Asimilación de datos en superficie para el modelado numérico de la precipitación sobre Costa Rica durante el huracán Otto (2016)

José Picado Madrigal

Licenciatura en Meteorología, Escuela de Física

Universidad de Costa Rica

Email: jose.picadmadrigal@ucr.ac.cr

Resumen

Costa Rica es un país muy vulnerable a diversos fenómenos hidrometeorológicos. Algunos de estos son los ciclones tropicales (CT). El 25 de noviembre de 2016 Costa Rica y parte de Centroamérica fueron afectadas directamente por un CT. Otto fue el primer huracán documentado en la historia con impacto directo en Costa Rica. A su paso produjo aguaceros torrenciales con acumulados diarios de 300 mm y vientos intensos con ráfagas de 15 a 30 $m\ s^{-1}$ en las regiones del norte del país. La cantidad de lluvia acumulada generó deslizamientos y avalanchas de gran impacto, en sitios como Upala, Bagaces y Bijagua. Afectó de forma considerable grandes zonas de cultivo, así como la fauna y la flora, la cual se vio muy impactada por los vientos intensos y la copiosa lluvia continua. También se registró la pérdida de vidas humanas, miles de personas afectadas directamente y daños parciales o totales a la infraestructura. Lo anterior, enfatiza la importancia que tiene el estudio de los CT para el establecimiento de acciones que permitan mitigar sus impactos sobre una región dada. Se realizará el análisis de resultados de simulaciones numéricas de precipitación por medio del modelo Weather Research and Forecasting (WRF) y su módulo WRF Data Assimilation System (WRFDA) para asimilación de datos. Este trabajo comprende el estudio del paso del CT Otto sobre Costa Rica y la capacidad del modelo de reproducir los resultados observados durante los días 24-25 de noviembre del 2016.

Introducción

Solano (2019) citando diversos autores menciona que debido a su posición geográfica, Costa Rica es un país muy vulnerable a diversos fenómenos hidrometeorológicos, como el huracán Otto en el 2016. Otto fue el primer huracán documentado en la historia (desde 1851) con impacto directo en Costa Rica. A su paso generó aguaceros torrenciales con acumulados diarios de 300 mm y vientos intensos con ráfagas de 15 a 30 $m\ s^{-1}$ en las regiones del norte del país. La cantidad de lluvia acumulada generó deslizamientos y avalanchas de gran impacto como fue el caso de Upala, Bagaces y Bijagua. Afectó de forma considerable grandes zonas de cultivo, así como la fauna y la flora, la cual se vio muy impactada por los vientos intensos y la copiosa lluvia continua. También se registró la pérdida de vidas humanas, miles de personas afectadas directamente y daños parciales o totales a la infraestructura (IMN, 2017). Lo anterior, enfatiza la importancia que tiene el estudio de los Ciclones tropicales (CT) para el establecimiento de acciones que permitan mitigar sus impactos sobre una región dada.

Metodología

La investigación constará de tres partes. Primero las simulaciones por medio del Advanced Research Weather Research and Forecasting (WRF-ARW) y su módulo de asimilación de datos WRF-Data Assimilation (WRFDA), utilizando datos el Global Forecast System (GFS). Donde, para las simulaciones se definieron tres dominios (figura 1), d01 sobre el Caribe y Centroamérica que abarca desde 0 °N-26 °N y 60 °O-100 °O con una resolución de 16 km. Por otra parte, el dominio d02 sobre una menor parte de Centro América y El Caribe, abarca desde los 50 °N-22 °N y 68 °O-93 °O, con una resolución de 4 km, por último el dominio d03 es sobre Centro América entre los 8 °N-18 °N y 72 °O-89 °O, con una resolución de un 1 km. Con base a los dominios descritos, se realizaron 4 experimentos, dos con el WRF-ARW y dos con el WRFDA, cada módulo con un spinup de 06 y 12 horas, las variables por asimilar en el módulo WRFDA son: presión (P), altura (H), velocidad de viento (Sp), dirección de viento (Dr), temperatura (T) y humedad relativa (HR). La configuración para los modelos se encuentran la tabla 1. Adicionalmente, en la figura 2 se puede encontrar la ubicación de las estaciones meteorológicas utilizadas para la asimilación. La segunda parte corresponde a la visualización de los datos por medio del lenguaje de programación Python y la librería WRF-Python, esto para el campo de precipitación y para la trayectoria del ciclón por medio del algoritmo creado por Maldonado et al. (2020). Finalmente, en la última parte se realiza un análisis estadístico con varias métricas (RMSE, BIAS, entre otras) para determinar sí los modelos son capaces de reproducir los resultados observados en el campo de precipitación

