

RESUMEN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Romualdo Romero March

APPLICATION OF FACTOR SEPARATION AND PV INVERSION TO HEAVY RAINFALL AND CYCLOGENESIS EVENTS: MEDITERRANEAN EXAMPLES

Presentado por **ROMUALDO ROMERO MARCH**
para:

Concurso de acceso número 18/2011 de una
plaza de catedrático de universidad del área de
conocimiento de Física de la Tierra (UIB)

Palma de Mallorca, Octubre de 2011

The Mediterranean basin is an ideal atmospheric research “laboratory” recognized as one of the main cyclogenetic areas in the world. Much of the high impact weather affecting its coastal countries (notably strong winds and heavy precipitations) has been statistically associated with the near presence of a distinct cyclonic signature. The numerical modelling of these atmospheric circulations is the most powerful tool available to scientists to develop a better physical understanding of the responsible mechanisms. In particular, many studies have used this potential to isolate the role played by different physical factors by means of the ***factor separation*** technique. ***Boundary factors*** (e.g. orography and latent heat flux from the Mediterranean) and ***model physics factors*** (e.g. latent heat release in cloud systems) have been typically considered. Different results about the role of both types of factors in Mediterranean flash flood events will be shown and discussed in this lecture.

Comparatively less attention, however, has been paid to the effects due to internal features of the flow dynamics (jet streaks, troughs, fronts, etc) probably because, unlike the boundary of model physics factors, modifying or switching off these elements in the simulations is not straightforward. The three-dimensional nature and mutual dependence of pressure, temperature and wind fields pose serious constraints on the ways these fields can be altered without compromising the delicate dynamical balances that govern both the model equations and actual data. It will be presented a relatively clean approach to deal with these ***dynamical factors***, based on the concept of potential vorticity (PV) and its invertibility principle. The role of upper-level precursor

disturbances on a heavy rain producing western Mediterranean cyclone will be studied by this ***piecewise PV inversion method***.

The previous study suggests that the predictability of flash flood events and other mesoscale phenomena is affected by the typical uncertainties present in real-time numerical weather prediction (NWP) systems: a deficient knowledge of the precise position and intensity of the upper-level precursor trough. A methodology that combines sensitivity calculations in terms of the potential vorticity field with the piecewise PV inversion technique to construct perturbed mesoscale simulations will be shown to be very practical and effective for the purpose of accounting for these uncertainties. An operational adaptation of the method, where a model-adjoint run or a human-based criteria provides guidance on the main sensitivity areas and the PV inversion technique is used to alter the model initial conditions in a physically consistent way, could be very useful for designing a real-time mesoscale ***ensemble prediction system***. In addition, for an effective application of this original procedure to ensemble forecasting, the initial perturbations can not be arbitrarily defined in magnitude but should be bounded by the climatology of analysis error variance expressed in terms of PV, and therefore a ***PV-error climatology*** has been first derived.

Finally, the applicability of the factor separation method to the study of extratropical cyclones in a framework which does not involve numerical model simulations will be highlighted. Specifically, an experimental design which implements quantitatively the ***PV thinking*** concepts will be presented. It is based on a prognostic system of balance equations that are consistent with the PV inversion method. By switching on and off the PV anomalies of interest,

different flow configurations are generated and the corresponding solutions to the prognostic equations can be algebraically combined to isolate the magnitude of both the individual and synergistic effects of the PV anomalies on the spatial pattern of geopotential height tendency –and vertical motion– around the cyclone, with the additional advantage of its low computational cost. The potentialities of this novel approach to elucidate the impacts and interactions of the undulating tropopause, the low-level baroclinicity and the latent heat release on a deep Mediterranean cyclone will be discussed in the lecture.

Relevant references by the candidate

Romero, R., Doswell, C. A. III and Ramis, C., 2000: Mesoscale numerical study of two cases of long-lived quasistationary convective systems over eastern Spain. *Mon. Wea. Rev.*, **128**, 3731-3751.

Romero, R., 2001: Sensitivity of a heavy rain producing Western Mediterranean cyclone to embedded potential vorticity anomalies. *Quart. J. R. Meteorol. Soc.*, **127**, 2559-2597.

Romero, R., 2008: A method for quantifying the impacts and interactions of potential-vorticity anomalies in extratropical cyclones. *Quart. J. R. Meteorol. Soc.*, **134**, 385-402.

Vich, M., R. Romero, and H. E. Brooks, 2011:

Ensemble prediction of Mediterranean high-impact events using potential vorticity perturbations. Part I: Comparison against the multiphysics approach. *Atmos. Res.*, **102**, 227-241.

Vich, M., R. Romero, and V. Homar, 2011:

Ensemble prediction of Mediterranean high-impact events using potential vorticity perturbations. Part II: Adjoint-derived sensitivity zones. *Atmos. Res.*, **102**, 311-319.

