

DESEMPEÑO DE DISTINTAS PARAMETRIZACIONES DE ESQUEMAS DE CÚMULOS EN LA SIMULACIÓN DE PRECIPITACIONES CONVECTIVAS EN LOS ANDES CENTRALES

R. Pascual Flores¹, D. Allende², N. Gärtner³, P. Freisen⁴, T. Bolaño-Ortiz⁵, F. Ruggeri⁶, E. Puliafito⁷.

Grupo de Estudios de la Atmósfera y el Ambiente
Facultad Regional Mendoza – Universidad Tecnológica Nacional
Rodríguez 273, Mendoza-Argentina (M5502AJE)
e-mail: rominapascual@gmail.com, <http://www.frm.utn.edu.ar/geaa>

Recibido 11/08/16, aceptado 10/10/16

RESUMEN: Es este trabajo se examina el desempeño de tres esquemas de parametrizaciones de cúmulos en el modelo WRF en la simulación de precipitaciones convectivas en el área de los Andes Centrales, para eventos ocurridos en los meses de enero y febrero del 2013 y 2014. Todas las simulaciones se realizaron con salidas de resolución horaria empleando los esquemas Kain–Fritsch (KF), Betts–Miller–Janjic (BMJ), y Grell–Devenyi (GD), además de simulaciones explícitas de cúmulos. Las precipitaciones simuladas se compararon con datos horarios y diarios de precipitación acumulada y estimaciones satelitales diarias del producto 3B42 de TRMM. Debido a que el esquema KF posee mejores resultados en cuanto a distribución espacial y que el esquema GD predice mejor las cantidades de agua precipitada, la elección de una parametrización adecuada parece ser dependiente de cada evento.

Palabras clave: esquema de parametrización de cúmulos, precipitaciones, Andes Centrales, modelo WRF, análisis cualitativo y cuantitativo.

INTRODUCCION

El clima de la región de los Andes Centrales está definido por los sistemas meteorológicos pasajeros provenientes del oeste y por el terreno complejo. Varios estudios señalan que la cordillera afecta al clima a escala regional mediante bloqueo de flujo, influyendo en los patrones de viento regional y precipitaciones (Araneo and Compagnucci, 2008; Minetti and Sierra, 1989). La temporada de verano en los Andes Centrales, especialmente hacia el sector argentino, experimenta eventos de precipitaciones de mayor abundancia con respecto al resto del año (Garreaud, 1999).

Las lluvias estivales representan un gran porcentaje del total anual y su carácter convectivo produce también riesgo de aluviones, crecidas estivales, tormentas eléctricas y de granizo que afectan las actividades económicas relevantes en el área. Debido al impacto regional de los mismos, es fundamental una caracterización apropiada de la influencia de la precipitación en la región.

La física y la dinámica de este tipo de eventos pueden entenderse por medio de la ayuda de modelos de mesoescala. Una correcta predicción requiere una adecuada representación de las condiciones atmosféricas, su desarrollo y evolución. En tal sentido, el modelo de predicción numérica WRF (Skamarock et al., 2008) utiliza datos derivados de modelos globales para conducir estudios en áreas de alta resolución. En dichas simulaciones, la parametrización de fenómenos de subgrilla y configuración inicial del modelo es uno de los problemas más relevantes en WRF, ya que el usuario posee gran flexibilidad en la elección de las diferentes opciones disponibles. En consecuencia, los estudios de sensibilidad del modelo WRF a los Esquemas de Parametrización Cúmulos (EPC) ayudarían a establecer qué tipo de simulación determina mejor los aspectos de las circulaciones de mesoescala y local que influyen en tamaño, movimiento y tiempo de vida de los sistemas convectivos.

¹ Becaria Doctoral ANPCyT

² Becario Postdoctoral UTN-FRM

³ Becaria Grupo GEAA UTN-FRM

⁴ Becaria Grupo GEAA UTN-FRM

⁵ Becario Doctoral CONICET

⁶ Becaria Doctoral CONICET

⁷ Investigador Independiente CONICET

En este estudio se realizó un análisis de sensibilidad del modelo WRF configurado con 3 EPC, usando el esquema Kain–Fritsch, el esquema Betts–Miller–Janjic, el esquema Grell–Devenyi y la formulación explícita. Para el análisis se usaron como casos de estudio todos los eventos de precipitaciones convectivas en el área de los Andes Centrales durante enero y febrero de 2013 y 2014. Las salidas del modelo se compararon objetivamente con observaciones puntuales en estaciones de precipitación y observaciones satelitales y se emplearon análisis cualitativos y cuantitativos para evaluar la mejor configuración.

MÉTODOS

Área de estudio

Para la simulación de las precipitaciones se utilizó la versión 3.5 del modelo regional acoplado Weather Research and Forecasting (WRF, Skamarock et al., 2008). WRF fue configurado con tres dominios anidados tal como se ve en la Figura 1. Los dominios de modelado comprenden la parte central de Argentina y Chile, con una resolución espacial de 36, 12, 4 km respectivamente; cuya coordenada vertical es de 50 niveles, hasta una altura de 50 hPa, centrados en Latitud $34^{\circ} 4'33.60''S$ y Longitud $68^{\circ}32'38.40''O$. El tamaño y ubicación de los dominios fue seleccionado de tal manera de incluir la región de los Andes Centrales con las principales cuencas hidrográficas que forman parte de ésta y, además, parte del Océano Pacífico hacia el oeste para estimar la influencia del mismo sobre la humedad y precipitaciones regionales (Pascual Flores et al., 2015a).

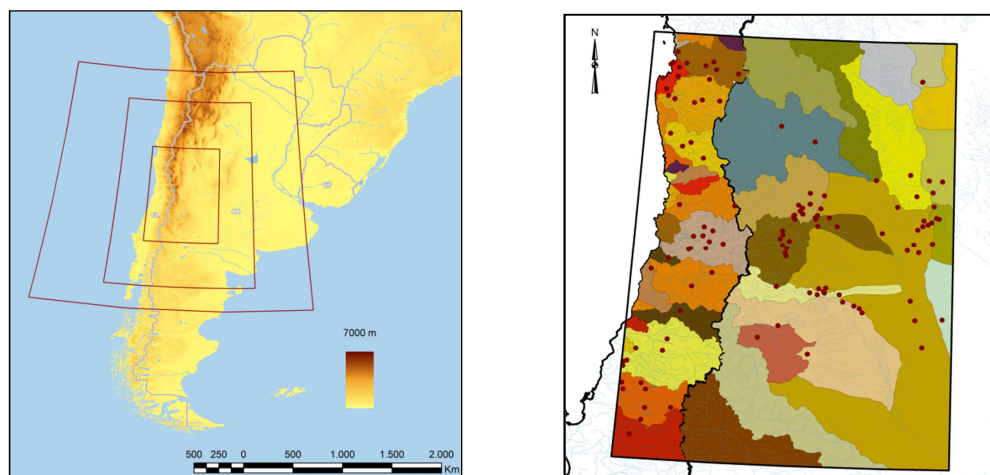


Figura 1. Izquierda: Dominios de modelado definidos para la simulación de precipitaciones con WRF. Derecha: Detalle de las cuencas y estaciones meteorológicas de precipitación (puntos rojos) ubicadas en el dominio menor de estudio.

