

VERIFICACION DE LOS PRONOSTICOS DE PRECIPITACION PARA LA CIUDAD DE
BUENOS AIRES

Ingeborg C. Malaka y Silvia C. Simonelli

Servicio Meteorológico Nacional, Fuerza Aérea Argentina

Buenos Aires, Argentina

RÉSUMEN

Se compararon los pronósticos diarios de precipitación con los registros pluviométricos para el período 1974-1983.

Los pronósticos emitidos por el Servicio Meteorológico Nacional expresados en forma determinística y probabilística se verificaron mediante el uso de los siguientes parámetros: tabla de contingencia, porcentaje de aciertos, porcentaje climatológico de aciertos, Skill-score e índice de Brier los que muestran que dichos pronósticos superan poco en bondad a la que se podría alcanzar por medio de los pronósticos climatológicos.

Se comprobó además, que la bondad de los pronósticos emitidos a la noche, no obstante su menor período de validez, no diferían mayormente de los elaborados al mediodía.

ABSTRACT

Daily precipitation forecasts were compared with rainfall occurrence, during the period 1974-1983.

The forecasts made by the National Meteorological Service, expressed in deterministic and probabilistic terms, were verified using the following parameters: contingency table, percentage of correct forecasts, climatological percentage, Skill-score and Brier index. They show that those forecasts are slightly better than the climatological score.

It is also verified that evening forecasts, in spite of their shorter validity, don't differ significantly from the midday ones.

1. INTRODUCCION

El pronóstico de la precipitación tiene como fin ser útil en la toma de decisiones por parte de los usuarios que intervienen en un sinnúmero de actividades y, además de redundar en un beneficio económico nacional en muchos casos, tiende a mitigar los efectos desastrosos que hacen peligrar la seguridad de la vida humana.

Un aspecto tan importante como es la predicción del tiempo, la verificación de su bondad es imprescindible para:

- a) el conocimiento por parte de la institución que elabora la información, así como del propio usuario, acerca de la exactitud de las predicciones,
- b) el conocimiento del progreso alcanzado con la introducción de nuevos datos o métodos de elaboración,
- c) ayudar en la elaboración de métodos estadísticos de pronósticos,
- d) la corrección de las principales falencias.

Los pronósticos elaborados en la Central de Pronósticos del Servicio Meteorológico Nacional en el período 1974-1983 se expresaron bajo dos formas diferentes: determinística y probabilística. En el lapso comprendido entre 1974 y 1978 se utilizó la forma determinística y a partir del año 1979 se inició la emisión de pronósticos probabilísticos.

Hasta el presente los pronósticos se preparan utilizando el método sinóptico-subjetivo; la asignación de los porcentajes ha sido también meramente subjetiva y no tienen por lo tanto la base físico-matemática necesaria.

2. DATOS UTILIZADOS

Se utilizaron los siguientes datos e informaciones:

- a) Registros pluviométricos de la estación meteorológica Observatorio Central Buenos Aires, para el período 1974-1983.
- b) Boletines Informativos diarios emitidos por la Central de Pronósticos. Los pronósticos que se elaboran al mediodía tienen una validez de 36 horas y están separados en dos períodos: uno de 12 horas y otro de 24 horas, en tanto que, los que se preparan a la noche tienen una validez de solamente 24 horas.

La información meteorológica utilizada en este estudio ha sido obtenida del Archivo Nacional de Meteorología.

3. CRITERIOS CONSIDERADOS

Dadas las características aleatorias de la precipitación, para simplificar el estudio de la verificación, se establecieron los siguientes criterios:

- i) Se consideró "lluvia" cuando la cantidad registrada durante el período de validez del pronóstico fue ≥ 0.1 mm y "no lluvia" cuando el fenómeno no aconteció o cuando el observador no anotó una precipitación tan escasa.
- ii) No se tuvieron en cuenta los datos pluviométricos de otras estaciones meteorológicas ubicadas en el área del Gran Buenos Aires.
- iii) No se consideraron la intensidad, duración, tipo y carácter de la precipitación.

