

EVALUACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA AREAL PRONOSTICADA SOBRE LA CUENCA ASOCIADA A LA REPRESA SALTOGRANDE

**Dra. Paola Salio¹, Lic. Daniel Vila²,
Ing. Manuel Irigoyen³, Ing. Douglas Simonet³, Ing. Eduardo Zamanillo³**

¹ Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera CONICET/UBA. Dpto. Cs. de la Atmósfera y los Océanos. UBA. Ciudad Universitaria – Pabellón 2 – 2 Piso – Buenos Aires –Argentina. TE: 54-11-4576-3356 (interno 31).

Fax: 54-11-4703-4967. Email: salio@cima.fcen.uba.ar

² Instituto Nacional del Agua. Autopista Ezeiza - Cañuelas km 1,62, Ezeiza, Provincia de Buenos Aires. TE: 54-11-4480-4500 (interno 2333). Fax: 54 – 11 - 4480-9174. Email: dvila@ina.gov.ar

³ Departamento de Hidrología, Comisión Técnica Mixta Salto Grande. CC 106, 3200 Concordia – Argentina. CC 68036 (50000) Salto – Uruguay. TE 54-345-4218495. Email: hidrologia@saltogrande.org

RESUMEN

El presente trabajo tiene por objetivo analizar la idoneidad de los modelos numéricos de previsión de lluvia como instrumento de pronóstico en la cuenca del Río Uruguay en la represa de Salto Grande.

Un sistema automático de cálculo de precipitación media areal pronosticada sobre la cuenca del Río Uruguay ha sido implementado en el Departamento de Hidrología de la Represa Salto Grande. Este sistema permite la bajada y decodificación en forma automática de la variable precipitación pronosticada para los modelos ETA-CPTEC, NCEP, MRF y FNOC-NOGAPS, estas bajadas se realizan una o dos veces al día en función de la disponibilidad de los diferentes modelos. A partir de los resultados obtenidos en la decodificación de los datos bajados por internet, se evaluó el cálculo de precipitación media areal pronosticada en las diferentes subcuencas que componen a la cuenca del Río Uruguay.

Los pronósticos de precipitación media areal se evaluaron en períodos acumulados de 24 horas para comparar con los datos observados. Para evaluar la calidad del pronóstico se consideró el acierto o desacierto en el pronóstico de precipitación.

La definición correspondiente a acierto se basa en un pronóstico de lluvia y la ocurrencia de la misma. También se consideró acierto cuando el pronóstico es de no-lluvia y no llueve. Se consideró desacierto cuando no se pronostica precipitación y se observa precipitación en el área (sorpresa) y cuando se pronostica precipitación y esta precipitación no es observada (falsa alarma).

Cuando se valida la precipitación en función de la intensidad se observó una diferencia entre los modelos, dado que el ETA-CPTEC posee una tasa de acierto superior al NCEP sobre todas las cuencas para los intervalos de precipitaciones moderadas y fuertes, mientras en las lluvias débiles el NCEP muestra una tasa de acierto superior.

Los resultados descriptos son preliminares, por lo que la metodología debería ser aplicada a una serie de mayor extensión que contemple todas las estaciones del año y diferentes situaciones climáticas para obtener conclusiones definitivas.

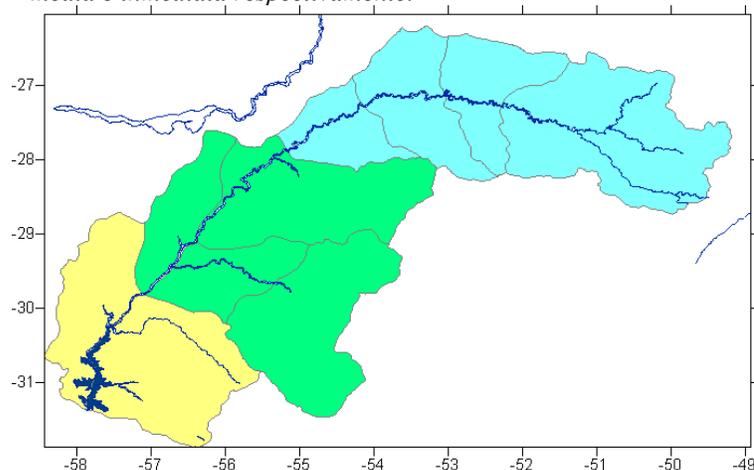
Palabras clave: modelos numéricos - precipitación media areal – evaluación pronóstico

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene por objetivo analizar la idoneidad de los modelos numéricos de previsión de lluvia como instrumento de pronóstico en la cuenca del Río Uruguay en la represa de Salto Grande.

