

IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO WRF PARA LA SABANA DE BOGOTÁ

Arango, C. & Ruiz, J.F.

RESUMEN

Se presenta la validación del modelo de pronóstico del tiempo WRF con la topografía para Colombia según el SRTM elaborado por el IGAC a una resolución espacial de 270m. Para ello se establecen 3 dominios con el fin de modelar la Sabana de Bogotá a 1.667 km de resolución (distancia entre puntos de grilla). La validación se realiza con 3 estaciones de Bogotá, para las variables precipitación acumulada, temperatura máxima y temperatura mínima. En primer lugar se compara las corridas realizadas por el modelo con la topografía y usos del suelo con datos USGS y la topografía del IGAC con datos de uso del suelo MODIS y USGS. Se observa cierta mejora con el modelo con la topografía corregida, pero no es clara la diferencia al utilizar los datos de uso del suelo MODIS o USGS. Finalmente se validó el modelo operativo iniciado a las 00z para 21 días con 5 días de pronóstico, se encontró que el primer día de pronóstico presenta el error más grande debido a que 6 horas de spin up no son suficientes. El Modelo subestima tanto la temperatura como la precipitación.

Palabras clave: modelo WRF, Validación, Topografía, Temperatura, Precipitación,

1. INTRODUCCIÓN

Los modelos numéricos de pronóstico del tiempo (NWP) constituyen una herramienta base para entender, explicar y predecir el comportamiento de la atmósfera. El modelo WRF (Skamarock *et al*, 2005) se caracteriza, no solo por ser uno de los modelos numéricos de predicción del tiempo que mas se utiliza a nivel mundial en las oficinas de pronóstico, sino también por ser muy empleado en el ámbito investigativo Ruiz, 2008) en diversas universidades. (Michalakes *et al.*, 2004).

En Colombia, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) , la Fuerza Aérea Colombiana (FAC) , el Centro de Investigaciones Oceánicas e Hidrográficas (CIOH) , y otras instituciones no gubernamentales tienen experiencia en la predicción de variables atmosféricas a través de este modelo; mientras que las universidades han reducido su utilización al estudio de casos específicos (Leon *et al*, 2011). En el caso particular del IDEAM, el modelo WRF se implementó desde el año 2007 con fines de predicción del tiempo para Colombia y la ciudad de Bogotá a una resolución espacial de (20kmx20km) y (7kmx7km) respectivamente (Ruiz, 2008), siendo una herramienta muy importante para los meteorólogos a la hora de tomar decisiones en la emisión del pronóstico oficial.

Dado el comportamiento de la atmósfera en condiciones de inestabilidad convectiva y la compleja dinámica de los sistemas convectivos, tanto en su inicio como en su evolución, interesa evaluar el desempeño de los modelos de mesoescala en alta resolución, con el fin de mejorar la predicción de los mismos (Dillon *et al.*, 2011), dicha evaluación es mas necesaria aún en terrenos orográficos complejos como los de Colombia, ya que en aquellos

casos en los que el forzamiento de escala sinóptica es débil, el forzamiento por topografía puede tener un efecto importante sobre el flujo atmosférico de mesoescala. Hay otras características de la superficie (tipo de uso del suelo, las texturas del suelo, rugosidad, el contenido de humedad del suelo, etc.) que juegan un papel importante en los procesos de mesoescala. Estas características de la superficie deben ser analizadas en detalle. Sin embargo, si la topografía de superficie es una importante fuerza impulsora de los procesos atmosféricos de mesoescala involucrados, entonces el tamaño de la grilla y el anidamiento de los dominios deben ser influenciados principalmente por la topografía local. En otras palabras, El análisis de las inhomogeneidades del terreno es un paso necesario (pero no suficiente) en el proceso de establecer el tamaño de la grilla horizontal para su aplicación en modelos de mesoescala. (Salvador et al., 1999)

La representación de la topografía de la superficie por el modelo determina su capacidad de pronosticar las estructuras meteorológicas inducidas por el terreno. Si un modelo no representa un accidente topográfico, no puede resolver o pronosticar un fenómeno meteorológico inducido o influenciado por esa estructura topográfica. Sin embargo, una resolución demasiado fina con una topografía muy accidentada hace que las ondas representen mal y se pronostiquen aún peor. Además, a medida que la energía se acumula en los modelos a escalas de tres puntos de malla o menos, los métodos computacionales pueden "estallar" y detener la ejecución del modelo antes de que termine de generar un pronóstico (http://www.meted.ucar.edu/nwp/model_structure_es/).

Diversas investigaciones han demostrado las bondades de simular topografía y resoluciones de grilla finas en lugares con terreno muy accidentado, (McQueen et al., 1995) determinan la influencia de la resolución de los dominios en la predicción del campo de vientos. Los autores obtienen resultados de diversos experimentos de sensibilidad que señalan el forzamiento debido a la topografía en el modelo RAMS. Los mejores resultados, en comparación con las observaciones, se dan con un paso de grilla horizontal de 2,5 Km y 12m por encima del suelo para el primer nivel vertical de viento. También se señala que la resolución vertical es tan importante como la resolución horizontal para la correcta reproducción de complejas circulaciones.

