eta, cuyas superficies de nivel resultan prácticamente horizontales. Este hecho lo convierte en un modelo adecuado para trabajar con topografías irregulares y de gran pendiente como la Cordillera de los Andes. Su buena resolución vertical y horizontal alientan su empleo para estudiar fenómenos de escala regional y meso escala, como es el caso del viento Zonda en la región de Cuyo.

En el presente trabajo se estudian tres eventos típicos de viento Zonda de características diferentes, con el fin de evaluar el grado de acierto del modelo Eta/CPTEC como potencial herramienta de pronóstico.

2. Datos y metodología.

La elección de los casos se realizó en base a cartas sinópticas de superficie y altura, y a secuencias horarias de las estaciones San Rafael, Malargüe, Mendoza y San Juan provistas por el Servicio Meteorológico Nacional. De esta manera se seleccionaron tres episodios ocurridos durante el mes de agosto de 1999, que representan tres tipos diferentes de eventos típicos. El primero de ellos, registrado el 5 de agosto, constituye un caso severo de Zonda en superficie que ocasionó daños en el área urbana y suburbana de Mendoza. La situación del 10 de agosto ejemplifica un típico Zonda de altura relativamente intenso, que irrumpió en superficie sólo en la ciudad de Malargüe. El tercer caso tuvo lugar el 30 de agosto y fue considerado como un evento clásico moderado de Zonda en el llano.

La información sobre la pre-cordillera fue obtenida por medio de las fajas termográficas e higrográficas semanales de las estaciones Las Aguaditas (33°S, 69°W, 2230 m), Vallecitos (32°S, 69°W, 2225 m) y Potrerillos (33°S, 69°W, 1300 m), pertenecientes a la red del PRM-IANIGLA.

3. Descripción Sinóptica

La situación correspondiente a las 12 UTC del día 5 de agosto de 1999 (pocas horas antes de la irrupción del Zonda) (Figura 1) muestra una depresión al este de los Andes, asociada a un sistema frontal localizado al norte de la Patagonia. El descenso de la presión, producto del avance del centro ciclónico a sotavento, y su escasa variación a barlovento provocaron el aumento del gradiente bórico zonal al norte de los 35°S. En el nivel de 500 hPa se destaca la corriente en chorro sobre la latitud de Mendoza, asociada a una vaguada de onda relativamente larga. La presencia del viento Zonda en superficie se hace evidente en el análisis manual de las 18 UTC (no incluido), a través de las elevadas temperaturas y los puntos de rocío extremadamente bajos. El ploteo de la estación San Juan exhibe una temperatura de 35°C, una temperatura de rocío de -55°C y polvo levantado por la acción del viento. Un aspecto importante es que los análisis del NCEP no lograron reflejar con claridad estas características. Esto puede deberse en parte a su baja resolución, a la escasez de información de estaciones de montaña y al método de asimilación de datos.

Los sondeos realizados a ambos lados de los Andes, en las estaciones Quintero y Mendoza (Figura 2) evidencian el ascenso del aire húmedo sobre la ladera occidental, a través del perfil frío y casi saturado de Quintero, y su descenso prácticamente adiabático a sotavento a través del perfil notablemente más seco y cálido sobre Mendoza. La imagen satelital de las 18 UTC (no incluida) muestra la nubosidad asociada al sistema frontal, que es abruptamente interrumpida inmediatamente al este de los Andes, como consecuencia del secamiento producido por el descenso casi adiabático del aire. La acción del viento Zonda sobre las ciudades de Mendoza y San Juan culminó en las primeras horas del día 6 de agosto con el pasaje del sistema frontal.

El patrón sinóptico correspondientes al día 10 de agosto es altamente similar al caso anterior (Figura 3), con una depresión a sotavento de los Andes que se extiende meridionalmente hasta latitudes subtropicales. Sin embargo existen algunas diferencias importantes, como la ubicación más hacia el este del ciclón superficial, el gradiente de presión relativamente menor sobre la cordillera, una mayor baroclinicidad sobre los 40°S y una dirección más zonal del flujo en niveles medios y altos. El viento Zonda se manifestó sólo en altura sobre las ciudades de San Juan y Mendoza, aunque fue detectado en superficie sobre Malargüe.

La situación del 30 de agosto de 1999 (Figura 4), que provocó viento Zonda de moderada intensidad sobre Mendoza y San Juan, difiere significativamente de las anteriores. Los días previos se caracterizaron por el lento avance de un ciclón intenso sobre latitudes medias-altas, con una estructura de tipo barotrópica equivalente. Sobre el continente se destaca la presencia de un anticiclón en la mitad oriental, entre los 25 y 45°S, y el progresivo de desarrollo de la Depresión del Noreste Argentino (DNOA) (Lichtenstein, 1980). La corriente en chorro por otra parte (figura 4b) se encuentra más desplazada hacia el norte que en las situaciones anteriores. El análisis manual de las 18 UTC exhibe el gradiente meridional de presión típico de los casos de Zonda y los indicios claros de su aparición en la ciudad de San Juan ($T=27^{\circ}\text{C}$, $T_d=-18$ y viento del oeste a 30 nudos).

4 El modelo Eta/CPTEC

El Eta/CPTEC es un modelo hidrostático, cuya característica más destacada es la utilización de la coordenada vertical eta, definida por Mesinger (1984). Sus superficies de nivel resultan prácticamente horizontales, lo que permite mejorar el cálculo de magnitudes horizontales en presencia de topografías abruptas. Por esta razón este modelo es, en principio, especialmente apto para el análisis de fenómenos orográficos como el viento Zonda.

El Eta/CPTEC posee una física completa que incluye parametrizaciones para la convección rasa y profunda, precipitación de gran escala, intercambios turbulentos, flujos superficiales y radiación. Para mayores detalles puede consultarse a Black (1994).

