

UNA VERIFICACIÓN DE PRONÓSTICOS PROBABILÍSTICOS DE PRECIPITACIÓN

Nora E. Ruiz y Héctor H. Ciappesoni¹

Departamento de Ciencias de la Atmósfera

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires

¹Servicio Meteorológico Nacional

RESUMEN

En este trabajo se han aplicado los resultados provenientes de un estudio climático sinóptico de campos de variables meteorológicas de altura en relación con el diagnóstico y pronóstico de la precipitación en distintas localidades de Argentina. Se realizó una evaluación de pronósticos de probabilidad de precipitación diaria a 24 horas durante el año 1993 (de enero a noviembre) para tres localidades de la provincia de Buenos Aires. Estos pronósticos provienen de regresiones estadísticas basadas en predictores seleccionados, los cuales representan una síntesis objetiva de la información sinóptica en 500 mb.

Se efectuaron las verificaciones de este sistema experimental de pronóstico probabilístico de precipitación diaria que fue adaptado e implementado para su uso operativo en la Oficina de Pronóstico del Servicio Meteorológico Nacional, en la zona de Capital Federal y Gran Buenos Aires (representada por la estación meteorológica Ezeiza), en el centro de la provincia de Buenos Aires (Azul) y en el sudoeste de la misma (Bahía Blanca). Las verificaciones del método de pronóstico propuesto tanto en forma regional o areal como en términos probabilísticos han sido relativamente buenas, no así las verificaciones hechas en forma categórica. El pronóstico de la precipitación es sumamente complicado por lo que se hace necesario focalizar su tratamiento en forma probabilística y areal.

De todas maneras, dado que el método tiene en cuenta parámetros que están directamente relacionados con los mecanismos que provocan movimientos verticales de ascenso que son necesarios para la producción de precipitación, el seguimiento diario de la evolución de la probabilidad de precipitación da una idea clara de las perturbaciones sinópticas que pueden afectar la región bonaerense.

Palabras claves: precipitación, modelos numéricos, climatología sinóptica.

ABSTRACT

In this work results obtained from a synoptic-climatological study based on meteorological variables and their relationship with precipitation have been applied in order to contribute to the objective interpretation of numerical weather products from the large-scale in terms meteorological weather at surface by means of statistical methods. Evaluation of daily precipitation probability forecasts has been performed during 1993 (January to November) for three meteorological stations of the Province of Buenos Aires. These probability forecasts come from statistical regressions based on selected predictors, which represent an objective synthesis of 500 mb synoptic information. Verification of this weather forecasting system has been performed considering Ezeiza, Azul y Bahía Blanca.

Verification results in regional terms and in probabilistic terms have been relatively good. It is not the case for categorical verifications. The problem of precipitation forecast is highly complex so that it is necessary to carry it out mainly in probabilistic and areal terms. Anyway, since the method proposed takes into account parameters related to mechanisms involved in

Una verificación de pronósticos probabilísticos de precipitación.

synoptic vertical motion that favour precipitation, the daily evolution of this probability of precipitation clearly reflects the synoptic perturbations that may affect the region of Buenos Aires.

Keywords: precipitation, numerical models, synoptic climatology.

1. INTRODUCCIÓN

La gran complejidad de los procesos responsables de la precipitación en una localidad dada hace que los modelos determinísticos de pronóstico de precipitación sean prácticamente inutilizables, al menos en nuestro país, desde un punto de vista operativo. De ahí que las técnicas estadísticas se deban emplear necesariamente para este propósito.

Uno de los métodos más usados que combina los modelos numéricos (dinámicos) de predicción del tiempo con los modelos estadísticos es el método "perfect prog" (Glahn, 1982). Con esta técnica se hace uso de los archivos de datos disponibles (registros históricos) para derivar relaciones estadísticas entre el elemento meteorológico en cuestión, en este caso la precipitación diaria, y valores concurrentes de distintos parámetros de la circulación que sean relevantes. Estas relaciones o ecuaciones de regresión se pueden aplicar luego a las salidas pronosticadas provenientes de los modelos numéricos, que simularían la circulación observada, obteniéndose así pronósticos automáticos de un dado elemento. Este trabajo tiene el objetivo de verificar los resultados de una técnica para producir pronósticos probabilísticos de precipitación diaria. Cabe mencionar que el desarrollo y la implementación de métodos estadísticos objetivos de diagnóstico y/o pronóstico pueden resultar una ayuda o considerarse como una guía para los pronosticadores en el momento de formular la previsión.