APLICACIÓN DE SEPARACIÓN DE FACTORES E INVERSION DE VP A EVENTOS DE PRECIPITACIÓN INTENSA Y CICLOGÉNESIS: EJEMPLOS MEDITERRÁNEOS

Presentado por **ROMUALDO ROMERO MARCH**
para:

Concurso de acceso número 18/2011 de una
plaza de catedrático de universidad del área de
conocimiento de Física de la Tierra (UIB)

Palma de Mallorca, Octubre de 2011

La cuenca Mediterránea es un "laboratorio" ideal para la investigación atmosférica, reconocida como una de las principales zonas ciclogénicas del mundo. Gran parte de los fenómenos meteorológicos de algo impacto que afectan a sus países ribereños (principalmente vientos fuertes y precipitaciones intensas) se han asociado estadísticamente a la presencia cercana de una perturbación ciclónica. La modelización numérica de estas circulaciones atmosféricas es la herramienta más poderosa a disposición de los científicos para mejorar la comprensión física de los mecanismos responsables. En particular, muchos estudios han utilizado dicho potencial para aislar el papel que juegan diferentes factores físicos por medio de la técnica de ***separación de factores***. Típicamente, en esos estudios se han considerado ***factores de contorno*** (p.e. la orografía y el flujo de calor latente desde el Mediterráneo) y ***factores de la física del modelo*** (p.e. la liberación de calor latente en los sistemas nubosos). En la presentación se mostrarán y discutirán algunos resultados relativos a la acción de ambos tipos de factores sobre episodios de inundación de la cuenca mediterránea.

Sin embargo, se ha prestado mucha menos atención a los efectos debidos a estructuras internas de la dinámica atmosférica (chorros de viento, vaguadas, frentes, etc) seguramente porque, en comparación con los factores de contorno y de la física, modificar o desactivar estos elementos en las simulaciones no es nada sencillo. La naturaleza tridimensional y la dependencia mutua entre presión, temperatura y campos de viento supone una restricción muy seria sobre la manera en que estos campos pueden ser alterados sin comprometer los delicados balances dinámicos que caracterizan a las ecuaciones del modelo y a

los datos atmosféricos reales. En la exposición se va a presentar un método neto y original para tratar con estos factores dinámicos, basado en el concepto de la vorticidad potencial (VP) y el principio de invertibilidad. En concreto, se estudiará el papel de dos perturbaciones precursoras de niveles altos sobre un ciclón del Mediterráneo occidental que produjo precipitación intensa.

El estudio anterior sugiere que la predecibilidad de los eventos de inundación y otros fenómenos de mesoescala puede verse afectada por las incertidumbres típicas presentes en los sistemas de predicción numérica del tiempo (PNT) que operan en tiempo real: un conocimiento deficiente de la posición e intensidad precisas de la vaguada precursora de niveles altos. Se mostrará que el empleo de una metodología que combina el cálculo de sensibilidades en términos del campo de vorticidad potencial, junto a la técnica de inversión de VP por elementos para construir simulaciones de mesoescala perturbadas, es un método muy práctico y efectivo en nuestro propósito de capturar el efecto de tales incertidumbres sobre la predicción. Una adaptación operacional del método, donde el modelo adjunto o bien un criterio basado en la experiencia, sirve para delimitar las principales áreas de sensibilidad, y donde la posterior aplicación de la técnica de inversión de VP sirve para alterar las condiciones iniciales del modelo de una manera físicamente consistente, podría ser muy útil en el diseño de un **sistema de predicción por conjuntos** en tiempo real. Además, para una aplicación efectiva de este original procedimiento, la magnitud de las perturbaciones iniciales no puede definirse arbitrariamente, sino que debería estar acotada por la climatología de la varianza del error de análisis, expresado en términos de la VP. Con este fin se ha derivado una **climatología del error de VP**.

Finalmente, se ilustrará la aplicabilidad del método de separación de factores al estudio de los ciclones extratropicales en un marco de trabajo que no requiere de simulaciones numéricas. Específicamente, se presentará un diseño experimental que implementa en términos cuantitativos los conceptos del denominado "*PV thinking*". Se basa en un sistema de ecuaciones de balance de pronóstico consistente con el método de inversión de VP. Activando y desactivando las anomalías de VP de interés, se generan diferentes configuraciones del flujo atmosférico. Las respectivas soluciones a las ecuaciones de pronóstico se pueden entonces combinar algebraicamente para aislar los efectos individuales y sinérgicos de las anomalías de VP sobre el patrón espacial de la tendencia de altura geopotencial –y movimiento vertical– alrededor del ciclón, todo ello con la ventaja adicional de su bajo coste computacional. En la presentación se discutirán las potencialidades de una aproximación novedosa como ésta para deducir los impactos e interacciones de las anomalías ligadas a la tropopausa, la baroclinicidad de bajos niveles y la liberación de calor latente, sobre un profundo ciclón Mediterráneo.

Referencias relevantes del candidato

Romero, R., Doswell, C. A. III and Ramis, C., 2000: Mesoscale numerical study of two cases of long-lived quasistationary convective systems over eastern Spain. *Mon. Wea. Rev.*, **128**, 3731-3751.

Romero, R., 2001: Sensitivity of a heavy rain producing Western Mediterranean cyclone to embedded potential vorticity anomalies.

Quart. J. R. Meteorol. Soc., **127**, 2559-2597.

Romero, R., 2008: A method for quantifying the impacts and interactions of potential-vorticity anomalies in extratropical cyclones.

Quart. J. R. Meteorol. Soc., **134**, 385-402.

Vich, M., R. Romero, and H. E. Brooks, 2011:

Ensemble prediction of Mediterranean high-impact events using potential vorticity perturbations. Part I: Comparison against the multiphysics approach.

Atmos. Res., **102**, 227-241.

Vich, M., R. Romero, and V. Homar, 2011:

Ensemble prediction of Mediterranean high-impact events using potential vorticity perturbations. Part II: Adjoint-derived sensitivity zones.

Atmos. Res., **102**, 311-319.

