

# Estudio de sensibilidad para evaluar la influencia de los esquemas de parametrización en el modelo WRF sobre los pronósticos de precipitación a corto y mediano plazos en los Andes centrales del Perú

*Dr. Aldo Moya*

*Instituto Geofísico del Perú (IGP)*

## INTRODUCCIÓN

Los modelos meteorológicos regionales son una herramienta poderosa para el pronóstico a corto, mediano y largo plazos de las variables meteorológicas. En este sentido, el modelo de Pronóstico e Investigación sobre el estado atmosférico (WRF, por sus siglas en inglés) (Skamarock et al., 2008) es actualmente uno de los más utilizados en el mundo para estos fines. Su desarrollo comenzó en la segunda mitad de la década de 1990 como una asociación de colaboración entre varias instituciones de los Estados Unidos de América.

Sin embargo, previo al uso de cualquier modelo en una región determinada, es necesario evaluar su rendimiento mediante experimentos numéricos que empleen diferentes configuraciones físicas, resoluciones de sus dominios, entre otros parámetros, los cuales puedan establecer el buen funcionamiento de la herramienta.

En el presente trabajo, se llevó a cabo una investigación para evaluar cómo el modelo WRF pronostica la lluvia en los Andes centrales peruanos. Para ello, las salidas numéricas se comparan con datos de observación “*in situ*” de 19 estaciones en la región (Figura 1c), así como con datos satelitales. La mayor parte de la lluvia en el

Perú se concentra en el período comprendido entre los meses de septiembre y abril (Silva et al., 2008), definiendo una marcada estacionalidad, que cuenta con una estación seca entre mayo y agosto (Aceituno, 1989; Vuille, 2008). En los Andes centrales peruanos, la lluvia juega un papel económico importante, ya que el 71% de la tierra cultivable en la cuenca del Mantaro, una de las más importantes de la zona, depende de ella para los cultivos.

Los modelos numéricos regionales, incluido el WRF, se han utilizado previamente para realizar estudios en diferentes regiones montañosas, incluidos los Andes (Barret, 2009; Viale, 2009). Cabe resaltar que en los últimos tres años las investigaciones en la zona de los Andes centrales, que por mucho tiempo fueron escasas, se han incrementado como consecuencia del proyecto de fortalecimiento de la línea de investigación en física y microfísica de la atmósfera, de la convocatoria “MAGNET: Atracción de Investigadores”. En esta oportunidad, se mostrará parte de los resultados de este trabajo que consiste en la evaluación de la sensibilidad del WRF a los cambios de sus esquemas de parametrización de cúmulos, microfísica y capa límite.

Se sabe de la bibliografía especializada, así como en el manual de usuario del modelo, que existen esquemas de parametrización de los diferentes procesos físicos

que resuelve el WRF, entre ellos los de capa límite, cúmulos y microfísica, que serían los objetos de verificación de este trabajo. Entre otros, para la capa límite, existe el esquema Mellor-Yamada-Janjic (Janjic, 2002) y el esquema de la Universidad de Yonsei [Hong et al., 2006]. Para la convección, las parametrizaciones de Betts-Miller-Janjic (Janjic, 1994), Grell 3D y Grell-Freitas (Grell et al., 2014), y para la microfísica, las parametrizaciones de Thomson et al, (2008), Morrison et al. (2009) y Lin Purdué (Lin et al., 1983).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos se llevaron a cabo utilizando la versión 3.7 de WRF. Las condiciones iniciales y de frontera se tomaron del "Análisis operacional global" del Centro Nacional de Predicción Ambiental (NCEP, por sus siglas en inglés), "Análisis Final" (FNL, por sus siglas en inglés), cada 6 horas y con resolución horizontal de 1° X 1°. Los datos topográficos empleados fueron los del modelo de elevación digital SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), con una resolución de 90 m.

Las simulaciones se realizaron para tres dominios (Figura 1). Se aplicó la técnica de anidación unidireccional, ejecutando los tres dominios a la vez. El modelo se inicializó siempre a las 12 UTC y se configuró con 28 niveles verticales.