El trabajo de investigación presente es una continuación de trabajos previos del autor sobre pronóstico de ocurrencia de precipitación diaria combinando métodos estadísticos y numéricos (Ruiz y Vargas, 1998; Ruiz *et al.*, 1999; Ruiz, 2001) que tienen el propósito de contribuir a la interpretación objetiva de los productos del análisis y la predicción numérica de gran escala en términos de fenómenos de tiempo meteorológico en superficie, como es la precipitación. En este estudio se trata de evaluar la eficiencia de la vorticidad relativa en 500 mb, como variable representativa de la circulación, en la previsión de la lluvia a través de la verificación de los pronósticos objetivos obtenidos.

La metodología aplicada para la selección de los predictores que conforman el sistema de pronóstico estadístico que se verificará se señala brevemente en la sección 2, al igual que la base de datos utilizada. En la sección 3 se realiza una evaluación y verificación de los pronósticos de probabilidad de precipitación diaria a 24 horas durante el año 1993 (de enero a noviembre) para la zona de Capital Federal y Gran Buenos Aires (representada por la estación meteorológica Ezeiza), el centro de la provincia de Buenos Aires (Azul) y el sudoeste de la misma (Bahía Blanca), y se discuten distintos métodos de verificación. Finalmente, en la sección 4 se presentan las conclusiones.

2. BASE DE DATOS Y METODOLOGÍA

Se utilizaron los análisis objetivos diarios de alturas geopotenciales en 500 mb de las 12:00 UTC elaborados en el SMN desde junio de 1983 a julio de 1987, y se calcularon los

campos de vorticidad geostrófica relativa, que es uno de los parámetros más vinculados a los movimientos verticales, para representar la circulación atmosférica de la gran escala. Se emplearon en este estudio los datos de precipitación diaria correspondientes al mismo período de las estaciones Ezeiza, Azul y Bahía Blanca. La ocurrencia de precipitación se consideró como una variable dicotómica, con valor 1 si la precipitación acumulada desde las 9 h de un día hasta las 9 h del día siguiente era ≥ 0.1 mm, y 0, en el caso contrario. La muestra total se separó en dos: época cálida (de noviembre a abril) y época fría de mayo a octubre).

Se estudió la climatología sinóptica de la precipitación (predictando) en relación con los campos de vorticidad de 500 mb (considerando cada punto de grilla como potencial predictor representante de la circulación de la gran escala). La capacidad de esta variable para discriminar la ocurrencia o no-ocurrencia de precipitación en diferentes localidades del país se evaluó mediante la obtención de campos de correlación biserial (Ruiz, 2002), asumiendo la precipitación como una variable binaria. En particular esta técnica permite visualizar la circulación de escala sinóptica y la distribución de los centros de vorticidad ciclónica y anticiclónica en el nivel de 500 mb asociados con la precipitación, además de los gradientes involucrados. Se advierte que cada localidad exhibe un patrón diferente de anomalías de vorticidad asociado con la lluvia respectiva que responde al comportamiento climático-dinámico de la tropósfera media que favorece los movimientos verticales de escala sinóptica tendientes a la producción de precipitación, como se discute en Ruiz, 2001.

A través de esta metodología se seleccionó un conjunto de predictores posibles (los puntos de grilla o zonas mejor correlacionadas con la lluvia, es decir, los que explican la mayor parte de la variabilidad del predictando) para generar un sistema de pronóstico objetivo de precipitación. Para ello, mediante el empleo de técnicas estadísticas de pronóstico, Análisis Discriminante Múltiple (Miller, 1962) y Estimación de la Regresión de las Probabilidades de un Evento (Miller, 1964), se evaluaron ecuaciones de regresión, las cuales se implementaron en forma operativa en el sistema de pronóstico del SMN. Los predictores de lluvia seleccionados y las ecuaciones de regresión en cada caso se encuentran explícitamente indicados en Ruiz y Vargas, 2001.

