

# AJUSTE DEL ESQUEMA CONVECTIVO DE BETTS-MILLER EN EL MODELO ETA/CPTEC

Marcelo E. Seluchi, Sin Chan Chou  
Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC)-INPE  
Rod. Pte Dutra Km 39, Cachoeira Paulista, SP, (12630-000)  
Seluchi@cptec.inpe.br

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo ajustar o esquema convectivo de Betts-Miller utilizado pelo modelo Eta/CPTEC. Através de uma série extensa de experimentos de sensibilidade (acima de 390), obteve-se um conjunto otimizado de coeficientes, que determinaram um perfil termodinâmico de referência más úmido e menos inclinado com relação ao conjunto utilizado operacionalmente. Os resultados mostram que a nova combinação de parâmetros consegue melhorar a qualidade da previsão de chuva, especialmente para as intensidades maiores.

## 1. INTRODUCCIÓN

El modelo Eta que es utilizado en forma operativa en el Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) produce pronósticos operativos dos veces al día (00 y 12 UTC) para casi la totalidad del continente sudamericano. Dicho modelo utiliza el esquema convectivo de Betts y Miller modificado por Janjic (Betts 1986, Betts y Miller 1986, 1993, Janjic' 1994) que consiste basicamente en hallar los puntos en los cuales existe inestabilidad convectiva y ajustar el perfil termodinâmico a uno de referencia. Este último responde a un estado de quasi-equilibrio, fijo para todo el recinto, que fue obtenido en forma empírica en base a un conjunto de observaciones sobre distintos puntos del planeta. Sin embargo Janjic' (1994) destacó que si bien el perfil térmico de referencia puede no presentar grandes variaciones para distintos tipos climáticos la humedad tiene una dependencia geográfica mucho mayor, haciendo necesario su ajuste a la región de interés.

El objetivo del presente trabajo es, en consecuencia, intentar ajustar los parámetros intervinientes en el esquema convectivo de Betts y Miller utilizado por el modelo Eta/CPTEC para la región sudamericana, con el ulterior fin de mejorar la calidad de los pronósticos de precipitación.

## 2. EL MODELO REGIONAL ETA/CPTEC

El Eta es un modelo hidrostático que emplea la cordenada vertical homónima. Su resolución es de 40 km en la horizontal y 38 niveles en la vertical. Utiliza un retículo del tipo E de Arakawa y posee una física completa con parametrizaciones para la precipitación de escala sinóptica y de escala convectiva, esta última según el esquema de Betts y Miller (1986) modificado por Janjic' (1994). En particular los parámetros propuestos por Betts (1986) para ajustar el perfil termodinâmico de referencia se dividen en tres tipos: a) las depresiones de la presión de saturación en la base ( $S_b$ ), en el nivel de congelamiento ( $S_c$ ) y en el tope ( $S_t$ ) de la nube convectiva., b) el parámetro de estabilidad ( $W_t$ ) y c) el tiempo de relajación convectiva( $\tau$ ).

Las condiciones iniciales son tomadas de los análisis del NCEP y las de contorno son suministradas a intervalos de 6 horas por el modelo global COLA/CPTEC que es también utilizado en forma operativa.

## 3. MTERIAL Y METODOS

Con el fin de ajustar el perfil termodinâmico de referencia a la climatología sudamericana se eligieron 15 situaciones sinópticas típicas de distintas épocas del año, que fueron utilizadas para evaluar el grado de acierto de los pronósticos para los distintos conjuntos de coeficientes propuestos.

El ajuste de los parámetros que determinan el perfil termodinâmico se realizó a través de una serie de experimentos de sensibilidade. Estos consistieron en proponer valores para cada una de las 5 variables involucradas, manteniendo las otras 4 constantes, y analizar su efecto sobre el grado de acierto de los pronósticos.

La bondad de las previsiones de precipitación fue estimada a través de dos coeficientes, conocidos como BIAS Score (BIAS) y Equitable Threatment Score (ETS).