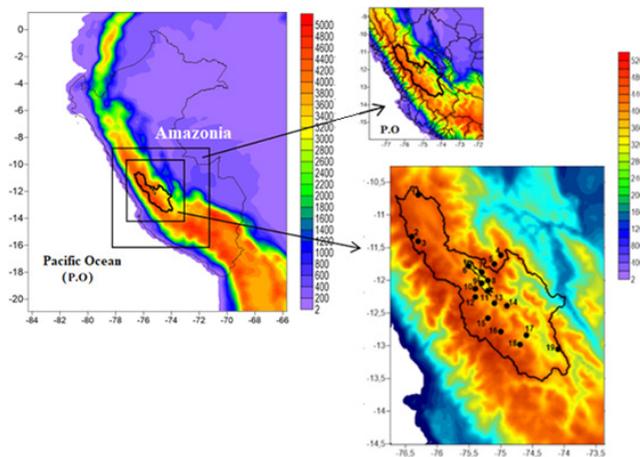


Figura 1. Dominios utilizados en las simulaciones: a) 18 km, b) 6 km y c) 3 km. En c) se aprecia 1) la distribución de las estaciones (círculos de color negro) que han sido consideradas para la verificación de los resultados de los experimentos y 2) una línea continua de color negro que establece la frontera de la cuenca del río Mantaro.

Asimismo, las simulaciones se llevaron a cabo con un horizonte de pronóstico de hasta 10 días, para lo cual se seleccionaron 9 decenas (períodos de diez días consecutivos) correspondientes a los meses de diciembre, enero y febrero de los años 2007, 2009, 2010, 2011 y 2012. Todas las fechas seleccionadas pertenecen al período lluvioso de cada año. La Tabla 1 muestra los esquemas de parametrización evaluados. Obsérvese que, en cada experimento, hay un parámetro que cambia en relación con el experimento de control CTR.

La verificación de los resultados se lleva a cabo de tres maneras: verificación puntual del pronóstico de los valores de precipitación de 24 horas, verificación puntual binaria (llovió o no), y verificación espacial.

Tabla 1. Esquemas de parametrización usados.

Parámetros	Experimentos					
	CTR	C_BMJ	C_GRELL3	MP_MR	MP_LP	BL_MYJ
Microfísica	Thomson	Thomson	Thomson	Morrison	Lin et al.	Thomson
Cúmulos	Grell Freitas	Betts Miller Janjic	Grell3D	Grell Freitas	Grell Freitas	Grell Freitas
Capa límite	Yonsei Univerity	Yonsei Univerity	Yonsei Univerity	Yonsei Univerity	Yonsei Univerity	Mellor Yamada Janjic

## RESULTADOS DE LA VERIFICACIÓN PUNTUAL. PRECIPITACIÓN ACUMULADA EN 24 HORAS

La Tabla 2 muestra los resultados de las simulaciones en cada dominio. Se puede ver que el modelo sobreestimó la precipitación en todos los dominios, independientemente de la configuración. Para el dominio de 18 km (Figura 1a), los mejores resultados se obtuvieron con C\_GRELL3 (6.63 mm / día), que, al mismo tiempo, mostró un "RMSE" de 12.41 mm / día y un "MAE" de 9.37 mm / día. El peor resultado se obtuvo para C\_BMJ.

Para el dominio de 6 km (Figura 1b), MP\_MR dio los mejores resultados. Para este dominio, todas las configuraciones mostraron una mejora notable en relación con el dominio de 18 km. Aquí, C\_BMJ resultó muy similar al resto de las configuraciones, por lo que se puede concluir parcialmente que este esquema es efectivo para dominios de alta resolución, pero no para dominios de baja resolución.

Para el dominio de 3 km (Figura 1c), MP\_MR también mostró los mejores indicadores. La verificación no mostró una mejora significativa para este dominio en relación con los alcanzados en el dominio de 6 km (Figura 1b). Conclusión, MP\_MR dio los mejores resultados, principalmente para los dominios más finos.

Tabla 2. Estadísticas de la verificación puntual del pronóstico de precipitación para los 3 dominios simulados con 6 combinaciones de parametrizaciones, promedio de todas las estaciones consideradas.