3. VERIFICACIÓN

3.1. Muestra independiente.

La muestra independiente utilizada en la verificación corresponde al año 1993, desde enero a noviembre, exceptuando septiembre (los análisis diarios en 500 mb de este mes no estaban disponibles). Con respecto a la precipitación, se utilizaron las series diarias de Ezeiza, Azul y Bahía Blanca, y adicionalmente se contó con la información de precipitación diaria de las estaciones meteorológicas del país facilitadas por el Centro de Cómputos del SMN.

3.2. Resultados y discusión.

Una verificación de pronósticos probabilísticos de precipitación.

Como se mencionó previamente, se generaron dos conjuntos separados de ecuaciones para el predictando precipitación; por lo tanto, la verificación se hará teniendo en cuenta si el mes es cálido o frío de acuerdo con la estratificación propuesta.

a) Porcentajes de acierto.

En primera instancia, se evaluaron los porcentajes de acierto mensuales en base a tablas de contingencia construidas suponiendo acierto si la probabilidad de precipitación superaba (era inferior) a la probabilidad climatológica de precipitación y en efecto precipitaba (no precipitaba). Esto implicaría un pronóstico categórico de ocurrencia o no-ocurrencia de lluvia. Los porcentajes de acierto mensuales, figura 1, oscilan entre 40% y 80%, con un promedio anual de 61% para Buenos Aires, 55% para Azul y 63% para Bahía Blanca. Estos resultados son comparables a los obtenidos en la muestra dependiente, los que se hallaban entre 60% y 70% (Ruiz y Vargas, 2001), por ello se puede extraer la conclusión de que las ecuaciones de regresión de las cuales proviene este pronóstico son bastante estables y son válidas para el nuevo conjunto de datos.

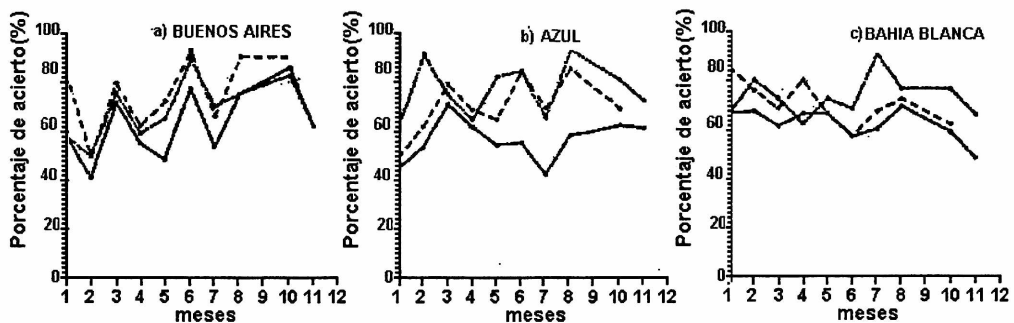


Figura 1. Porcentajes de acierto de los pronósticos probabilísticos de precipitación diaria en el año 1993 suponiendo acierto si la probabilidad de precipitación diaria pronosticada es: 1) > probabilidad climática (—), 2) > probabilidad climática y llovió en alguna estación dentro de los 300 km (---) y 3) > 40% (...) para a) Buenos Aires, b) Azul y c) Bahía Blanca. La información del mes de septiembre está ausente.

De todos modos, estos porcentajes de acierto no son tan buenos; sin embargo, si los mismos se evalúan considerando acierto de pronóstico de lluvia si al menos precipitó en alguna estación dentro de un radio de 300 km (verificación regional y no puntual), estos porcentajes de acierto mejoran notablemente, sobre todo en Buenos Aires y Azul (figura 1), con un promedio anual de 73%, 67% y 71%, respectivamente para cada estación. (El radio definido para la verificación regional podría reducirse si se dispusiera de la información de una red pluviométrica más densa y de series completas).