El modelo es integrado diariamente con una resolución horizontal de 40km y 38 niveles verticales, dentro de un dominio que abarca prácticamente todo el continente sudamericano. Las condiciones iniciales son tomadas de los análisis del NCEP y las de contorno son suministradas cada 6 horas por el modelo global CPTEC/COLA.

5 Evaluación del pronóstico

En todos los casos los pronósticos fueron iniciados a las 00UTC del día anterior a la ocurrencia del Zonda, es decir 36 a 48 horas antes de su irrupción, pues se pretende obtener una previsión con la mayor anticipación posible y que incluya tanto el comienzo como la finalización del fenómeno.

La figura 5 presenta los campos de superficie y 500 hPa pronosticados por el Eta/CPTEC (con una anticipación de 42 hs) para el momento de aparición del Zonda en los tres casos analizados. En general se puede apreciar una muy buena correspondencia entre los pronósticos y los análisis, mostrando que el modelo previó con acierto los patrones de escala sinóptica. Una figura no incluida indica que luego de 60 horas de previsión los mayores desvíos medios de altura geopotencial en el nivel de 1000 hPa fueron de sólo 50 mgp, mientras que los errores de temperatura se mantuvieron en general por debajo de los 2°C. Se destaca la habilidad del modelo para prever con muy buen grado de semejanza los gradientes zonales de presión cerca de los Andes, y para distinguir las diferencias existentes entre los distintos casos. Un análisis más detallado permite observar para la situación del 5 de agosto (Figs 5a y 5b) vientos superficiales intensos al norte de los 40°S, con una magnitud cercana a la observada, una correcta ubicación de la vaguada en el nivel de 500 hPa y la abrupta interrupción de la nubosidad inmediatamente a sotavento de la cordillera.

El modelo pronostica vientos mucho menores sobre la región andina en el caso del 10 de agosto (Figuras 5c y 5d), concordando con las observaciones, puesto que el fenómeno se manifestó principalmente en altura. En este caso también se destaca la interrupción de la nubosidad y la

existencia de corrientes más zonales en la tropósfera media. El episodio del 30 de agosto fue también captado con exactitud (Figuras 5e y 5f) ya que en este caso fueron afectadas las localidades ubicadas relativamente más al norte.

Un aspecto importante es que el Eta/CPTEC fue capaz de pronosticar no sólo la ocurrencia del viento Zonda sino también los momentos aproximados de su comienzo y finalización. En todos los casos el modelo pronosticó durante las horas previas viento del oeste relativamente intenso en la región de Malargue, localizada sobre los 36°S donde los Andes son más bajos, pero no sobre las ciudades de Mendoza y San Juan. La finalización de estos episodios, luego de 12 a 18 horas de iniciados, fue también prevista con buena aproximación. Por razones de espacio la Figura 6 ejemplifica sólo el caso del 5 de agosto.

La reconstrucción del sondeo de las 12UTC en Quintero y Mendoza a partir de los pronósticos de 36 horas del Eta/CPTEC indica que el modelo logra captar acertadamente la estructura termodinámica a ambos lados de los Andes (la Figura 7 ilustra el caso del 5 de agosto). En particular puede apreciarse claramente el efecto Zonda por encima de la inversión térmica próxima a la superficie. Por otra parte los valores de T y Td extraídos de los pronósticos y sus gradientes verticales difieren escasamente de los observados. El modelo también logra distinguir las diferencias existentes entre las 3 situaciones analizadas puesto que, por ejemplo, el sondeo de Quintero observado a las 12UTC del 10 de agosto presentó un perfil de humedad considerablemente más seco que en los otros dos casos (figs no incluidas).

Un análisis aún más exigente consiste en comparar las marchas de T y humedad observadas y pronosticadas, tanto sobre el llano como en estaciones de montaña. Las figuras 8a y 8b presentan respectivamente la evolución temporal de T y Td registrada sobre la estación CRICYT (Mendoza) y la obtenida por los pronósticos del Eta./CPTEC en el punto de retículo más cercano para el caso del 5 de agosto de 1999. El viento Zonda se inicia poco después de las 12 UTC y es detectado claramente por un brusco aumento de T y un marcado descenso de Td, que son pronosticados acertadamente en tiempo y razonablemente en magnitud por el modelo. La finalización del evento tiene lugar en horas de la noche, cuando se observa la fuerte caída de T y el aumento de Td. Estas variaciones son bien capturadas por el modelo, inclusive el pico secundario de Td registrado a las 00UTC, a pesar que el enfriamiento post-frontal fue levemente subestimado.

Las figuras 8c y 8d exhiben la evolución de la T y humedad relativa extraídas de las fajas semanales de la estación Las Aguaditas, ubicada sobre la precordillera, y la obtenida a partir de los pronósticos de Eta/CPTEC. La incidencia del Zonda sobre esta región se manifiesta en forma mucho más temprana a través de un secamiento pronunciado en la tarde del día 4 de agosto, que se extiende hasta las primeras horas del día 05, acompañados por un leve aumento de la temperatura. Nuevamente es posible apreciar que este comportamiento es capturado con buena precisión por el pronóstico iniciado a las 00 UTC del día 4 (Fig. 8d).

El episodio ocurrido el 10 de agosto se manifiesta en mayor proporción sobre la pre-cordillera, pues se trató de un caso de Zonda de altura. Este evento tuvo una duración bastante corta sobre la estación Las Aguaditas, donde se observa un calentamiento y secamiento marcados entre las 08 y las 18 UTC del día 10, que fue previsto en forma satisfactoria por el modelo (Fig. 8e). En este caso el Eta/CPTEC previó una duración mayor del fenómeno y no consiguió pronosticar con la misma precisión la evolución de T (Fig 8f). Lamentablemente no fue posible obtener los datos del día 30 de agosto; sin embargo la comparación realizada en la estación Mendoza mostró un buen grado de verificación (Figura no incluida).

