

# **PROYECTO INVESTIGADOR**

*Romualdo Romero March*



# **HYMEX Y MEDICANES: PROYECTOS PARA EL MEDIO-LARGO Y CORTO PLAZO**

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

*"Some ... storms are so violent that no human structures can resist them, while the largest and most vigorous trees are torn to pieces or overturned by them. If our atmosphere received a somewhat greater amount of sun heat ... these tempests might be so increased in frequency and violence as to render considerable portions of the globe uninhabitable"*

*A. R. Wallace, in "Man's Place in the Universe" (1903)*

# ÍNDICE

<b>Capítulo</b>		<b>Página</b>
<b>1.</b>	<b><i>Líneas de investigación</i></b>	<b>2</b>
<b>2.</b>	<b><i>Proyecto para el medio-largo plazo</i></b>	<b>25</b>
	2.1 HYMEX	25
	2.2 Propuesta	32
<b>3.</b>	<b><i>Proyecto para el corto plazo</i></b>	<b>41</b>
	3.1 MEDICANES	41
	3.2 Propuesta	46
<b>4.</b>	<b><i>Referencias</i></b>	<b>51</b>

## ***Capítulo 1***

### ***LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN***

En el presente capítulo se hace una breve descripción de las principales líneas de investigación en las que se ha situado en las últimas dos décadas la actividad de este concursante y de una buena parte del Grupo de Meteorología de la UIB. Estas líneas serán, con bastante probabilidad, la principal fuente de inspiración y experiencia de la que se alimentarán futuros proyectos de investigación, así como el marco de trabajo más habitual para las nuevas tesis doctorales que vayan a realizarse en el seno del grupo. Con esa idea, en el capítulo 2 de este documento se establecen de una manera genérica las posibles interacciones entre las líneas de investigación y el proyecto internacional HYMEX con el fin de proyectar la evolución futura de la investigación del grupo en el medio-largo plazo (2-10 años); y de un modo más definido, en el capítulo 3 se propone un proyecto de investigación de más corto alcance (1-2 años) que tiene que ver con el problema de los MEDICANES. Con el objeto de resaltar la participación directa del concursante en las líneas de investigación que se presentan, a continuación de cada una de ellas se detallan las publicaciones y proyectos financiados más relevantes en los que el interesado ha tomado parte activa (véase también su **CV**).

• **L1.- Modelización numérica de circulaciones locales**

El grupo tiene experiencia en varios modelos numéricos de mesoescala (*SALSA*, *HIRLAM*, *MM5*, *ARPS* y *WRF*) algunos de los cuales ha utilizado profusamente en sus investigaciones, tanto para casos idealizados (p.e. estudio de las ondas de montaña bidimensionales con diferentes coberturas de vegetación), como para casos reales. Un interés constante del grupo ha sido avanzar en el conocimiento sobre la estructura y evolución de circulaciones locales en la isla de Mallorca (un laboratorio ideal para el estudio de circulaciones de pequeña escala). Entre ellas, destaca la brisa, que favorecida por las condiciones sinópticas anticiclónicas, se desarrolla casi cada día durante la estación cálida. Otras circulaciones importantes que pueden ser objeto de futuras investigaciones son los efectos a sotavento inducidos por la importante Sierra de Tramontana bajo flujos sinópticos aproximadamente perpendiculares a ella, es decir, noroestes y sudestes. Para el caso de la brisa, su simulación numérica (utilizando el modelo hidrostático *SALSA* con una resolución de 2.5 km) se contrastó satisfactoriamente con observaciones de estaciones meteorológicas automáticas reveló aspectos hasta ahora desconocidos de su estructura y evolución. Por ejemplo, la dimensión vertical y estructura termodinámica de la célula de circulación, las características de las zonas de convergencia que se forman en el interior de la isla, los efectos de bloqueo de las dos sierras montañosas costeras, y el desarrollo de vórtices de escala meso- $\gamma$  embebidos en la circulación de mayor escala. Además, se ha simulado la acción del ciclo de la brisa sobre la dispersión de contaminantes pasivos (dióxido de azufre) emitidos por la principal central térmica de la isla o por centrales hipotéticas. Estudios como éste, lógicamente extensibles a agentes químicamente reactivos y a otras fuentes de contaminación atmosférica que han surgido más recientemente (p.e. la incineradora de residuos urbanos), pueden ayudar a una mejor planificación medio ambiental.

1. R. Romero, S. Alonso, E. C. Nickerson, C. Ramis, 1995: The influence of vegetation on the development and structure of mountain waves, *J. Appl. Meteorol. Clim.*, 34, 2230-2242.
2. C. Ramis, R. Romero, 1995: A first numerical simulation of the development and structure of the sea breeze in the island of Mallorca, *Ann. Geophys.*, 13, 981-994.

3. R. Romero, C. Ramis, 1996: A numerical study on the transport and diffusion of coastal pollutants during the breeze cycle in the island of Mallorca, *Ann. Geophys.*, 14, 351-363.

-----

1. R. Romero, S. Alonso, C. Ramis, 1996: A numerical study about the transport and diffusion of sulfure dioxide during the breeze cycle in the island of Mallorca (Spain), *Air Pollution Modelling and its Application XI*, Plenum Press, ISBN 0-306-45381-9, 669-670.

**• L2.- Diagnóstico y simulación numérica de episodios meteorológicos de alto impacto en el Mediterráneo Occidental**

Por motivos fundamentalmente geográficos, el Grupo de Meteorología de la UIB se ha especializado en el diagnóstico de los ingredientes meteorológicos que acompañan a la génesis de tiempo extremo (fundamentalmente lluvias torrenciales) en las zonas mediterráneas españolas y sus proximidades. Así, siguiendo una aproximación al problema mediante la selección de casos de estudio, el grupo ha investigado episodios de precipitación extrema, eventos de ciclogénesis explosiva (incluyendo ciclones cuasitropicales de pequeña escala), sistemas convectivos tornádicos, y casos de convección severa resultante en granizo de grandes dimensiones. Los proyectos financiados que se citan han tenido como objetivo un mejor conocimiento de los mecanismos responsables de tales situaciones, el cual debe necesariamente contribuir al refinamiento de los modelos conceptuales que aplican los predictores de la región y a una mejor evaluación de la capacidad que puede esperarse de los modelos numéricos regionales para la predicción de estos fenómenos dentro del contexto operacional. El análisis y diagnóstico de los casos de estudio se ha basado en las observaciones de superficie y radiosondeos, información de satélite y radar, análisis de gran escala (ECMWF o NCAR), y las propias salidas de los modelos numéricos antes mencionados, que se aplican con una resolución de unos 20 km o incluso mayores (hasta 4 km). Tanto la caracterización del ambiente sinóptico, a través de los clásicos mapas de superficie y altura, parámetros termodinámicos derivados de sondeos (p.e. agua precipitable, helicidad, CAPE, índices de inestabilidad, etc.), y productos de diagnóstico (p.e. forzamiento cuasigeostrófico

para la velocidad vertical, convergencia del flujo de vapor de agua, inestabilidades latente y convectiva, etc.), como la caracterización del ambiente mesoescalar, a través de análisis manuales (utilizando observaciones y modelos conceptuales sobre los efectos de la orografía y la convección sobre la circulación), o a través de la numerosa información de pronóstico y diagnóstico derivada de los modelos, han permitido avanzar substancialmente en el conocimiento de esta fenomenología.

1. R. Romero, C. Ramis, S. Alonso, 1997: Numerical simulation of an extreme rainfall event in Catalonia: Role of orography and evaporation from the sea, *Q. J. Roy. Meteor. Soc.*, 123, 537-559.
2. C. A. Doswell III, C. Ramis, R. Romero, S. Alonso, 1998: A diagnostic study of three heavy precipitation episodes in the western Mediterranean region, *Weather Forecast.*, 13, 102-124.
3. C. Ramis, R. Romero, V. Homar, S. Alonso, M. Alarcón, 1998: Diagnosis and numerical simulation of a torrential precipitation event in Catalonia (Spain), *Meteorol. Atmos. Phys.*, 69, 1-21.
4. R. Romero, C. Ramis, S. Alonso, C. A. Doswell III, D. J. Stensrud, 1998: Mesoscale model simulations of three heavy precipitation events in the western Mediterranean region, *Mon. Weather Rev.*, 126, 1859-1881.
5. V. Homar, C. Ramis, R. Romero, S. Alonso, J. A. García-Moya, M. Alarcón, 1999: A case of convection development over the western Mediterranean Sea: A study through numerical simulations, *Meteorol. Atmos. Phys.*, 71, 169-188.
6. R. Romero, C. A. Doswell III, C. Ramis, 2000: Mesoscale numerical study of two cases of long-lived quasistationary convective systems over eastern Spain, *Mon. Weather Rev.*, 128, 3731-3751.
7. C. Ramis, R. Romero, V. Homar, S. Alonso, 2001: Lluvias torrenciales, *Investigación y Ciencia*, 296, 60-68.
8. R. Romero, C. A. Doswell III, R. Riosalido, 2001: Observations and fine-grid simulations of a convective outbreak in northeastern Spain: Importance of diurnal forcing and convective cold pools, *Mon. Weather Rev.*, 129, 2157-2182.
9. V. Homar, R. Romero, C. Ramis, S. Alonso, 2002: Numerical study of the October 2000 torrential precipitation event over eastern Spain: Analysis of the synoptic-scale stationarity, *Ann. Geophys.*, 20, 2047-2066.