La cuenca del Río Uruguay desde su nacimiento hasta Salto Grande tiene una superficie de 244000 km² con una pluviometría anual que varía de 1200 mm en su zona meridional hasta los 1800 mm en la zona septentrional. En la Figura 1 se presenta la ubicación geográfica de la cuenca, así como también la segmentación de la misma hasta Salto Grande. En el pronóstico hidrológico de los aportes futuros al embalse se incorporan los caudales obtenidos de la transformación lluvia-caudal de la precipitación pronosticada por los modelos numéricos de previsión de lluvia. Los modelos utilizados son ETA-CPTEC (modelo hidrostático de mesoescala, Brasil), National Environmental Prediction Center - NCEP (global, USA), Medium Range Forecast MRF (global, USA) y FNOC-NOGAPS (global, USA).

Figura 1: Representación esquemática de la cuenca del río Uruguay, aguas arriba de la represa de Salto Grande. Los colores celeste, verde y amarillo indican la ubicación de las cuencas alta, media e inmediata respectivamente.



Para la obtención de esta información se ha confeccionado un software que baja automáticamente la información, vía internet y la procesa de modo que su salida suministra los valores medios diarios de pluviometría para las distintas subcuencas.

El objetivo específico del trabajo se centra en la verificación de los pronósticos de precipitación media areal para las distintas subcuencas del Río Uruguay hasta la represa de Salto Grande durante el período comprendido entre febrero del 2003 y abril del 2004.

Numerosos trabajos examinan los pronósticos de precipitación generados por los modelos numéricos. Entre ellos Saulo y Ferreira (2003) analizan el desempeño del modelo LAHM-CIMA y NCEP sobre el sudeste de Sudamérica, área que incluye a la cuenca del río Uruguay. Los autores muestran que los pronósticos a 36 y 60hs del modelo NCEP inicializado a las 00Z tienen un mejor desempeño para predecir precipitaciones moderadas y débiles, mostrando una tendencia a subestimar la cantidad de precipitación total sobre el área.

Campetella y Saulo (2003) en un trabajo realizado con el modelo regional LAHM-CIMA muestran que el acierto en el pronóstico de la precipitación sobre la pampa húmeda alcanza el 75% para el pronóstico a 36-12 horas, sin realizar una investigación en horas posteriores.

METODOLOGÍA

Para la evaluación de los pronósticos, se dividió la cuenca total en tres subcuencas, cuenca Inmediata (ci), cuenca media (cm) y cuenca alta (ca).

En función de la información disponible se analizó el modelo ETA en su versiones inicializadas a las 00 y 12 UTC (de aquí en adelante llamados ETA 00 y ETA 12 respectivamente) y el NCEP inicializado a las 00 UTC (NCEP 00).

En función de la hora de inicialización de los modelos y el alcance del pronóstico de cada uno de ellos se dispone, para los distintos modelos, el número de pronósticos mostrado en Tabla 1, durante el período febrero de 2003 abril-2004.

Tabla 1: Pronósticos disponibles para el modelo ETA-CPTEC inicializado a las 00 UTC y 12 UTC y para el modelo NCEP inicializado a las 00 UTC.