Esquemas de parametrización de cúmulos

Un esquema de convección estima cuándo se libera la energía de inhibición convectiva en qué cantidad, cuánta precipitación se genera y como se reestabiliza la atmósfera tras una tormenta (Zhang et al., 2011). Asimismo se representa la convección somera, por medio de cúmulos que no llegan a producir precipitación, pero que pueden tener efectos importantes en el balance radiativo. Los EPC se diferencian en la forma en que consideran la Energía Potencial Convectiva Disponible (Convective Available Potential Energy, CAPE, en adelante) y el mecanismo de disparo para la superación de la inhibición convectiva.

El esquema Kain-Fritsch (KF) (Kain and Fritsch, 1990; Kain, 2004) es un esquema de flujo de masa que utiliza un modelo simple de nubes que incluye flujos ascendentes y descendentes y los efectos del arrastre por convección.

A diferencia del KF, el Betts-Miller-Janjic (BMJ) (Betts and Miller, 1986; Janjić, 1994) es un esquema de control de capa profunda, lo que significa que elimina el CAPE sin tener en cuenta el forzamiento superficial. Por lo tanto, no es capaz de retener CAPE durante largo tiempo en la atmósfera sin producir convección.

La parametrización de convección propuesta por Grell-Devenyi (GD) (Grell and Devenyi, 2002) es, de hecho, un conjunto de parametrizaciones que se lanzan en cada punto de grilla y se promedian para obtener el resultado final, que se introduce de vuelta en la atmósfera del modelo. Los conjuntos son de 144 miembros, todos ellos esquemas de flujo de masa, en los que se varían parámetros, como los que regulan la mezcla del aire ascendente o descendente con su entorno, o la eficiencia de la precipitación.

Configuración de modelo

Las diferentes configuraciones del modelo fueron probadas durante 8 distintas quincenas de los meses de enero y febrero en los años 2013 y 2014 (Pascual Flores et al., 2015b) . La inicialización meteorológica y condiciones de contorno del modelo se introdujeron en el modelo por medio de datos globales de NCEP Global Final Analysis of GFS con una resolución de 0,5 grados, y actualizaciones cada 6 horas. La descripción del terreno complejo del oeste de Argentina se incluyó por medio de datos de elevación digitales Shuttle Radar Topography Mission (SRTM3) con una resolución aproximada de 90 m y que contiene una mejor descripción del área de estudio que la configuración por defecto. Asimismo, la clasificación de uso y cobertura del suelo por defecto en WRF fue actualizada por una adaptación de los datos del mapa de la European Space Agency (ESA) GLOBCOVER 2009 con resolución de 300 m, combinados con datos de luces permanentes del Operational Linescan System del programa DMSP - OLS para una mejor identificación de los centros urbanos, áreas cultivadas y zonas montañosas.

Varias opciones de configuración fueron incluidas en el modelo (ver Tabla 1), de acuerdo a casos de estudios previos, que probaron su idoneidad para producir las mejores estimaciones de variables meteorológicas de superficie y altura (Puliafito et al., 2015).

PARAMETRIZACIÓN	ESQUEMA
DATOS DE ENTRADA	
Elevación del terreno	SRTM3
LULC	GLOBCOVER+DMPS-OLS
Reanálisis	NCEP-GFS
SST	NCEP_diaría
RESOLUCIÓN	
Temporal	Δt (seg)= 90
Espacial	$\Delta x, \Delta y$ (km)= 36, 12, 4
Vertical	Δz (ETA levels)= 60
FÍSICA	
Microfísica	Eta microphysics
Radiación onda larga	RRTM
Radiación onda corta	Goddard Dudhia
Superficie	Noah Land Surface Model
Niveles de superficie	4
Física de superficie	Monin-Obukhov similarity Theory
PBL	YSU
EPC	KF/BMJ/GD*

*Tabla 1. Configuración del modelo WRF para las simulaciones de precipitaciones.
(*Estas son las configuraciones variables)*

Para un estudio más específico se llevó a cabo la identificación de eventos particulares de precipitación dentro de cada quincena de estudio que se detallan en la Tabla 2. Dentro de cada quincena se desarrollaron hasta 6 eventos dependiendo el caso, en los cuales se detalla la fecha precisa de ocurrencia, mientras que con (X) se señala la no ocurrencia de evento.

Quincena	Evento 1	Evento 2	Evento 3	Evento 4	Evento 5	Evento 6
QA	X	X	X	X	X	X
QB	17/01/2014	18/01/2014	29/01/2014	X	X	X
QC	13/02/2014	14/02/2014	X	X	X	X
QD	15/02/2014	16/02/2014	20/02/2014	24/02/2014	25/02/2014	X
QE	04/01/2013	12/01/2013	13/01/2013	X	X	X
QF	16/01/2013	17/01/2013	19/01/2013	20/01/2013	28/01/2013	30/01/2013
QG	02/02/2013	07/02/2013	09/02/2013	10/02/2013	X	X
QH	15/02/2013	X	X	X	X	X

Tabla 2. Fecha de los eventos simulados y analizados con WRF.

RESULTADOS

Distribución espacial de precipitación acumulada

Con el propósito de comparar el desempeño de las configuraciones de WRF se estimó la distribución espacial de la precipitación acumulada en cada quincena simulada y también por cada evento de precipitación. La Figura 2 muestra, por ejemplo, la precipitación total simulada para las 3 variantes de ECP y la formulación explícita para para la segunda quincena del mes de febrero del año 2014 (QD).