Los datos de precipitación observada para las fechas elegidas, recogidos de la red sudamericana de observaciones sinópticas, fueron provistos por el Instituto Nacional de Meteorología de Brasil (INMET). En todos los casos fueron evaluadas las previsiones de 24 horas correspondientes a las 12 UTC.

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

##### 4.1 Sensibilidad a las depresiones de saturación

En esta sección se analiza la sensibilidad de los pronósticos de lluvia a los cambios en las depresiones de la presión de saturación. El perfil de humedad de referencia en el esquema de Betts y Miller queda determinado por la depresión de la presión de saturación en la base (S1), en el nivel de congelamiento (S2) y en el tope de la nube convectiva. Los valores S1, S2 y S3 utilizados hasta el momento en forma operativa son (-48, -70, -22). El BIAS y el ETS promediado sobre todo el dominio de integración para el conjunto de los 15 casos elegidos fue de **1.27** y **0.5**, respectivamente para un umbral de 0.3 mm. Estos valores indican que la versión operativa del Eta/CPTEC tiende sistemáticamente a sobrestimar la cantidad de lluvia prevista, lo que concuerda con los resultados de Chau y Justí da Silva (1999).

En primer lugar se intentó ajustar el valor de la depresión de saturación en la base de la nube, manteniendo todos los demás parámetros sin modificaciones, para lo cual se obtuvo el BIAS y el ETS medio para las 15 situaciones elegidas y para cada uno de los valores de S1 propuestos en la Tabla I.

S1	BIAS	ETS
-60	1.18	0.40
-50	1.22	0.45
<b>-48</b>	<b>1.27</b>	<b>0.50</b>
<i>-45</i>	<i>1.25</i>	<i>0.50</i>
-40	1.27	0.45
-35	1.35	0.45

**Tabla I:** Valores de BIAS y ETS (pronósticos de 24 horas) promediados sobre 15 situaciones diferentes, obtenidos para distintas depresiones de saturación (mb) en la base de la nube convectiva. Los números en “**negrita**” corresponden al experimento control y los destacados en “*itálica*” al nuevo coeficiente seleccionado. Los valores corresponden a un umbral de precipitación de 0.3 mm.

Para el ajuste del parámetro S1 fue necesario realizar 90 integraciones de 24 horas (6 valores alternativos para 15 casos). Por razones de espacio se muestra sólo el BIAS y el ETS correspondientes a un umbral de precipitación de 0.3 mm (equivalente a SI/NO precipitación). Si bien estos son, quizás, los factores más importantes para decidir la bondad los pronósticos, la elección final de los nuevos coeficientes fue decidida considerando los valores obtenidos para todos los intervalos de intensidad.

S2	BIAS	ETS
-75	1.32	0.43
<b>-70</b>	<b>1.25</b>	<b>0.50</b>
-65	1.25	0.47
-60	1.29	0.48
<i>-55</i>	<i>1.15</i>	<i>0.50</i>
-50	1.21	0.50
-45	1.18	0.50

**Tabla II:** Idem Tabla I para la depresión de saturación en el nivel de congelamiento S2. Los valores en “**negrita**” corresponden al experimento control pero incluyendo el parámetro S1 previamente ajustado (S1=45) y los destacados en “*itálica*” al nuevo coeficiente seleccionado.

Los resultados muestran que los perfiles con bases más húmedas (S1 menores) presentan BIAS mayores y ETS menores, es decir que tienden a sobrestimar más la cantidad de lluvia y a no ubicar correctamente las áreas precipitantes. La depresiones de saturación mayores (perfil mas seco) proveen BIAS más próximos a la unidad pero

con valores de ETS más bajos. En consecuencia se adoptó un valor de  $S1=45$  como depresión de saturación en la base de la nube, pues este valor presentó una buena respuesta en ambos coeficientes de verificación.