Modelos	Intervalos Temporales	Número de Pronósticos
ETA 00	12-36 horas	311
	36-60 horas	310
ETA 12	0-24 horas	155
	24-48 horas	154
	48-72 horas	153
NCEP 00	12-36 horas	324
	36-60 horas	323
	60-84 horas	322
	84-108 horas	321
	108-132 horas	320

La eficiencia del proceso de bajada de información dio como resultado un alto número de pronósticos para el NCEP 00 lo cual está relacionado con el fácil acceso y pequeño tamaño del archivo base de información. Los archivos del ETA 00 mostraron también una excelente performance, mientras que los archivos ETA 12 mostraron una performance inferior debido a su poco valor práctico en la toma de decisión de la represa. Estos tamaños de muestra indican que los datos del ETA 12 deben ser interpretados en forma independiente al ETA 00 y NCEP 00.

Los valores de precipitación pronosticados se contrastaron con las observaciones de precipitación disponibles en Salto Grande. A partir de las observaciones se calculó la precipitación media areal sobre las subcuencas del río Uruguay, utilizando información observada perteneciente a la CTM y la observación perteneciente a los servicios meteorológicos del área libremente disponible a través del Global Telecommunication System - GTS.

La precipitación sobre la cuenca inmediata (ci) se calcula mediante las observaciones en 51 pluviómetros sobre un área de 50000 km², cada uno de los cuales tiene asignada su área de influencia, por lo que la estimación se considera de buena calidad. Con respecto a las cuencas media (cm) y alta (ca), la densidad de pluviómetros disponibles es mucho menor, por lo que se hace una media con un control artesanal con los mapas de lluvia.

Para evaluar la calidad del pronóstico se considera el acierto o desacierto en el pronóstico de precipitación. La definición correspondiente a acierto se basa en un pronóstico de lluvia y la ocurrencia de la misma, también se considera acierto cuando el pronóstico es de no-lluvia y no llueve. Se considera desacierto cuando no se pronostica precipitación y se observa precipitación en el área (sorpresa) y cuando se pronostica precipitación y esta precipitación no es observada (falsa alarma).

Saulo y Ferreira (2003) entre otros autores muestran que casos con precipitaciones inferiores a los 0.1 mm pueden ser considerados de no precipitación, pero estos estudios han sido realizados con valores de precipitaciones puntuales y no como en este caso con precipitaciones áreales. Teniendo en cuenta que es aceptado considerar precipitaciones escasas como no-lluvia se efectuó un estudio de sensibilidad del umbral de precipitación a fin de evaluar un umbral para la definición de no precipitación en las subcuencas, que se relacione con la experiencia práctica acumulada por los hidrólogos usuarios del sistema de pronóstico.

Se han analizado variaciones en el umbral de precipitación para los siguientes valores: 0.1 mm, 1 mm, 2 mm y 3 mm. Los resultados correspondientes a la Cuenca Inmediata se muestran en la Figura 2. La misma presenta el porcentaje de aciertos en el pronóstico de la precipitación diaria media areal para alcances de 36, 60, 84, 108 y 132 horas (1 a 5 días operativos a partir de la disponibilidad práctica del pronóstico). En la misma se puede observar que el umbral de 0.1 mm presenta un comportamiento errático probablemente como consecuencia de ser un valor muy inferior al error de medición. La Figura 1 muestra también que al aumentar la cota inferior el pronóstico aumenta su performance.