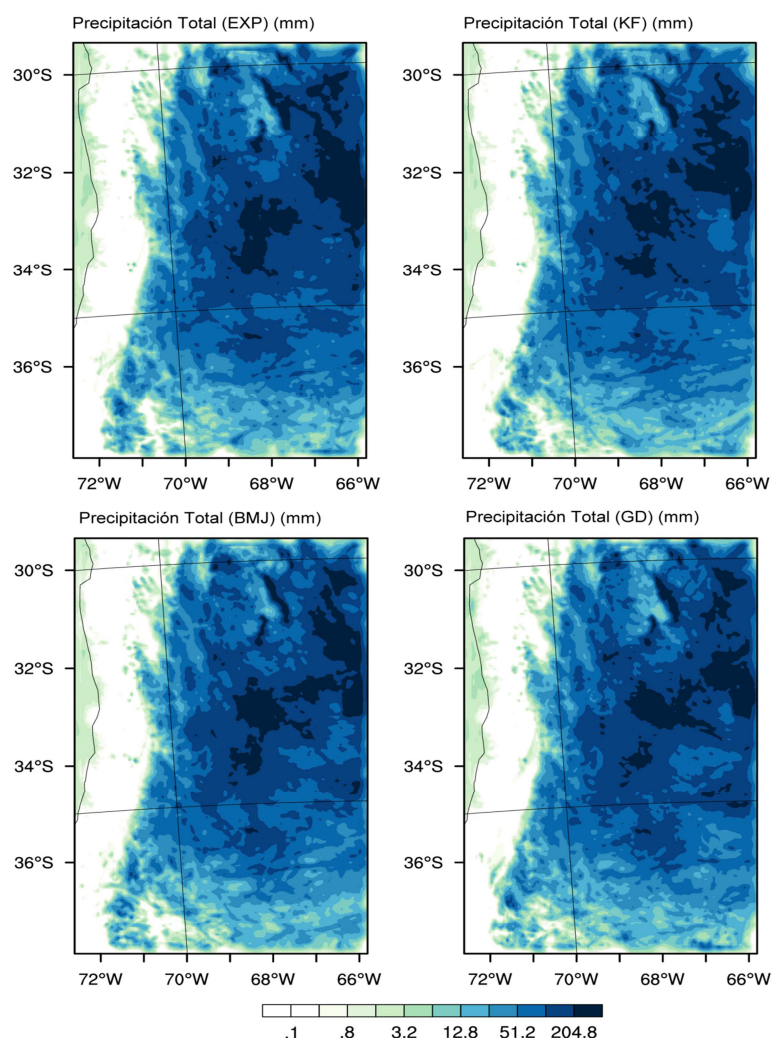


Figura 2. Simulaciones de WRF de precipitación total acumulada con todas las variantes de EPC para la segunda quincena del mes de febrero de 2014 (QD).

Además, las simulaciones efectuadas con WRF se comparan visualmente con la medición satelital proporcionada por TRMM 3B42 (Huffman et al., 2007). El algoritmo 3B42 de TRMM produce estimaciones de precipitación en mm ajustadas por un método combinado TRMM-IR. En las mismas, se presentan datos grillados de precipitación (mm) y estimaciones de error con una resolución temporal diaria y 0,25 x 0,25 grados de resolución espacial. La cobertura espacial total se extiende desde los 50° de latitud N hasta los 50° de latitud S.

Se comienza el análisis con la comparación entre las predicciones de los diferentes esquemas convectivos, de manera de examinar los patrones generados por los diversos EPC. Teniendo en cuenta que la resolución de TRMM 3B42 es casi 6 veces menor que la resolución del dominio de WRF, es necesario llevar a cabo un regrillado (interpolación espacial) para realizar la comparación en una escala homogénea. A manera de ejemplo, se muestra el análisis de un evento particular que transcurrió entre los días 25 y 26 de febrero del año 2014, el cual fue seleccionado debido a la cantidad de precipitación acumulada y a que son evidentes las diferencias entre los diferentes parámetros de análisis (Figura 3).

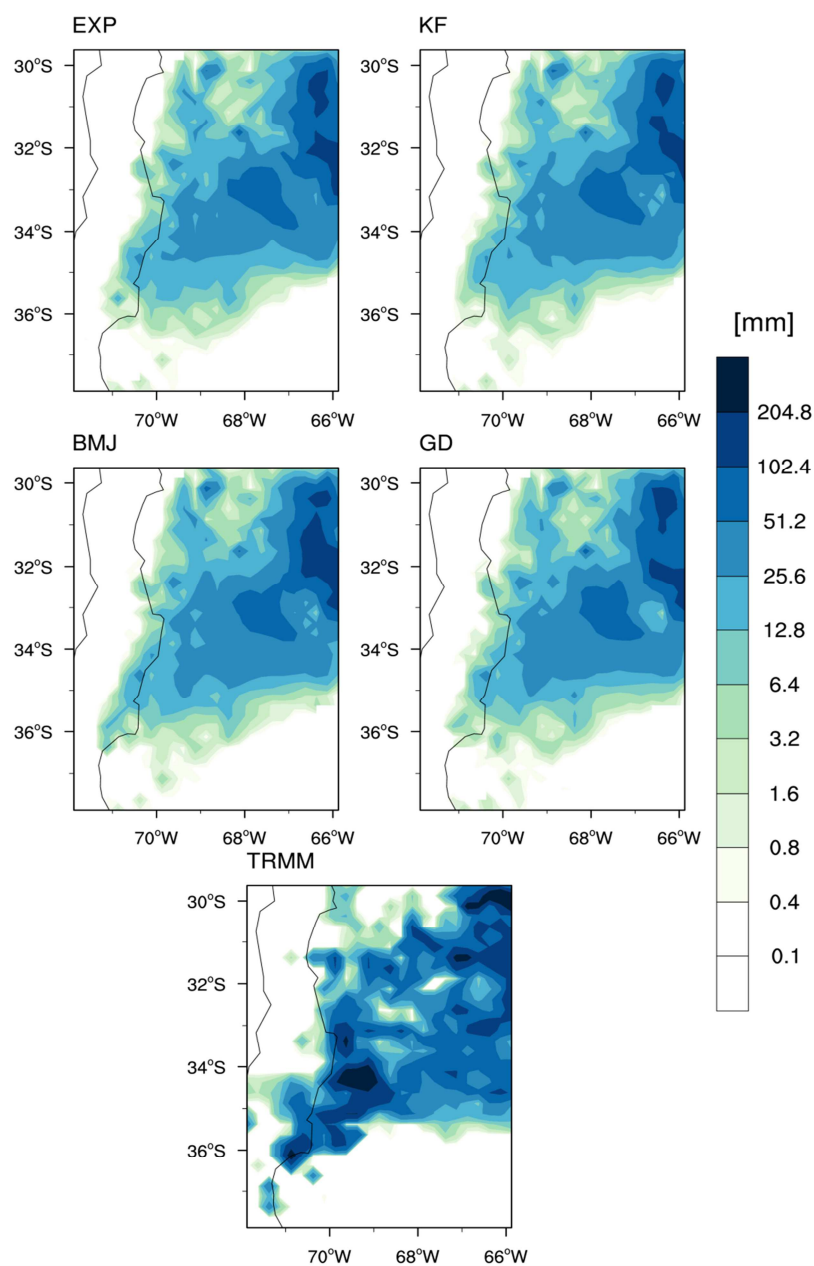


Figura 3. Simulaciones de WRF de precipitación total acumulada (mm) con todas las variantes de EPC para el evento ocurrido el 25 de febrero de 2014 en la quincena QD.