Por otro lado, (Salvador et al., 1999) analizan también la mejora de los resultados al variar la resolución de la grilla y los datos topográficos (comparan los datos de USGS y los datos del instituto geográfico nacional de España). Así, constatan una mejora en la descripción de los fenómenos meteorológicos de escala pequeña trabajando con resoluciones de 2 km o más finas. Las diferencias en los flujos horizontales son significativas durante períodos nocturnos, donde el forzamiento de la topografía es más destacable, y durante períodos diurnos, donde los forzamientos térmicos son dominantes. El estudio trabaja con pasos de malla de 6, 4, 2 y 1,5 km, obteniendo diferencias significativas, sobretodo en altura, con las simulaciones de 2 y 1,5 km. Resaltan también, que la simulación con una resolución de 1,5 km conlleva un consumo de tiempo de ejecución 20 veces mayor que para la de 2 km.

Stenger (2000) hace referencia a la mejora de los resultados al aumentar la resolución. Sin embargo, no siempre se produce una mejora en los resultados al trabajar con grillas más finas. En situaciones ageostróficas se producen mejoras al aumentar la resolución, sin embargo, en situaciones más geostróficas el comportamiento de una simulación con resolución no muy elevada produce mejores resultados a medida que avanza el tiempo de pronóstico que una de alta resolución. Cabe remarcar que el estudio del autor se centra en el

centro de Estados Unidos, abarcando una gran extensión de terreno.

Un claro ejemplo de la importancia de la topografía en los modelos de mesoescala es el trabajo de (Jorba et al., 2005) quienes evidencian la influencia de la resolución de las grillas para alimentar el modelo MM5 con fines de estudios de calidad de aire aplicados a terrenos muy complejos. Los resultados son muy sensibles al grado de suavizamiento de la orografía y se presentan mejores resultados al utilizar una resolución espacial de 2km comparada con otra de 4km.

En Colombia la utilización del modelo WRF con una resolución fina, principalmente en términos de grilla horizontal, es todavía motivo de investigación más teniendo en cuenta su topografía compleja, pues es preciso llegar a un equilibrio entre la distancia de los puntos de grilla y el suavizado de la topografía. En este sentido, el presente artículo describe la primera parte de un proyecto de investigación que empieza a llevar a cabo el IDEAM en el cual se pretende evaluar y calibrar el modelo tanto en la parte de preprocesamiento (WPS) como en la parte física y dinámica. De acuerdo a esto a continuación se presentan la metodología y los resultados obtenidos luego de modificar la topografía del modelo (con los datos que el IGAC y el mismo IDEAM han establecido para Colombia) y utilizar los datos MODIS para uso del suelo con el fin de mejorar el modelo a alta resolución en la sabana de Bogotá.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 DOMINIOS.

Se estableció un juego de 3 dominios anidados centrados en la ciudad de Bogotá, un dominio grande que cubre la mayor parte del territorio colombiano (para tener en cuenta el flujo del Pacífico y la influencia de las 3 cordilleras) de 15 Km de resolución espacial, un dominio intermedio de 5 km de resolución que abarca principalmente las cordilleras central y oriental y el valle interandino formado entre éstas (con el fin de que no se afecte la onda por la orografía en el dominio pequeño), finalmente un dominio pequeño que centrado en la sabana de Bogotá de 1,67 km de resolución (Fig. 1)

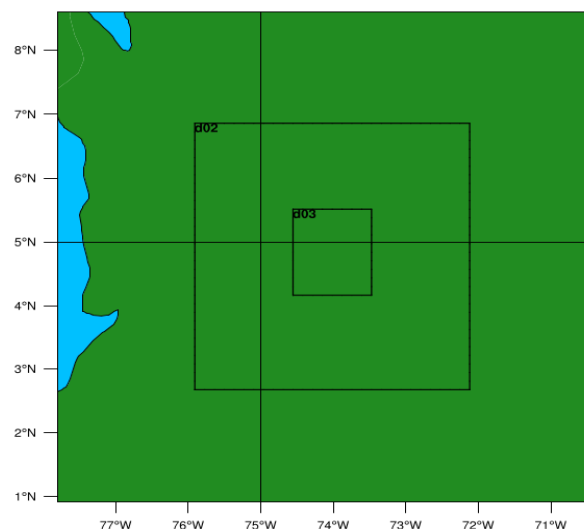


Figura 1. Anidamiento de dominios

2.2 DATOS UTILIZADOS

Para el análisis topográfico se utilizaron dos bases de datos. En primer lugar se usaron los datos del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS por sus siglas en inglés), los cuales vienen para utilizar por defecto en el modelo WRF y pueden ser utilizados en diferentes resoluciones que van desde los 10' (aproximadamente 18,5 Km) hasta 30" (aproximadamente 900 m). También se utilizó la base de datos del modelo digital de terreno (SRTM) del IGAC, de 1000m y 400m de resolución.