Por otro lado, si se establece que a través del método propuesto necesariamente se debe tomar una decisión entre las dos posibilidades, sí/no precipitación, se debe predeterminar el criterio de decisión estadística a usar, esto es, a partir de qué probabilidad se acepta una alternativa u otra. La elección de este valor crítico de probabilidad depende de un compromiso entre el error producido por las "sorpresas" (no se pronosticó precipita-

ción y llovió) y el error producido por las "falsas alarmas" (se pronosticó precipitación y no llovió). De acuerdo a lo que el usuario priorice con respecto a los costos o pérdidas provocadas por un tipo de error u otro, el valor apropiado de esta probabilidad crítica se puede modificar.

En el caso de estudio se asumió un valor crítico arbitrario de 40%, con lo que se redujo la probabilidad de que existan falsas alarmas en desmedro de los aciertos de lluvia. No obstante, los porcentajes de acierto (figura 1) fueron mayores que en la primera situación, particularmente en Azul y Bahía Blanca (promedios anuales de 66%, 73% y 74% para Buenos Aires, Azul y Bahía Blanca, respectivamente). Esto podría deberse a que en general el método sobrestima la probabilidad de precipitación y con una probabilidad crítica o de corte mayor se evita, en parte, este problema, aunque por otro lado se favorecen los casos de acierto sin precipitación que es lo que climatológicamente predomina en la provincia de Buenos Aires.

b) Skill-Score.

Una forma de evaluar si estos pronósticos son mejores a los que se hubieran obtenido mediante la predicción de la probabilidad climatológica del lugar es a través del índice Skill-Score (Panofsky y Brier, 1965). En la figura 2 se muestran los valores obtenidos. Con la probabilidad de corte igual a la climatológica, los resultados son malos (con excepción de algunos meses en Buenos Aires), especialmente en Azul. Nuevamente, la verificación regional es bastante buena (Skill-Score de 0.43, 0.27 y 0.26 para Buenos Aires, Azul y Bahía Blanca, respectivamente) y la verificación bajo la condición de probabilidad de corte de 40% es fluctuante, dado que su tendencia a la no precipitación, como se mencionó antes, es castigada por este parámetro.

c) Errores en el pronóstico categórico de precipitación.

Con respecto a los errores por sorpresa y falsa alarma que se detectaron en esta verificación (con probabilidad de corte igual a la climatológica), se puede señalar lo siguiente teniendo en cuenta lo que sucedió en el día previo:

1) Falsas alarmas. Sólo en el 15% de los casos el método sigue pronosticando precipitación cuando ya dejó de llover. Esto significa que, en general (85%), los errores de sobrestimación de días con lluvia por parte del pronóstico provienen de situaciones en las que en el día o los días previos había manifestaciones de circulación anticiclónica en altura (45%) o de situaciones donde el método detecta el pasaje de una vaguada sin precipitación asociada (39%). Al comparar estos errores se observa que existe un leve predominio del método a sobrestimar el pronóstico de precipitación en situaciones meteorológicas con características anticiclónicas que, en particular, pueden ser bien reconocidas por el pronosticador (es decir, existen elementos en principio visibles para sospechar que este pronóstico es falso).

2) Sorpresas. En la mitad de los casos de errores por sorpresa el método detectó una perturbación dinámica el día anterior, la cual provocó lluvia en ese día previo en el 30% de los casos y en el 17% no. En la otra mitad el método no detectó ninguna perturbación con anterioridad, aunque sí existió en el 31% de los casos que resultaron ser sorpresas también, y en el 20% restante no. Para un pronosticador en una Oficina de Pronósticos, la situación más comprometida es pronosticar la ocurrencia de precipitación dado que el día anterior no llovió porque, en los otros casos, el hecho de que haya llovido el día previo lo

Una verificación de pronósticos probabilísticos de precipitación.

alerta, y desde este punto de vista el valor de la predicción es mayor en el primer caso, donde el error es del 20% dentro de todos los errores por sorpresa.

Por lo expuesto arriba, sería importante que el pronosticador siguiera la evolución diaria del pronóstico probabilístico de precipitación, como se verá más adelante.