A partir del análisis de la misma puede comprobarse que el modelo es capaz de reproducir claramente las principales características de los patrones generados por los eventos de precipitaciones en las cuencas del dominio de estudio más pequeño, generalmente subestimando la cantidad de mm acumulados.

Las mediciones muestran que en general WRF captura bien las precipitaciones en todas las cuencas aunque la sensibilidad a las condiciones iniciales y de contorno propuesta no es demasiado grande, por lo que se requiere un estudio más detallado en la respuesta del modelo a los diferentes forzamientos.

En tal sentido, para resaltar las diferencias, la Figura 4 muestra la diferencia entre las precipitaciones medidas por TRMM y las predichas en cada simulación empleando diferentes EPC.

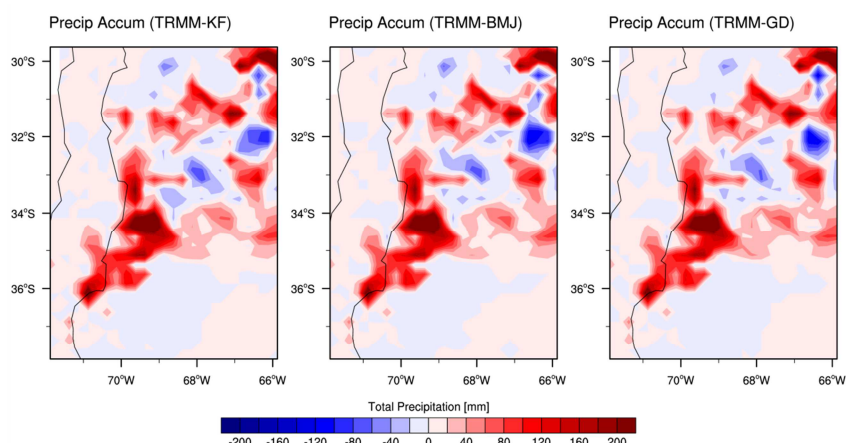


Figura 4. Diferencia entre los datos de precipitación total acumulada (mm) de TRMM 3B42 y las variantes de ECP para el evento ocurrido el 25 de febrero de 2014 en la quincena QD.

En general, todos los esquemas tienden a subestimar precipitación en mayormente en la cuenca del Río Atuel y Diamante, aunque en todos los casos la distribución de la precipitación es similar a las observaciones. Por otro lado, los esquemas GD y KF parecen producir levemente mejores predicciones cuantitativas al equilibrar tanto la distribución espacial como la intensidad.

Las diferencias entre el uso de un EPC y la parametrización explícita para este evento se muestra en la Figura 5. En los tres casos, la respuesta del modelo al emplear un EPC se diferencia de la formulación explícita al predecir precipitaciones con intensidades muy diferentes sobre toda el área afectada por el evento, también con similitudes entre el esquema KF y GD.

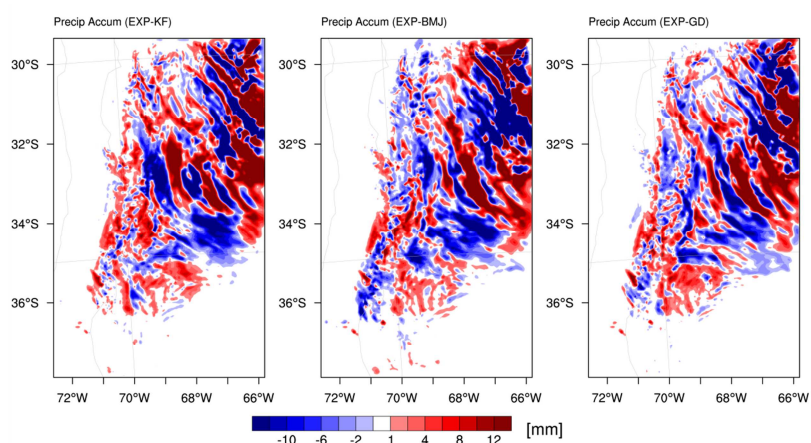


Figura 5. Diferencia entre los datos de precipitación total acumulada (mm) explícita y las variantes de ECP para el evento ocurrido el 25 de febrero de 2014 en la quincena QD.