WRF_DOM	STATISTICS	PARAMETRIZATIONS					
		CTR	C_BMJ	C_GRELL3	MP_MR	MP_LP	BL_MYJ
1: 18 KM	B (mm/day)	7.35	12.08	<u>6.63</u>	6.82	7.97	8.73
	RMSE (mm/day)	13.59	17.08	<u>12.41</u>	12.49	14.27	14.03
	MAE (mm/day)	10.17	13.84	<u>9.37</u>	9.63	10.62	11.18
2: 6 KM	B (mm/day)	6.01	6.71	5.78	<u>4.66</u>	6.06	6.19
	RMSE (mm/day)	12.16	11.67	11.76	<u>10.62</u>	12.35	12.28
	MAE (mm/day)	9.09	9.23	8.92	<u>8.07</u>	9.18	9.31
3: 3 KM	B (mm/day)	5.31	5.71	5.46	3.68	4.87	5.98
	RMSE (mm/day)	11.69	10.21	11.3	<u>10.02</u>	11.68	12.17
	MAE (mm/day)	9.7	8.08	8.52	<u>7.32</u>	8.45	9.19

La Figura 2 muestra la evolución del "RMSE" promedio para los 10 días de pronóstico, promedio entre los dominios 2 y 3. Se observa que el "RMSE" aumenta a medida que aumenta el período de simulación. La configuración C\_BMJ y MP\_MR muestran valores RMSE relativamente bajos en todos los días de pronóstico, creciendo lentamente desde el día 1 hasta el 5, pero desde el sexto día de pronóstico en adelante, C\_BMJ continúa aumentando el error, mientras que MP\_MR se muestra más eficiente hasta el día 10.

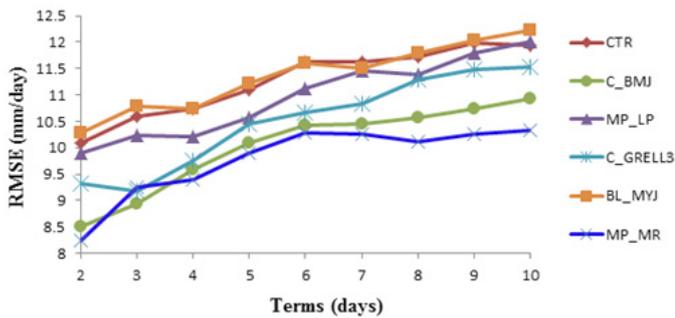


Figura 2. Evolución del promedio de "RMSE" de los dominios 2 y 3 (ver Figura 1) de todas las estaciones con cada esquema de configuración utilizado, para los 10 días de horizonte de simulación.

## RESULTADOS DE LA VERIFICACIÓN PUNTUAL. OCURRENCIA DE PRECIPITACIÓN COMO UNA VARIABLE BINARIA CATEGÓRICA

La Tabla 3 muestra las estadísticas de verificación binaria categórica para las diferentes configuraciones. En sentido general, se puede notar que los niveles de detección de las diferentes configuraciones son mayores al 85%. Sin embargo, el BIAS fue mayor que 1, lo que indica que el modelo sobreestima la presencia de precipitaciones en la región. En la Tabla 3, también se observa que, para el dominio de 6 km, el índice POD más alto (94.39%) se obtuvo con la configuración C\_BMJ, mientras que el "Correcto Negativo" más alto, del 65.31%, se obtuvo con la configuración MP\_MR. El WEI más alto fue el del esquema C\_BMJ. Los índices de falsas alarmas y BIAS muestran valores cercanos para todas las configuraciones.

Para el dominio de 3 km, también C\_BMJ mostró el mejor POD (93.07%), con un NC de 62.74, sin embargo, el NC más alto (62.8%) y WEI (74.18) se mostraron por CTR. En general, para los dos dominios, las configuraciones CTR, C\_BMJ y MP\_MR fueron las más efectivas.

Tabla 3. Estadísticas de la verificación puntual para los dominios 2 y 3 con 6 combinaciones de parametrizaciones, promedio de todas las estaciones consideradas.