10. E. Tudurí, R. Romero, L. López, E. García, J. L. Sánchez, C. Ramis, 2003: The 14 July 2001 hailstorm in northeastern Spain: Diagnosis of the meteorological situation, *Atmos. Res.*, 67-68, 541-558.
11. V. Homar, M. Gayà, R. Romero, C. Ramis, S. Alonso, 2003: Tornadoes over complex terrain: An analysis of the 28th August 1999 tornadic event in eastern Spain, *Atmos. Res.*, 67-68, 301-317.
12. K. Horvath, L. Fita, R. Romero, B. Ivancan-Picek, 2005: The influence of orography during deep mediterranean cyclogenesis 11-15 november 2004, *Croatian Meteorological Journal*, 40, 373-376.
13. K. Horvath, L. Fita, R. Romero, B. Ivancan-Picek, 2006: A numerical study of the first phase of a deep Mediterranean cyclone: Cyclogenesis in the lee of the Atlas mountains, *Meteorol. Z.*, 15, 133-146.
14. K. Horvath, L. Fita, R. Romero, B. Ivancan-Picek, I. Stiperski,, 2006: Cyclogenesis in the lee of the Atlas mountains: A factor separation numerical study, *Adv. Geosciences*, 7, 327-331.
15. L. Fita, R. Romero, C. Ramis, 2006: Intercomparison of intense cyclogenesis events over the Mediterranean basin based on baroclinic and diabatic influences, *Adv. Geosciences*, 7, 333-342.
16. E. García-Ortega, L. Fita, R. Romero, L. López, C. Ramis, J. L. Sánchez, 2007: Numerical simulation and sensitivity study of a severe hail-storm in northeast Spain, *Atmos. Res.*, 83, 225-241.
17. C. Ramis, R. Romero, V. Homar, 2009: The severe thunderstorm of 4th October 2007 in Mallorca: An observational study, *Nat. Hazard. Earth Sys.*, 9, 1237-1245.
18. J. B. Cohuet, R. Romero, V. Homar, V. Ducrocq, C. Ramis, 2011: Initiation of a severe thunderstorm over the Mediterranean Sea, *Atmos. Res.*, 100, 603-620.

-----

1. C. A. Doswell III, R. Romero, C. Ramis, S. Alonso, 1997: Diagnosis of two heavy rainfall cases in the western Mediterranean, *INM-WMO International Symposium on Cyclones and Hazardous Weather in the Mediterranean*, M<sup>o</sup> Medio Ambiente - UIB, ISBN 84-7632-329-8, 415-424.
2. C. Ramis, S. Alonso, R. Romero, V. Homar, 2003: Análisis preliminar del temporal del 10 al 12 de Noviembre de 2001 en Baleares, *3<sup>a</sup> Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica* (Tomo II), Editorial de la UPV, ISBN 84-9705-299-4, 867-869.

3. V. Homar, R. Romero, C. Ramis, S. Alonso, 2003: Estudio numérico de las lluvias torrenciales de Octubre de 2000 sobre el levante peninsular: Causas y efectos de la persistencia sinóptica, *3ª Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica* (Tomo II), Editorial del la UPV, ISBN 84-9705-299-4, 874-878.
4. J. L. Arreola, V. Homar, R. Romero, C. Ramis, S. Alonso, 2003: Multiscale numerical study of the 10-12 November 2001 strong cyclogenesis event in the western Mediterranean, *MEDITERRANEAN STORMS - 4th Plinius Conference 2002* (CD-Rom), Universidad de las Islas Baleares (UIB), ISBN 84-7632-792-7, S. 1, 30.
5. A. Jansà, R. Romero (Editores), 2003: *MEDITERRANEAN STORMS - 4th Plinius Conference 2002* (CD-Rom), Universidad de las Islas Baleares (UIB), ISBN 84-7632-792-7.
6. J. L. Arreola, V. Homar, R. Romero, C. Ramis, S. Alonso, 2004: Un caso de estudio de un evento de ciclogénesis intensa en el Mediterráneo Occidental, *3º Simpósio de Meteorologia e Geofísica da APMG/4º Encontro Luso-Espanhol de Meteorologia*, As. Portuguesa de Meteorologia e Geofísica (APMG), ISBN 972-99276-0-X, 197-201.
7. C. Ramis, R. Romero, V. Homar, S. Alonso, 2010: Análisis de la situación de lluvia continua en el Mediterráneo Occidental durante Octubre, Noviembre y Diciembre de 2008, *6º Simpósio de Meteorologia e Geofísica da APMG/10º Encontro Luso-Espanhol de Meteorologia*, As. Portuguesa de Meteorologia e Geofísica (APMG), ISBN 978-989-95660-0-2, 181-186.

-----

1. ANOMALIA "Anomalies induced by mountains and sea in rainfall over land in the western Mediterranean area" (EV5V-CT94-0442), Comunidad Europea. IP Climent Ramis Noguera (parte española), Coordinador centros Sergio Alonso Oroza. Desde: 01/03/1994 Hasta: 28/02/1997.
2. Flash Flood Project, NOAA/National Severe Storms Laboratory. IP Charles A. Doswell III. Desde: 01/01/1999 Hasta: 31/01/2001.
3. Proyecto internacional "MEDEX: MEDiterranean EXperiment on Cyclones that produce high impact weather in the Mediterranean" (World Weather Research Programme de la WMO). Investigador y miembro del Sience Steering Committee (MSSC).
4. MEDEXIB "Estudio de la estructura y previsibilidad de los ciclones mediterráneos que producen situaciones de tiempo peligroso: aportación de Illes Balears al proyecto MEDEX de la OMM" (REN2002-03482), MEC. IP Climent Ramis Noguera. Desde: 01/10/2002 Hasta: 30/09/2005.

• **L3.- Sensibilidad de las simulaciones numéricas a factores de contorno, de la física y de la dinámica: Separación de factores y "PV inversion"**

Como se ha mencionado en la línea anterior, para avanzar en la comprensión de los episodios mediterráneos de alto impacto ha sido especialmente útil la aplicación de los modelos mesoescalares. Éstos permiten identificar estructuras relevantes del flujo que a menudo escapan a las observaciones estándar (especialmente sobre el Mar Mediterráneo), tales como mesobajas de origen convectivo o térmico, vientos de pendiente, brisas costeras, dipolos de presión orográficos, líneas de convergencia, mesoaltas convectivas y "outflow boundaries". Más aún, un uso de los modelos numéricos a modo de laboratorio de experimentación ha permitido comparar la capacidad de diferentes parametrizaciones físicas (p.e. de la convección) para reproducir los aspectos observados, y sobre todo, ha permitido aislar expresamente el papel de diferentes factores físicos cuya importancia se sospechaba pero que no eran tratables explícitamente por los métodos tradicionales. Entre dichos factores, pueden mencionarse factores de contorno (p.e. la orografía o el flujo de calor latente desde el mar), factores de la física (p.e. los intercambios de calor latente por condensación en las nubes o por evaporación de la precipitación), y factores dinámicos, esto es, inherentes a la circulación (p.e. vaguadas en altura, o bajas de dimensión subsinóptica). Los métodos empleados para cuantificar el efecto de estos factores y los procesos por los que se manifiesta su acción han consistido en la realización de estudios de sensibilidad, mediante la variación en cierta proporción de la potencia del factor al principio de la simulación, y sobre todo en la aplicación de una técnica de separación de factores, consistente en combinar la simulación de control (o completa) con las simulaciones adicionales que resultan de desactivar las distintas combinaciones de los factores considerados, y la cual permite no sólo aislar el efecto individual de cada factor sino también las interacciones existentes entre ellos. Muchos de los estudios incluidos en la línea de investigación L2 han aplicado esta técnica. Aunque la modificación o desactivación en un modelo de los factores de contorno o de la física resulta prácticamente inmediata, no ocurre lo mismo con los factores dinámicos. Para éstos, es imprescindible no alterar el balance tridimensional entre masa y viento que gobierna el comportamiento de la atmósfera y por lo tanto del propio modelo. Con el fin de manejar los factores dinámicos de una forma consistente, el

grupo ha implementado una técnica de inversión de vorticidad potencial (PV) por elementos, la cual permite, una vez identificada la anomalía de PV asociada a cada estructura dinámica de interés, calcular los campos de masa y viento de balance asociados, los cuales pueden ser utilizados para modificar directamente las condiciones iniciales del modelo. Dichos experimentos son útiles para examinar la predecibilidad de los fenómenos simulados ante las incertidumbres presentes en las condiciones iniciales.