En lo que concierne a los pronósticos y sus períodos de validez fue necesario también establecer ciertos criterios:

- i) Para verificar los pronósticos en forma determinística en el período 1979-1982, en el cual los mismos se enunciaron en términos de probabilidades, se consideró "lluvia" cuando se consignó un determinado porcentaje (30%, 70%, 90% o 100%).
- ii) En el pronóstico determinístico de 36 horas de validez se consideró "lluvia" cuando este fenómeno se consignó en uno cualquiera de los dos períodos que abarca el pronóstico.
- iii) En el pronóstico probabilístico se consideraron las siguientes probabilidades: 0%, 30%, 70%, 90% y 100%. Cuando en los dos períodos en que se divide el pronóstico de 36 horas se hayan dado probabilidades diferentes, se tuvo en cuenta el porcentaje más elevado.
- iv) Se eliminaron los casos en los que se utilizó el término "inestable".

4. METODOLOGIA

Para la verificación de los pronósticos en forma determinística se usaron los siguientes parámetros:

a) Tabla de contingencia;

O \ P	SI	NO	Σ
SI	(AB)	(αB)	(B)
NO	(Aβ)	(αβ)	(β)
Σ	(A)	(α)	N

siendo N el número de pronóstico

- (A) número de veces que se pronosticó si
- (α) número de veces que se pronosticó no
- (B) número de veces que se observó si
- (β) número de veces que se observó no

con $(A) + (\alpha) = N$ y $(B) + (\beta) = N$

Además:

- (AB): número de veces que se pronosticó si y ocurrió si
- (Aβ): número de veces que se pronosticó si y ocurrió no
- (αB): número de veces que se pronosticó no y ocurrió si
- (αβ): número de veces que se pronosticó no y ocurrió no

donde

$(AB) + (Aβ) + (\alpha B) + (\alpha\beta) = N$
 $(AB) + (Aβ) = (A)$; $(\alpha B) + (\alpha\beta) = (\alpha)$

y

$(AB) + (\alpha B) = (B)$; $(Aβ) + (\alpha\beta) = (\beta)$

b) Porcentaje de aciertos:

$A = (AB) + (\alpha\beta) / N \quad 100\%$

c) Porcentaje climatológico de aciertos:

La probabilidad que ocurra precipitación es:

$p = (B) / N \quad 100\%$

y que no ocurra:

$q = (\beta) / N \quad 100\%$

Se elige el valor mayor de manera tal que:

$C = p = (B) / N \quad 100\% \quad p \geq q$

$C = q = (\beta) / N \quad 100\% \quad q > p$

d) Skill-score o grado de acierto

$$S = (AB) + (\alpha\beta) - L / N-L$$

donde $(AB) + (\alpha\beta)$ es el número de aciertos y

$$L = (A) (B) + (\alpha) (\beta) / N$$

el número de aciertos por "chance climatológica"

Si

$S = 1$ significa todos los pronósticos son acertados,

$$(AB) + (\alpha\beta) = N$$

$S = 0$ significa que el número de pronósticos correctos es igual al número de aciertos que se hubiera obtenido por chance climatológica: $(AB) + (\alpha\beta) = L$

Para la verificación de los pronósticos en forma probabilística se calculó:

a) La relación entre las probabilidades pronosticadas x_i : 0%, 30%, 70%, 90% y 100% y las frecuencias relativas $y_i = m/n$ donde:

n es el número de veces que se pronosticó la probabilidad x_i .
 m es el número de veces que llovió en esos casos.

b) Índice de Brier:

Se define como " el promedio del valor absoluto de la diferencia entre la probabilidad pronosticada elevada al cuadrado con 1 si se observó precipitación y 0 si no se observó ".

$$\bar{D} = 1/N \sum_{i=1}^N D_i$$

donde

$D_i = (1-x_i)^2$ para los casos en que aconteció precipitación y

$D_i = x_i$ para los casos en que no aconteció; siendo x_i las probabilidades pronosticadas.