Del mismo modo se estudió la influencia de los parámetros  $S2$  y  $S3$  sobre la bondad de los pronósticos de precipitación. En sendos casos el valor de  $S1$  utilizado correspondió al hallado previamente ( $S1=-45$ ) mientras que  $Wt$  y  $\tau$  fueron mantenidos constantes. En esta etapa fue necesario realizar 105 y 90 integraciones para ajustar respectivamente los valores de  $S2$  y  $S3$ . La Tabla II muestra que el valor de  $S2$  que mejor resultado obtiene se halla un poco alejado del coeficiente que era utilizado hasta el momento. Si bien en ningún caso fue posible mejorar la distribución espacial de la lluvia (ETS) el coeficiente propuesto ( $S2=-55$ ) permite disminuir considerablemente el exceso de precipitación en las 15 situaciones analizadas. Finalmente la combinación de los parámetros hallados previamente con los valores propuestos en la Tabla III permiten alcanzar un BIAS más próximo a la unidad y un ETS levemente superior. En general puede deducirse a través de las Tablas I, II y III que las depresiones de saturación que logran mejorar los pronósticos obtenidos por el experimento control corresponden a perfiles levemente más húmedos, especialmente en el nivel del congelamiento. Este hecho puede deberse, quizás, al particular clima reinante en la región amazónica, con abundantes precipitaciones estivales y altos índices de humedad.

S3	BIAS	ETS
-15	1,14	0,51
<i>-20</i>	<i>1,13</i>	<i>0,51</i>
<b>-22</b>	<b>1,15</b>	<b>0,50</b>
-25	1,19	0,49
-35	1,15	0,50
-40	1,15	0,49

**Tabla III:** Idem Tabla I para la depresión de saturación en el tope de la nube  $S3$ . Los valores en “**negrita**” corresponden al experimento control pero incluyendo los parámetros  $S1$  y  $S2$  previamente ajustados ( $S1=-45$  y  $S2=-55$ ) y los destacados en “*itálica*” al nuevo coeficiente seleccionado.

#### 4.2 Sensibilidad al parámetro de estabilidad

En este párrafo se investiga la incidencia sobre el pronóstico de precipitación del parámetro de estabilidad ( $Wt$ ) que determina la pendiente del perfil térmico de referencia, comparado con el gradiente adiabático húmedo. Alapaty y otros (1994) sugirieron un  $Wt$  igual a 0,8, mientras que Betts y Miller (1986) y Slingo y otros (1994) propusieron un  $Wt$  igual a 0,85, valor utilizado por el Eta/CPTEC en forma operativa hasta al momento. En esta etapa se han mantenido las depresiones de saturación constantes e iguales a los valores previamente hallados ( $S1=-45$ ,  $S2=-55$  y  $S3=-20$ ). Los nuevos coeficientes propuestos se detallan en la Tabla IV.

Wt	BIAS	ETS
0,95	1,12	0,51
0,90	1,12	0,51
<b>0,85</b>	<b>1,13</b>	<b>0,51</b>
0,80	1,19	0,51
<i>0,75</i>	<i>1,12</i>	<i>0,51</i>
0,70	1,15	0,51
0,65	1,13	0,50

**Tabla IV:** Valores de BIAS y ETS (pronósticos de 24 horas) promediados sobre 15 situaciones diferentes, obtenidos para distintos parámetros de estabilidad. Los números en “**negrita**” corresponden al parámetro utilizado en el experimento control, que incluye los valores hallados previamente para  $S1$ ,  $S2$  y  $S3$  manteniendo  $t$  constante. Los números en “*itálica*” indican el nuevo coeficiente seleccionado. Los valores corresponden a un umbral de precipitación de 0.3 mm.

Este experimento que demandó 105 integraciones permite concluir, a partir de la Tabla IV, que para las situaciones elegidas tres de los coeficientes de estabilidad propuestos mejoran la calidad de los pronósticos. Sin embargo puede apreciarse que no existe una gran sensibilidad a las variaciones de este parámetro. El nuevo valor adoptado ( $Wt=0,75$ ) fue escogido comparando también los resultados obtenidos para umbrales más altos de precipitación (figuras no incluidas) puesto que existen escasas diferencias para los coeficientes propuestos en la Tabla

IV. Este nuevo parámetro de estabilidad contribuye a disminuir un poco más el BIAS, sin perjudicar ETS obtenido anteriormente e implica una pendiente menor en el perfil de referencia de la temperatura, respecto de la utilizada hasta el momento.