1. R. Romero, C. Ramis, S. Alonso, 1998: Performance of two cumulus convection parameterizations for two heavy precipitation events in the western Mediterranean, *Meteorol. Atmos. Phys.*, 66, 197-214.
2. R. Romero, 2001: Sensitivity of a heavy rain producing Western Mediterranean cyclone to embedded potential vorticity anomalies, *Q. J. Roy. Meteor. Soc.*, 127, 2559-2597.
3. P. J. Roebber, D. M. Schultz, R. Romero, 2002: Synoptic regulation of the 3 May 1999 tornado outbreak, *Weather Forecast.*, 17, 399-429.
4. R. Romero, A. Martín, V. Homar, S. Alonso, C. Ramis, 2005: Predictability of prototype flash flood events in the western Mediterranean under uncertainties of the precursor upper-level disturbance: The HYDROPTIMET case studies, *Nat. Hazard. Earth Sys.*, 5, 505-525.
5. R. Romero, A. Martín, V. Homar, S. Alonso, C. Ramis, 2006: Predictability of prototype flash flood events in the western Mediterranean under uncertainties of the precursor upper-level disturbance, *Adv. Geosciences*, 7, 55-63.
6. L. Fita, R. Romero, C. Ramis, 2007: Objective quantification of perturbations produced with a piecewise PV inversion technique, *Ann. Geophys.*, 25, 2335-2349.
7. A. Martín, R. Romero, V. Homar, A. Luque, S. Alonso, T. Rigo, M. C. Llasat, 2007: Sensitivities of a flash flood event over Catalonia: A numerical analysis, *Mon. Weather Rev.*, 135, 651-669.
8. R. Romero, 2008: A method for quantifying the impacts and interactions of potential vorticity anomalies in extratropical cyclones, *Q. J. Roy. Meteor. Soc.*, 134, 385-402.

-----

1. R. Romero, C. Ramis, S. Alonso, 1997: A comparative numerical study of two cumulus convection schemes applied to heavy rain events in the Western

Mediterranean, *INM-WMO International Symposium on Cyclones and Hazardous Weather in the Mediterranean*, M<sup>o</sup> Medio Ambiente - UIB, ISBN 84-7632-329-8, 761-769.

2. R. Romero, 2002: Sensitivity of a heavy rain producing western Mediterranean cyclone to the intensity and position of two upper-level potential vorticity centres, *2<sup>o</sup> Simpósio de Meteorologia e Geofísica da APMG/3<sup>o</sup> Encontro Luso-Espanhol de Meteorologia*, As. Portuguesa de Meteorologia e Geofísica (APMG), ISBN 972-8157-35-5, 90-95.
3. R. Romero, C. Ramis, S. Alonso, 2002: Mesoscale predictability of a heavy rain producing Mediterranean cyclone: Application of piecewise PV inversion, *Plinius Conference on Mediterranean Storms III*, CNR-GNDCI, ISBN 88-8080-031-0, 107-110.
4. C. Ramis, R. Romero, V. Homar, S. Alonso, 2009: The role of Mathematics in the understanding of the Dynamics of meteorological situations that produce heavy rain over the Spanish Mediterranean zone, *Maths and Water*, Real Academia de Ciencias de Zaragoza, 175-198.
5. R. Romero, 2011: Application of factor separation to heavy rainfall and cyclogenesis: Mediterranean examples, *Factor separation in the Atmosphere: Applications and Future Prospects*, ed. Pinhas Alpert and Tatiana Sholokhman, Cambridge University Press, ISBN 978-0-521-19173-9, 87-119.

-----

1. MEDEXIB "Estudio de la estructura y previsibilidad de los ciclones mediterráneos que producen situaciones de tiempo peligroso: aportación de Illes Balears al proyecto MEDEX de la OMM" (REN2002-03482), MEC. IP Climent Ramis Noguera. Desde: 01/10/2002 Hasta: 30/09/2005.
2. PRECIOSO "Diseño de técnicas dinámico-estadísticas para la predicción de precipitación y ciclones mediterráneos" (CGL2005-03918/CLI), MEC. IP Romualdo Romero March. Desde: 31/12/2005 Hasta: 30/12/2008.

**• L4.- Predicción probabilística mediante técnicas multi-modelo, multi-física y multi-condiciones iniciales**

Pensando en las necesidades de la meteorología operacional el grupo ha contribuido, en coordinación con investigadores de la AEMET, a explorar la idea de invertir la capacidad creciente de computación en una aproximación

probabilística al problema de la predicción (predicción por conjuntos o "ensembles"), en lugar de invertir exclusivamente esos recursos en dominios de simulación cada vez más finos en resolución. La predicción mesoescalar por conjuntos, considerando diferentes modelos, diferentes configuraciones de las condiciones iniciales y distintas combinaciones de las parametrizaciones físicas se ha evaluado de forma satisfactoria para ciclones y episodios convectivos mediterráneos. Para el análisis de los resultados se han aplicado novedosas técnicas de verificación probabilística y determinista y se han ensayado métodos correctivos de post-proceso de la información tales como el método "superensemble". Para la perturbación de las condiciones iniciales se ha empleado la técnica de inversión de PV por elementos antes descrita, aplicada sobre las zonas dinámicamente sensibles del estado atmosférico determinadas según criterios subjetivos u objetivos. Los resultados han demostrado la viabilidad de este método para un entorno automático y su superioridad sobre los ensembles multi-física. Una vía de investigación muy importante y relativamente reciente consiste en evaluar el impacto de productos de observación no estándar sobre la calidad de la predicción de los ciclones mediterráneos y los fenómenos extremos asociados ("targeting"). Ese objetivo precisa de la determinación de las principales "áreas sensibles" donde un incremento del número y calidad de las observaciones se traduciría directamente en una mejora de las predicciones sobre el Mediterráneo. El empleo del modelo adjunto del HIRLAM y del MM5 ha sido fundamental para la realización de dicha tarea.

1. S. Mariani, M. Casaioli, C. Accadia, M. C. Llasat, F. Pasi, S. Davolio, M. Elementi, G. Ficca, R. Romero, 2005: A limited area model intercomparison on the "Montserrat-2000" flash-flood event using statistical and deterministic methods, *Nat. Hazard. Earth Sys.*, 5, 561-581.
2. S. Anquetin, E. Yates, V. Ducrocq, S. Samouillan, K. Chancibault, S. Davolio, C. Accadia, M. Casaioli, S. Mariani, G. Ficca, B. Gozzini, F. Pasi, M. Pasqui, A. Martín, M. Martorell, R. Romero, P. Chessa, 2005: The 8 and 9 september 2002 flash flood event in France: A model intercomparison, *Nat. Hazard. Earth Sys.*, 5, 1-14.
3. M. Vich, R. Romero, 2010: Multiphysics superensemble forecast applied to Mediterranean heavy precipitation situations, *Nat. Hazard. Earth Sys.*, 10, 2371-2377.
4. M. Vich, R. Romero, 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.

5. M. Vich, R. Romero, 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.

-----

1. AMPHORE "Application des methodologies de previsions hydrometeorologiques orientees aux risques environnementaux" (2003-03-4.3-I-079), Comunidad Europea (INTERREG IIIB-MEDOCC). IP Romualdo Romero March (subproyecto UIB). Desde: 31/03/2004 Hasta: 30/09/2006.
2. PRECIOSO "Diseño de técnicas dinámico-estadísticas para la predicción de precipitación y ciclones mediterráneos" (CGL2005-03918/CLI), MEC. IP Romualdo Romero March. Desde: 31/12/2005 Hasta: 30/12/2008.

• **L5.- Capacidades e incertidumbres de la cadena de previsión hidrometeorológica ante situaciones de lluvia torrencial**

A través de proyectos europeos específicos el grupo extendió hace unos años su investigación hacia aplicaciones hidrológicas de las salidas de los modelos meteorológicos. En particular, se formó en el modelo de escorrentía HEC-HMS del Cuerpo de Ingenieros de USA y lo ha empleado para la realización de diversos estudios sobre casos de lluvia torrencial y posterior inundación súbita, tanto para cuencas de tamaño medio (cuena del Llobregat, Cataluña) como de pequeña extensión (cuena de La Albufera, Mallorca). El interés del grupo se ha centrado en el efecto de las incertidumbres de la cadena de previsión hidrometeorológica, desde las incertidumbres debidas a las condiciones iniciales del estado atmosférico o de la formulación del modelo meteorológico, hasta las incertidumbres propias del modelo hidrológico o de la caracterización de las cuencas. De hecho, los estudios hidrometeorológicos han constituido un marco ideal para determinar la utilidad de los distintos ensembles meteorológicos ensayados (descritos en la línea L4). Los resultados obtenidos, aunque más robustos para cuencas medias que para cuencas reducidas, han demostrado la aplicabilidad de HEC-HMS para anticiparse a las avenidas otoñales mediterráneas, así como el mayor valor de las previsiones

hidrometeorológicas probabilísticas frente a las deterministas.