Por su parte, para los usos del suelo el modelo WRF utiliza por defecto las 24 categorías de uso del suelo de la USGS. Sin embargo, también se puede utilizar la clasificación MODIS desarrollada por el International Geosphere-Biosphere Programme y modificados por la Noah land surface. Este set de datos tiene 20 categorías y solo puede utilizarse en el modelo wrf con "noah land surface model" .

Para la validación del modelo se emplearon los datos horarios de precipitación en milímetros (mm) y temperatura en superficie en (°C) de 4 estaciones de la red de estaciones automáticas del IDEAM para la ciudad de Bogotá, estas estaciones son: Ciudad Bolívar, Universidad Nacional e IDEAM. A continuación se presentan las coordenadas de cada estación y las coordenadas y los puntos de grilla (i,j) más cercanos que se presentan en el modelo al ser utilizada la función wrf_user_ll_to_ij:

Estacion: unal

Lat_original: 4.63808 Lat_WRF: 4.63003 i= 35
Lon_original: -74.0891 Lon_WRF: -74.0748 j= 36
z_original: 2556 z_wrf: 2554

Estacion: c.bolivar

Lat_original: 4.57686 Lat_WRF: 4.54006 i= 29
Lon_original: -74.1768 Lon_WRF: -74.15 j= 31
z_original: 2687 z_wrf: 2730

Estacion: ideam

Lat_original: 4.6 Lat_WRF: 4.66001 i= 37
Lon_original: -74.0667 Lon_WRF: -74.1199 j= 33
z_original: 2646 z_wrf: 2778

2.3 MODELO WRF

El modelo meteorológico avanzado WRF (Skamarock *et al*, 2005) es un modelo mesoescalar de pronóstico y asimilación de datos, que se utiliza tanto para la correcta comprensión e investigación, como en la predicción de las condiciones meteorológicas de mesoescala.

El WRF está en continuo desarrollo por un gran número de centros e instituciones de los E.E.U.U. como son: NCAR Mesoscale and Microscale Meteorology Division; the National Centers for Environment Prediction (NCEP), the Forecast Systems Laboratory (FSL), the National Severe Storms Laboratory (NSSL), and Geophysical Fluid Dynamics Laboratory

(GFDL) of the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA); the Air Force Weather Agency (AFWA), Naval Research Laboratory (NRL), and High Performance Computing Modernization Office (HPCMO) within the U.S. Department of Defense (DoD); the Federal Aviation Administration (FAA); the University of Oklahoma Center for the Analysis and Predictions of Storms (CAPS); the Environmental Protection Agency Atmospheric Modeling Division; the Atmospheric Sciences Division at the NASA Goddard Space Flight Center; y la comunidad universitaria de investigación.

Ahora bien, existen 3 pasos básicos para obtener una simulación numérica con el modelo (López y Zavala, 2009):

- WRF Preprocessing System (WPS). Esta componente del modelo es utilizada para simulaciones reales; aquí el usuario puede definir los dominios de la simulación, interpolar los datos terrestres a los dominios (por ejemplo, topografía, tipo de suelo, uso de suelo, etc.), así como decodificar e interpolar los datos meteorológicos que alimentan al modelo.
- ARW.
- Post-procesamiento y visualización. Esta componente es independiente de los códigos del modelo y queda a consideración del usuario. Existe una gran cantidad de herramientas gráficas que pueden ser utilizadas para visualizar las simulaciones numéricas. Algunas de estas opciones son: NCAR Command Language (NCL), Read/Interpolate/Plot (RIP4), Grid Analysis and Display System (GrADS), entre otros.

La versión utilizada del modelo fue WRFV3.1. Se utilizó la proyección mercator, y como coordenada vertical se empleó sigma con 27 niveles. Las parametrizaciones físicas fueron las mismas para los tres dominios, excepto para la parametrización de cúmulos en la cual el tercer dominio se dejó sin parametrización:

```
mp_physics = WRF Single-Moment (WSM)
ra_lw_physics = RRTM scheme
ra_sw_physics = Dudhia scheme
sf_sfclay_physics = Monin-Obukhov Similarity scheme
sf_surface_physics = Noah Land-Surface Model
bl_pbl_physics = YSU scheme
cu_physics = Grell-Devenyi ensemble scheme
```

Las condiciones iniciales y de frontera se tomaron del modelo global GFS, específicamente los datos de las 00z y las 12Z.

2.4 METODOLOGÍA

No existe en la comunidad especializada un método único de validación de los modelos atmosféricos, sin embargo se ha generalizado el uso de estadísticos simples que han resultado muy efectivos. En esta investigación se tuvieron en cuenta las orientaciones de (León, 2005) y (Jorba et al, 2005) a propósito de la evaluación de modelos.