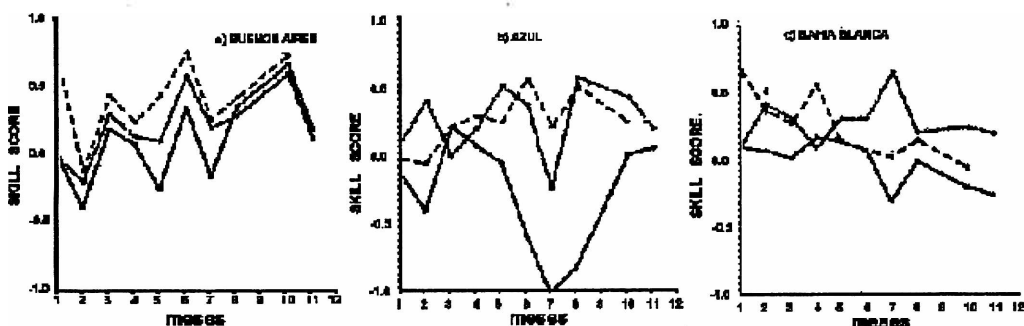


Figura 2. Índices Skill-Score de los pronósticos probabilísticos de precipitación diaria en el año 1993 suponiendo acierto si la probabilidad de precipitación diaria pronosticada es: 1) > probabilidad climática (—), 2) > probabilidad climática y llovió en alguna estación dentro de los 300 km (---) y 3) > 40% (...) para a) Buenos Aires, b) Azul y c) Bahía Blanca. La información del mes de septiembre está ausente.

d) Pronósticos probabilísticos.

Es necesario advertir que al reducir el pronóstico de precipitación a un problema dicotómico, sí/no, se incurre generalmente en un grave error como consecuencia de la naturaleza física tan compleja de este fenómeno meteorológico, a pesar de que el mismo presente una cierta organización temporal y espacial (Barrera, 1988). Tampoco es recomendable su pronóstico en forma puntual dada la gran variabilidad espacial de la precipitación, si bien existen configuraciones espaciales de correlación características asociadas a los distintos sistemas precipitantes (Barrera, 1988). Por estas razones, surge la necesidad del tratamiento y uso del pronóstico de la precipitación en términos probabilísticos.

Para su verificación se empleó el estadístico *P* (Panofsky y Brier, 1965) definido como

$$P = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^N (f_{ij} - E_{ij})^2$$

donde:

r = categorías de la variable pronosticada (aquí *r*=2, sí precipita (*r*=1) o no precipita (*r*=2))

f_{ij} = probabilidad pronosticada

E_{ij} = variable que toma el valor 1 ó 0 de acuerdo a si el evento ocurrió en la categoría *j* o no

Para pronósticos perfectos este parámetro será nulo y para los peores pronósticos posibles valdrá 2. (El peor pronóstico posible es pronosticar probabilidad 1 o certeza para un evento que no se materializó, o lo contrario).

Si p_1, \dots, p_r son las probabilidades climatológicas respectivas de cada categoría 1, ..., r y si diariamente se las pronostica, entonces P llegará a un valor límite (P_c) y valdrá:

$$P_c = 1 - \sum_{j=1}^r p_j^2$$

En la tabla siguiente se indican estos valores críticos para cada época y localidad para que sean comparados con los obtenidos mensualmente (figura 3).

Estación	invierno			verano		
	p_1	p_2	P_c	p_1	p_2	P_c
Buenos Aires	0.27	0.73	0.39	0.30	0.70	0.42
Azul	0.24	0.76	0.36	0.27	0.73	0.39
Bahía Blanca	0.23	0.77	0.35	0.27	0.73	0.39

En general, se puede observar que en términos probabilísticos los pronósticos han sido mejores que en términos categóricos. El promedio de P en Buenos Aires en la época fría es 0.36 y en la estival, 0.49, con lo cual se evidencia que en invierno los pronósticos probabilísticos superan a la climatología y, por otra parte, son mejores que en verano, al menos para la muestra del año 1993. En Bahía Blanca, tanto en invierno como en verano los pronósticos probabilísticos de precipitación son relativamente buenos. (Observar que, por ejemplo, en febrero, julio, agosto u octubre el Skill-Score (figura 2) es nulo o negativo, pero desde el punto de vista probabilístico los pronósticos han sido bastante buenos).