Dado que la calidad de las condiciones de contorno pueden influenciar la bondad de los pronósticos, se llevaron a cabo nuevos experimentos en los cuales éstas fueron obtenidas a partir de los análisis del NCEP. Si se comparan los skill-score (calculados como correlaciones entre las anomalías previstas y observadas) de las previsiones y simulaciones puede concluirse, además del alto score del modelo, que la inclusión de condiciones de borde analizadas sólo mejoró la calidad de los pronósticos aproximadamente en un 5% durante las últimas horas de integración. Esto se debe a que si bien el CPTEC/COLA GCM no logró capturar con acierto los detalles de meso escala, produjo pronósticos de buena calidad en escala sinóptica para las tres situaciones elegidas. Una comparación realizada entre

los 3 casos seleccionados reveló que el ocurrido el 30 de agosto se vio relativamente más beneficiado por la inclusión de condiciones laterales analizadas.

5. Conclusiones

En este trabajo se analizan tres eventos clásicos de viento Zonda. El primero de ellos, ocurrido el 5 de agosto de 1999, constituye un episodio severo de superficie, mientras que el acaecido el día 9 del mismo mes ejemplificó un típico viento Zonda de altura. La situación del 30 de agosto fue considerada como un caso moderado que alcanzó el llano.

Los tres fenómenos analizados pudieron ser pronosticados con muy buena precisión por el modelo Eta/CPTEC, con una anticipación aproximada de 48 horas. Este modelo fue capaz de prever la aparición de vientos intensos en la precordillera y de reproducir fielmente los perfiles termodinámicos observados a ambos lados de la Andes. El Eta logró distinguir las diferentes etapas del desarrollo y las diferencias en la intensidad y modalidad de las situaciones estudiadas (Zonda de superficie o altura). A partir de las marchas pronosticadas de temperatura y, especialmente, de humedad fue también posible establecer con bastante precisión la hora de comienzo y fin del fenómeno, tanto en el llano como en las estaciones de montaña. Sin embargo, pudo detectarse una cierta tendencia por parte del modelo a suavizar las curvas horarias, principalmente para la temperatura.

Un aspecto importante es que el efecto orográfico no está presente en los reanálisis del NCEP, hecho que estimula el uso de modelos regionales para el estudio de este tipo de episodios.

A pesar que el número de casos analizados en este trabajo no posee significado estadístico, los excelentes resultados alcanzados con el modelo Eta/CPTEC alientan su uso con fines de pronóstico. Esto representaría un gran avance científico, pues hasta el momento la predicción de estos episodios se realiza únicamente con bases estadísticas a través de probabilidades de ocurrencia para algunas categorías de intensidad. La posibilidad de integrar el modelo en un recinto limitado a la región de estudio con una resolución horizontal y vertical adecuadas (por ejemplo a través del anidado numérico) permiten vislumbrar la oportunidad de prever con una antecendencia y precisión interesantes la intensidad de los vientos descendentes y las consecuentes variaciones de temperatura y humedad, tanto sobre las localidades de montaña como en el llano. Este aspecto tiene una importancia y un impacto social destacado sobre la región de Cuyo, ya que en muchas oportunidades el viento Zonda causa daños materiales e inclusive pérdidas humanas. En este sentido una tarea futura consistirá en evaluar la calidad de los pronósticos del Eta/CPTEC durante todo el período de uso operativo.

8. Referencias

- Black T.L., 1994: NMC Notes: The New NMC mesoscale Eta model: Description and forecast examples. *Wea and Forecasting*, **9**, 256-278.
- Lichtenstein E.R., 1980: 'La Depresión del Noroeste Argentino'. Tesis Doctoral. UBA. 223 pp.
- Mesinger F., 1984: A blocking technique for representation of mountains in atmospheric models. *Riv. Meteor. Aeronaut*, **44**, 195-202.
- Norte F.A., 1988: Características del viento Zonda en la Región de Cuyo. Tesis doctoral. UBA
- Norte F.A. Seluchi M.E. (1993) Objective methods for the Zonda forecasting using information from surface and height. *Proceedings of the 3rd Int.l Conf. SH Met and Oc*, A.M.S., Hobart, Australia.
- Norte, F. M. Silva (1995) "Predicting severe versus moderate Zonda wind in Argentina". 14th Conference on Weather Analysis and Forecasting" Dallas, Texas, E.E.U.U.. Pag. 128-129.
- Norte F.A., 1999: "A Hybrid Expert System for the Prediction of extreme meteorological situations such as the Zonda wind in the Cuyo Region, Western Argentina". Southern Hemisphere Paleo- and Neoclimates. Key sites, Methods Data and Models 172-173. Smolka, PP, University of Muenster, Springer - Verlag Berlin/Heidelberg 1999.