1. A. Amengual, R. Romero, M. Gómez, A. Martín, S. Alonso, 2007: A hydro-meteorological modeling study of a flash flood event over Catalonia, Spain, *J. Hydrometeorol.*, 8, 282-303.
2. A. Amengual, T. Diomede, C. Marsigli, A. Martín, A. Morgillo, P. Papetti, R. Romero, S. Alonso, 2008: A hydrometeorological model intercomparison as a tool to quantify the forecast uncertainty in a medium size basin, *Nat. Hazard. Earth Sys.*, 8, 819-838.
3. A. Amengual, R. Romero, S. Alonso, 2008: Hydrometeorological ensemble simulations of flood events over a small-size basin of Majorca Island, Spain, *Q. J. Roy. Meteor. Soc.*, 134, 1221-1242.
4. A. Amengual, R. Romero, M. Vich, S. Alonso, 2009: Inclusion of potential vorticity uncertainties into a hydrometeorological forecasting chain: Application to a medium size basin of Mediterranean Spain, *Hydrol. Earth Syst. Sc.*, 13, 793-811.

-----

1. A. Buzzi, M. C. Llasat, R. Romero, C. Obled (Editores), 2006: *NHESS-Special Issue (HYDROPTIMET)*, European Geosciences Union (EGU), ISSN 1561-8633, Volumen 5-6.

-----

1. HYDROPTIMET "Optimisation des outils de prevision hydro-meteorologic" (2002-03-4.3-I-079), Comunidad Europea (INTERREG IIIB-MEDOCC). IP Sergio Alonso Oroza (subproyecto UIB). Desde: 01/10/2002 Hasta: 30/09/2004.
2. AMPHORE "Application des methodologies de previsions hydrometeorologiques orientees aux risques environnementaux" (2003-03-4.3-I-079), Comunidad Europea (INTERREG IIIB-MEDOCC). IP Romualdo Romero March (subproyecto UIB). Desde: 31/03/2004 Hasta: 30/09/2006.

• **L6.- Climatología de los tornados y condiciones de tiempo severo a escala local y europea**

Aunque de forma más intermitente y secundaria, el Grupo de Meteorología de la UIB ha colaborado con investigadores de la AEMET en la

caracterización sinóptica de las situaciones meteorológicas que dan lugar a tornados en las Islas Baleares. En contra de lo que parecía reflejar hasta hace unos años la literatura científica, las bases de datos de la AEMET sobre el fenómeno han demostrado que su incidencia es realmente notable (similar, incluso, a su incidencia en muchas zonas del centro de USA), si bien los tornados baleares raramente superan una intensidad F2 en la escala de Fujita. El estudio de las situaciones sinópticas asociadas ha demostrado, para los días de tornados más intensos o de ocurrencia múltiple, la concurrencia de los factores ambientales ya reconocidos para el desarrollo convectivo supercelular (valores moderados o altos de CAPE y helicidad). Sin embargo, otros muchos días de tornado, quizá asociados simplemente a multicélulas, presentan características ambientales en modo alguno indicativas de una alta probabilidad de tornado si se atiende a los criterios estándar utilizados en el centro de USA. En realidad, la información de escala sinóptica utilizada no permite todavía discriminar claramente los ambientes que dan lugar a tornados de entre los ambientes convectivos en general, por ejemplo los asociados a lluvia intensa. Los estudios anteriores se han extendido más recientemente a otros fenómenos severos (p.e. granizo y rachas violentas de viento de origen convectivo) para el conjunto del territorio europeo, aprovechando nuevas bases de datos como la de ESWD (European Severe Weather Database). Específicamente, se ha trabajado en la caracterización de los ambientes a escala sinóptica generadores de dichos fenómenos y en la estimación de la incidencia real del problema a partir de la construcción y análisis de climatologías sintéticas de ingredientes.

1. M. Gayà, V. Homar, R. Romero, C. Ramis, 2001: Tornadoes and waterspouts in the Balearic Islands: Phenomena and environment characterization, *Atmos. Res.*, 56, 253-267.
2. R. Romero, M. Gayà, C. A. Doswell III, 2007: European climatology of severe convective storm environmental parameters: A test for significant tornado events, *Atmos. Res.*, 83, 389-404.
3. M. Tous, R. Romero, 2006: Cap a una climatologia europea de paràmetres meteorològics associats a la gènesi de tempestes severes, *Tethys*, 3, 11-19.

- 
1. M. Gayà, C. Ramis, R. Romero, C. A. Doswell III, 1997: Tornadoes in the Balearic Islands (Spain): Meteorological setting, *INM-WMO International Symposium on*

*Cyclones and Hazardous Weather in the Mediterranean*, M<sup>o</sup> Medio Ambiente - UIB, ISBN 84-7632-329-8, 525-534.

**• L7.- Distribución espacial y temporal de la precipitación en el área mediterránea española y circulaciones atmosféricas asociadas**

Siendo la precipitación la variable climática más crítica en la zona mediterránea española (aquí definida por la totalidad de Andalucía, Murcia, País Valenciano, Cataluña y Baleares), el proyecto *PRECLIME*, financiado por la CICYT, se propuso caracterizar la distribución espacial y temporal de la precipitación en ese dominio espacial, así como evaluar los posibles cambios producidos en el transcurso de las tres décadas estudiadas (1964-93). Utilizando una densa red de 410 estaciones con datos diarios de lluvia, se pudo caracterizar con gran detalle la precipitación anual y estacional, la frecuencia e intensidad media de los días lluviosos, la probabilidad de eventos extremos o de ocurrencia de determinados umbrales de precipitación, y la duración media de los períodos secos y húmedos. La aplicación de técnicas más complejas de componentes principales y análisis de clusters permitió, asimismo, realizar una regionalización pluviométrica precisa de la zona mediterránea (hasta 20 regiones) y una clasificación de los principales patrones espaciales que suele adoptar la lluvia diaria, tanto la significativa (11 patrones), como la de tipo torrencial (8 patrones). Cabe resaltar que los resultados obtenidos pudieron ser interpretados, en gran medida, en función de la interacción del flujo atlántico o mediterráneo con la orografía tan compleja de la región. Como continuación de los análisis anteriores, se realizó una clasificación objetiva de los patrones atmosféricos a escala sinóptica que producen lluvia significativa en la zona mediterránea. Para ello, se utilizaron análisis meteorológicos del ECMWF y se emplearon técnicas de clasificación análogas a las anteriores, basadas en análisis de componentes principales y clusters. Los resultados obtenidos permitieron derivar hasta 19 patrones atmosféricos fundamentales y establecer su relación con las distribuciones típicas de lluvia diaria anteriormente definidas. Recientemente se reprodujeron algunos resultados anteriores (p.e. la regionalización climática del territorio) sobre las Islas Baleares, lógicamente con un mayor detalle espacial con el fin de servir mejor a las aplicaciones locales (p.e. el diseño de redes de observación).

1. R. Romero, J. A. Guijarro, C. Ramis, S. Alonso, 1998: A 30 year (1964-1993) daily rainfall data base for the Spanish Mediterranean regions: First exploratory study, *Int. J. Climatol.*, 18, 541-560.
2. R. Romero, G. Sumner, C. Ramis, A. Genovés, 1999: A classification of the atmospheric circulation patterns producing significant daily rainfall in the Spanish Mediterranean area, *Int. J. Climatol.*, 19, 765-785.
3. R. Romero, C. Ramis, J. A. Guijarro, G. Sumner, 1999: Daily rainfall affinity areas in the Mediterranean Spain, *Int. J. Climatol.*, 19, 557-578.
4. R. Romero, C. Ramis, J. A. Guijarro, 1999: Daily rainfall patterns in the Spanish Mediterranean area: An objective classification, *Int. J. Climatol.*, 19, 95-112.
5. M. G. Sotillo, C. Ramis, R. Romero, S. Alonso, V. Homar, 2003: Role of orography in the spatial distribution of precipitation over the Spanish Mediterranean zone, *Clim. Res.*, 23, 247-261.
6. R. Romero, C. Ramis, 2003: Torrential daily rainfalls patterns in Mediterranean Spain and associated meteorological settings, *Tethys*, 2.
7. C. Ramis, V. Homar, R. Romero, 2011: Sobre las anomalías de precipitación en las Islas Baleares durante 2008, *Territoris*, [in press].

-----

1. R. Romero, C. Ramis, S. Alonso, J. A. Guijarro, G. N. Sumner, 1998: Daily rainfall variability in the Spanish Mediterranean area, *2nd European Conference on Applied Climatology* (CD-Rom), Cent. Inst. for Meteorology and Geodynamics (ZAMG), ISBN 1016-6254, S. 5, 26.
2. C. Ramis, R. Romero, S. Alonso, J. A. Guijarro, G. N. Sumner, 1999: Distribución espacial y temporal de la precipitación diaria en la zona mediterránea española, *La Climatología española en los albores del siglo XXI*, Asociación Española de Climatología (AEC), ISBN 84-281-0979-6, 439-447.
3. C. Ramis, S. Alonso, V. Caselles, A. Genovés, M. Grimalt, J. A. Guijarro, A. Jansà, O. Jové, M. Laita, R. Romero, J. Revuelta, M. Ruiz, 2000: *PRECLIME: Organización espacial y temporal de la precipitación en el litoral mediterráneo español* (CD-Rom), Universidad de las Islas Baleares (UIB).
4. M. García, C. Ramis, R. Romero, S. Alonso, V. Homar, 2002: Relationship between the spatial precipitation distributions over the Spanish mediterranean regions and the orography, *2º Simpósio de Meteorologia e Geofísica da APMG/3º Encontro Luso-*

*Espanhol de Meteorologia*, As. Portuguesa de Meteorologia e Geofísica (APMG), ISBN 972-8157-35-5, 222-227.