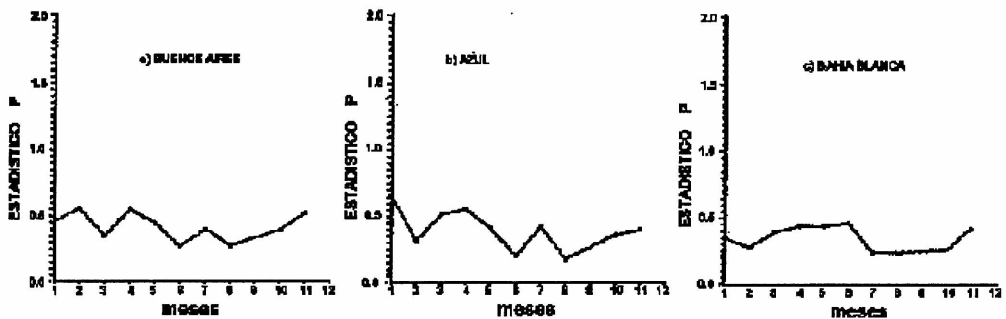


Figura 3. Estadístico P de los pronósticos probabilísticos de precipitación diaria en el año 1993 para a) Buenos Aires, b) Azul y c) Bahía Blanca. La información del mes de septiembre está ausente.

De todos modos, dado que el método tiene en cuenta parámetros que están directamente relacionados con los mecanismos que provocan movimientos verticales de ascenso que son necesarios para la producción de precipitación, no sólo es importante para el pronosticador el valor aislado de la probabilidad, sino el seguimiento diario de su

Una verificación de pronósticos probabilísticos de precipitación.

evolución (lo que da una idea clara de las perturbaciones sinópticas que pueden afectar la región bonaerense). En la figura 4 se muestra la evolución diaria de las probabilidades de precipitación para algunos meses particulares.

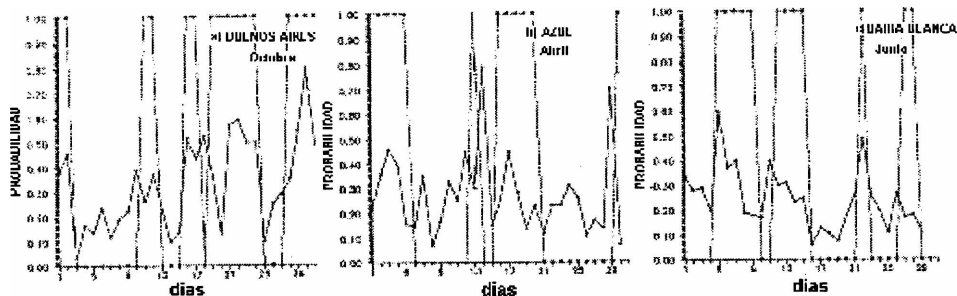


Figura 4. Evolución temporal de los pronósticos probabilísticos de precipitación diaria (—) y precipitación observada como variable binaria (...) para a) Buenos Aires en octubre, b) Azul en abril y c) Bahía Blanca en junio del año 1993.

Observemos que, en Buenos Aires en octubre P tiene un valor de 0.40 (aproximadamente el climatológico) y, sin embargo, la marcha diaria de la probabilidad guarda una estrecha relación con lo que realmente ocurrió, señalando, por ejemplo, desde el día 3 al 9 la presencia de condiciones anticiclónicas (secas) o desde el 15 al 24, de condiciones ciclónicas (exceptuando el día 20).

En Azul en el mes de abril, la relación también es buena, y aunque el pico del día 14 es alto y no precipitó en Azul, sí lo hizo en los alrededores. Lamentablemente no se dispuso de datos pluviométricos de las estaciones vecinas para evaluar el pico del día 29.

En Bahía Blanca para el mes de junio, es notable la correspondencia entre la probabilidad y la precipitación ocurrida, sin embargo, P fue de 0.47 (figura 3).