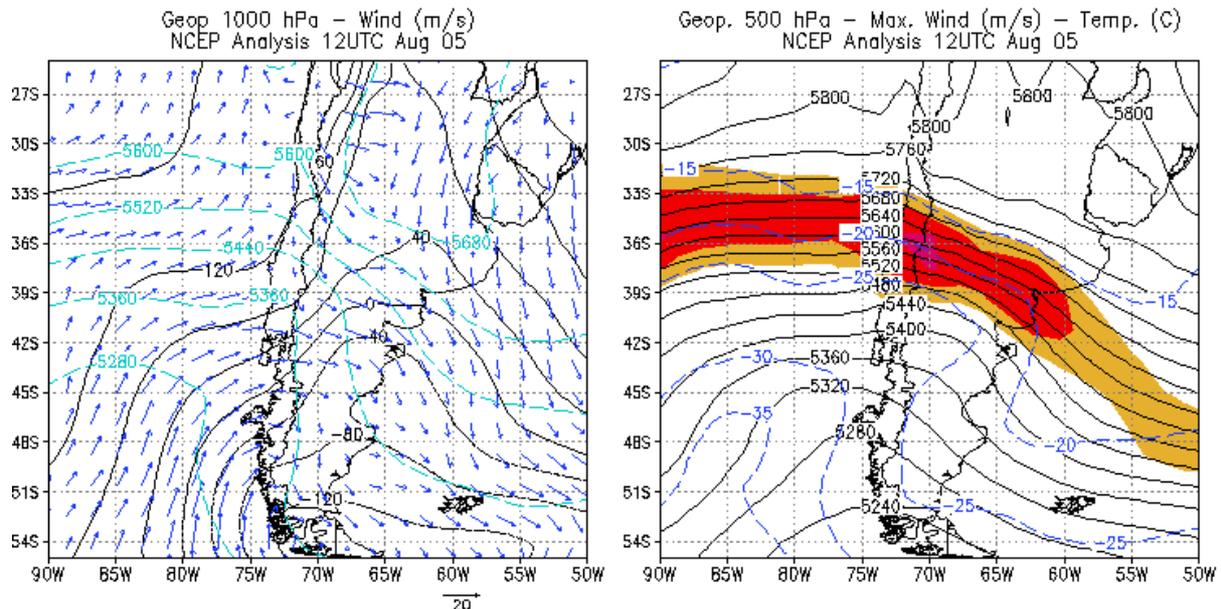


Figura 1: 5 de agosto de 1999 12UTC (análisis del NCEP). *izquierda:* geopotencial de 1000 hPa (líneas continuas) (m²g), espesor 500/1000 hPa (líneas quebradas) (m²g) y vientos a nivel anemométrico (vectores) (m/s). *derecha:* altura geopotencial hPa (líneas continuas) (m²g), temperatura (líneas quebradas) y vientos mayores a 40m/s (sombreado, intervalo 20m/s) en el nivel de 500 hPa

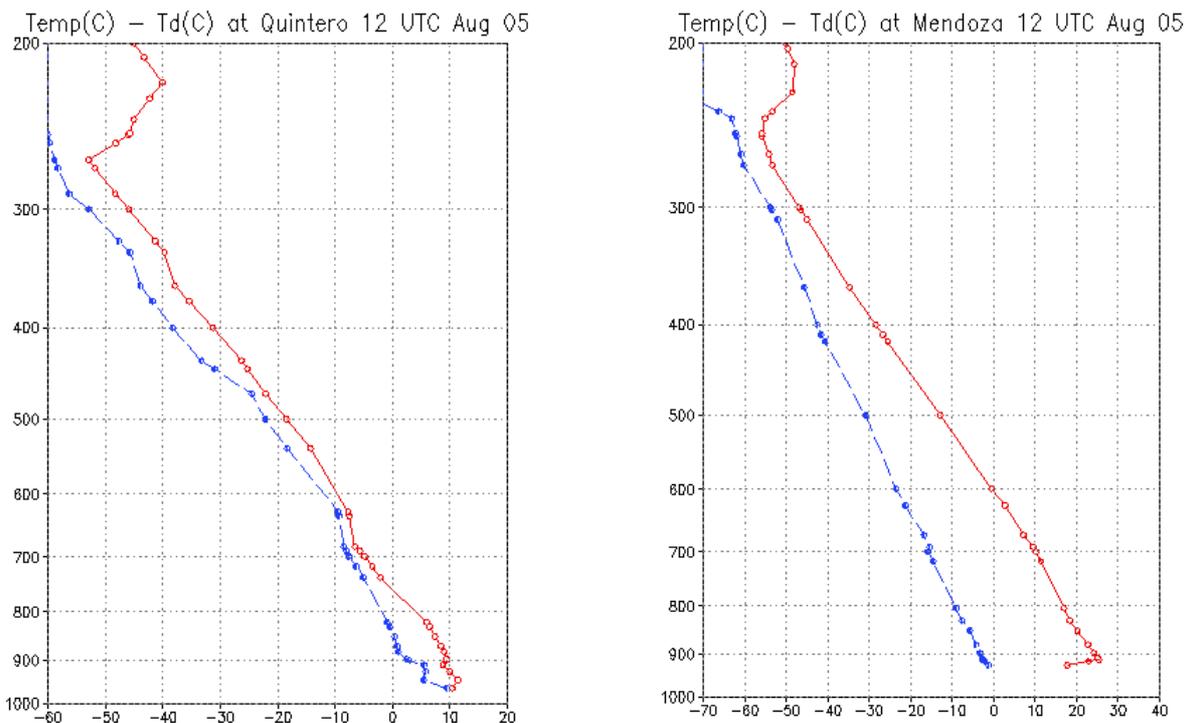


Figura 2: Sondeos aerológicos efectuados las 12 UTC del día 5 de agosto de 1999 en las estaciones Quintero (izquierda) y Mendoza (derecha).