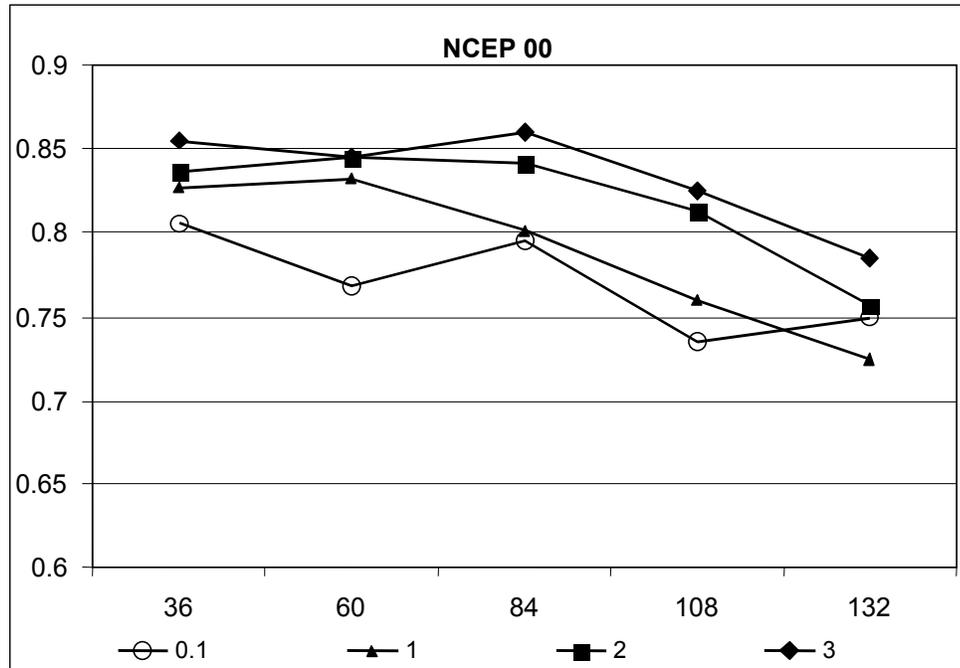
En base a la experiencia de los usuarios del sistema de pronóstico, se decidió definir como cota inferior a la existencia de precipitación en las cuencas el valor de 1 mm, que por otra parte mostró un mejor comportamiento del porcentaje de aciertos en el tiempo. No se muestran los resultados correspondientes a las otras subcuencas ya que presentan un comportamiento similar.

Utilizando esta cota de umbral se definió tanto el acierto cualitativo como cuantitativo. El desempeño de los modelos respecto a la precipitación cuantitativa en el área se define mediante los siguientes rangos de precipitación:

<i>No precipitación</i>	pp	< 1.0 mm
<i>Leve</i>	1 mm <= pp	< 6.1 mm
<i>Moderada</i>	6.1 mm <= pp	< 19 mm
<i>Fuerte</i>	pp	>= 19 mm

Los resultados correspondientes a la performance de los distintos modelos y cuencas se presentan en la sección Resultados.

Figura 2: Porcentaje de aciertos en el pronóstico de precipitación areal sobre la Cuenca Inmediata calculado para distintos umbrales de precipitación a partir del modelo NCEP inicializado a las 00UTC. La línea con círculos abiertos muestra el umbral de 0.1 mm, la línea con triángulo muestra el umbral de 1 mm, cuadrado lleno 2 mm y diamante 3 mm.



RESULTADOS

El análisis de los resultados se efectuó primero evaluando la performance de los pronósticos cualitativos, es decir de los aciertos de pronósticos de lluvia y no lluvia para los distintos modelos y alcances, en segundo lugar se evaluó la performance de los aciertos discriminando por separado los pronósticos de lluvia y no-lluvia y por último se realizó una evaluación de los aciertos cuantitativos, es decir cuantas veces la lluvia real se ubica en el rango de la lluvia pronosticada.

Análisis cualitativo

En la Figura 3 se muestran los porcentajes de los aciertos cualitativos para las diferentes sub-cuencas, modelos y alcances para el umbral de 1mm. Se observa que el número de aciertos es elevado, superior al 80% para el NCEP 00 a 36 horas para todas las cuencas y desciende a valores de 65-70% a 132 horas. Para el ETA 00 es superior al 85% a 36 horas para todas las sub-cuencas y superior al 80% a 60 horas.

Concretamente, el NCEP 00 a 36 horas presenta para las cuencas inmediata, media y alta respectivamente un 83%, 80% y 83% de aciertos, y el ETA 00 presenta 86%, 87% y 85% de aciertos.

Respecto del pronóstico de no-lluvia, se obtuvo como resultado que el NCEP 00 a 36 horas acertó un 93%, 89% y 93% de las veces para las cuencas: inmediata, media y alta respectivamente, en tanto que el ETA 00 a 36 horas tiene un 92%, 91% y 90% de aciertos. O sea que los pronósticos de no lluvia que fallaron (Sorpresa, ver Figura 4) fueron para el NCEP 00 de 7%, 11% y 7% y para el ETA 00 del 8%, 9% y 10%.