En ése orden de ideas se empleó la raíz del error cuadrático medio (RSME), El error absoluto medio (MAE) y el sesgo (BIAS). Éstos estadísticos son útiles para variables escalares como la temperatura y la precipitación.

El RSME Indica el grado de correspondencia promedio entre pares individuales de valores pronosticados y observados se calcula por medio de la ecuación 1.

$$RSME = \left[\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (f_n - o_n)^2 \right]^{1/2}$$

El MAE Es una medida de la cercanía entre los valores pronosticados y los observados. se calcula según la ecuación 2.

$$MAE = \left[\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |f_n - o_n| \right]$$

El BIAS Proporciona información sobre la tendencia que tiene el modelo al pronosticar una variable, es decir, sobrestimar o subestimar. se calcula por medio de la ecuación 3.

$$BE = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (f_n - o_n)$$

3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

La influencia de la topografía como variable estática de entrada del modelo es primordial para obtener una buena simulación, por tal motivo lo primero que se hizo fue cambiar la información de la topografía (variable HGT) en los 3 archivos geo_em, luego de correr el módulo geogrid en el WPS, con la información del SRTM del IGAC para Colombia. La figura 2 muestra la información topográfica de los 3 dominios con la información del IGAC (topografía modificada) y se compara con los mismos dominios con datos USGS (sin topografía modificada).

Como se observa, la topografía del IGAC es más fina al momento de representar los accidentes topográficos y los gradientes de elevación, principalmente en los piedemontes, faldas de las montañas y los picos, lo cual puede modificar, no solo la representación de la convección orográfica del modelo, sino también el patrón de circulación de los vientos que llegan del oriente hacia la sabana de Bogotá. Aunque los datos del IGAC tienen una resolución de 90m, la modificación se realizó a una resolución de 270m ya que, como se mencionó anteriormente, una resolución demasiado fina con una topografía muy accidentada puede hacer que los pronósticos sean aun peor.