#### 4.3 Sensibilidad al tiempo de relajación

El tiempo de relajación  $\tau$  se puede interpretar como el lapso temporal durante el cual el ajuste convectivo responde al forzante de gran escala. En este párrafo se discute su incidencia en el grado de acierto de los pronósticos de precipitación. El valor utilizado hasta el momento es de  $\tau=3000$  segundos y los coeficientes propuestos se detallan en la Tabla V

$\tau$	BIAS	ETS
2500	1,14	0,51
2750	1,15	0,50
<b>3000</b>	<b>1.12</b>	<b>0,52</b>
<i>3250</i>	<i>1,12</i>	<i>0,52</i>
3500	1,12	0,51
3750	1,15	0,51

**Tabla V:** Valores de BIAS y ETS (pronósticos de 24 horas) promediados sobre 15 situaciones diferentes, obtenidos para distintos tiempos de relajación. Los números en “**negrita**” corresponden al parámetro utilizado en experimento control que incluye los valores hallados previamente para S1, S2, S3 y Wt y los destacados en “*itálica*” al nuevo coeficiente seleccionado. Los valores corresponden a un umbral de precipitación de 0.3 mm.

Este análisis (90 integraciones) permitió completar el ajuste de los parámetros propuestos en el esquema de Betts y Miller. La Tabla V indica que la sensibilidad de los pronósticos al tiempo de relajación es también escasa. Una figura no incluida muestra que este coeficiente no influye notoriamente ni en la cantidad de precipitación ni en su variabilidad espacial, sino más bien en su distribución temporal. En otras palabras  $\tau$  regula el lapso de tiempo durante el cual el esquema convectivo produce precipitación. Si bien en la Tabla V no puede apreciarse diferencia alguna el valor  $\tau=3000$  fue escogido frente al utilizado hasta el momento por presentar mejor verificación para mayores intensidades de precipitación. En particular las mejoras se notan con mayor claridad (figuras no incluidas) en las lluvias superiores a los 12mm diarios, es decir de moderada intensidad.

## 5. CONCLUSIONES

El modelo Eta que es utilizado diariamente por el CPTEC/INPE para producir pronósticos del tiempo es integrado dentro de un dominio de integración que abarca la mayor parte del continente sudamericano. El mayor porcentaje de este dominio está integrado por regiones de clima tropical, caracterizados por precipitaciones convectivas. Por esta razón la bondad del pronóstico de precipitación depende fuertemente del desempeño del esquema convectivo de Betts y Miller, incluido en el Eta/CPTEC. En consecuencia este trabajo intenta ajustar los parámetros intervinientes en el esquema de Betts y Miller con el ulterior propósito de mejorar la calidad de los pronósticos.

A través de una serie muy extensa de experimentos de sensibilidad, que significó realizar 390 integraciones de 24 horas, se logró arribar a un conjunto óptimo de coeficientes. Estos determinaron un perfil termodinámico de referencia algo más húmedo y menos empinado respecto del utilizado hasta el momento. El tiempo de relajación también fue aumentado ligeramente.

Los resultados alcanzados muestran que el nuevo conjunto de parámetros generan, para las 15 situaciones elegidas, pronósticos de precipitación de mayor calidad. Esto se evidencia a través de un ligero aumento en el valor de los ETS para casi todos los umbrales y fundamentalmente por una significativa mejora en la cantidad de lluvia prevista (BIAS). Este progreso es aún más notorio para las intensidades mayores, que provocan un impacto social más importante. Un análisis realizado dividiendo al recinto de integración de acuerdo a tres grandes regiones climáticas mostró resultados similares a los hallados para todo el dominio. En general la subregión sur (al sur de 15°S) presentó un grado de verificación levemente superior al hallado para las latitudes tropicales (regiones norte y noreste de América del Sur).