5. R. Romero, S. Alonso, V. Homar, C. Ramis, 2010: Regionalización climática de las Islas Baleares como soporte al diseño de redes de observación, *6º Simpósio de Meteorologia e Geofísica da APMG/10º Encontro Luso-Espanhol de Meteorologia*, As. Portuguesa de Meteorologia e Geofísica (APMG), ISBN 978-989-95660-0-2, 101-106.

-----

1. PRECLIME "Organización espacial y temporal de la precipitación en el litoral mediterráneo español" (CLI95-1846), MEC. IP Climent Ramis Noguera. Desde: 14/12/1995 Hasta: 15/12/1998.
2. OCLIB "Convenio de colaboración entre la Conselleria de Medi Ambient y la Universitat de les Illes Balears para desarrollar actividades de investigación y formación dentro del área de cambio climático en las Islas Baleares" (Convenio 1101), Conselleria de Medi Ambient del Govern de les Illes Balears. IP Sergio Alonso Oroza. Desde: 01/08/2005 Hasta: 30/06/2007.

#### • **L8.- Impacto regional del cambio climático**

El gran interés que suscita el tema del cambio climático entre la comunidad científica y las propias instituciones ha hecho que el Grupo de Meteorología de esta universidad se haya implicado activamente en su estudio. Por una parte, para clima presente se ha trabajado en la detección de tendencias en los registros observados de las variables superficiales (principalmente temperatura y precipitación) utilizando métodos estadísticos robustos. En segundo lugar, se ha contribuido al conocimiento de la evolución futura del clima regional mediante el análisis de las proyecciones obtenidas en proyectos internacionales de downscaling dinámico (p.e. PRUDENCE o ENSEMBLES) y también mediante la aplicación de técnicas propias de downscaling basadas en métodos estadísticos. Específicamente, se han utilizado los resultados obtenidos en la línea L7 anterior para proyectar los efectos sobre temperatura y precipitación derivados de los cambios en la circulación atmosférica simulados para el futuro por distintos GCMs; y se ha diseñado una técnica novedosa de calibración de las PDFs provistas por los modelos climáticos regionales (RCMs)

que consigue proyecciones de los parámetros ajustadas a la escala local. Todos estos estudios y técnicas se han aplicado a la región mediterránea española en general y a las Islas Baleares en particular.

1. P. Alpert, T. Ben-Gai, A. Baharad, Y. Benjamini, D. Yekutieli, M. Colacino, L. Diodato, C. Ramis, V. Homar, R. Romero, S. Michaelides, A. Manes, 2002: The paradoxical increase of Mediterranean extreme daily rainfall in spite of decrease in total values, *Geophys. Res. Lett.*, 29(11), 1-4.
2. G. N. Sumner, R. Romero, V. Homar, C. Ramis, S. Alonso, E. Zorita, 2003: An estimate of the effects of climatic change on the rainfall of Mediterranean Spain by the late 21st century, *Clim. Dynam.*, 20, 789-805.
3. A. Amengual, R. Romero, V. Homar, C. Ramis, S. Alonso, 2007: Impact of the lateral boundary conditions resolution on dynamical downscaling of precipitation in Mediterranean Spain, *Clim. Dynam.*, 29, 487-499.
4. V. Homar, C. Ramis, R. Romero, S. Alonso, 2009: Recent trends in temperature and precipitation over the Balearic Islands (Spain), *Climatic Change*, 98, 199-211.
5. A. Amengual, V. Homar, R. Romero, S. Alonso, C. Ramis, 2011: A statistical adjustment of regional climate model outputs to local scales: Application to Platja de Palma, Spain, *J. Climate*, [in press].

-----

1. C. Ramis, V. Homar, R. Romero, S. Alonso, 2002: Tendències climàtiques a les Illes Balears, *Estratègia per a la Sostenibilitat de les Illes Balears*, Conselleria de Medi Ambient (Govern Illes Balears), ISBN 84-688-2322-8, 1-39.
2. R. Romero, 2003: Posible modificación del régimen pluviométrico en la zona mediterránea a causa del cambio climático, *IX Jornades de Meteorologia Eduard Fontseré*, Associació Catalana de Meteorologia (ACAM), ISBN 84-930328-6-7, 133-140.
3. A. Amengual, R. Romero, V. Homar, C. Ramis, S. Alonso, 2003: Heavy rainfall forecasts in Mediterranean Spain: Sensitivity to model input data resolution, *MEDITERRANEAN STORMS - 4th Plinius Conference 2002* (CD-Rom), Universidad de las Islas Baleares (UIB), ISBN 84-7632-792-7, S. 1, 13.
4. J. Cuxart, C. Ramis, S. Alonso, R. Romero, V. Homar, 2004: Evaluación de los nuevos escenarios IPCC-SRES sobre el Mediterráneo Occidental, *3º Simpósio de Meteorologia e Geofísica da APMG/4º Encontro Luso-Espanhol de Meteorologia*, As. Portuguesa de Meteorologia e Geofísica (APMG), ISBN 972-99276-0-X, 293-296.

5. R. Romero, S. Alonso, V. Homar, C. Ramis, 2008: Precipitació a les Balears durant el segle XXI, *XIV Jornades de Meteorologia Eduard Fontserè*, Associació Catalana de Meteorologia (ACAM), ISBN 978-84-934207-3-4, 89-97.

- 
1. PREDCLIMA "Predicción climática basada en casos compuestos a partir de clasificación en clusters" (CLI98-1177), MEC. IP Climent Ramis Noguera. Desde: 16/12/1998 Hasta: 15/12/1999.
  2. FIRME "Frecuencia e intensidad de las lluvias fuertes en un clima modificado en la región mediterránea española" (CLI99-0269), MEC. IP Climent Ramis Noguera. Desde: 01/01/2000 Hasta: 31/12/2002.
  3. Estudi sobre el canvi climàtic a les Illes Balears (Artículo 11), Conselleria de Medi Ambient (Govern de les Illes Balears). IP Climent Ramis Noguera. Desde: 01/07/2001 Hasta: 30/06/2002.
  4. CAMBIO CLIMÁTICO "Asistencia técnica para el plan de protección contra el cambio climático en las Islas Baleares" (artículo 83 LOU). Empresa/Administración financiadora: Hera-Amalthea, S. L. Responsable: Sergio Alonso. Duración: Octubre 2002 - Junio 2003.
  5. MEDIS "Towards sustainable water use on Mediterranean Islands: addressing conflicting demands and varying hydrological, social and economic conditions" (EVK1-2001-00092), Comunidad Europea. IP Sergio Alonso Oroza (subproyecto UIB). Desde: 01/02/2002 Hasta: 31/01/2006.
  6. OCLIB "Convenio de colaboración entre la Conselleria de Medi Ambient y la Universitat de les Illes Balears para desarrollar actividades de investigación y formación dentro del área de cambio climático en las Islas Baleares" (Convenio 1101), Conselleria de Medi Ambient del Govern de les Illes Balears. IP Sergio Alonso Oroza. Desde: 01/08/2005 Hasta: 30/06/2007.
  7. OCLIB (Fase 2) "Convenio de colaboración entre la Conselleria de Medi Ambient y la Universitat de les Illes Balears para desarrollar actividades de investigación y formación dentro del área de cambio climático en las Islas Baleares" (Convenio 1481), Conselleria de Medi Ambient del Govern de les Illes Balears. IP Romualdo Romero March. Desde: 01/06/2007 Hasta: 30/06/2009.
  8. ESTCENA "Programa coordinado para generación de escenarios regionalizados de cambio climático: regionalización estadística" (ORDEN PRE/2429/2008 de 14 de agosto, ayudas públicas en I+D+i en energía y cambio climático), MMA. IPs Sergio Alonso Oroza y Romualdo Romero March (subproyecto UIB). Desde: 01/01/2009 Hasta: 31/12/2011.

9. CONTROL DE CALIDAD "Gestión de datos de la Red Balear de Estaciones Meteorológicas de la Conselleria de Medi Ambient" (artículo 83 LOU). Empresa/Administración financiadora: Conselleria de Medi Ambient (Govern de les Illes Balears). Responsable: Dr. Romualdo Romero. Duración: Septiembre 2009 - Diciembre 2009.