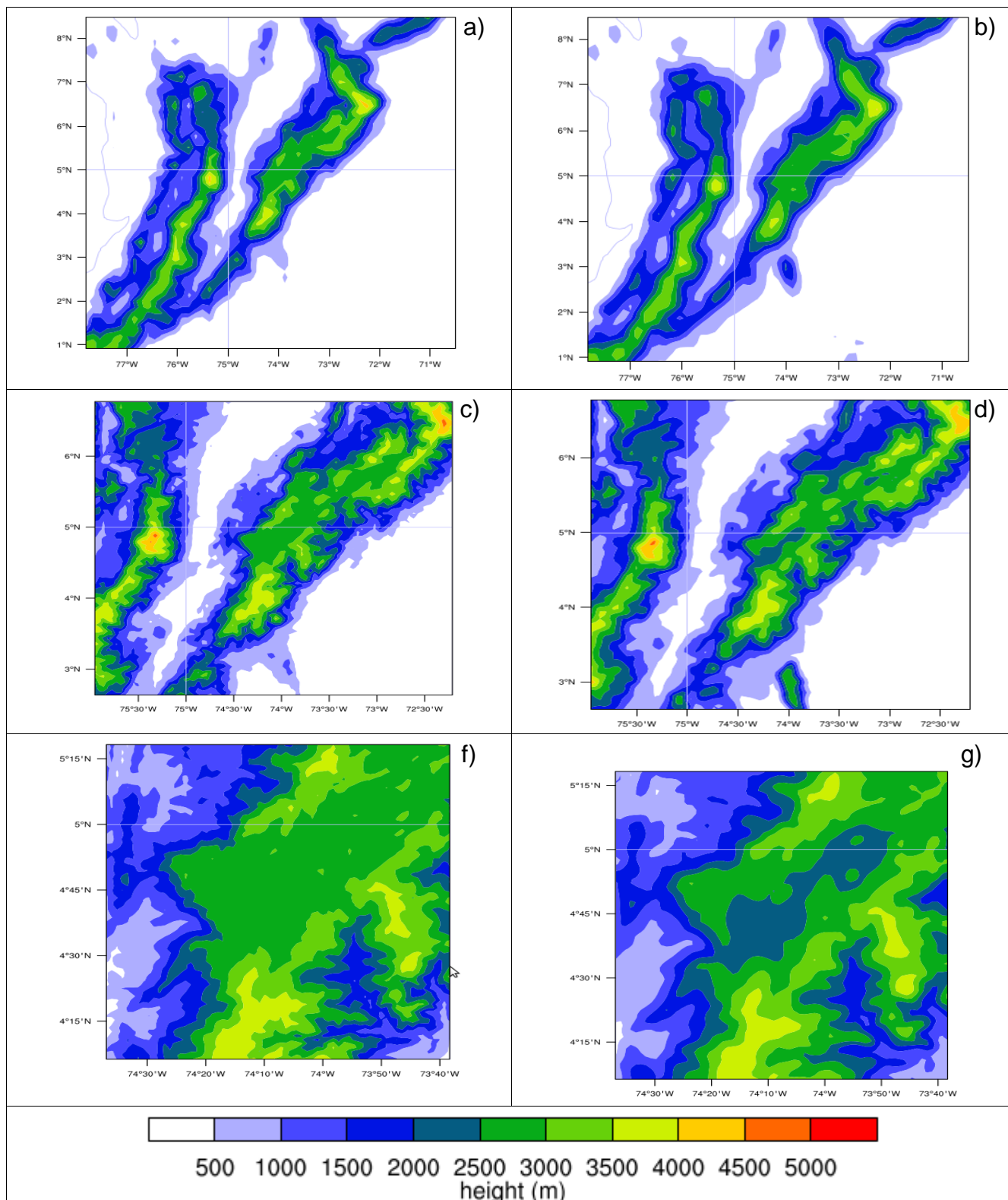


Figura 2. Altura del terreno para los 3 dominios a simular con la información del IGAC (izquierda) y la información de USGS (derecha)

COMPARACIÓN ENTRE TOPOGRAFÍAS Y USOS DEL SUELO

Con el fin de establecer la bondad del modelo al modificar la topografía y los usos del suelo, se realizaron 3 corridas para los primeros 5 días del mes de noviembre de 2012. las primeras dos corridas se realizaron con la altura del modelo modificada según los datos nacionales del IGAC y usando los datos de uso del suelo MODIS para una y USGS para otra; a tercera corrida se realizó con las opciones que vienen por defecto en el modelo, es decir con datos de topografía y uso del suelo de USG. La figura 3 muestra la temperatura a 2m promedio para los días mencionados con un horizonte de 5 días de pronóstico.