Un hecho interesante es que en la práctica el BIAS y el ETS no son variables completamente independientes,

pues un aumento de la precipitación por parte del modelo provoca un incremento del BIAS, que conduce normalmente a un incremento del ETS. En otras palabras un modelo que sobrestima la precipitación también genera áreas de lluvia más amplias que tienen mayor posibilidad de coincidir con áreas de precipitación observada. En el presente caso los coeficientes óptimos fueron elegidos cuidando que la mejora en uno de las variables de verificación no lesione el grado de acierto de la otra. Por esta razón fue posible disminuir en gran medida los BIAS superiores a la unidad y aún aumentar ligeramente el ETS.

Si bien el número de casos implicado en este estudio no es lo suficientemente grande para brindar a los resultados un estricto rigor estadístico, es posible ver a lo largo de todo el trabajo una tendencia constante y sistemática que indica una mejora en la calidad de las previsiones de precipitación a partir de los parámetros ajustados. Esto se observó tanto para las 15 situaciones elegidas, que fueron seleccionadas sin secuencia cronológica de acuerdo a distintos patrones sinópticos, como para un conjunto de 30 días consecutivos totalmente independiente de los anteriores.

Uno de los problemas que se ha presentado durante el transcurso de esta investigación es la limitación para realizar una verificación cabal y exhaustiva del desempeño del modelo, debido a la existencia de extensas áreas sin información disponible (especialmente en la selva amazónica). Este hecho limita de alguna manera la capacidad para mejorar aún más el ajuste realizado, puesto que no es posible realizar una comparación muy detallada de la intensidad y de las áreas con precipitación. Esto se vuelve aún más crítico si se pretende comparar regiones con precipitaciones dentro de un determinado intervalo de intensidad, y muy particularmente si se trata de lluvias intensas. En este sentido están realizándose en la actualidad algunas campañas intensivas de medición, que seguramente brindarán información sumamente importante para esta y otras tareas.

Finalmente cabe preguntarse acerca del papel de la parametrización de la precipitación de gran escala (explícita): en primer lugar este esquema es responsable por una cantidad mucho menor de lluvia, aunque su distribución espacial puede contribuir a mejorar o deteriorar el ETS. El coeficiente más importante de este esquema es una humedad crítica, por encima de la cual la humedad de la nube es convertida en agua de lluvia. El intento realizado para ajustar dicho valor (por medio de la misma metodología) no permitió mejorar los resultados ya alcanzados.

*agradecimientos:* Este trabajo fue realizado a través de la concesión para el primer autor de una beca de Investigador Visitante del Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico y Tecnológico del Ministerio de Ciencia y Tecnología de Brasil y fue parcialmente financiado por la Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, Brasil.

## 6. REFERENCIAS

- Alapaty K., R.V. Madala, S. Roman, 1994: Numerical simulation of orographic convective rainfall with Kuo and Betts-Miller cumulus parameterizations schemes, *J. Meteor. Soc. Japan*, **72**, 123-137.
- Betts A.K., 1986: A new convective adjustment scheme. Part I: Observational and theoretical basis. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **112**, 677-691.
- Betts A.K., Miller M.J., 1986: A new convective adjustment scheme. Part II: Single column test using GATE wave, BOMEX, and arctic air-masses data sets *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **112**, 1306-1335.
- Black ., 1994: The new NMC mesoscale Eta model: Description and forecast examples. *Wea. Forecasting*, **9**, 265-278.
- Chou, S. C., M.G. A. Justi da Silva, 1999: Objective evaluation of Eta Model precipitation forecasts over South America, *Climanálise*, **4**,
- Slingo y coautores, 1994: Mean climate and transience in the tropics of the UGAMP GCM: Sensitivity to convective parameterization. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **120**, 881-922.