Mientras que para los aciertos de lluvias, para los mismos modelos y subcuencas se obtuvo como resultado NCEP 00 a 36 horas, 60%, 64% y 74% y para el ETA 00 71%, 79% y 80%. O sea que los pronósticos de lluvia que fallaron (Falsa Alarma, ver Figura 5) fueron para el NCEP de 40%, 36% y 26% y para el ETA 00 del 29%, 21% y 20%.

Comparando los resultados obtenidos para ambos modelos es importante destacar que ambos muestran una performance similar en los aciertos de no lluvia. Claramente, el modelo NCEP 00 brinda una mayor operatividad dada la extensión de su pronóstico. El modelo ETA 00 recientemente ha sido ampliado a 120 horas lo cual permitirá en un futuro realizar una comparación a mayor plazo.

A partir de los resultados respecto a las falsas alarmas y a las sorpresas es destacable que el NCEP 00 tiende a pronosticar mayor cantidad de eventos con lluvia que el modelo ETA 00 sobre la región estudiada dado que el porcentaje de falsas alarmas es mayor y las sorpresas son menores en promedio; mientras en el ETA00 las falsas alarmas son menores y las sorpresas mayores.

Figura 3: Porcentaje cualitativo de aciertos para el modelo NCEP00 y el modelo ETA00

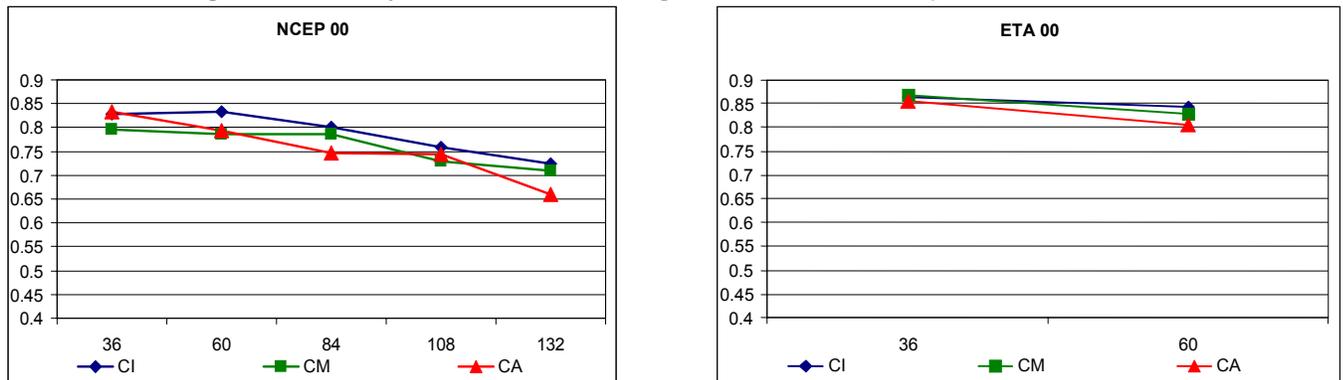


Figura 4: Porcentaje cualitativo de sorpresas para el modelo NCEP00 y el modelo ETA00 .