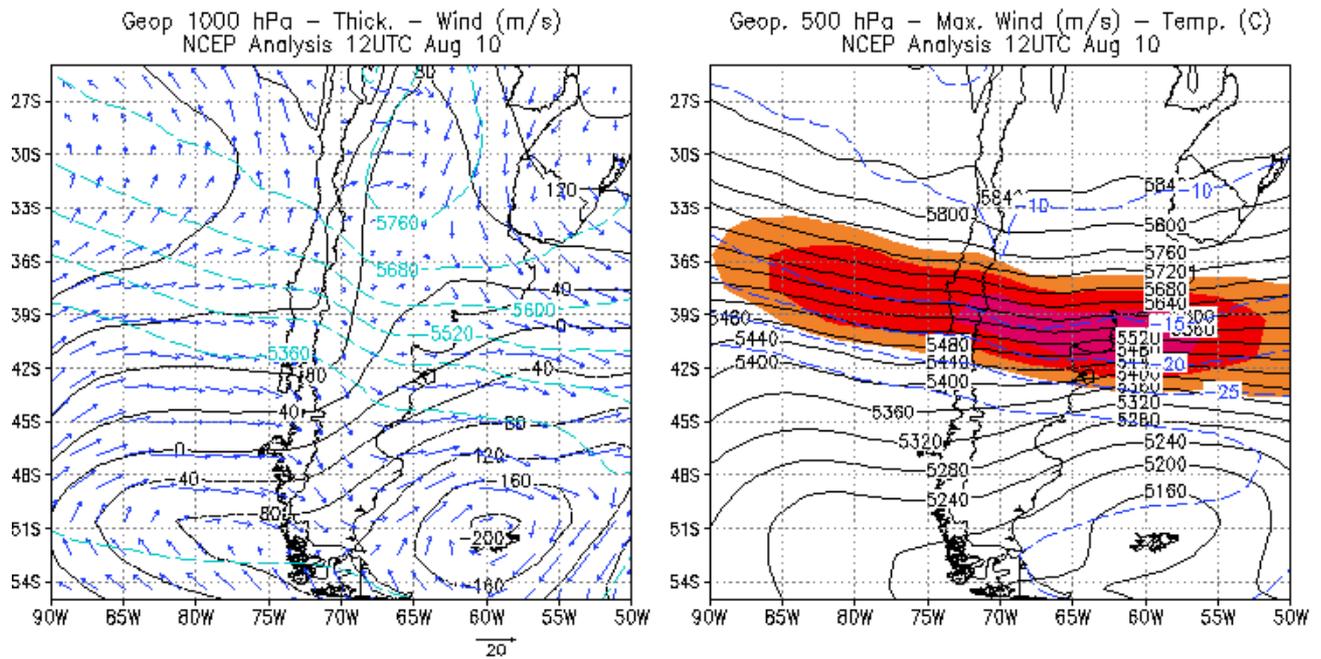


Figura 3 : Idem figura 1 a las 12UTC del día 10 de agosto de 1999

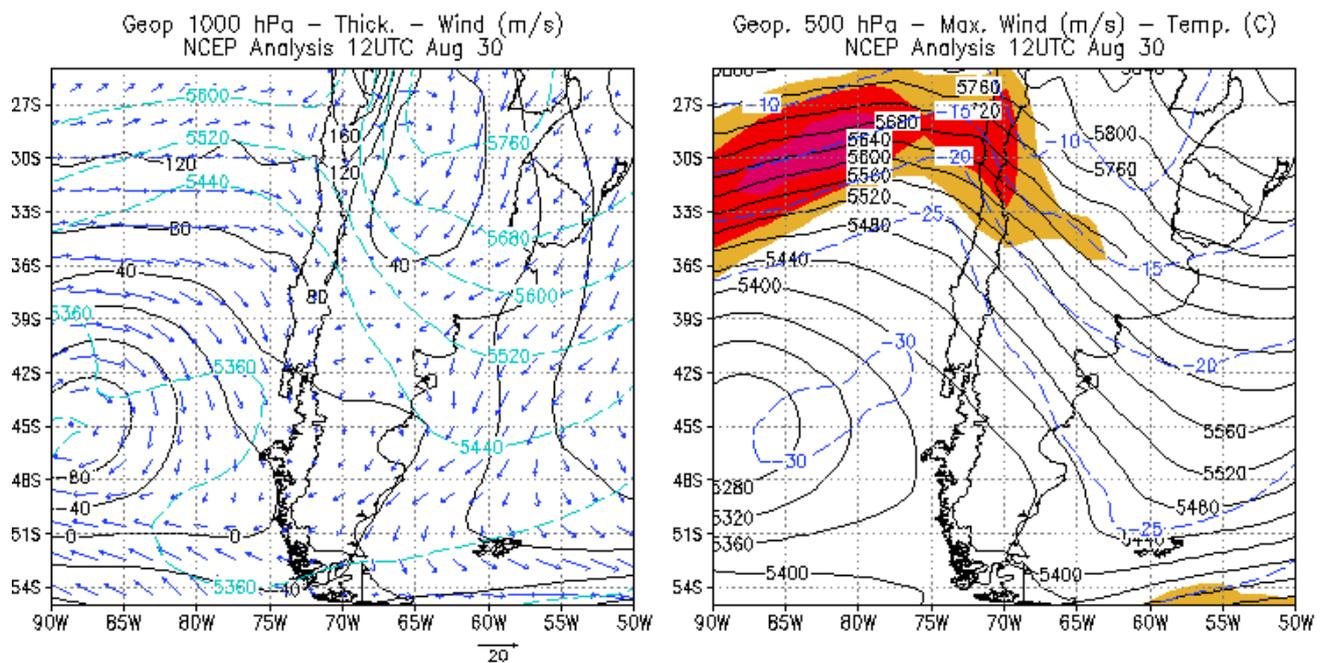


Figura 4 : Idem figura 1 a las 12UTC del día 30 de agosto de 1999

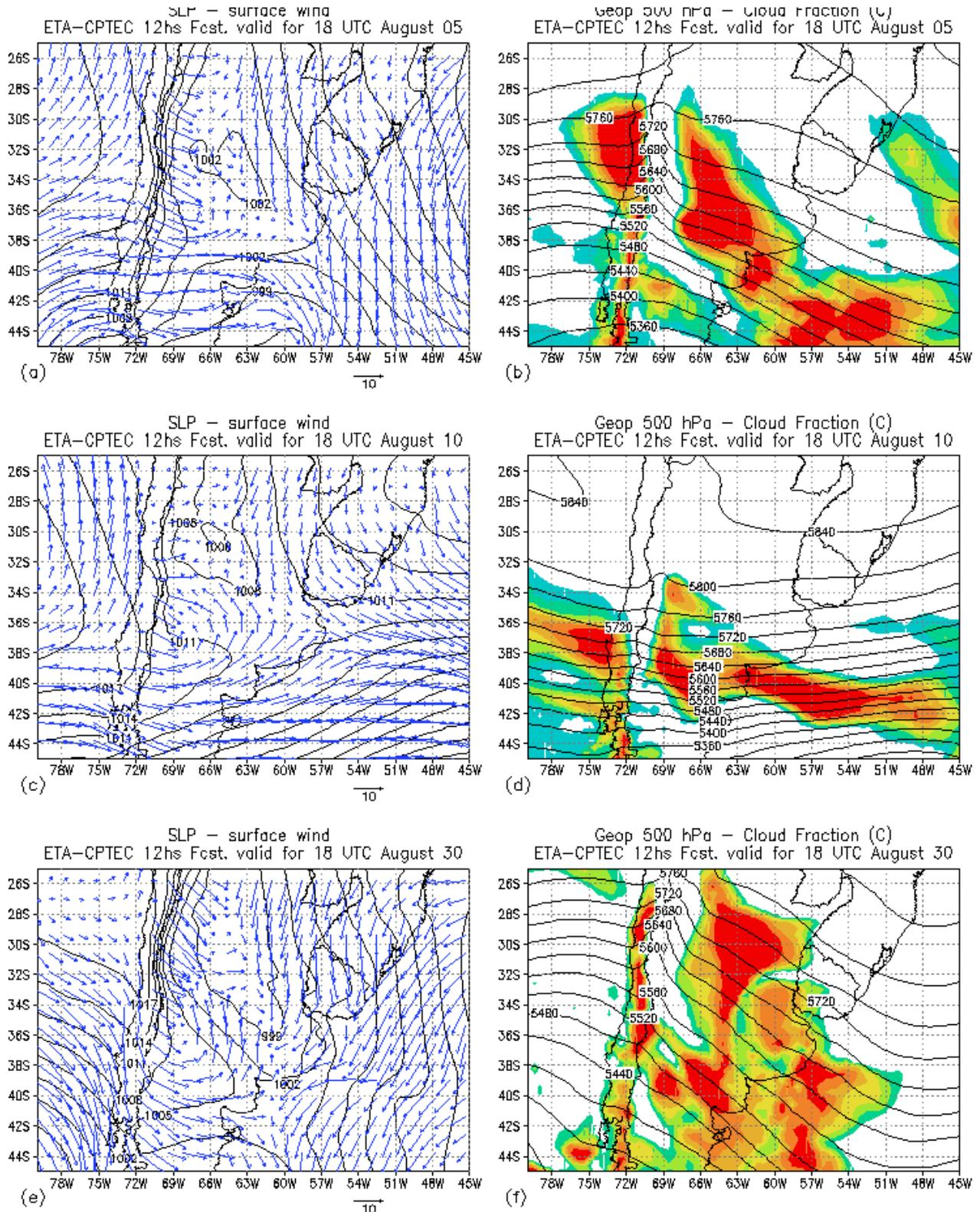


Figura 5: Pronósticos emanados del modelo Eta/CPTEC (para un plazo de 42 horas) para el momento aproximado de irrupción del Zonda sobre la ciudad de Mendoza en las tres situaciones analizadas (18 UTC del 5 de agosto, (figs. a y b), 18 UTC del 10 de agosto (figs c y d) y 18 UTC del 31 de agosto) (figs e y f)). *izquierda:* Presión reducida al nivel del mar (líneas continuas) (hPa) y viento a nivel anemométrico (vectores) (m/s). *derecha:* altura geopotencial del nivel de 500 hPa (líneas continuas) (mgp) y nubosidad.

