

# INCERTIDUMBRES EN LA PREDICCIÓN DEL HURACÁN LESLIE: CASO DE ESTUDIO CON EL MODELO MPAS

## UNCERTAINTIES IN THE FORECAST OF HURRICANE LESLIE: CASE STUDY WITH THE MPAS MODEL

Mauricio López-Reyes<sup>(1,2)</sup>, J.J. González-Alemán<sup>(3)</sup>, M. Martín-Pérez<sup>(4,5)</sup>, C. Calvo-Sancho<sup>(4)</sup>, P. Bolgiani<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Instituto de Astronomía y Meteorología, Universidad de Guadalajara, Av. Vallarta 2602, Guadalajara, México

<sup>(2)</sup> Departamento de Física y Astrofísica, Universidad Complutense de Madrid, Plaza. de Ciencias 1, Madrid, España, [murilop@ucm.es](mailto:murilop@ucm.es)

<sup>(3)</sup> Agencia Estatal de Meteorología, C/ Leonardo Prieto Castro 8, Madrid, España, [jgonzaleza@aemet.es](mailto:jgonzaleza@aemet.es)

<sup>(4)</sup> Departamento de Matemática Aplicada, Universidad de Valladolid, Pl. del Colegio de Santa Cruz 8, Valladolid, España, [mlmartin@uva.es](mailto:mlmartin@uva.es)

<sup>(5)</sup> Instituto de Matemática Interdisciplinar (IMI), Universidad Complutense de Madrid, Universidad Complutense de Madrid, Plaza de Ciencias 1, Madrid, España

### SUMMARY

*Hurricane Leslie made landfall in the Iberian Peninsula in 2018. Leslie was a system with several tropical and extratropical transitions, as well as a system with high uncertainty in the forecasts. Leslie's interaction with a trough showed that difficulties still exist in cyclone forecasting, particularly in complicated synoptic settings. Using high-resolution simulations with MPAS model find notable differences in Leslie's path depending on different initial conditions. This work emphasizes the critical role that initial conditions play in forecasting and highlights the better performance of the ECMWF data assimilations system.*

En 2018 el huracán Leslie fue un sistema que impactó la Península Ibérica caracterizado por tener una larga vida sinóptica, diversas transiciones tropicales y extratropicales, así como una alta incertidumbre en la predicción de la trayectoria e intensidad (López-Reyes et al., 2023). Aunque el pronóstico de la trayectoria de los ciclones tropicales (CT) ha experimentado avances significativos en las últimas décadas (NHC, 2020), aún existen desafíos notables, especialmente bajo ciertas condiciones sinópticas. Por ejemplo, durante su fase de transición extratropical (TE), Leslie interactuó con una vaguada, lo que demostró cómo pequeñas variaciones en las condiciones iniciales (CI) pueden crecer rápidamente la incertidumbre en las predicciones, incluso a corto plazo. Esto fue evidente en los errores de pronóstico de modelos globales importantes como el Global Forecast System (GFS) del National Center for Environmental Prediction y el Integrated Forecast System (IFS) del European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, cuyas predicciones mostraron alta incertidumbre en la fase final del huracán Leslie.

En este trabajo se presentan los resultados principales de dos simulaciones realizadas con el modelo global de alta resolución: Model for Prediction Across Scales (MPAS; detalles en Skamarock et al., 2012) bajo las mismas configuraciones, pero con distintas CI. Las simulaciones 1 y 2 (S1 y S2) usan las CI operativas del IFS y GFS respectivamente. Los campos de CI se obtienen por medio de los métodos de asimilación de datos de cada uno de los modelos globales. Por un lado, el GFS utiliza el método 3D-var llamado Global Data Assimilation System (GDAS; NCEI, 2023) mientras que el IFS obtiene las CI a partir del método 4D-var (ECMWF, 2023b). Detalles sobre los modelos y la configuración de las simulaciones en López-Reyes et al. (2023).

La inicialización de las simulaciones se realiza a las 0000 UTC del 13 de octubre de 2018. Se utiliza un algoritmo en Python usando la presión media a nivel del mar para determinar la posición del centro del huracán Leslie en ambas simulaciones. Para determinar el comportamiento del flujo sinóptico en niveles altos, se utiliza el concepto de temperatura potencial en la tropopausa dinámica ( $\theta - PV$ ) asociado con la vorticidad potencial ( $PV$ ; Hoskins et al., 1985; Ec. 1) a una altura de 2 PVU<sup>1</sup>,

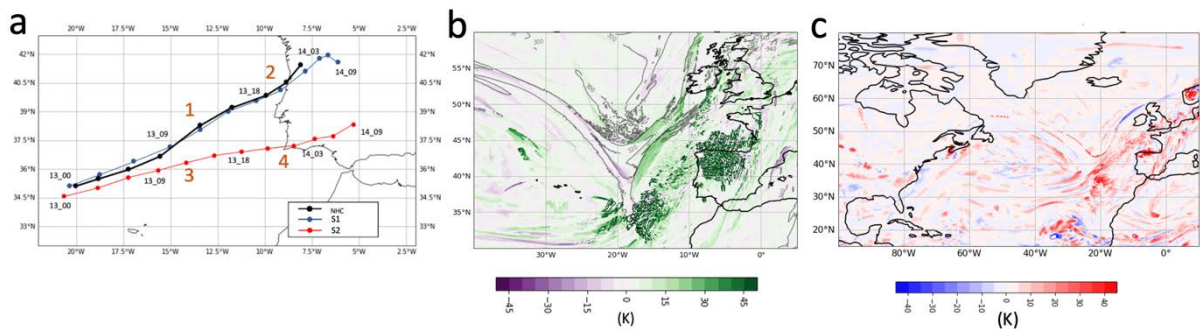
$$PV = -\frac{g}{\rho}(\xi_{\theta} + f)\frac{\partial\theta}{\partial p} \quad (1)$$