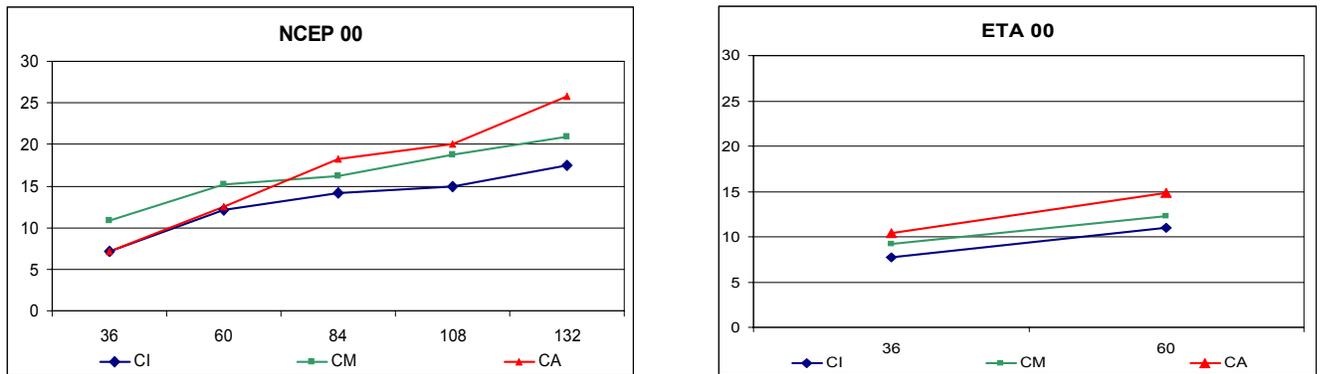
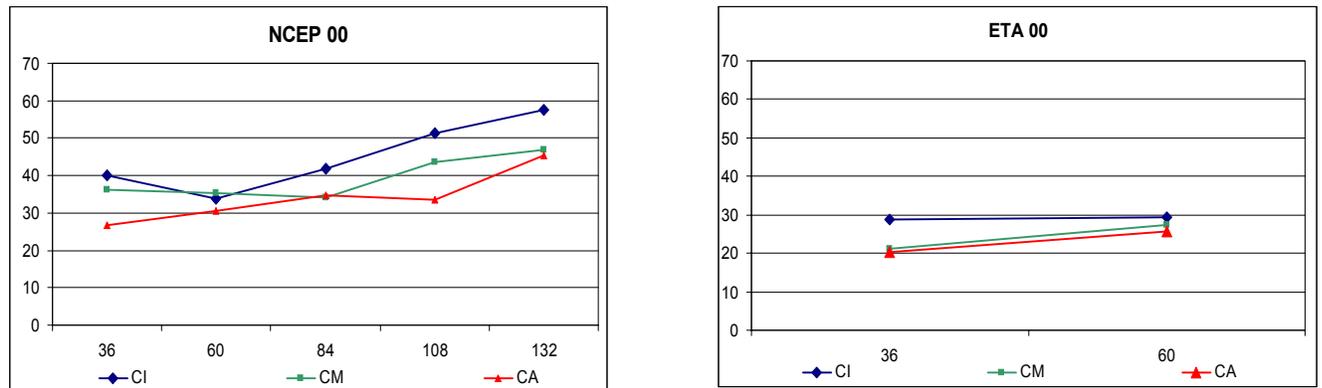


Figura 5: Porcentaje cualitativo de falsas alarmas para el modelo NCEP00 y el modelo ETA00



El modelo ETA 12, del cual se posee una muestra inferior de pronósticos comparado con los otros modelos muestra un comportamiento similar en el pronóstico para el primer día (24 horas de pronóstico), los aciertos son del superior al 85% para todas las cuencas estudiadas, mostrando un decaimiento que alcanza el 80% para 48 horas y 75% para 72 horas de alcance.

Si bien la performance media cualitativa de los modelos es alta el desempeño no es el mismo cuando pronostican lluvia o no-lluvia y resulta a partir de la información mostrada que es mejor el pronóstico cualitativo de no-lluvia que el de lluvia.

Cabe destacar que ambos modelos sobre esta región muestran una tendencia a producir menos precipitación que la observada como en otras regiones de Sudamérica.

El bias calculado como la desviación media del modelo respecto a la observaciones muestra en toda la cuenca valores de -3.3 mm para el periodo estudiado en el ETA 00 y -3.2mm para el NCEP00 en el pronóstico a 36 hs a medida que el intervalo de pronóstico aumenta estos valores alcanzan para ambos modelos -4 mm.

Análisis cuantitativo

El pronóstico de precipitación cuantitativo se evaluó a 36 horas para el NCEP 00 y el ETA 00. Las Tablas 2 y 3 muestran las tablas de contingencia porcentuales correspondientes a cada una de las cuencas que conforman al Río Uruguay. Cada tabla presenta en las filas los rangos de precipitación pronosticada y en las columnas los rangos de precipitación observada. Cada celda representa el porcentaje de veces en que el valor pronosticado correspondió a la categoría de la observación y la diagonal representa los aciertos.