**• L9.- Medicanes: ambientes meteorológicos, predecibilidad numérica y evaluación del riesgo en el clima presente y futuro**

Sobre el Mar Mediterráneo se generan ocasionalmente depresiones similares a los ciclones tropicales, que alcanzan a veces la intensidad de huracán y amenazan a las islas y regiones costeras. A estas depresiones se les ha denominado medicanes y el Grupo de Meteorología ha dedicado esfuerzos específicos a estudiarlos, como una sublínea de trabajo dentro de los ámbitos L2, L3 y L4 descritos anteriormente. En particular, en coordinación con investigadores de la AEMET se tiene en marcha en estos momentos el proyecto del Plan Nacional MEDICANES cuyos objetivos específicos son: (1) caracterizar los ambientes meteorológicos que conducen al desarrollo y mantenimiento de los medicanes a través de climatologías dinámicamente orientadas, construyéndose para tal propósito una base de datos de eventos a partir de satélite; (2) examinar y mejorar la predecibilidad numérica de los medicanes a través de sistemas de predicción por conjuntos a mesoescala; (3) desarrollar técnicas específicas de post proceso que permitan describir apropiadamente las predicciones probabilistas, con énfasis en los fenómenos extremos; y (4) evaluar cuantitativamente la peligrosidad derivada de los medicanes y su incertidumbre bajo las condiciones del clima presente y futuro, mediante la aplicación de las técnicas numéricas desarrolladas en (2) y (3) al subconjunto de ambientes favorables –de acuerdo con (1)– proporcionados por los reanálisis ERA-40 y una larga colección de simulaciones de GCMs.

1. G. N. Sumner, R. Romero, V. Homar, C. Ramis, S. Alonso, E. Zorita, 2003: Numerical diagnosis of a small, quasi-tropical cyclone over the Western Mediterranean: Dynamical vs. boundary factors, *Q. J. Roy. Meteor. Soc.*, 129, 1469-1490.
2. L. Fita, R. Romero, A. Luque, K. Emanuel, C. Ramis, 2007: Analysis of the

environments of seven Mediterranean tropical-like storms using an axisymmetric, nonhydrostatic, cloud resolving model, *Nat. Hazard. Earth Sys.*, 7, 41-56.

3. L. Fita, R. Romero, A. Luque, C. Ramis, 2009: Effects of assimilating precipitation zones derived from satellite and lightning data on numerical simulations of tropical-like Mediterranean storms, *Ann. Geophys.*, 27, 3297-3319.
4. M. Tous, R. Romero, 2011: Medicanes: cataloguing criteria and exploration of meteorological environments, *Tethys*, 8, 53-61.
5. M. Tous, R. Romero, 2011: Meteorological environments associated with medicane development, *Int. J. Climatol.*, [accepted with minor revisions].

-----

1. V. Homar, R. Romero, D. J. Stensrud, C. Ramis, S. Alonso, 2002: A quasi-tropical cyclone over the western Mediterranean: Dynamical vs boundary factors, *Plinius Conference on Mediterranean Storms III*, CNR-GNDCI, ISBN 88-8080-031-0, 55-58.
2. R. Romero, K. Emanuel, 2006: Densidad de probabilidad espacio-temporal de génesis de huracanes Mediterráneos según un índice tropical empírico, 5ª *Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica* (CD-Rom), Mº Medio Ambiente, ISBN 84-8320-373-1.
3. A. Luque, L. Fita, R. Romero, S. Alonso, 2007: Tropical-like mediterranean storms: an analysis from satellite, *Joint 2007 EUMETSAT Meteorological Satellite Conference and the 15th Satellite Meteorology & Oceanography Conference of the American Meteorological Society* (CD-Rom), EUMETSAT, ISBN 92-9110-079-X.
4. R. Romero, 2007: Huracans i medicans: Resposta a l'escalfament global, *XIII Jornades de Meteorologia Eduard Fontserè*, Associació Catalana de Meteorologia (ACAM), ISBN 84-934207-2-7, 108-120.

-----

1. MEDICANES "Medicanes: ambientes meteorológicos, predictabilidad numérica y evaluación del riesgo en el clima presente y futuro" (CGL2008-01271/CLI), MEC. IP Romualdo Romero March. Desde: 01/01/2009 Hasta: 31/12/2011. Concedida prórroga hasta 31/12/2012.

**• L10.- Otras aplicaciones de los conocimientos y técnicas meteorológicas y climáticas**

Finalmente, existen una serie de trabajos y proyectos que por su naturaleza no se pueden enmarcar directamente en las líneas de investigación anteriores. Se han hecho aplicaciones a la Teledetección, al análisis de vertidos marinos contaminantes, a los procesos que regulan las fluidizaciones en un lago y al turismo; se ha derivado un mapa de potencial eólico para las Islas Baleares; se ha puesto en marcha un sistema cuasi-operacional de predicción hidrometeorológica (<http://mm5forecasts.uib.es> y <http://hmsforecasts.uib.es>); y desde la UIB se han coordinado muchos de los desarrollos y aplicaciones de la comunidad ibérica de usuarios de los modelos MM5 y WRF y se está coordinando también la participación española en el proyecto HYMEX.

1. R. Romero, 2004: Red ibérica para la investigación y desarrollo de aplicaciones en base al modelo atmosférico MM5, *Revista del Aficionado a la Meteorología*, 21.
2. J. R. Bergueiro, R. Romero, S. Guijarro, F. Serra, 2006: Simulation of oil spills at the Casablanca platform (Tarragona, Spain) under different environmental conditions, *J. Maritime Res.*, 3, 55-72.
3. M. Soler, T. Serra, J. Colomer, R. Romero, 2007: Anomalous rainfall and associated atmospheric circulation in the north-east Spanish Mediterranean area and its relationship to sediment fluidization events in a lake, *Water Resour. Res.*, 43.
4. A. Amengual, V. Homar, R. Romero, S. Alonso, C. Ramis, 2011: Projections of the climate potential for tourism at local scales: Application to Platja de Palma, Spain, *Int. J. Climatol.*, [in press].

- 
1. V. Homar, R. Romero, C. Ramis, S. Alonso, 1999: Visualización automática de variables meteorológicas, *I Asamblea Nacional Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica* (CD-Rom), Instituto Geográfico Nacional, ISBN 84-95172-10-0, S. 10, 10.
  2. R. Romero, N. Ferragut, 2004: Red ibérica para la investigación y desarrollo de aplicaciones en base al modelo atmosférico MM5: Un proyecto abierto, *XXVIII Jornadas Científicas: La Meteorología y el Clima Atlánticos* (CD-Rom), Ministerio de Medio Ambiente, ISBN 84-8320-261-1, 432-437.
  3. A. Luque, A. Martín, R. Romero, S. Alonso, 2006: Fine tuning of radar rainfall estimates based on bias and standard deviations adjustments, *ERAD 2006 - Fourth European Conference on Radar in Meteorology and Hydrology*, Universidad Politécnica de Catalunya (UPC), ISBN 978-84-8181-227-5, 141-144.

4. J. R. Bergueiro, R. Romero, S. Guijarro, F. Serra, 2006: Modelling of oil spills at the Casablanca platform, *Maritime Transport III*, Universidad Politécnica de Catalunya (UPC), ISBN 84-689-8505-8, 1069-1085.
5. A. Amengual, V. Homar, R. Romero, S. Alonso, C. Ramis, 2010: Projections of the climate potential for tourism in Platja de Palma, Spain, *GIRA 2010 Conference (Web)*, ISCTE-IUL, 1-18.

- 
1. RED IBÉRICA MM5 "Red ibérica para la investigación y desarrollo de aplicaciones en base al modelo atmosférico MM5" (REN2002-10018-E/CLI), MEC. IP Romualdo Romero March. Desde: 01/01/2003 Hasta: 01/07/2004.
  2. RED IBÉRICA MM5 (Fase 2) "Red ibérica para la investigación y desarrollo de aplicaciones en base al modelo atmosférico MM5" (REN2002-12052-E/CLI), MEC. IP Romualdo Romero March. Desde: 08/03/2004 Hasta: 30/06/2005.
  3. CONTRIBUCIÓN A IDEA "Generación de series meteorológicas (1971-2002) de temperatura y presión en superficie sobre el Mediterráneo Occidental, basada en los reanálisis ECMWF ERA-40, como soporte al proyecto de investigación IDEA" (artículo 83 LOU). Empresa/Administración financiadora: Instituto Español de Oceanografía (Centro Oceanográfico de las Baleares). Responsable: Romualdo Romero. Duración: Noviembre 2004 - Diciembre 2004.
  4. PUERTOS "Caracterización de zonas de refugio para buques siniestrados que transportan hidrocarburos: Aplicación a las Islas Baleares" (TRA2004-02460/TMAR), MEC. IP José Ramón Bergueiro López. Desde: 13/12/2004 Hasta: 12/12/2007.
  5. RED IBÉRICA MM5 (Fase 3) "Red ibérica para la investigación y desarrollo de aplicaciones en base al modelo atmosférico MM5" (CGL2005-25033-E/CLI), MEC. IP Romualdo Romero March. Desde: 01/06/2006 Hasta: 31/12/2007.
  6. OCLIB (Fase 2) "Convenio de colaboración entre la Conselleria de Medi Ambient y la Universitat de les Illes Balears para desarrollar actividades de investigación y formación dentro del área de cambio climático en las Islas Baleares" (Convenio 1481), Conselleria de Medi Ambient del Govern de les Illes Balears. IP Romualdo Romero March. Desde: 01/06/2007 Hasta: 30/06/2009.
  7. RED IBÉRICA MM5/WRF "Red ibérica para la investigación y desarrollo de aplicaciones en base a los modelos atmosféricos MM5/WRF" (CGL2007-29825-E/CLI), MEC. IP Romualdo Romero March. Desde: 01/01/2008 Hasta: 30/06/2009.
  8. HyMeX.es "Componente española del proyecto internacional HYdrological cycle in

the Mediterranean EXperiment HYMEX" (CGL2010-11757-E), MICINN. IP Víctor Homar Santaner. Desde: 01/05/2011 Hasta: 30/04/2012.