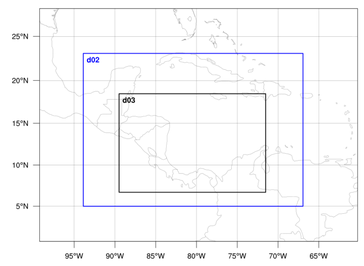

Figura 1: Dominios, d01 (16 km), d02 (4 km), d03 (1 km)

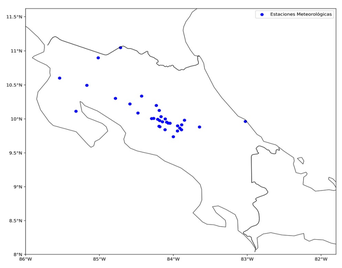

Figura 2: Ubicación de las estaciones meteorológicas

Parametrización física	Configuración
SL	revised MM5
PBL	YSU
LSM	Unified Noah
Radiación de onda larga	Rapid Radiative Transfer Model
Radiación de onda corta	Dudhia
Cúmulos	MSKF
Microfísica	Eta-Ferrier

Cuadro 1: Parametrizaciones físicas por utilizar en cada uno de los dominios del modelo WRF. Para el dominio d03 no se utiliza la convección de cúmulos

Es importante mencionar que, para esta entrega, solo se presentará los resultados de las trayectorias del ciclón para el d03 y el análisis estadístico para la estación de Upala, Alajuela.

Resultados

A continuación, se muestran los resultados preliminares obtenidos para el d03 (1 km) y la estación de Upala, para las simulaciones del WRF-ARW y el WRFDA para el spinup de 6 horas.

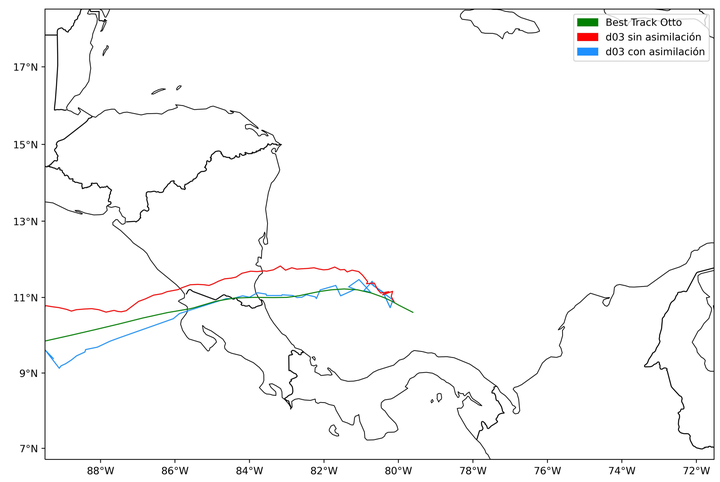

Figura 3: Trayectoria ciclón tropical Otto, d03 con datos asimilados (azul) y datos sin asimilar (rojo), y observados (verde), desde el 23 al 25 de noviembre 2016

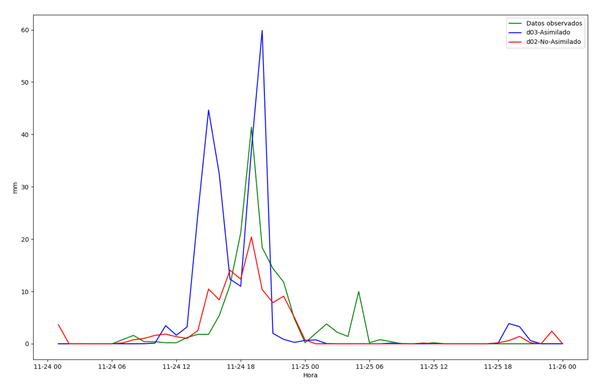

Figura 4: Precipitación acumulada horaria sobre la estación de Upala, Alajuela. 24-25 de noviembre 2016 para el dominio d03 (1 km). En verde datos observados, azul simulación con datos asimilados y rojo con datos sin asimilar.