Se analizaron dos situaciones: la primera considera los aciertos para todas las categorías (suma de los porcentajes de la diagonal principal de cada tabla de contingencia incluyendo no lluvia) y la segunda cuando se pronostica lluvia y la lluvia observada se encuentra en el rango pronosticado.

Para la primera situación se obtuvo que el NCEP 00 a 36 horas acertó el 74%, 69% 67% de las veces en la cuenca inmediata, media y alta respectivamente, mientras que el ETA 00, acertó el 79%, 75% y 71% de las veces.

Pero si se consideran solo los pronósticos de lluvia respecto al total de pronósticos acertados, los porcentajes del NCEP 00 en las cuencas son 31%, 35% y 37% y para el ETA 00 40%, 39% y 43%.

La performance de acierto en el rango cuando se pronostica lluvia por categorías respecto a los días que ocurrió lluvia a 36 horas es del orden del 35% para ambos modelos, esta disminución respecto al orden del 70% mostrado en la sección anterior se debe a la imposición de las categorías de precipitación.

En las tablas de contingencia, se puede observar que el número de falsas alarmas es mayor cuanto menor es la cantidad de lluvia pronosticada. Aunque, cabe destacar, que el modelo NCEP 00 tiende a generar mayores situaciones con baja precipitación que el ETA 00.

Ambos modelos poseen una capacidad de detectar las precipitaciones fuertes a ocurrir en las próximas 36 horas. Los valores mostrados en la tabla señalan un acierto del orden del 50%, 62% y 57% para el NCEP 00 en cada una de las cuencas estudiadas y 67%, 50%, 71% para el ETA 00, se observa en esta comparación que el modelo ETA presenta una mejora en la performance para detectar estos eventos, lo cual se debe a la alta resolución horizontal (40km) que este modelo dispone respecto a la resolución de 2.5 grados del modelo NCEP 00.

Tabla 2: Tabla de Contingencia de frecuencias de ocurrencias porcentual de precipitación según categorías para el modelo NCEP 00 a 36 horas de pronóstico. La letra "L" corresponde al intervalo leve, "M" a moderado, "F" a fuerte y "No" a no lluvia.

NCEP 00																		
	Cuenca Inmediata					Cuenca Media					Cuenca Alta							
		Observaciones					Observaciones					Observaciones						
		No	L	M	F		No	L	M	F		No	L	M	F			
Pronóstico	No	64	3	2	0	69	No	56	5	2	0	63	No	48	4	0	0	52
	L	10	4	2	1	17	L	10	6	3	0	19	L	10	9	4	1	24
	M	2	2	3	2	9	M	3	3	2	3	11	M	3	5	6	2	16
	F	0	1	1	3	5	F	0	0	2	5	7	F	0	2	2	4	8
		76	10	8	6	100		69	14	9	8	100		61	20	12	7	100

Tabla 3: Tabla de Contingencia de frecuencias de ocurrencias porcentual de precipitación según categorías para el modelo ETA 00 a 36 horas de pronóstico. La letra “L” corresponde al intervalo leve, “M” a moderado, “F” a fuerte y “No” a no lluvia.

ETA 00																	
Pronóstico	Cuenca Inmediata					Cuenca Media					Cuenca Alta						
		Observaciones					Observaciones					Observaciones					
		No	L	M	F		No	L	M	F		No	L	M	F		
No	67	3	2	0	72	No	62	6	0	0	67	No	53	6	0	0	59
L	7	5	3	1	16	L	6	4	4	1	15	L	6	8	5	0	19
M	1	1	3	1	6	M	1	4	5	3	13	M	2	5	5	2	14
F	1	1	0	4	6	F	0	0	0	4	5	F	0	1	2	5	8
	76	10	8	6	100		69	14	9	8	100		61	20	12	7	100

Tabla 4: Tabla de Contingencia de frecuencias de ocurrencias porcentual de precipitación según categorías para el modelo NCEP 36 a 60 horas de pronóstico. La letra “L” corresponde al intervalo leve, “M” a moderado, “F” a fuerte y “No” a no lluvia.