9. SPdP "Orientaciones estratégicas para la recalificación integral de Playa de Palma en el eje de sostenibilidad: Cambio climático y Biodiversidad" (Convenio IMEDEA/CSIC - Consorcio Playa de Palma). Empresa/Administración financiadora: Consorcio Playa de Palma. Responsable: Dra. Beatriz Morales. Duración: Abril 2009 - Abril 2010.
10. LABAQUA "Asistencia técnica para la instalación y puesta en funcionamiento del modelo atmosférico MM5" (artículo 83 LOU). Empresa/Administración financiadora: LABAQUA S.A. (Alicante). Responsable: Dr. Romualdo Romero. Duración: Noviembre 2009 - Enero 2010.
11. CLITURMED "Potencial climático turístico en el Mediterráneo: Diagnóstico actual y perspectivas" (artículo 83 LOU). Empresa/Administración financiadora: Fundación CIDTUR (Islas Baleares). Responsable: Dr. Víctor Homar. Duración: Enero 2011 - Diciembre 2011.

## **Capítulo 2**

### **PROYECTO PARA EL MEDIO-LARGO PLAZO**

#### **2.1 HYMEX**

El proyecto internacional HyMeX "HYdrological cycle in the Mediterranean EXperiment" ([www.hymex.org](http://www.hymex.org)) es una iniciativa reciente introducida por investigadores franceses, hoy participada por cientos de investigadores de más de veinte países, que tiene por objetivo mejorar nuestro conocimiento, cuantificación y modelización de las distintas componentes del ciclo hidrológico en el Mediterráneo, con énfasis especial en la predecibilidad y evolución de los eventos meteorológicos extremos, la variabilidad –interanual a decadal– del sistema acoplado y las tendencias asociadas al cambio global. Constituye un potente marco de investigación multidisciplinar que, junto a la ingente cantidad de datos que se van a generar a través de las campañas de observación programadas, permitirá mejorar los sistemas de observación y modelización actuales y avanzar en la predicción de eventos extremos, la simulación a largo plazo del ciclo del agua y la definición de las guías y medidas de adaptación de los distintos países mediterráneos.

HyMeX es un proyecto refrendado por GEWEX "Global energy and water cycle experiment" y THORPEX "The observing system research and predictability experiment", programas incluidos en el WCRP y WWRP de la OMM, respectivamente, y en su línea atmosférica recoge y amplía los objetivos del

proyecto anterior MEDEX "Mediterranean experiment on cyclones that produce high-impact weather in the Mediterranean" también integrado en el WWRP a través de su relación con THORPEX.

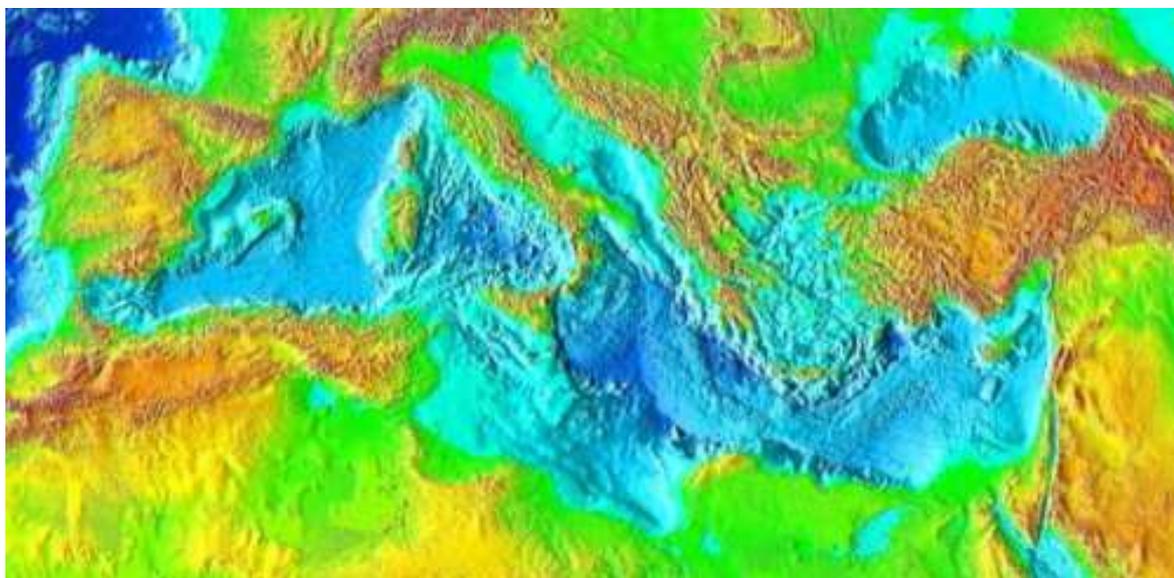
Igual que lo fue en el caso de MEDEX, la implicación del Grupo de Meteorología de la UIB en la organización y actividades del proyecto ha sido elevada desde el primer momento. Así, el Dr. Víctor Homar es miembro del International Science Steering Committee (ISSC) de HyMeX, éste concursante es uno de los coordinadores científicos del mismo a través del grupo de trabajo "WG3: Heavy rainfall, flash-floods and floods" y el grupo organizó el quinto Workshop de HyMeX en Punta Prima (Menorca) los pasados 17-19 de mayo de 2011. Aunque este tipo de proyectos poseen el importante sello de calidad concedido por la OMM, este hecho por sí mismo no garantiza ningún tipo de financiación, sino que ésta debe articularse a través de los distintos programas nacionales a los que tengan acceso los numerosos centros y agencias participantes (p.e. el Plan Nacional de I+D+i en el caso de España) o a través de programas internacionales (p.e. el Programa Marco europeo). En el caso francés, la coordinación y actividades del proyecto están aseguradas a través del fuerte soporte institucional por parte de Meteo France y el CNRS. En España, se ha conseguido desde nuestro grupo la siguiente Acción Complementaria:

*HyMeX.es: Componente española del proyecto internacional  
HYdrological cycle in the Mediterranean EXperiment HYMEX  
(MICINN, CGL2010-11757E)*

cuyo objeto es coordinar muchas de las actividades de los grupos de investigación españoles en el marco de HYMEX, incluyendo futuras solicitudes conjuntas de proyectos específicos. En este sentido, el propio Grupo de Meteorología de la UIB ha solicitado ya un primer proyecto del Plan Nacional junto a investigadores de la AEMET, cuyo IP es el Dr. Víctor Homar y que se ha aprobado recientemente:

*PREDIMED: Improving short-range Mediterranean severe-weather  
forecasts by means of adaptive observations and advanced ensemble  
methods in MEDEX Phase II and HyMeX (MICINN, solicitado)*

Es previsible que una buena parte de los proyectos y estudios que se desarrollen en el grupo durante la próxima década estén directa o indirectamente relacionados con los objetivos y bases de datos de HyMeX. El presente capítulo del proyecto investigador pretende apuntar las líneas de investigación del grupo que podrían contribuir con mayores garantías –de acuerdo con la experiencia actual– a conformar la estructura y resultados futuros de HyMeX.



**Figura 2.1.-** Esquema de la región objeto de estudio en HyMeX, con indicación en colores de la compleja topografía terrestre y marina que la caracteriza.

La motivación de un proyecto como HyMeX es que el ciclo hidrológico en el Mediterráneo es un aspecto clave (Fig. 2.1), medio-ambiental y socio-económicamente hablando, para una amplia región que cubre el sur de Europa, norte de África y Oriente Medio. La falta de estrategias de adaptación y mitigación podrían conllevar situaciones críticas en el futuro, particularmente ante eventos extremos o bajo una inadecuada evaluación de los impactos del cambio climático. Para abordar mejor estos retos, se hace necesario un mayor progreso en el conocimiento del clima mediterráneo. Problemas específicos que

justifican un proyecto de la envergadura de HyMeX son los siguientes:

- ***Un sistema acoplado único***

La región mediterránea comprende un mar cuasi-cerrado rodeado por un litoral urbanizado y altas montañas donde se originan numerosos ríos. Estos aspectos fisiográficos dan lugar a múltiples interacciones y realimentaciones entre los procesos oceánicos, atmosféricos e hidrológicos así como con las actividades antropogénicas. Para comprender el papel prominente de todas esas interacciones en el clima regional y los ecosistemas, la investigación debería no solo centrarse en los procesos internos de cada uno de los compartimentos citados, sino también en los procesos de interfície y los ciclos de realimentación con el fin de alcanzar un progreso significativo en la comprensión y predicción del ciclo del agua en el Mediterráneo y los fenómenos asociados.