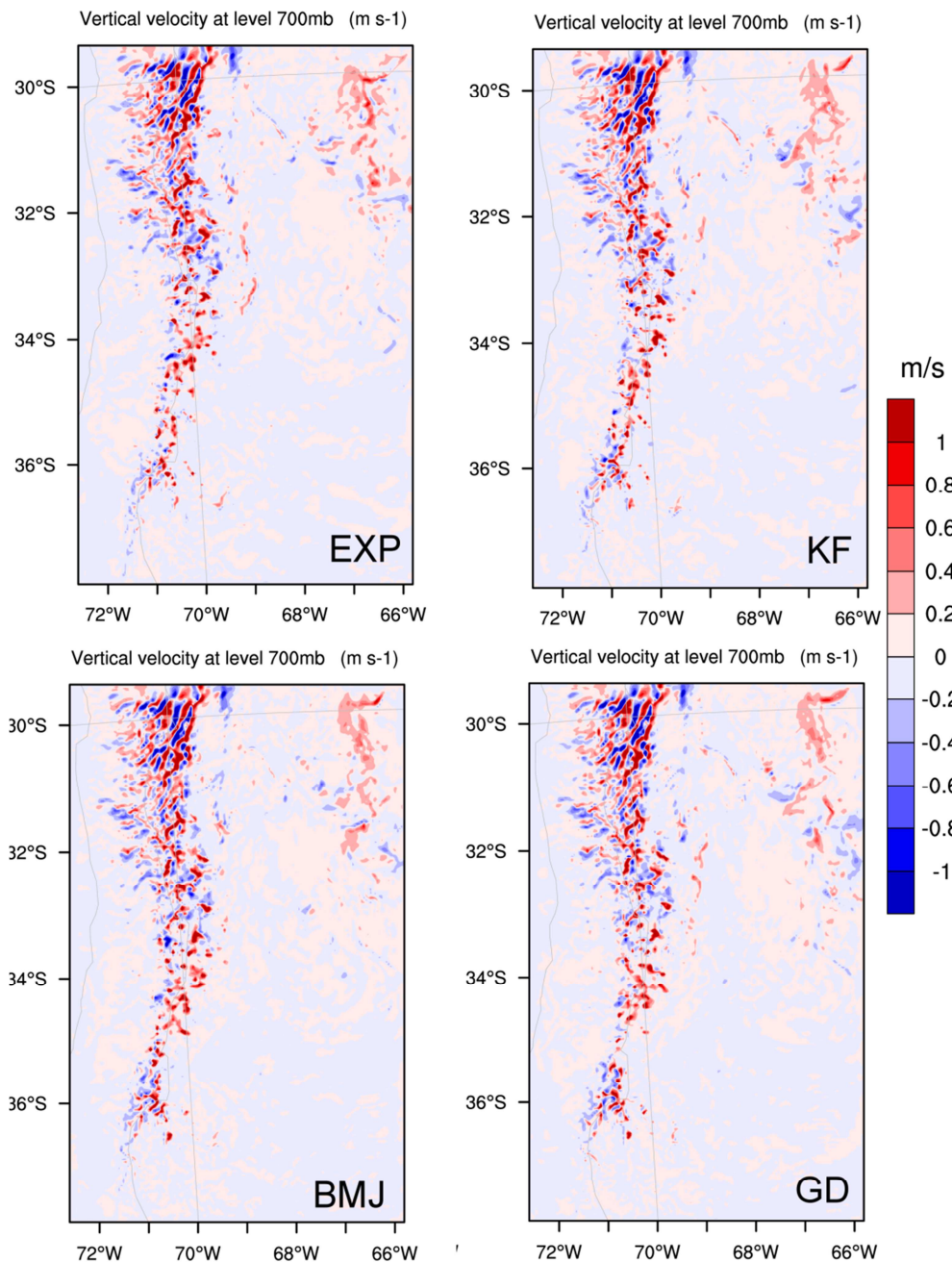


Figura 6. Estructuras de velocidades verticales a 700mb para el evento ocurrido el 25 de febrero de 2014 en la quincena QD.

La Figura 6 muestra que las simulaciones empleando las parametrizaciones de cúmulos KF y GD predicen corrientes ascendentes y descendentes más fuertes en la región cordillerana, pero muestran diferencias hacia el este del dominio. Un análisis en detalle se puede realizar por medio de un análisis de la variación vertical de humedad relativa a la latitud 32.5°S para analizar la convección en la zona (Figura 7).

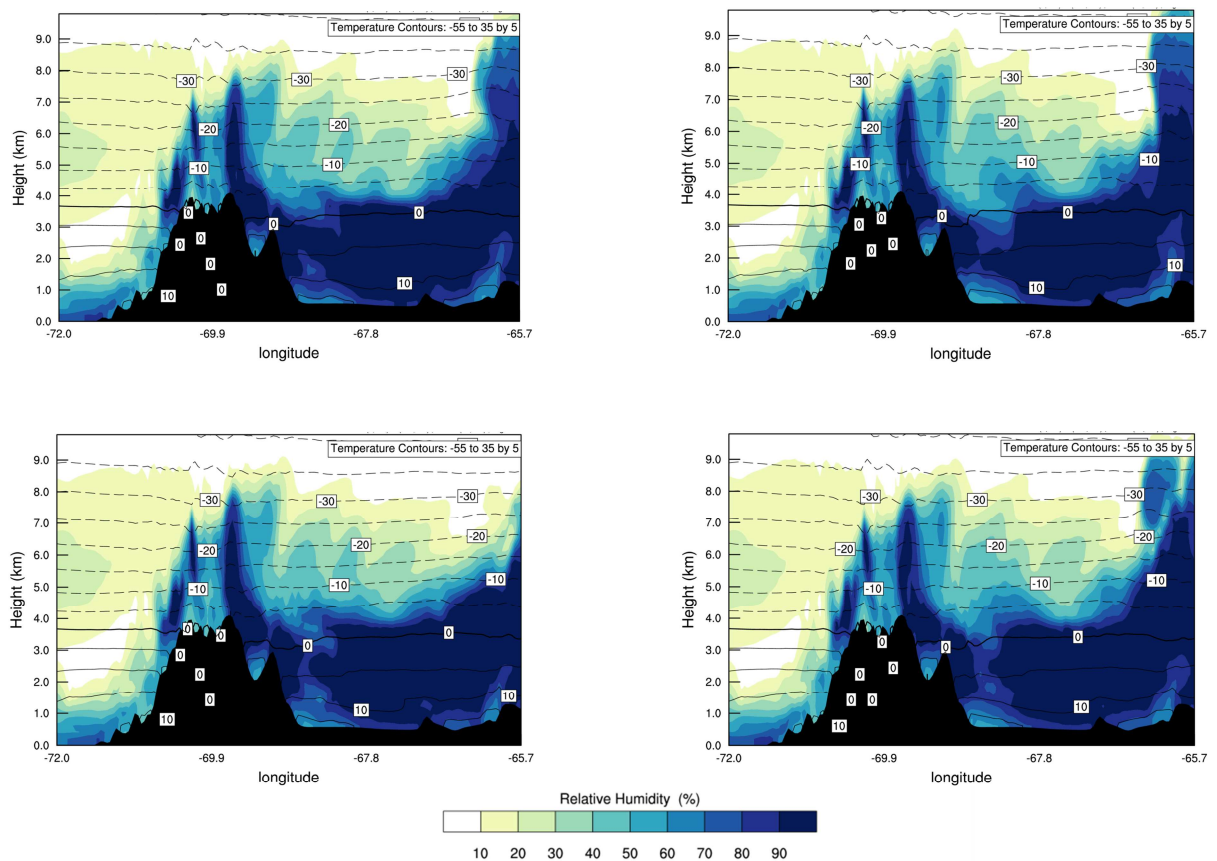


Figura 7. Perfiles verticales de humedad relativa para una latitud de 32.5°S y 22UTC para el evento ocurrido el 25 de febrero de 2014 en la quincena QD.