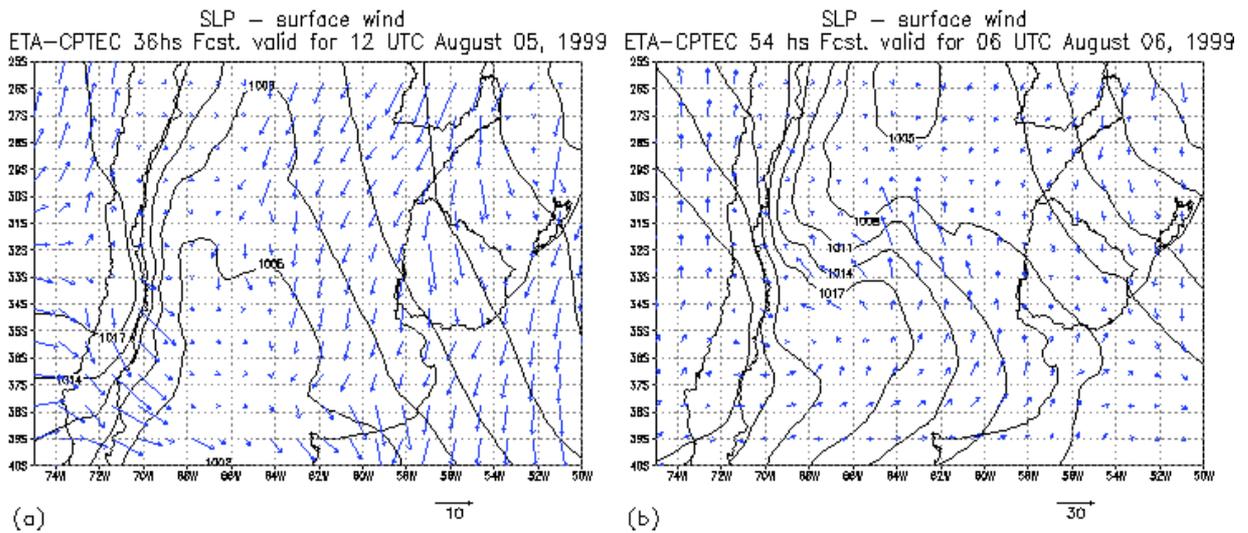


Figura 6: Pronósticos emanados del modelo Eta/CPTEC para las 12 UTC del 5 de agosto (36 horas de plazo) y para las 00 UTC del día 6 de agosto (54 hs de plazo). Las líneas representan la presión reducida al nivel del mar (hPa) y los vectores del viento a nivel anemométrico (m/s).

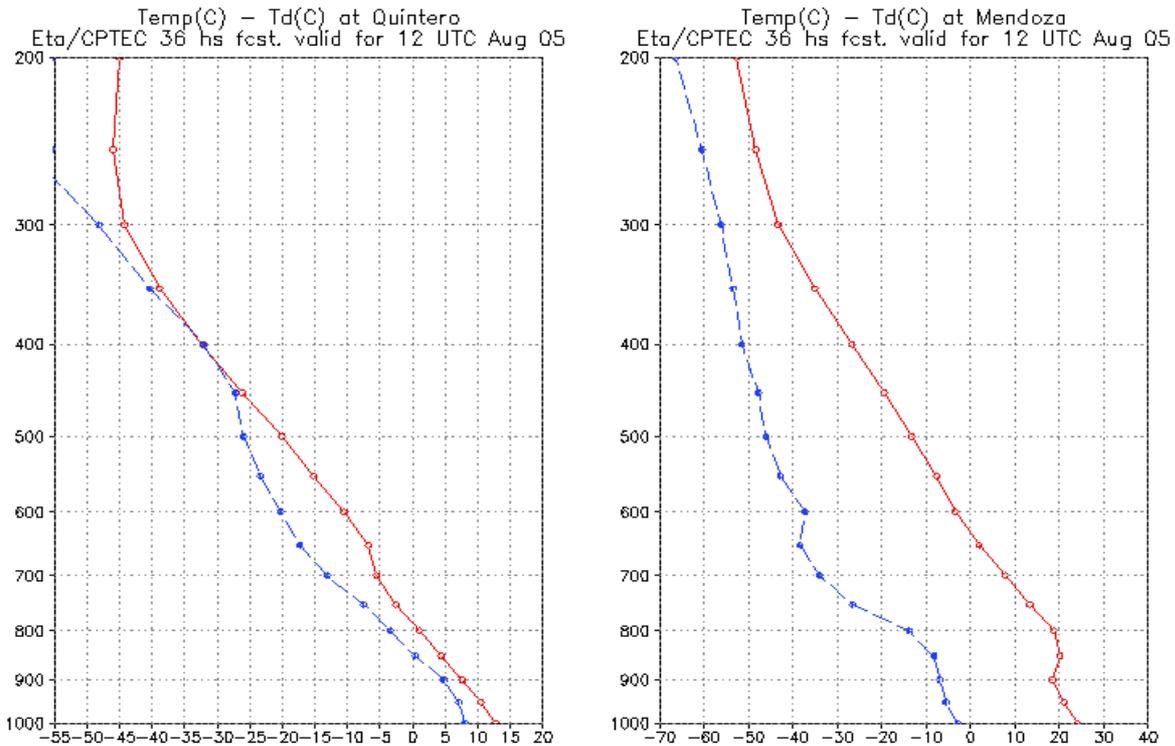
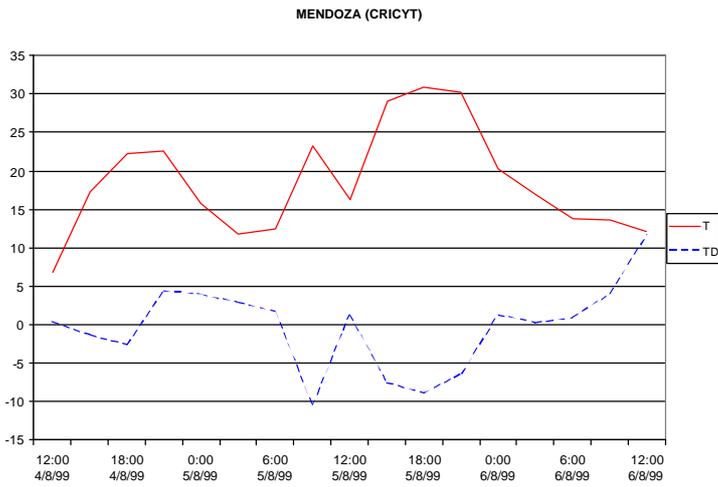
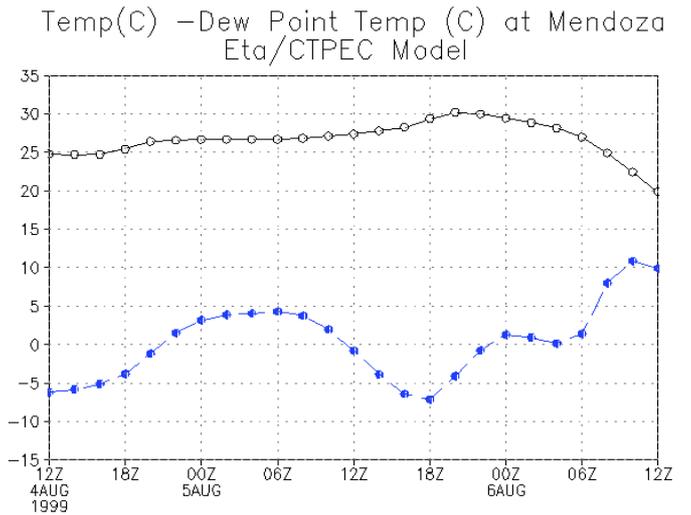