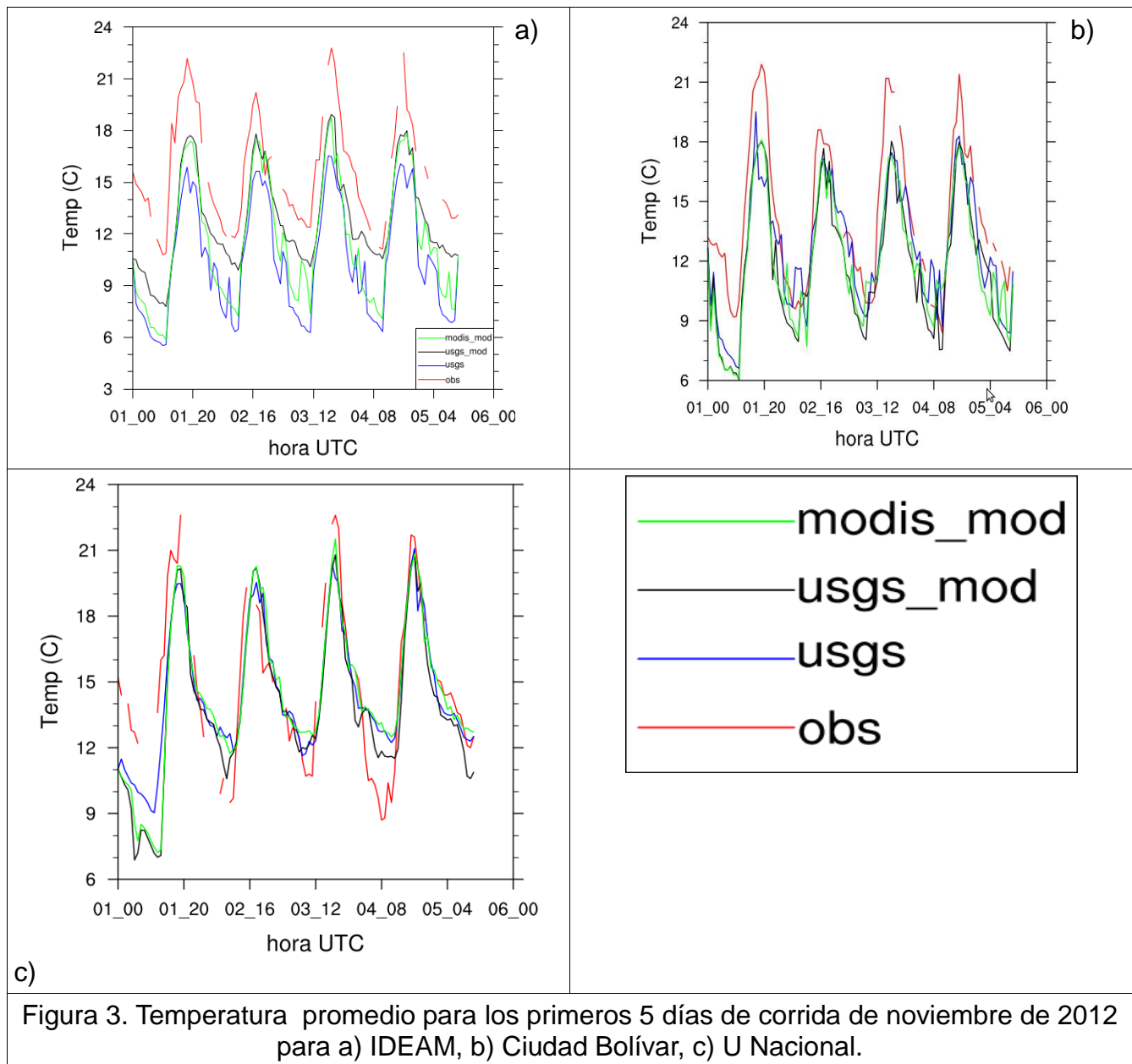


Figura 3. Temperatura promedio para los primeros 5 días de corrida de noviembre de 2012 para a) IDEAM, b) Ciudad Bolívar, c) U Nacional.

Como se observa, en todos los casos la temperatura es subestimada por el modelo, principalmente en la estación del IDEAM, estación en la que precisamente mejor se aprecia la mejora en el cambio de la topografía. Sin embargo no es clara la mejora al utilizar datos MODIS en comparación con datos USGS.

Se aprecia que las primeras 10 a 15 horas son muy mal pronosticadas por el modelo, subestimando ampliamente la temperatura, por lo cual se podría decir que el spin up del modelo va más allá de las 6 horas que tradicionalmente se utiliza.

VALIDACIÓN DEL PRONÓSTICO DE 00Z

Teniendo en cuenta la necesidad de operativizar el modelo con la topografía modificada con fines de pronóstico se realizó la validación de la corrida que se inicia a las 00Z (7pm hora local), ya que esta asegura un spin up de 6 horas en todos sus productos. Cada corrida tiene un horizonte de pronóstico de 5 días, en este sentido, se utilizaron los estadísticos mencionados en la metodología para evaluar la precipitación acumulada cada 24 horas, tmin y tmax diaria, para 21 días.

En la Tabla 1 se presentan los valores medios de los estadísticos utilizados para la precipitación. Primero se presenta el valor del RMSE diario, luego el RMSE cada 3 días y finalmente el RMSE cada 5 días, lo propio ocurre con el (MAE) y el bias. Como se aprecia, los menores errores se presentan en la estación del IDEAM y el menor bias se obtiene en la universidad nacional, mientras que los mayores errores y el mayor bias se presentan en la estación de Ciudad Bolívar.

En general, y contrario a lo que se esperaría, los días de pronóstico que más se acercan a las observaciones son el tercer y el quinto día, y el peor día de pronóstico es el primero, seguramente este resultado es influenciado por el spin up del modelo, aunque para la validación de la corrida de las 00z se dejaron 6 horas de pronóstico. Sin embargo, el error que se presenta al tomar los tres primeros días es menor que el que se presenta al tomar los 5 días de pronóstico.

Finalmente se observa que las estaciones de Ciudad Bolívar e IDEAM tienden a subestimar la precipitación, mientras que la estación de la Universidad Nacional tiende a sobrestimarla.

Ahora bien, al evaluar la temperatura es necesario tener en cuenta que es una variable climática que relaciona los flujos de energía entrante y saliente, por ello se considera que su variación espacial y temporal es explicada por el comportamiento de la radiación (Gloria et al 2011), por lo tanto para su buena representación no solo es necesario una buena topografía sino una buena parametrización de radiación.

La tabla 2 y la tabla 3 muestran los resultados para la temperatura mínima y máxima respectivamente, la estructura de las 2 tablas es similar a la de la precipitación previamente explicada. La temperatura indica que los mayores errores y el mayor bias se presentan en la estación del IDEAM, mientras que los mejores resultados se obtienen en la Universidad Nacional.

En general, al igual que la precipitación, el primer día de pronóstico es el que presenta mayor error y mayor bias, por su parte el segundo día de pronóstico es el que parece tener una

temperatura máxima y mínima más acertadas, excepto en Ciudad Bolívar que presenta mejores resultados en los días 4 y 5; por otro lado, las diferencias entre los errores al tomar 3 días de pronóstico y tomar 5 días de pronóstico son muy pequeñas, si embargo los estadísticos dan mejores resultados al tomar 5 días, contrario a lo que sucede con la precipitación.

Al analizar el bias, tanto de temperatura mínima como de temperatura máxima se aprecia que en ambos casos se subestima la temperatura lo que indica que el modelo está representando los días más fríos de lo que en verdad son. En la estación de la Universidad Nacional, la subestimación de la temperatura es menor que -1°C , mientras que en la estación del IDEAM dicha subestimación esta alrededor de los -4°C .

Tabla 1. validación de la precipitación.