Estación Upala	RMSE	BIAS	Correlación de Pearson
Asimilado	10.60	1.77	0.56
No asimilado	4.28	-0.84	0.86

Cuadro 2: Estadísticos para la estación de Upala, 24-25 de noviembre del 2016

Discusión

Partiendo de los resultados mostrados en la sección anterior, la figura 3 muestra la trayectoria generada por las simulaciones con datos asimilados (azul) y sin asimilar (rojo), así como los datos observados o la mejor trayectoria (Best Track) del CT Otto (verde), para todo el periodo de simulación que corresponde del 23 al 25 de noviembre del 2016. Se encuentra que la simulación con datos asimilados es bastante similar a los datos observados en comparación a la simulación sin asimilar que ingresa más a norte del país, lo cual es bastante positivo, porque sugiera que la ingesta de datos a una simulación podría llegar a mejorar la precisión con la que se reproduce o se estima la trayectoria de un CT, esto a simple vista. Queda pendiente determinar las distancias entre los puntos para corroborar lo antes dicho.

Por otra parte, en la figura 4, se presenta la distribución de precipitación horaria acumulada para la estación de Upala, en verde los datos observados, en rojo el d03 sin asimilar y en azul el d03 con datos asimilados, para el periodo del 24 al 25 de noviembre del 2016. A simple vista se puede percibir como la simulación con datos asimilados tiende a sobrestimar los datos de precipitación, mientras que la simulación sin asimilar tiende a subestimarlos. Adicionalmente, por medio del cuadro 2 se tienen varias métricas para comparar los valores observados versus los simulados. Donde, un modelo es mejor que el otro cuando posee menores valores de RMSE, BIAS y una mayor correlación de Pearson, por ejemplo, si el BIAS presenta un valor positivo el modelo tiende a sobrestimar lo observado y si es negativo presenta una subestimación de lo observado (Wilks, 2011), los datos de la tabla son coherentes con lo mostrado en la figura 4. A su vez estos resultados sugieren que, a nivel de los montos de precipitación, la simulación sin asimilar es mejor que la simulación con datos asimilados, esto solamente para la estación de Upala. Es importante mencionar que se realizó la prueba de la U de Mann-Whitney para validar si las simulaciones pertenecen a la misma distribución poblacional observada, donde se encontró que, ambas simulaciones si pertenecen, es decir las simulaciones se ajustaron muy bien, replicaron y mantuvieron los parámetros poblacionales reales observados.

Conclusiones

Por medio de las simulaciones realizadas se encuentran dos hallazgos relevantes, primeramente, para el dominio d03 de 1 km de resolución se encontró que la simulación con datos asimilados es mejor para reproducir la trayectoria del CT, con respecto a la mejor trayectoria, a diferencia de la simulación sin asimilar que tiende a irse más al norte del punto real de ingreso al país. Segundo, para la estación de Upala, la simulación sin asimilar presenta valores más pequeños en el RMSE y en el BIAS, así como una mayor correlación de Pearson, de igual forma está simulación tiende a subestimar los montos observados, mientras que la simulación con datos asimilados tiende a sobrestimarlos y se aleja más de los montos observados, esto en cuanto el campo de precipitación acumulada. Finalmente se concluye que las simulaciones, se ajustaron y replicaron correctamente los valores poblacionales observados por medio de la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney. Adicionalmente, es importante mencionar que estos resultados son preliminares y se debe analizar el resto de los dominios, así como el resto de las estaciones, esto se abarcará en el documento final de la tesis.

Agradecimientos

Al Centro Nacional de Alta Tecnología (CeNAT) por permitir las simulaciones en el cluster Kabre, al Instituto Meteorológico Nacional (IMN), Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI) y al Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) por su colaboración con los datos observados para las simulaciones del WRFDA. A los proyectos VI-805-C3079/B9-454/B8-650/B8-604. Por último, al Dr. Tito Maldonado por los códigos para las trayectorias y al Dr. Erick Rivera por su aporte y conocimientos al desarrollo de los resultados.

Referencias

IMN, 2017: Huracán Otto. Informe Técnico. *Instituto Meteorológico Nacional*.

Maldonado, M. T. et al. 2020: Examination of WRF-ARW Experiments Using Different Planetary Boundary Layer Parameterizations to Study the Rapid Intensification and Trajectory of Hurricane Otto (2016). *Atmosphere*, **11**, 12, pág. 1317.

Solano, L. E., 2019: Análisis de las imágenes del satélite GOES-ESTE sobre Costa Rica durante la Tormenta Tropical Nate.

Wilks, D. S., 2011: Statistical methods in the atmospheric sciences. Vol. 100. Academic press.