Es de notar, que cuanto menor es \bar{D} tanto mejor son los pronósticos. Si $\bar{D} = 0$ corresponde al acierto absoluto determinístico. Con este índice, Brier pretende que el pronosticador se esfuerce a alejarse del promedio climatológico, acercándose a las probabilidades extremas, es decir:

Probabilidad $\begin{cases} 0 & \text{corresponde al pronóstico determinístico NO} \\ 1 & \text{corresponde al pronóstico determinístico SI} \end{cases}$

5. RESULTADOS

La Fig.1 representa las tablas de contingencia en forma porcentual para los pronósticos de 36 y 24 horas de validez. Tal como se mencionó anteriormente, los pronósticos que se elaboran al mediodía tienen una validez de 36 horas y están separados en dos períodos: uno de 12 horas y otro de 24 horas, en tanto que los que se preparan a la noche tienen una validez de 24 horas. Estas tablas presentan un resumen de las precipitaciones observadas y pronosticadas correspondientes a los 2000 casos considerados durante el período 1974-1982.

Puede observarse que el porcentaje de aciertos (A) es del 76% para ambos períodos, tomando en cuenta todos los casos en que fue correctamente pronosticada la ocurrencia o no de precipitación. Se aprecia que aún cuando los pronósticos elaborados a la mañana tienen un mayor período de validez y no estar disponible el juego completo de cartas analizadas y pronosticadas de superficie y altura, el porcentaje de aciertos no difiere del obtenido para los pronósticos emitidos a la noche. Esto podría atribuirse, en parte, a que para la emisión del pronóstico de la noche se utiliza como herramienta básica el análisis de la carta de superficie de 21:00 TMG, que no siempre suele ser la más representativa para la preparación de dichos pronósticos.

Se nota también que los porcentajes climatológicos de aciertos (C) de ocurrencia de precipitación para los pronósticos de 36 y 24 horas de validez son del 36% y 28%, y los de no ocurrencia de dicho fenómeno del 64% y 72% respectivamente.

Además, puede notarse que los porcentajes de aciertos (A) difieren poco de los climatológicos de aciertos (C), especialmente en los pronósticos emitidos a la noche: A = 76% y C = 72%. Sin embargo, aplicando un test de significancia al nivel del 5%, las muestras de los porcentajes de aciertos y climatológico de aciertos de 36 y 24 horas, difieren significativamente. No obstante, será necesario mejorar la calidad de los pronósticos recurriendo al uso de otros métodos tales como: estadísticos, de pronóstico numérico, etc.

En los desaciertos se nota un mayor porcentaje de "sorpresas" en los pronósticos elaborados a la mañana (14%) que en los de la noche (12%); esto podría atribuirse a la mayor extensión del período de validez. En cambio las "falsas alarmas" son superiores en los pronósticos emitidos a la noche (12%) en relación a los de la mañana (10%). Dado que en ambos casos las diferencias son pequeñas, se aplicó también un test de significancia al nivel del 5%, no existiendo diferencias significativas para los desaciertos "sorpresas" en tanto que, para las "falsas alarmas", difieren significativamente.

La fig. 2 muestra las marchas anuales de los porcentajes de aciertos (A) y climatológico de aciertos (C) de los pronósticos de 36 y 24 horas de validez. Se observa que en ambos períodos los porcentajes de aciertos se mantienen superiores a los climatológicos durante todos los meses del año, con excepción del mes de septiembre en los pronósticos emitidos a la noche. Se nota además, que los porcentajes de aciertos alcanzan sus valores máximos en los meses de invierno.

Se calculó el Skill-score al nivel anual para los dos períodos de validez establecidos, obteniéndose los siguientes resultados:

$$\bar{S}_{36 \text{ hs.}} = 0.45$$

$$\bar{S}_{24 \text{ hs.}} = 0.41$$

Esto indica, que existe una mayor tendencia hacia el número de aciertos que se obtendrían por "chance climatológica" en los pronósticos elaborados a la noche, que para los emitidos a la mañana.

Se verificó con un test de significancia al nivel del 5% que las muestras de los Skill-scores de 36 y 24 horas de validez no difieren significativamente.