Estación	dia de pron	Rmse diario (mm)	Rmse 3 dias (mm)	Rmse 5 dias (mm)
UNAL	1	2,04285410	1,77957822	1,91126655
	2	1,11589360		
	3	0,69617181		
	4	1,09316573		
	5	1,25464966		
C.Bolivar	1	2,0888570344	3,0408486459	3,4329241395
	2	1,8999969246		
	3	1,581418623		
	4	1,9473743412		
	5	0,9221204606		
IDEAM	1	1,4762534555	1,5156413071	1,6793981598
	2	0,7897742922		
	3	0,8199592667		
	4	0,9950814829		
	5	0,6265681219		
UNAL	1	2,04285410	1,01035402	1,07540455
	2	1,11589360		
	3	0,69617181		
	4	1,09316573		
	5	1,25464966		
C.Bolivar	1	2,0888570344	1,118328763	1,2334875484
	2	1,8999969246		
	3	1,581418623		
	4	1,9473743412		
	5	0,9221204606		
IDEAM	1	1,4762534555	0,8651285495	0,9307353752
	2	0,7897742922		
	3	0,8199592667		
	4	0,9950814829		
	5	0,6265681219		
UNAL	1	0,88602068	-0,07766331	0,05132284
	2	-0,54137971		
	3	-0,49688556		
	4	0,27716421		
	5	0,33909966		
C.Bolivar	1	-1,5851349736	-1,6926608914	-1,3156245202
	2	-1,7622508091		
	3	-1,2272909436		
	4	-1,0684138353		
	5	-0,3648957894		
IDEAM	1	-0,0012207775	-0,2379331134	-0,0820056753
	2	-0,6416094717		
	3	-0,0312797333		
	4	0,3367735535		
	5	-0,0140556281		

Tabla 2. Validación de la temperatura mínima

Estación	dia de pron	rmse diario (°C)	Rmse 3 dias (°C)	Rmse 5 dias (°C)
UNAL	1	1,53450000	1,49543460	1,67941146
	2	1,06148000		
	3	1,26502222		
	4	1,76461765		
	5	1,60340625		
C.Bolivar	1	2,3553861111	2,3579543079	2,3047355228
	2	2,05613		
	3	2,1484883333		
	4	1,8852541176		
	5	1,928216875		
IDEAM	1	5,4962244444	4,872438978	4,8696337687
	2	4,9928883333		
	3	3,7594244444		
	4	4,7468452941		
	5	4,868218125		
UNAL	1	1,53450000	1,12487949	1,18955304
	2	1,06148000		
	3	1,26502222		
	4	1,76461765		
	5	1,60340625		
C.Bolivar	1	2,3553861111	1,4664952029	1,4433943825
	2	2,05613		
	3	2,1484883333		
	4	1,8852541176		
	5	1,928216875		
IDEAM	1	5,4962244444	2,1819596238	2,1819817649
	2	4,9928883333		
	3	3,7594244444		
	4	4,7468452941		
	5	4,868218125		
UNAL	1	-1,39581111	-0,09491750	0,57799075
	2	0,27454222		
	3	0,78792222		
	4	1,57537059		
	5	1,47298125		
C.Bolivar	1	-2,3553861111	-2,2420483333	-2,045624375
	2	-2,05613		
	3	-2,1484883333		
	4	-1,6601047059		
	5	-1,922181875		
IDEAM	1	-5,4962244444	-4,7719623529	-4,772881875
	2	-4,9928883333		
	3	-3,7594244444		
	4	-4,7468452941		
	5	-4,868218125		

Tabla 3. Validación de la temperatura máxima

Estación	dia de pron	rmse diario (°C)	Rmse 3 dias (°C)	Rmse 5 dias (°C)
UNAL	1	0,92450556	1,03987138	0,99898673
	2	0,95861111		
	3	0,80753889		
	4	0,66306471		
	5	1,02241250		
Estación	dia de pron	rmse diario (°C)	Rmse 3 dias (°C)	Rmse 5 dias (°C)
C.Bolivar	1	3,0347888889	3,1459556424	3,1027335358
	2	2,8981277778		
	3	3,2210555556		
	4	3,1167470588		
	5	3,00009375		
Estación	dia de pron	rmse diario (°C)	Rmse 3 dias (°C)	Rmse 5 dias (°C)
IDEAM	1	3,5547166667	3,2646786005	3,3375075786
	2	3,2117		
	3	2,8804388889		
	4	3,3518058824		
	5	3,45116875		
Estación	dia de pron	MAE diario (°C)	MAE 3 dias (°C)	MAE 5 dias (°C)
UNAL	1	0,92450556	0,91520636	0,90137814
	2	0,95861111		
	3	0,80753889		
	4	0,66306471		
	5	1,02241250		
Estación	dia de pron	MAE diario (°C)	MAE 3 dias (°C)	MAE 5 dias (°C)
C.Bolivar	1	3,0347888889	1,7154303074	1,7107673315
	2	2,8981277778		
	3	3,2210555556		
	4	3,1167470588		
	5	3,00009375		
Estación	dia de pron	MAE diario (°C)	MAE 3 dias (°C)	MAE 5 dias (°C)
IDEAM	1	3,5547166667	1,7714762928	1,7923638232
	2	3,2117		
	3	2,8804388889		
	4	3,3518058824		
	5	3,45116875		
Estación	dia de pron	BE diario (°C)	BE 3 dias (°C)	BE 5 dias (°C)
UNAL	1	-0,59796111	-0,39670000	-0,36719375
	2	-0,53115556		
	3	-0,39905000		
	4	-0,22671176		
	5	-0,39411250		
Estación	dia de pron	BE diario (°C)	BE 3 dias (°C)	BE 5 dias (°C)
C.Bolivar	1	-3,0347888889	-2,8952479167	-2,95355875
	2	-2,8981277778		
	3	-3,2210555556		
	4	-3,1167470588		
	5	-3,00009375		
Estación	dia de pron	BE diario (°C)	BE 3 dias (°C)	BE 5 dias (°C)
IDEAM	1	-3,5547166667	-3,1724019608	-3,21889375
	2	-3,2117		
	3	-2,8804388889		
	4	-3,3518058824		
	5	-3,45116875		