4. CONCLUSIONES

Se efectuaron las verificaciones del sistema experimental de pronóstico probabilístico de precipitación diaria desarrollado para tres localidades de la provincia de Buenos Aires que fue adaptado e implementado para su uso operativo en la Oficina de Pronóstico del SMN.

En cuanto a la verificación de los pronósticos en forma categórica y puntual, los resultados no son buenos. Pero es sabido que no es posible localizar exactamente en qué punto va a llover dentro de un área afectada por un sistema precipitante, dada la naturaleza estocástica de la precipitación. Lo que sí es posible es establecer una probabilidad de que estos sistemas afecten a la provincia de Buenos Aires mediante la extracción y síntesis de la información de la circulación de escala sinóptica que es, en parte, responsable de su formación. De aquí que las verificaciones del método de pronóstico propuesto tanto en forma regional o areal como en términos probabilísticos hayan sido relativamente exitosas. Se debe insistir en que el problema del pronóstico de la precipitación es sumamente

complicado por lo que se hace necesario focalizar su tratamiento en forma probabilística y areal.

Por otra parte, dado que la metodología utilizada permite disponer de una predicción automática y objetiva sobre la base de las salidas de modelos numéricos de pronóstico del tiempo a 24, 48, 72 y 96 horas, es posible obtener las probabilidades de precipitación pronosticadas para estos lapsos de tiempo, lo que constituye una herramienta objetiva importante para el pronosticador en el momento de formular los pronósticos.

Cabe aclarar que las regresiones estadísticas empleadas no incluyen ninguna medida de la humedad como predictor potencial de la lluvia, lo cual constituye una gran fuente error en los resultados. El trabajo actual se centra en encontrar otros parámetros predictores que expliquen la varianza restante de la precipitación.

Agradecimientos: Agradecemos a la Universidad de Buenos Aires (1/X102), al Servicio Meteorológico Nacional y a Anpcyt PICT99 07-06921.

REFERENCIAS

- Barrera, D. F., 1988. Análisis climático-estadístico de las estructuras temporales y espaciales de la precipitación diaria en meso-escala. Aplicación al filtrado y corrección de errores de observación. Tesis doctoral. Dpto. de Meteorología, FCEyN, UBA.
- Glahn, H. R., 1982. Statistical Weather Forecasting. En: Probability, Statistics, and Decision Making in Atmospheric Sciences. Murphy A. H. y Katz R. W. (Eds). Westview Press, Boulder, Colorado, 289-329.
- Miller, R. G., 1962. Statistical Prediction by Discriminant Analysis. Meteor. Monograph, 4, N°25, Boston, Am. Meteor. Soc., 54 pp.
- Miller, R. G., 1964. Regression Estimation of Event Probabilities. Tech. Report N°1, Contract GWB-10704, The Travelers Research Center, Inc., Hartford, Conn., 153 pp.
- Panofsky, H. A. y Brier, G. W., 1965. Some Applications of Statistics to Meteorology. The Pennsylvania State University, Pennsylvania, 224 pp.
- Ruiz, N. E., Vargas, W. M., 1998. 500 hPa Vorticity Analyses over *Argentina*: Their Climatology and Capacity to Distinguish Synoptic-scale Precipitation. *Theoretical and Applied Climatology*, 60, 77-92.
- Ruiz, N. E., Vargas, W. M. y Ciappesoni, H. H., 1999. Mid-troposphere variables and their association with daily local precipitation. *Meteorological Applications*, 6, 273-282.
- Ruiz, N. E., 2001. Vorticity patterns for rainy and dry episodes in Argentina. Enviado para su publicación a la revista *Meteorology and Atmospheric Physics*, Springer Wien New York.
- Ruiz, N. E. y Vargas W. M., 2001. Application of statistical weather forecasting techniques to precipitation occurrence in Argentina. Enviado para su publicación a la revista *Meteorology and Atmospheric Physics*, Springer Wien New York.
- Ruiz, N. E., 2002. Biserial correlation between vorticity field and precipitation: Rainfall diagnosis and prediction. *Geofísica Internacional*, 41, N° 2.