La Fig. 3 representa la marcha anual de los valores del Skill-score. Se observa que los mismos se mantiene por debajo de 0.50 a través

de todo el año, excepto en los meses junio y julio para los pronósticos de 36 horas. Se nota también, que los scores de los pronósticos de 24 horas se mantienen inferiores a los de 36 horas, con excepción del mes de abril.

La Fig. 4 muestra la relación entre las probabilidades pronosticadas y las frecuencias relativas observadas para el período 1979-1983. Este gráfico permite visualizar la confiabilidad de los pronósticos probabilísticos. La confiabilidad perfecta está indicada por una relación lineal. Los números entre paréntesis indican el número de veces que se dió un determinado porcentaje para el período considerado. Se observa que los pronósticos con porcentajes más elevados tienen un apartamiento hacia las probabilidades más altas, mientras que, los porcentajes 0% y 30% muestran una tendencia hacia las probabilidades más bajas.

Si comparamos ambas curvas vemos que el grado de confiabilidad de los pronósticos probabilísticos con porcentajes elevados, es mayor en los pronósticos elaborados a la mañana que a la noche, mientras que con las probabilidades de 0% y 30% se manifiesta lo contrario.

De esto se infiere que para mejorar la bondad de los pronósticos en términos probabilísticos, el meteorólogo debería no sólo ajustar la escala de probabilidades actualmente en uso, sino considerar también las veces que deberían darse los distintos porcentajes, ya que hay una tendencia a dar ciertos porcentajes con mayor frecuencia. (Pronóstico de 36 hs: 155 veces 70% y 56 veces 90%, ver Fig. 4).

El índice de Brier se calculó a nivel anual para los dos períodos de validez establecidos con las diferentes probabilidades subjetivas en uso. Los resultados obtenidos para ambos períodos fueron similares como puede verse a continuación:

$$B_{36 \text{ hs.}} = 0.42$$

$$B_{24 \text{ hs.}} = 0.41$$

Finalmente, este índice se calculó considerando las probabilidades fundamentales climatológicas obtenidas en las tablas de contingencia de la Fig. 1 para los períodos de 36 y 24 horas (36% y 28%) que arrojaron los siguientes valores:

$$B_{\text{clim } 36 \text{ hs.}} = 0.46$$

$$B_{\text{clim } 24 \text{ hs.}} = 0.41$$

Puede verse que el pronóstico probabilístico no difiere sustancialmente del pronóstico climatológico (0.42 contra 0.46 y 0.41 contra 0.41), lo cual se refleja también a través del análisis de los parámetros de las Fig. 1 y 2.

5. CONCLUSIONES

Los pronósticos emitidos por el Servicio Meteorológico Nacional superan en bondad a la que se podría alcanzar por medio de los pronósticos climatológicos. Sin embargo, esta mejora no es sustancial teniendo en cuenta los resultados de los distintos parámetros utilizados en este estudio.

A fin de mejorar el grado de acierto de los pronósticos, habrá que recurrir a otros métodos o técnicas que sirvan de apoyo al método sinóptico subjetivo, tales como: pronóstico numérico, pronóstico es

tadístico, etc.

Para lograr una mayor confiabilidad de los pronósticos probabilísticos, sería útil ampliar la escala de probabilidades actualmente en uso, mediante la aplicación de métodos sinópticos estadísticos.

Finalmente, se observó que la bondad de los pronósticos emitidos a la noche, no obstante su período de validez menor, no diferían de la bondad de los pronósticos elaborados a la mañana.

Agradecimientos

Las autoras agradecen especialmente al Dr. Erich LICHTENSTEIN por las sugerencias brindadas sobre distintos aspectos de este trabajo; a la Srta. Gabriela ANDRIETTI y al Sr. Raúl VALDIVIESO por su valiosa colaboración.

BIBLIOGRAFIA

- Brier G. y Allen R.: Compendium of Meteorology. American Meteorological Society, pág. 842-848.
- Panofsky H.A., Brier G., 1968: Some application of statistics to Meteorology.
- Petterssen S. Weather Analysis and Forecasting, Vol. 2.
- Promet, 1974: Vorhersageprüfung. Deutscher Wetterdienst. Vol.4.
- Technical Note, 1972: Review of forecast verifications techniques W.M.O. N°120.