<sup>1</sup> Unidades de vorticidad potencial: 1 PVU = 10<sup>-6</sup> Km<sup>2</sup>kg<sup>-1</sup>s<sup>-1</sup>.

donde  $\theta$  es la temperatura potencial,  $\rho$  la densidad,  $\xi_\theta + f$  la suma de la vorticidad relativa más la planetaria, respectivamente y  $\partial\theta/\partial p$  representa el parámetro de estabilidad.

Se utiliza la desviación estándar y el error cuadrático medio para evaluar el desempeño de las simulaciones comparado con las observaciones de trayectoria e intensidad del Centro Nacional de Huracanes (NHC; Pasch and Roberts, 2019).

La trayectoria del huracán Leslie en S1 es muy cercana a las observaciones del NHC (Figura 1a). A 24 h de la inicialización el error en la posición de Leslie en S1 es de 70 km. Por otro lado, en S2 Leslie tiene un desplazamiento más zonal. En S2, error en la posición crece rápidamente superando 300 km a 24 h de la inicialización (Figura 1a). Esto sugiere que, el flujo sinóptico tiene una configuración distinta a la de S1, particularmente de vaguada en niveles medios y altos. Como se comprueba en López-Reyes et al. (2023), la amplitud y velocidad de propagación de la vaguada con la que interacciona Leslie es diferente entre las simulaciones. En S1 la vaguada se desplaza más lento que en S2 (Figura 1b), esto permite que el sistema Leslie se enganche en la zona de divergencia a la derecha de la vaguada y la desplazara hacia la Península Ibérica, tal y como ocurre en la realidad. De la misma manera, la posición de Leslie respecto de la vaguada favorece que Leslie entre en un proceso de TE con una intensificación adicional antes de tocar tierra en Portugal.



**Figura 1 – (a) Trayectorias de Leslie S1 (azul), S2 (rojo) y trayectoria del NHC (negro); (b) diferencias de  $\theta$  (S1–S2; sombreado) y (S1; contornos) a las 0000 UTC del 14 de octubre y (c) diferencias de las CI de  $\theta$  (S1–S2; sombreado). Figuras adaptadas de López-Reyes et al. (2023).**

Debido a que la única diferencia entre las simulaciones fueron las CI, estas son las causantes de las diferencias en las trayectorias de Leslie, en la Figura 1c se presentan las diferencias entre las CI (S1–S2) para  $\theta$ , se observa el predominio de valores más altos de  $\theta$  en S1 en la vaguada. Además, se muestra una región con diferencias positivas notables alrededor de  $-60^\circ O$  y  $45^\circ N$ , donde el huracán Michael está en un proceso de TE. Casos particulares donde hay liberación de calor latente corriente arriba (p.ej., con un CT) modifican el flujo y reducen la predictibilidad corriente abajo (Keller et al., 2019) aumentando la incertidumbre en los pronósticos.

Aunque en las últimas décadas se han mejorado notablemente los pronósticos de trayectoria de CT, bajo condiciones particulares (como en este estudio) en las que la predictibilidad es baja, tener buenas CI contribuye a mejorar los pronósticos, tal y como se demuestra en el caso de la simulación S1 con las probadas ventajas del 4D-var.

## REFERENCIAS

- European Center for Medium-Range Weather Forecasts (2023b): *Implementation of IFS Cycle 45r1. Changes to the Forecasting System*. <https://confluence.ecmwf.int/display/FCST/Implementation+of+IFS+cycle+45r1>.
- Keller, J.H., et al. (2019): *The Extratropical transition of Tropical Cyclones*. Part II. Mon. Weather Rev. 147 (4), 1077–1106. <https://doi.org/10.1175/MWR-D-17-0329.1>.
- López-Reyes, M., et al. (2023): *On the impact of initial conditions in the forecast of Hurricane Leslie extratropical transition*. Atmos. Res., 295, 107020.
- National Center Environment Information. (2023): The Global Forecast System. [https://www.emc.ncep.noaa.gov/emc/pages/numerical\\_forecast\\_systems/gfs.php](https://www.emc.ncep.noaa.gov/emc/pages/numerical_forecast_systems/gfs.php).
- Pasch, R.J., Roberts, D.P. (2019) : *Hurricane Leslie (AL132018)*. National Hurricane Center. Tropical Cyclone Report.
- Skamarock, W.C., et al. (2008): *A Description of the Advanced Research WRF Version 3 (no. NCAR/TN- 475+STR)*. University Corporation for Atmospheric Research. <https://doi.org/10.5065/D68S4MVH>.