Se analiza la convección profunda, que genera una mezcla turbulenta impulsada térmicamente, donde los movimientos verticales toman parcelas de la atmósfera inferior por encima de los 500hPa (5km aproximadamente). Puede observarse que en las parametrizaciones KF y GD las corrientes de aire ascendente son más fuertes y localizadas. Las principales diferencias se dan entre los 5 y 10km de altura atmosférica, mayormente sobre la Cuenca Pampas Salinas y la Cuenca Río Conlara al noreste del dominio. Además, teniendo en cuenta que la hora analizada es la del evento, considerando un estudio horario del desarrollo convectivo se pudo observar que el ascenso de las corrientes va aumentando progresivamente, alcanzando grandes alturas durante el período analizado.

Análisis estadístico Cualitativo

En primer lugar, se consideró a la precipitación como un evento binario simple, es decir “llueve” o “no llueve” y se trabajó en su análisis categórico (Pascual Flores et al., 2015a). Los pronósticos de precipitación de WRF se compararon con las mediciones que se reunieron de las estaciones meteorológicas. Con el propósito de validar la modelación, se sustrajo la información de un total de 121 estaciones meteorológicas situadas dentro del dominio, pertenecientes a seis diferentes instituciones, incluyendo el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y la Dirección Meteorológica de Chile (DMC). No en todas ellas se hallaron datos válidos para realizar una comparación en todo el período, en toda el área de estudio.

Se estimó el desempeño del modelo por medio de la comparación entre los resultados de las simulaciones con las diferentes configuraciones propuestas. En base a los elementos analizados se calcularon distintos indicadores: Sesgo (BIAS), Probabilidad de detección de éxito (POD), Tasa de falsa alarma (FAR), Probabilidad de detección de falsas alarmas (PODF), Fracción correcta (ACC), Razón de probabilidades (OR) e Índice de éxito (TS) (Pennelly et al., 2014).

En la Tabla 3 se indican los resultados de los cálculos estadísticos cualitativos para las diferentes configuraciones de WRF, junto con el promedio de los resultados para las cuatro configuraciones de los parámetros estadísticos más relevantes.

	Valor ideal	ARGENTINA				CHILE				PROMEDIO TOTAL			
		EXP	KF	BMJ	GD	EXP	KF	BMJ	GD	EXP	KF	BMJ	GD
BIAS	1	1.950	1.904	1.865	1.833	4.064	4.083	3.992	4.055	4.064	4.083	3.992	4.055
POD	1	0.715	0.681	0.703	0.688	0.343	0.381	0.319	0.338	0.343	0.381	0.319	0.338
FAR	0	0.591	0.593	0.589	0.586	0.826	0.821	0.828	0.817	0.826	0.821	0.828	0.817
POFD	0	0.323	0.313	0.314	0.309	0.120	0.124	0.118	0.116	0.120	0.124	0.118	0.116
ACC	1	0.679	0.676	0.686	0.688	0.849	0.846	0.850	0.851	0.849	0.846	0.850	0.851
OR	∞	6.069	5.306	6.335	5.894	8.8534	9.7774	8.7816	6.5613	8.853	9.777	8.782	6.561
TS	1	0.336	0.321	0.335	0.333	0.122	0.129	0.120	0.125	0.122	0.129	0.120	0.125

Tabla 3. Resultados de los cálculos estadísticos cualitativos para las diferentes configuraciones de WRF, para los dos países que forman parte del dominio de estudio.

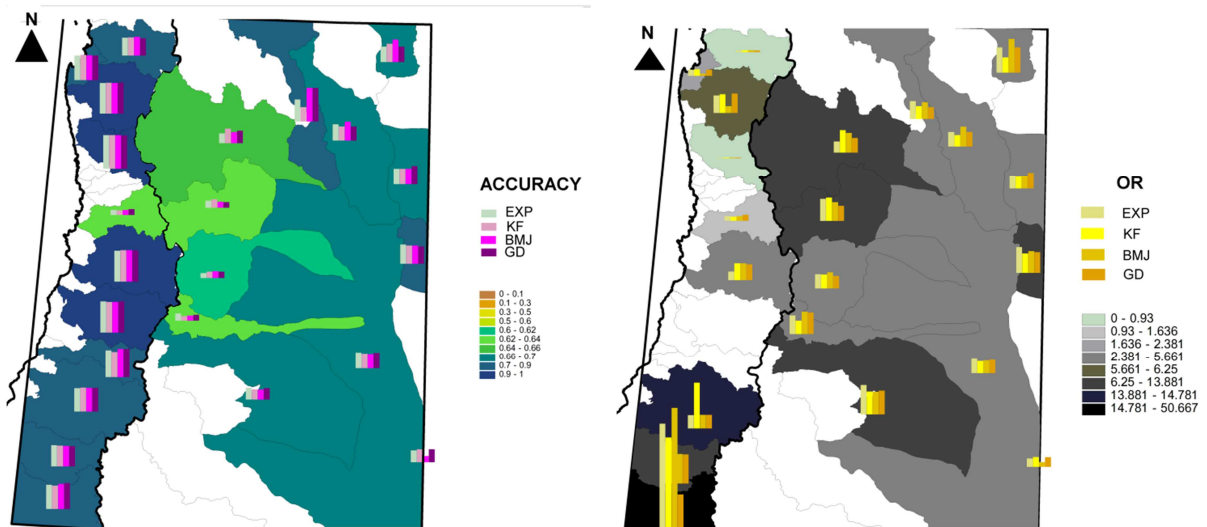


Figura 8. Izquierda: Distribución del parámetro estadístico cualitativo ACC por cuenca y para las cuatro configuraciones de WRF. Derecha: Distribución del parámetro estadístico cualitativo OR por cuenca y para las cuatro configuraciones de WRF.

Analizando la información de la Tabla 3 puede verse que la probabilidad de detección (POD) es grande, indicando que la predicción es alta para todo el dominio. Debido a que en Argentina la precipitación acumulada para el período de tiempo estudiado y el número de estaciones para extraer datos es más grande, los valores de este estadístico son mayores para todos los EPC respecto a los obtenidos en Chile. Si bien la parametrización sin cúmulos (EXP) presenta mejores resultados, BMJ alcanza valores muy cercanos también. El promedio entre las dos regiones en estudio deja a la parametrización KF como la mejor en la predicción de eventos observados para el área total.

En cuanto a la relación respecto a eventos predichos y que no ocurrieron (FAR), la parametrización GD es la que predice la menor cantidad de eventos no observados. GD es la configuración que también predice mejor la ausencia de eventos (POFD), en todo el período de estudio.