Pronósticos de 36 hs. (mañana)

O \ P		PRONOSTICO		Σ (%)
		CON PRECIPITACION	SIN PRECIPITACION	
OBSERVACION	CON PRECIP	ACIERTO 22	DESACIERTO SORPRESA 14	36
	SIN PRECIP	DESACIERTO FALSA ALARMA 10	ACIERTO 64	64
M (%)		32	68	100

Pronósticos de 24 hs. (noche)

O \ P		PRONOSTICO		Σ (%)
		CON PRECIPITACION	SIN PRECIPITACION	
OBSERVACION	CON PRECIP	ACIERTO 16	DESACIERTO SORPRESA 12	28
	SIN PRECIP	DESACIERTO FALSA ALARMA 12	ACIERTO 60	72
M (%)		28	72	100

FIG. 1 : Tablas de contingencia porcentual de los pronósticos de precipitación de 36 y 24 hs. de validez. Período 1974-1982.

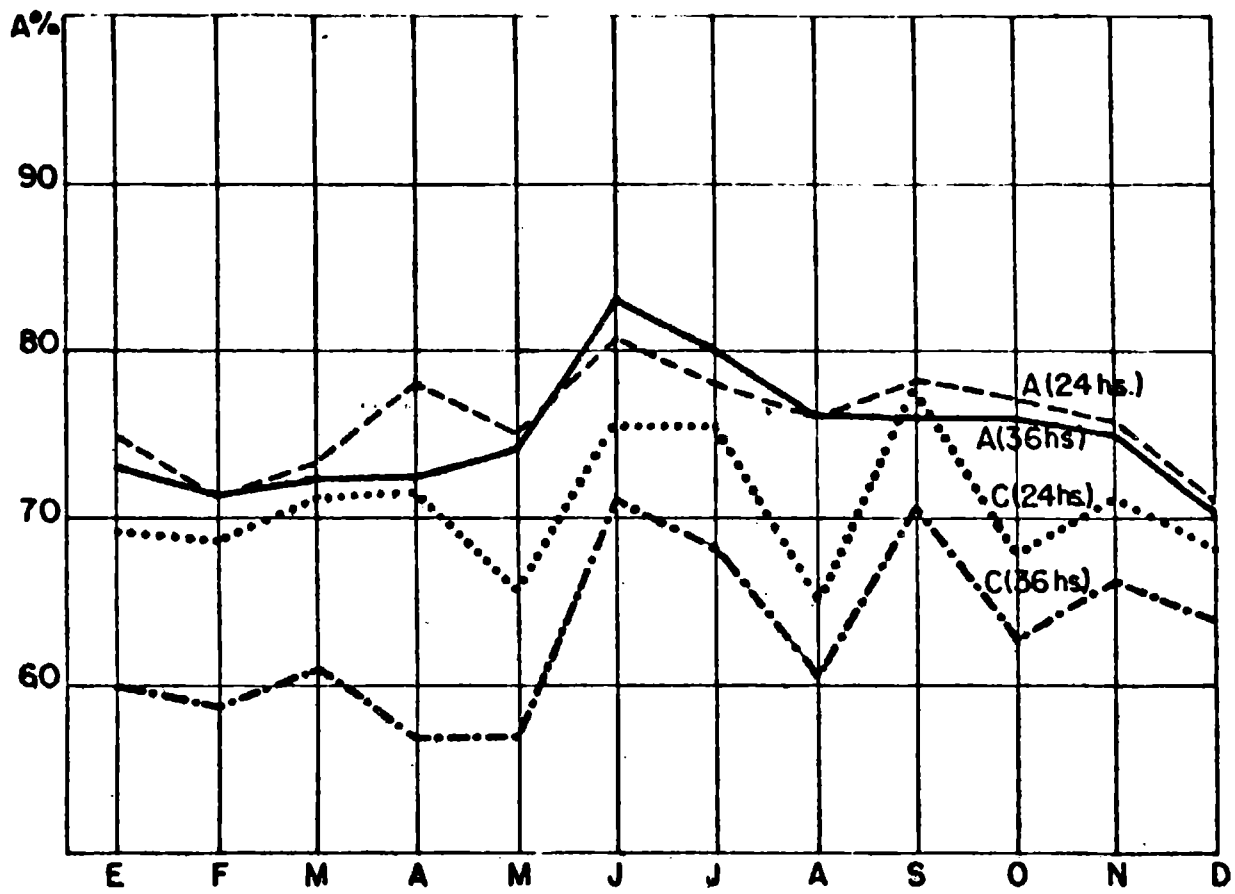


FIG. 2 : Marcha anual del porcentaje de acierto (A) y porcentaje climatológico de acierto (C) de los pronósticos de 36 y 24 hs. de validez. Período 1974-1982.

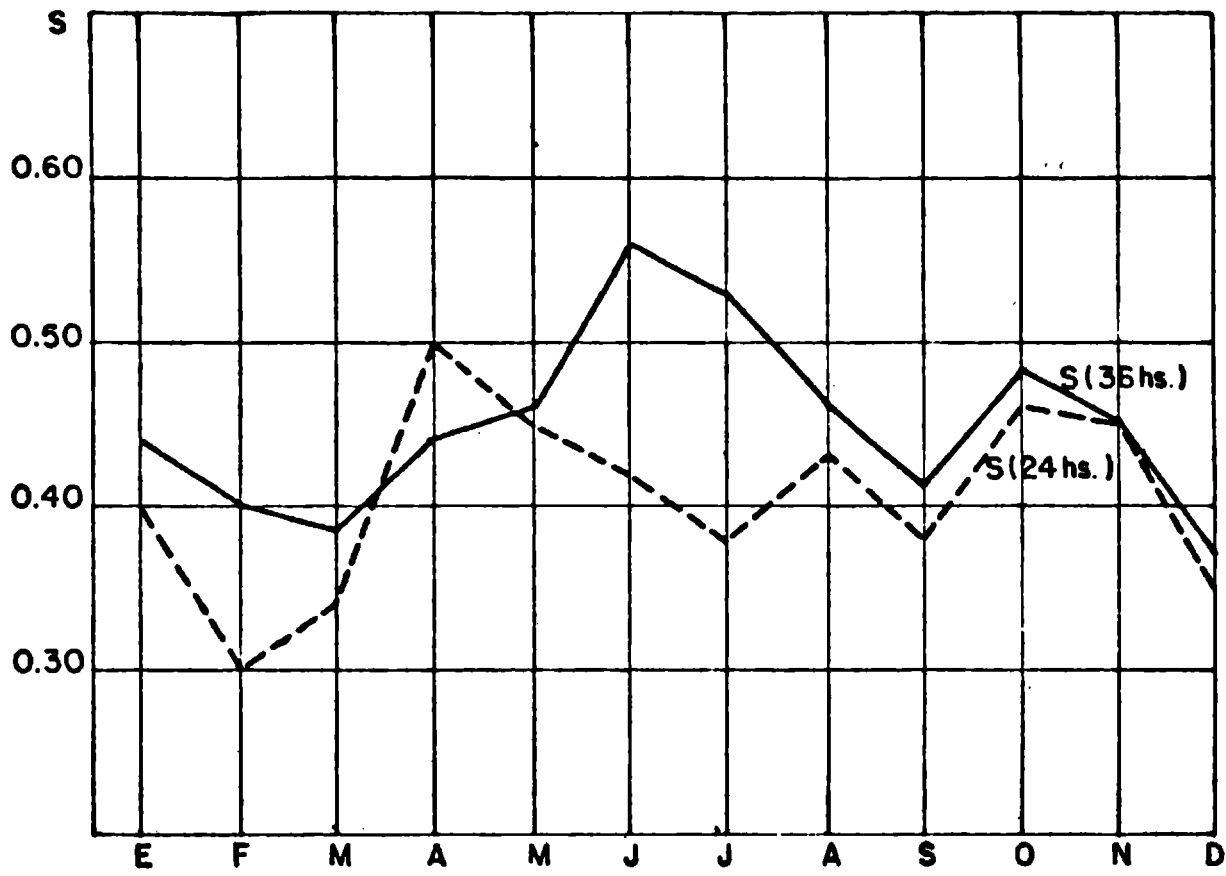


FIG. 3 : Marche annuel del Skill-Score (S) de los pronósticos de precipitación de 36 y 24 hs. de validez. Período 1974-1982.