4. CONCLUSIONES

Al modificar la altura del terreno (variable HGT) con los datos de Colombia del IGAC se aprecia que se definen mejor los Piedemontes, así como los gradientes de elevación y los picos de las montañas; sin embargo, no se aprecia una diferencia notable al usar datos MODIS o USGS para uso del suelo.

Se establece que el modelo necesita un spin up mayor de 6 horas, la implementación sugiere que este sería de aproximadamente entre 10 a 15 horas. Debido a esto, al validar el modelo se encuentran los mayores errores en el primer día de pronóstico.

La temperatura, tanto máxima como mínima, es subestimada por el modelo, principalmente en la estación IDEAM, mientras que los resultados más cercanos a las observaciones se presentan en la U. Nacional. Por otro lado, no hay mayores diferencias estadísticamente hablando al tomar 3 días de pronóstico o al tomar 5 días para estas dos variables.

La precipitación por su parte también es subestimada por el modelo, excepto en la estación U. Nacional donde tiende a sobrestimarse. En este caso, los mejores resultados se obtienen en la estación del IDEAM, mientras que los mayores errores se encontraron en la estación Ciudad Bolívar. Finalmente, al igual que sucede con la temperatura, no hay mayores diferencias estadísticamente hablando al tomar 3 días de pronóstico o al tomar 5 días para la precipitación.

5. BIBLIOGRAFÍA

Dillon, E., García, Y., Nicolini, M. (2011). Desempeño del pronóstico de precipitación de modelos de alta resolución, en un área limitada: análisis de la estación de verano: 2010-2011. Servicio Meteorológico Nacional. CABA, Argentina.

Jorba, O., Jiménez, P., Parra, R., Baldasano, J.M. (2005). Influence of high model grid resolution on photochemical modeling in very complex terrains. *International Journal of Environment and Pollution*.

LEÓN, G. (2005) Verificación de los Modelos Meteorológicos, Nota Técnica del Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), IDEAM-METEO/0001-05.

Leon, G., Torres, C., Aragon, G., Villareal, A., Arango, C., Latorre, D., Suarez, D. (2011). Validación del modelo de pronóstico numérico wrf para su uso operativo en la universidad nacional de colombia. Universidad Nacional.

López, J., Zavala, J. (2009). Análisis del evento meteorológico del 2007 relacionado con la inundación de tabasco. Universidad nacional autónoma de México, Posgrado en ciencias de la tierra, centro de ciencias de la atmósfera. Tesis de Grado.

McQueen, J. T., R. D. Draxler, G. D. Rolph, (1995). Influence of grid size and terrain resolution on wind field predictions from an operational mesoscale model. *Journal of Applied Meteorology*, volume 34

Ruiz, J. F., (2008). Implementación del Modelo WRF en el IDEAM. Nota Técnica IDEAM – METEO/003-2008. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Bogotá. D.C., Colombia.

Salvador, R., Calbó, J., Millán, M. (1999). Horizontal Grid Size Selection and its Influence on Mesoscale Model Simulations. *Journal of Applied Meteorology*, volume 38.

Skamarock, W.C., Klemp, J.B., Dudhia, J., Gill, D.O., Barker, D.M., Wang, W., Powers, J.G. (2005). A Description of the Advanced Research WRF Version 2. NCAR Technical Note, NCAR/TN-468+STR, National Center for Atmospheric Research (NCAR), Mesoscale and Microscale Meteorology Division, Boulder, Colorado, USA.

Stenger, R. (2000). sensitivity studies on a limited area mesoscale model: an examination of lateral boundary placement, grid resolution and nesting type. air force institute of technology, department of the air force.

“Impacto de la estructura y dinámica de los modelos” tomado del Programa COMET.

http://www.meted.ucar.edu/nwp/model_structure_es/