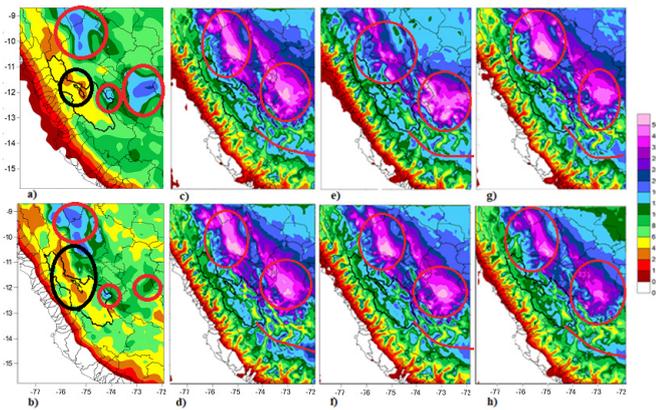
WRF_DOM	STATISTICS	PARAMETRIZATIONS					
		CTR	C_BMJ	C_GRELL3	MP_MR	MP_LP	BL_MYJ
2: 6 KM	POD (%)	81.54	94.39	90.61	94.04	92.28	92.72
	FAR (%)	28.40	28.55	29.00	29.10	28.48	28.77
	NC (%)	38.80	61.90	57.71	65.31	62.87	62.78
	BIAS	1.14	1.32	1.28	1.33	1.29	1.30
	WEI (%)	66.33	74.57	72.36	74.3	73.90	73.84
3: 3 KM	POD (%)	89.90	93.07	90.96	88.95	90.61	90.88
	FAR (%)	26.70	29.08	28.63	26.63	26.69	27.30
	NC (%)	62.80	62.74	59.61	61.23	58.20	59.38
	BIAS	1.23	1.31	1.27	1.21	1.24	1.25
	WEI (%)	74.18	73.75	72.96	73.67	73.98	73.80

## RESULTADOS DE LA VERIFICACIÓN ESPACIAL

La Figura 3 muestra la distribución espacial promedio de la precipitación de las bases de datos TRMM (Huffman et al., 2007) y PISCO (Lavado-Casimiro et al., 2016), así como los resultados del modelo para las diferentes configuraciones utilizadas en los períodos estudiados, correspondientes al dominio de 6 km. Con respecto a los datos de TRMM y PISCO (a y b), se puede ver que ambas bases de datos muestran patrones de precipitación muy similares. En este sentido, la mayor diferencia es que TRMM muestra un máximo de lluvia alrededor de 12°S y 73°W, lo cual es menos notorio en PISCO, debido a que en esa región hay pocas estaciones meteorológicas.

Los mapas en las figuras 6 c-h muestran los resultados de WRF para las diferentes configuraciones utilizadas en los experimentos. Se puede observar que, en general, todas las configuraciones reproducen correctamente los patrones de precipitación mostrados por PISCO y TRMM, pero sobreestimando los acumulados de referencia, mostrados en las figuras 6 a-b, principalmente en la ladera oriental de la cordillera. Un resultado similar se obtuvo para el dominio de 3 km de resolución, debido a que, MP-MR muestra una sobrestimación más discreta en relación con el resto de los esquemas.

El esquema MP-MR en sentido general mostró los mejores resultados a partir de la evaluación realizada, aunque el esquema C\_BMJ también se mostró efectivo para los dominios más finos.



**Figura 3.** Distribución espacial de la precipitación (mm) para el dominio de 6 km, promedio de todos los períodos estudiados; a) TRMM, b) PISCO, c) CTR, d) MP\_LP, e) C\_BMJ, f) BL\_MYJ, g) C\_GRELL3 y h) MP\_MR.

## REFERENCIAS

Aceituno, P., 1988: On the functioning of the Southern Oscillation in the South American sector. Part I: Surface climate. *Mon. Wea. Rev.*, 116, 505–524, [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1988\)116,0505:OTFOTS.2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1988)116,0505:OTFOTS.2.0.CO;2).