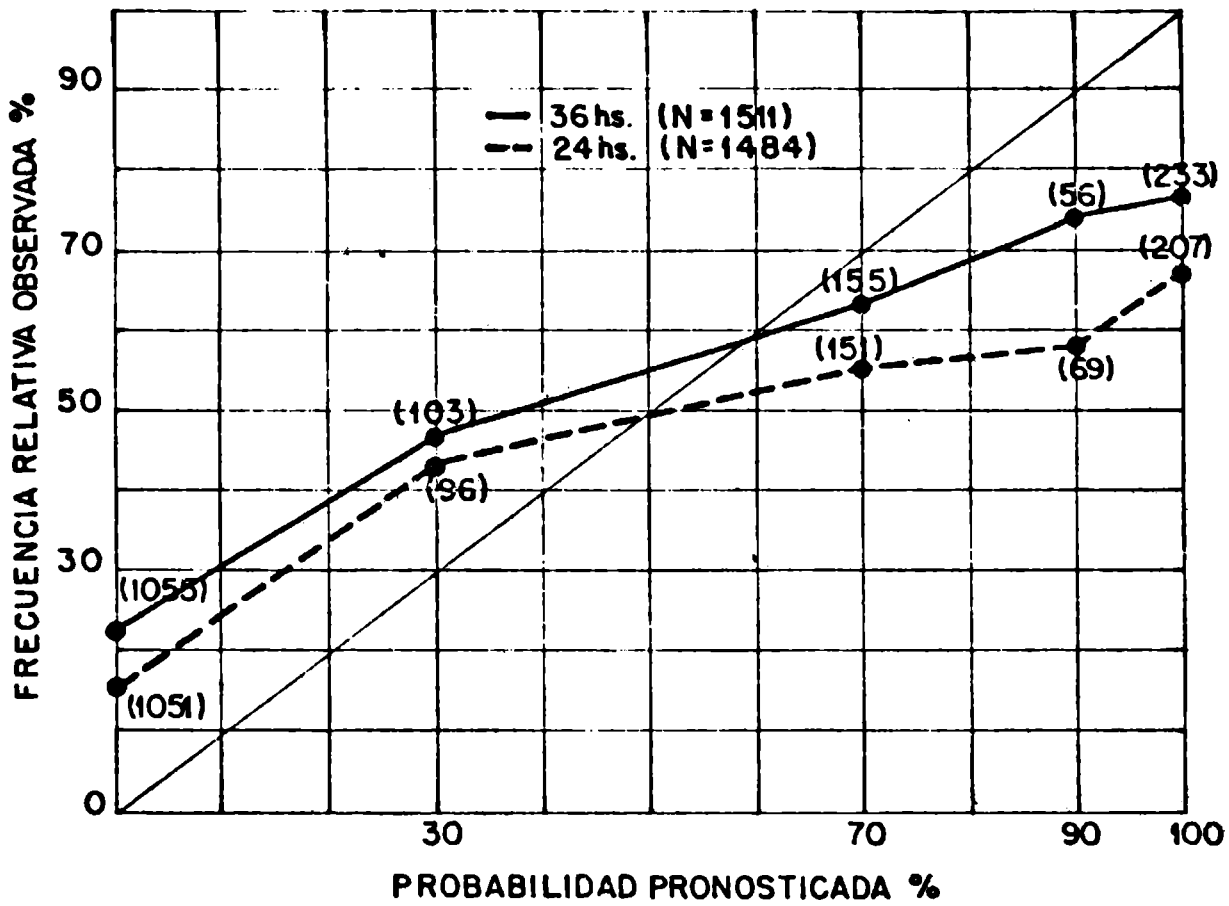


FIG. 4 : Relación entre las probabilidades pronosticadas y las frecuencias relativas observadas. Período 1979-1983.