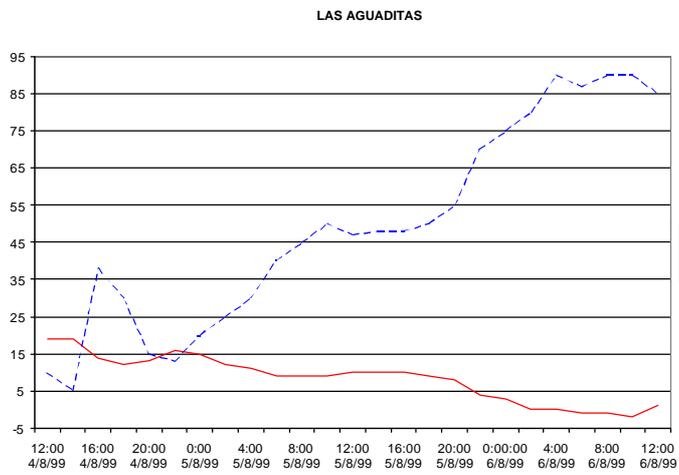
Figura 7: Perfiles verticales de temperatura (líneas llenas) (°C) y temperatura de rocío (líneas quebradas) (°C) pronosticados por el modelo Eta/CPTEC en los puntos de retículos más cercanos a las estaciones Quintero (izquierda) y Mendoza (derecha) para las 12 UTC del día 5 de agosto



(a)

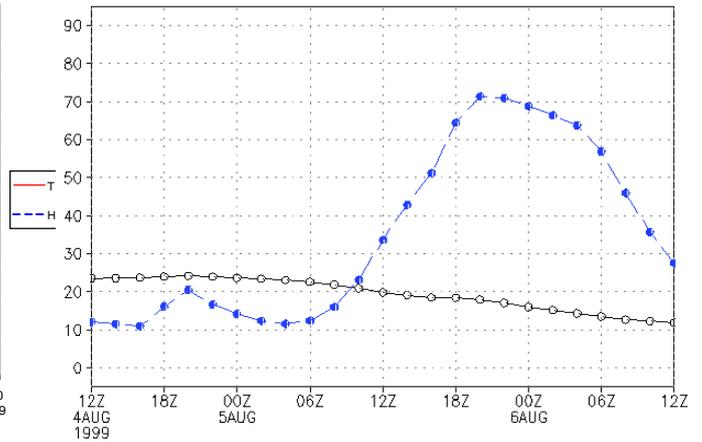


(b)

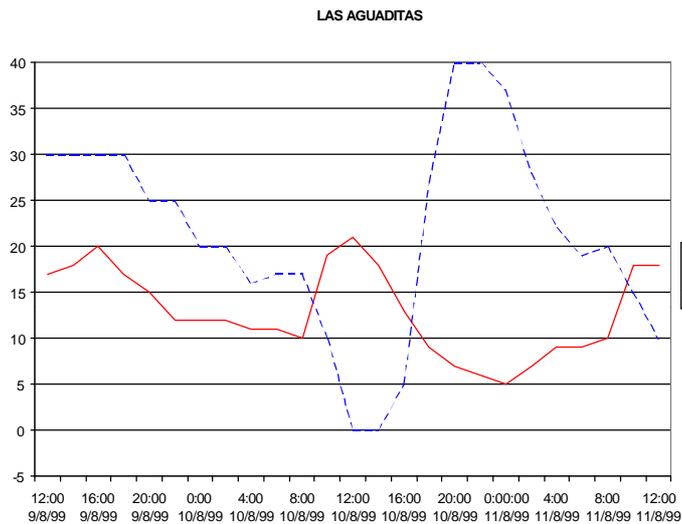


(c)

Temp(C) - Rel. Hum (%) at Aguaditas Eta/CTPEC Model

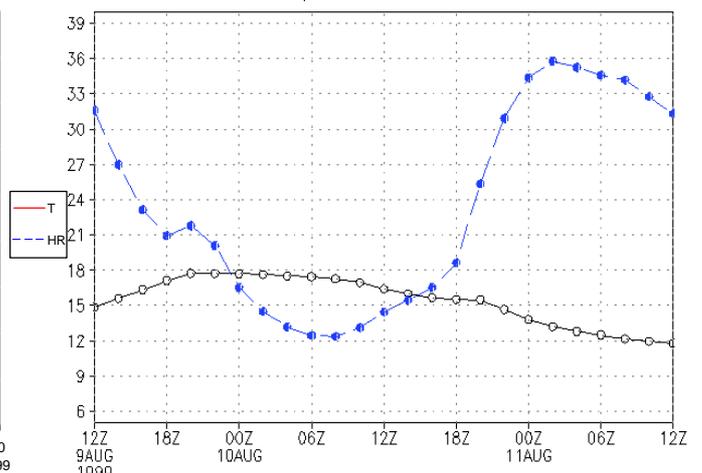


(d)



(e)

Temp(C) - Rel. Hum (%) at Aguaditas Eta/CTPEC Model



(f)

Figura 8: Marcha de T (°C) (líneas continuas) y Td (°C) (líneas quebradas) observadas (a) y pronosticadas (b) sobre Mendoza para la situación del 5 de agosto de 1999. Figs (c) y (d) Idem (a) y (b) para la estación Las Aguaditas, situada en la precordillera andina. Figs (e) y (f) Idem (c) y (d) para la situación del 10 de agosto de 1999.