Valores cercanos a 1 en la fracción de predicciones correctas (ACC) indica un mejor desempeño de las configuraciones en el número total de predicciones dadas por el modelo. En este caso, es la parametrización GD la que presenta mayor cantidad de aciertos.

Para el sector chileno, para KF hay menos previsiones erróneas (OR) que para GD. Mientras que en Argentina los aciertos respecto de los errores son similares. En el análisis promedio se repite que KF prediga mejor el evento que GD.

Finalmente, el índice de éxito indica la fracción de todos los eventos pronosticados u observados (TS) que son correctos, el mejor puntaje indicaría una predicción perfecta. En Argentina los valores obtenidos muestran una mejor predicción de eventos respecto a Chile. La parametrización KF presenta valores más cercanos a la perfección.

Análisis estadístico Cuantitativo

Con el fin de evaluar las predicciones del modelo con las observaciones, (Chang and Hanna, 2004) recomiendan el uso de una serie de medidas de desempeño estadísticas. Los principales indicadores empleados en este estudio son: Fracción de predicciones dentro de un factor de dos observaciones (FAR2), Sesgo Fraccional (FB), Desviación de la media (M_BIAS) y Error medio cuadrático (RMSE) (Pascual Flores et al., 2015a).

En la Tabla 4 se indican los resultados de los cálculos estadísticos cuantitativos para las diferentes configuraciones de WRF junto con el promedio de los resultados para las cuatro configuraciones de los parámetros estadísticos más relevantes.

	Valor ideal	ARGENTINA				CHILE				PROMEDIO TOTAL			
		EXP	KF	BMJ	GD	EXP	KF	BMJ	GD	EXP	KF	BMJ	GD
FAR2	1	54.100	55.600	53.730	52.610	85.500	86.240	85.750	85.500	69.800	70.920	69.740	69.055
FB	0	-0.905	-0.621	-0.646	-0.689	-1.324	-1.192	-1.176	-1.312	-1.115	-0.907	-0.911	-1.001
M_BIAS	1	2.654	1.902	1.955	2.052	4.918	3.950	3.857	4.810	3.786	2.926	2.906	3.431
RMSE	0	21.476	14.506	15.515	16.654	0.088	0.064	0.069	0.079	10.782	7.285	7.792	8.367

Tabla 4. Resultados de los cálculos estadísticos cuantitativos para las diferentes configuraciones de WRF, para los dos países que forman parte del dominio de estudio.

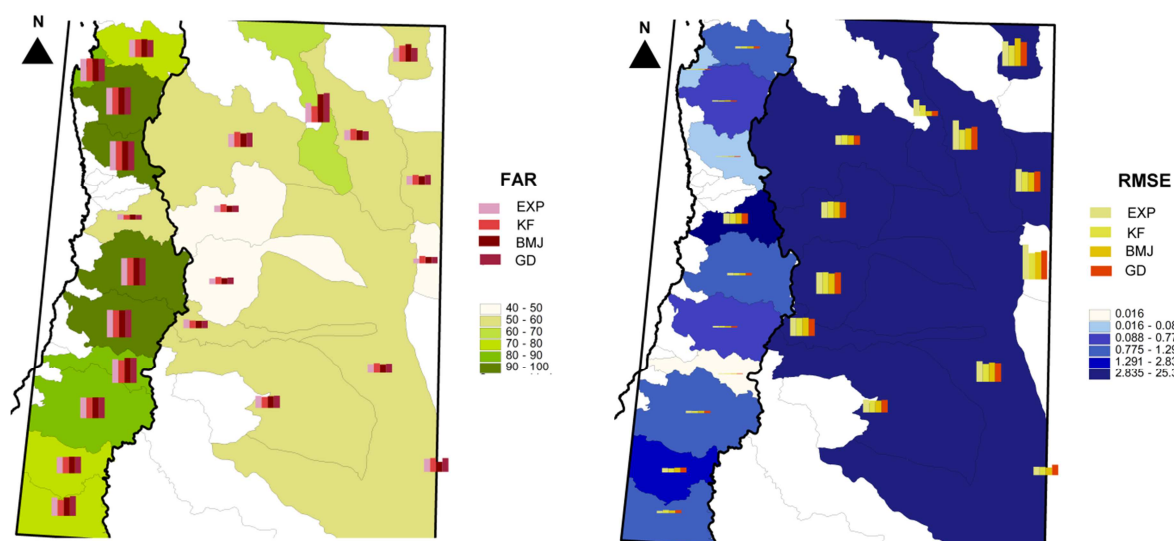


Figura 9. Izquierda: Distribución del parámetros estadísticos cuantitativo FAR por cuenca y para las cuatro configuraciones de WRF. Derecha: Distribución del parámetros estadísticos cuantitativo RMSE por cuenca y para las cuatro configuraciones de WRF.

Según la Tabla 4, la fracción de predicciones dentro de un factor de 2 de observaciones (FAR2) adquiere un mejor valor para la parametrización GD, es la que menos se aleja del valor ideal. De acuerdo a los valores obtenidos para (FB) puede observarse que los valores negativos indican que para todos los casos el modelo subestima cantidades de precipitación acumulada, pero es GD la configuración que mejor realiza la predicción.

El error medio cuadrático (RMSE) indica que hay mayor variabilidad de las predicciones en la Argentina siendo KF la configuración que mejor se desempeña.

Los resultados obtenidos a partir del cálculo de los parámetros estadísticos indican que la mayoría de los eventos predichos y no observados (valores altos de FAR) está en las cuencas más elevadas, que

contienen la cordillera, tanto en Argentina como en Chile, siendo más notoria la variación en el sector chileno en la Cuenca Río Maipo, Cuenca Río Rapel, Cuenca Río Mataquito y Cuenca Río Maule entre otras. En cuanto al error medio cuadrático (RMSE) se observa mayor variabilidad en los valores obtenidos entre cuencas. Esto puede atribuirse a que el número de estaciones con datos medidos y la precipitación acumulada es mayor hacia el este. Por lo tanto, el modelo muestra un mejor desempeño hacia las cuencas de este sector del dominio. Cerca de la cordillera, el comportamiento de los diferentes ECP es bastante similar. Considerando los eventos y no-eventos de forma simétrica, las predicciones en Chile son mejores que en Argentina. La precipitación acumulada en el vecino país para los períodos de tiempo en estudio es menor que en Argentina.