NCEP 00																	
Pronóstico	Cuenca Inmediata					Cuenca Media					Cuenca Alta						
		Observaciones					Observaciones					Observaciones					
		No	L	M	F		No	L	M	F		No	L	M	F		
No	69	6	2	0	77	No	59	6	2	1	68	No	48	5	1	0	54
L	4	3	2	1	10	L	8	6	3	2	19	L	9	9	4	1	23
M	2	1	2	2	7	M	2	2	3	2	9	M	4	5	6	4	19
F	1	0	2	3	6	F	0	0	1	3	4	F	0	1	1	2	4
	76	10	8	6	100		69	14	9	8	100		61	20	12	7	100

Tabla 5: Tabla de Contingencia de frecuencias de ocurrencias porcentual de precipitación según categorías para el modelo ETA 36 a 60 horas de pronóstico. La letra “L” corresponde al intervalo leve, “M” a moderado, “F” a fuerte y “No” a no lluvia.

ETA 00																	
Pronóstico	Cuenca Inmediata					Cuenca Media					Cuenca Alta						
		Observaciones					Observaciones					Observaciones					
		No	L	M	F		No	L	M	F		No	L	M	F		
No	67	5	3	0	75	No	61	7	0	0	68	No	50	6	1	0	57
L	5	3	1	0	9	L	5	5	4	0	14	L	9	7	2	0	18
M	3	2	3	1	9	M	3	2	5	3	13	M	2	6	8	3	19
F	1	0	1	5	7	F	0	0	0	5	5	F	0	1	1	4	6
	76	10	8	6	100		69	14	9	8	100		61	20	12	7	100

CONCLUSIONES

Como conclusión general se puede afirmar que ambos modelos presentan una alta performance respecto al pronóstico de no lluvia para alcances de 36 y 60 horas (primer y segundo día efectivo de pronóstico).

Con referencia a los pronósticos de lluvia, tienen una buena respuesta cualitativa (70% de acierto) pero su rendimiento cuantitativo por categorías baja al 35%. A pesar de esta disminución significativa en el porcentaje de acierto cuantitativo, se considera positiva su utilización en el pronóstico hidrológico para grandes cuencas, dado que su aporte es mejor que considerar sistemáticamente la situación de no lluvia.

Del análisis cualitativo y cuantitativo del período y de las situaciones analizadas se concluye que el modelo ETA 00 es consistentemente mejor que el NCEP 00 para prever precipitación con alcance de 36 hs y 60 hs sobre las subcuencas del Río Uruguay.

Los resultados descriptos son preliminares, por lo que la metodología debería ser aplicada a una serie de mayor extensión de manera de obtener robustez climática en las conclusiones.

En función del análisis de los resultados de este trabajo y de la experiencia del uso de los pronósticos numéricos meteorológicos para la programación de la operación de Salto Grande se recomienda:

- ✓ La incorporación de procedimientos sistemáticos para utilizar pronósticos numéricos de precipitaciones como herramienta para programar la operación de aprovechamientos hidroeléctricos.
- ✓ Considerar antes de la incorporación la relación existente entre tamaño de la cuenca, generación de escurrimientos y tamaño de los embalses, dado que, para cuencas de gran tamaño, cuanto menor sea la capacidad de regulación mayor importancia tendrá la adopción de esta herramienta.
- ✓ Que los modelos a utilizar sean preferentemente de alcance regional (mesoescala), dado que de este trabajo surge que sus previsiones son consistentemente mejores que la de los modelos globales.
- ✓ Analizar para cada región particular cual es el mejor modelo de mesoescala (si están disponibles) para cada alcance de pronóstico.

BIBLIOGRAFÍA

Campetella C. y A.C. Saulo, 2003: Verificación Objetiva del Modelo LAHM-CIMA sobre el centro-este de Argentina y Uruguay. Meteorológica. Vol. 28 N 1 y 2. 83 – 95.

Saulo A.C and L. Ferreira, 2003: Evaluation of quantitative precipitation forecast over southern South America. Aust. Met. Mag., vol. 52, 81 – 93.