Barrett, B. S., R. Garreaud and M. Falvey “Effect of the Andes cordillera on precipitation from a midlatitude cold front,” *Monthly Weather Review*, vol. 137, pp. 3092–3109, 2009. <https://doi.org/10.1175/2009MWR2881.1>

Grell, G. A., S. R. Freitas “A scale and aerosol aware stochastic convective parameterization for weather and air quality modeling,” *Atmos. Chem. Phys.*, vol. 14, pp. 5233–5250, 2014. doi: 10.5194/acp-14-5233-2014.

Hong, S.-Y., Y. Noh, J. Dudhia “A new vertical diffusion package with an explicit treatment of entrainment processes,” *Mon. Weather Rev.*, vol. 134, pp 2318–2341, 2006. doi: 10.1175/MWR3199.1

Huffman, G.J., R.F. Adler, D.T. Bolvin, G. Gu, E.J. Nelkin, K.P. Bowman, Y. Hong, E.F. Stocker, D.B. Wolff. The TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis: Quasi-Global, Multi-Year, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scale. *J. Hydrometeor.*, 8: 38–55, 2007

Janjic, Z. I. “Nonsingular Implementation of the Mellor-Yamada Level 2.5 Scheme in the NCEP Meso model”. NCEP Office Note No. 437, 61 pp., 2002. <http://www.emc.ncep.noaa.gov/officenotes/newernotes/on437.pdf>

Janjić, Z. I. “The step-mountain eta coordinate model: Further developments of the convection, viscous sublayer, and turbulence closure schemes”. *Mon. Wea. Rev.*, 122, 927–945, 1994.

[https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1994\)122,0927:TSM-ECM.2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1994)122,0927:TSM-ECM.2.0.CO;2)

Lavado-Casimiro, W. S., Aybar, C., Huerta, A., Sabino, E., Zevallos, J. & Felipe-Obando O. Generación de datos grillados de precipitación diaria (PISCO Pd 1981–2015) y su utilidad para la estimación de umbrales de precipitaciones máximas. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). Estudio de la Dirección de Hidrología, 2016.

Lin, Y. L., R. D. Farley and H. D. Orville “Bulk Parametrization of the Snow Field in a Cloud Model,” *J. Climate Appl. Met.*, vol. 22, pp. 1065 – 1092, 1983.

[https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1983\)022<1065:BPO-TSF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1983)022<1065:BPO-TSF>2.0.CO;2)

Morrison, H., G. Thompson and V. Tatarskii “Impact of cloud microphysics on the development of trailing stratiform precipitation in a simulated squall line: Comparison of one- and two-moment schemes,” *Mon. Wea. Rev.* vol. 137, pp. 991–1007, 2009. <https://doi.org/10.1175/2008MWR2556.1>.

Silva, Y., K. Takahashi and R. Chávez “Dry and wet rainy seasons in the Mantaro river basin (Central Peruvian Andes),” *Advances in Geosciences*, vol. 14, pp. 261–264, 2008. <https://doi.org/10.5194/adgeo-14-261-2008, 2008>

Skamarock, W., J. Klemp, J. Dudhia et al., “A Description of the Advanced Research WRF Version 3,” NCAR Technical Note, NCAR/TN–468+STR, National Center for Atmospheric Research (NCAR), Mesoscale and Microscale Meteorology Division, Boulder, Colorado, USA, 2008, doi:10.5065/D68S4MVH

Thompson, G., P. R. Field, R. F. Rasmussen and W. Hall “Explicit Forecasts of Winter Precipitation Using an Improved Bulk Microphysics Scheme. Part II: Implementation of a New Snow Parameterization. *Mon. Wea. Rev.*, vol. 136, pp. 5095 – 5115, 2008.

<http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/2008MWR2387.1>

Viale, M., F. A. Norte “Strong cross-barrier flow under stable conditions producing intense winter orographic precipitation: a case study over the subtropical central Andes,” *Weather Forecast*, vol. 24, pp. 1009–1031, 2009.

Vuille, M., G. Kaser and I. Juen “Glacier mass balance variability in the Cordillera Blanca, Peru and its relationship with climate and the large-scale circulation,” *Glob. Planet. Change*, vol. 62, pp. 14–28, 2008.

<https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.11.003>