La obtención de valores cercanos a 1 partir del cálculo de ACC indica una cantidad de predicciones correctas apropiada sobre el número total de predicciones señaladas por el modelo principalmente hacia el este del dominio.

CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

Debido a la relevancia de la precipitación en los Andes Centrales, este trabajo presenta una comparación de diferentes simulaciones del modelo WRF utilizando diferentes configuraciones físicas. Una adecuada combinación de parametrizaciones es crítica para la obtención de buenas simulaciones de precipitación.

El desempeño de tres ECP en el modelo WRF para la simulación de precipitaciones convectivas en el área de los Andes Centrales, muestra en la desagregación espacial de los resultados obtenidos, mediante los cálculos estadísticos, que el modelo es capaz de predecir adecuadamente los eventos de precipitaciones para los períodos de tiempo simulado.

A pesar de que el empleo de diferentes ECP genera predicciones de características similares, el desempeño del modelo con los diferentes esquemas a lo largo del dominio es variable. Esto no es sorprendente, ya que cada ECP posee asunciones y especificaciones de parámetros que los hacen más apropiados para cada región de estudio, pero complica su uso en dominios de tamaño regional, con diferentes características. Cambios en las parametrizaciones convectivas implican diferencias en el transporte de humedad regional dentro de una subregión particular. Estos cambios de circulación interactúan con los cambios en la eficiencia local con las que se produce la precipitación y las retroalimentaciones que de aquí surgen pueden alterar potencialmente las características hidrológicas de la región en estudio.

La configuración KF presenta mejores distribuciones espaciales de precipitación acumulada respecto de las demás (Tabla 3), mientras que GD es la mejor configuración en la predicción de la cantidad precipitada (Tabla 4).

De igual manera, es relevante destacar que los efectos de la configuración del modelo WRF para simulaciones de precipitación pueden no ser aparentes cuando se analizan sobre períodos de tiempo grande, pero existen notables diferencias en una base diaria o en el análisis de eventos particulares. En tal sentido, la aplicación ciega del modelo WRF no es recomendable, siendo necesario examinar siempre las simulaciones de forma cuidadosa.

REFERENCIAS

Araneo, D.C., Compagnucci, R.H., 2008. Atmospheric circulation features associated to Argentinean Andean rivers discharge variability. *Geophys. Res. Lett.* 35, 1–6.

Betts, A.K., Miller, M.J., 1986. A new convective adjustment scheme. Part II: Single column tests using GATE wave, BOMEX, ATEX and arctic air-mass data sets. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 112, 693–709.

Chang, J.C., Hanna, S.R., 2004. Air quality model performance evaluation. *Meteorol. Atmos. Phys.* 87, 167–196.

Garreaud, R., 1999. Multiscale Analysis of the Summertime Precipitation over the Central Andes. *Mon. Weather Rev.* 127, 901–921.

Grell, G.A., Devenyi, D., 2002. A generalized approach to parameterizing convection combining ensemble and data assimilation techniques. *Geophys. Res. Lett.* 29, 10–13.

- Huffman, G.J., Bolvin, D.T., Nelkin, E.J., Wolff, D.B., Adler, R.F., Gu, G., Hong, Y., Bowman, K.P., Stocker, E.F., 2007. The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-Global, Multiyear, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scales. *J. Hydrometeorol.* 8, 38–55.
- Janjić, Z.I., 1994. The Step-Mountain Eta Coordinate Model: Further Developments of the Convection, Viscous Sublayer, and Turbulence Closure Schemes. *Mon. Weather Rev.*
- Kain, J.S., 2004. The Kain–Fritsch Convective Parameterization: An Update. *J. Appl. Meteorol.* 43, 170–181.
- Kain, J.S., Fritsch, J.M., 1990. A One-Dimensional Entraining/Detraining Plume Model and Its Application in Convective Parameterization. *J. Atmos. Sci.* 47, 2784–2802.
- Minetti, J.L., Sierra, E.M., 1989. The influence of general circulation patterns on humid and dry years in the cuyo andean region of argentina. *Int. J. Climatol.* 9, 55–68.
- Pascual Flores, R.M., Allende, D., Gärtner, N., Bolaño-Ortiz, T., Ruggeri, F., Puliafito, E., Lakkis, G., 2015a. Análisis estadísticos de la sensibilidad de WRF a las condiciones iniciales en el modelado de precipitaciones en la región de Los Andes Centrales. 1, 125–136.
- Pascual Flores, R.M., Allende, D.G., Bolaño Ortiz, T.R., Ruggeri, M.F., Puliafito, S.E., Lakkis, S.G., 2015b. Análisis de sensibilidad del modelo WRF a las condiciones iniciales para el modelado de precipitaciones en la región de Los Andes Centrales., in: *Contaminación Atmosférica E Hídrica En Argentina*.
- Pennelly, C., Reuter, G., Flesch, T., 2014. Verification of the WRF model for simulating heavy precipitation in Alberta. *Atmos. Res.* 135-136, 172–192.
- Puliafito, S.E., Allende, D.G., Mulena, C.G., Cremades, P., Lakkis, S.G., 2015. Evaluation of the WRF Model Configuration for Zonda Wind Events in a Complex Terrain. *Atmos. Res.* 166, 24–32.
- Skamarock, W.C., Klemp, J.B., Gill, D.O., Barker, D.M., Wang, W., Powers, J.G., 2008. A Description of the Advanced Research WRF Version 3. *Mesoscale Microscale Meteorol. Div. Natl. Cent. Atmos. Res.*
- Zhang, C., Wang, Y., Hamilton, K., 2011. Improved Representation of Boundary Layer Clouds over the Southeast Pacific in ARW-WRF Using a Modified Tiedtke Cumulus Parameterization Scheme*. *Mon. Weather Rev.* 139, 3489–3513.

ABSTRACT: This article examines the performance of three cumulus parameterizations schemes in WRF simulation of convective rainfall in the area of the Central Andes, to events in the months of January and February of 2013 and 2014. All simulations were performed with departures hourly resolution using the Kain -Fritsch (KF), Betts -Miller- Janjic (BMJ) and Grell - Devenyi (GD), along with explicit simulations of cluster schemes. Simulated rainfall they compared with hourly and daily accumulated rainfall data and daily satellite estimates of TRMM 3B42. Since the KF parameterization predicts better the precipitation special distribution and the GD configuration does a better work with the amount simulated the choice of a proper configuration depends on the event analyzed.

Keywords: cumulus parameterization scheme, rainfall, Central Andes, WRF, qualitative and quantitative analysis.