- ***Eventos meteorológicos de alto impacto***

El clima mediterráneo está influenciado tanto por la dinámica sub-tropical como por las circulaciones típicas de las latitudes medias, y por lo tanto es muy sensible al cambio climático global. Eventos meteorológicos extremos, tales como las precipitaciones intensas e inundaciones súbitas de la estación otoñal, la ciclogénesis severa asociada con vientos fuertes y oleaje de gran amplitud del invierno, y las olas de calor y sequías inducturas de los incendios forestales durante el verano, afectan regularmente a la región mediterránea y causan grandes daños y pérdidas humanas. La capacidad de predecir estos episodios de alto impacto es todavía escasa debido a la contribución de procesos de muy pequeña escala espacial y a su interacción no lineal con los procesos de mayor escala. Se necesitarían avances significativos en la identificación de los procesos predominantes y particularmente de sus interacciones a diferentes escalas para poder predecir estos eventos y reducir las incertidumbres relativas a su evolución (p.e. frecuencia e intensidad) en el clima futuro. Estos aspectos son clave no solo para construir una base tangible en la que se asienten procedimientos de alerta y medidas de mitigación encaminadas a evitar pérdidas humanas y reducir los daños, sino también para evaluar los impactos previsibles sobre los ecosistemas terrestres y marinos, algunos de los cuales pueden ser irreversibles.

### • **Recursos hídricos**

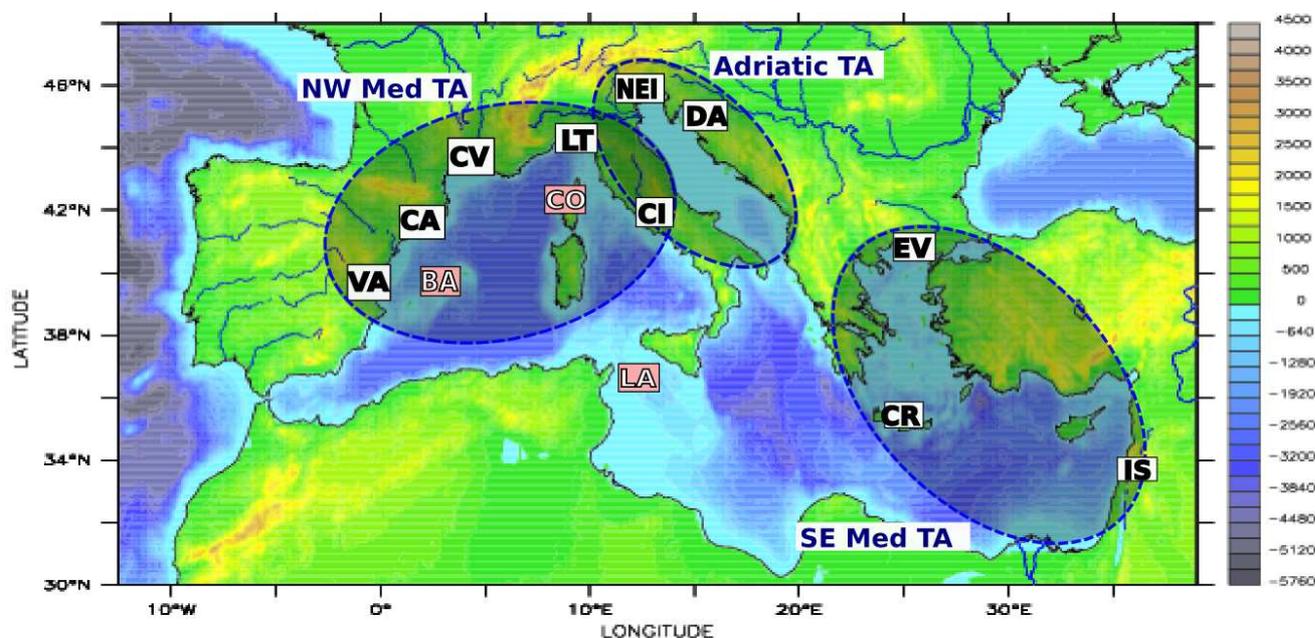
En la región mediterránea el agua dulce es escasa y de distribución muy irregular en el espacio y el tiempo, fuertemente condicionada por unos pocos episodios de precipitación intensa al mismo tiempo que por largos períodos de sequía. En numerosos países, casi todos los ríos o son intermitentes o bien efímeros. El recurso es crítico en una buena parte de la cuenca mediterránea: con menos de 1000 m<sup>3</sup> por persona y año, 180 millones de personas se enfrentan a escasez de agua, lo cual representa más de la mitad de la población mundial catalogada como "población pobre en agua". El incremento en la demanda de agua y el cambio climático hacen de esta cuestión un problema todavía más acuciante. Durante la segunda mitad del siglo XX, por ejemplo, la demanda de agua se ha doblado mientras que las condiciones climáticas se han endurecido. Haría falta progresar en la monitorización y modelización del ciclo hidrológico continental a fin de mejorar la predicción de su evolución futura y los impactos asociados sobre el agua como recurso, elemento fundamental para una correcta gestión del problema en las décadas venideras.

### • **Un punto caliente respecto del cambio climático**

Finalmente, las regiones mediterráneas han sido claramente identificadas como uno de los principales puntos calientes del cambio climático, en el sentido de que el clima resulta especialmente responsable del cambio global experimentado en estas zonas. En la cuenca mediterránea se proyecta una amplia reducción de la precipitación media y un incremento de su variabilidad durante la estación cálida, así como un aumento apreciable de las temperaturas (1.4–5.8 °C en 2100). No obstante, existen todavía muchas incertidumbres por resolver sobre la evolución futura del clima de la región. Hace falta avanzar mucho más en la monitorización y modelización del sistema climático acoplado mediterráneo (atmósfera-tierra-océano) para poder cuantificar los cambios que ya están sucediendo y predecir mejor la evolución futura del clima, base esencial para guiar el desarrollo de las medidas de adaptación.

La respuesta científica ante estas importantes cuestiones comenzó en Francia con la elaboración de un *Libro Blanco* en 2008, ha continuado con la producción del *International Science Plan (ISP)* en 2010, esta vez a cargo ya de la comunidad internacional, y en estos momentos se está trabajando en la

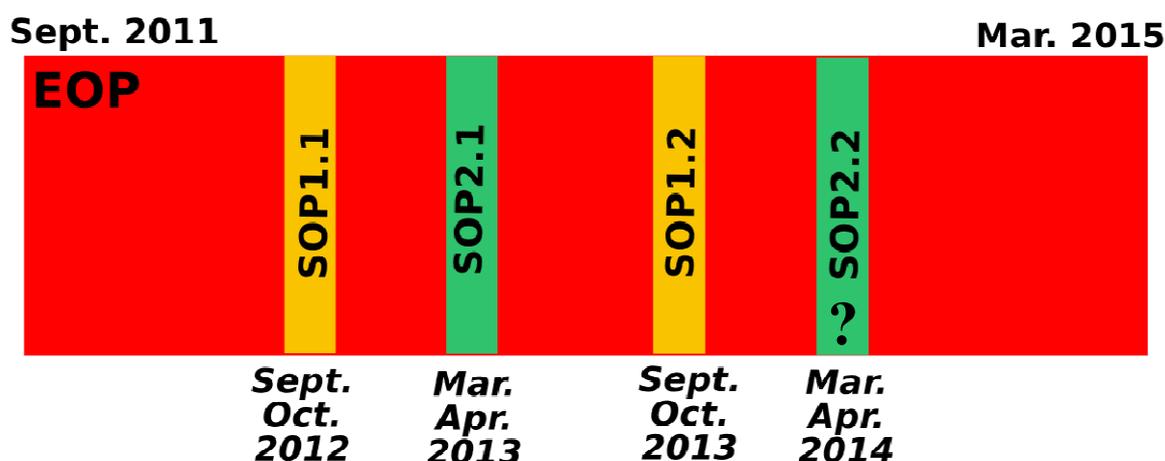
definición del *International Implementation Plan (IIP)*. Un aspecto esencial para el éxito del proyecto es su estrategia de observación. Se ha contemplado la monitorización de todas las variables atmosféricas, oceánicas, hidrológicas y bioquímicas relevantes durante un período de observación de largo plazo (*LOP*, 2010-2020) y, con mayor intensidad y despliegue de medios, durante un período de observación extendida (*EOP*, duración de al menos 4 años) que incluiría varios períodos de observación especial (*SOPs*, duración de varios meses). Para estas últimas campañas intensivas se han definido zonas de atención preferente o *Target Areas (TA)* situadas en el noroeste del Mediterráneo, sobre la zona del Adriático y en el sudeste de la cuenca (Fig. 2.2). A modo de ejemplo, la figura 2.3 muestra la estrategia de observación planeada para los próximos años en la TA del noroeste.



**Figura 2.2.-** Indicación de las tres *Target Areas (TA)* consideradas en el proyecto. En cada una de las áreas se indican mediante etiquetas los denominados "sitios hidrometeorológicos y atmosféricos" donde se prevén campañas especiales.

También se está diseñando una estrategia de modelización específica para el proyecto, lógicamente conectada con la estrategia de observación anterior, y que incluiría, entre otros aspectos: (i) el desarrollo de sistemas de

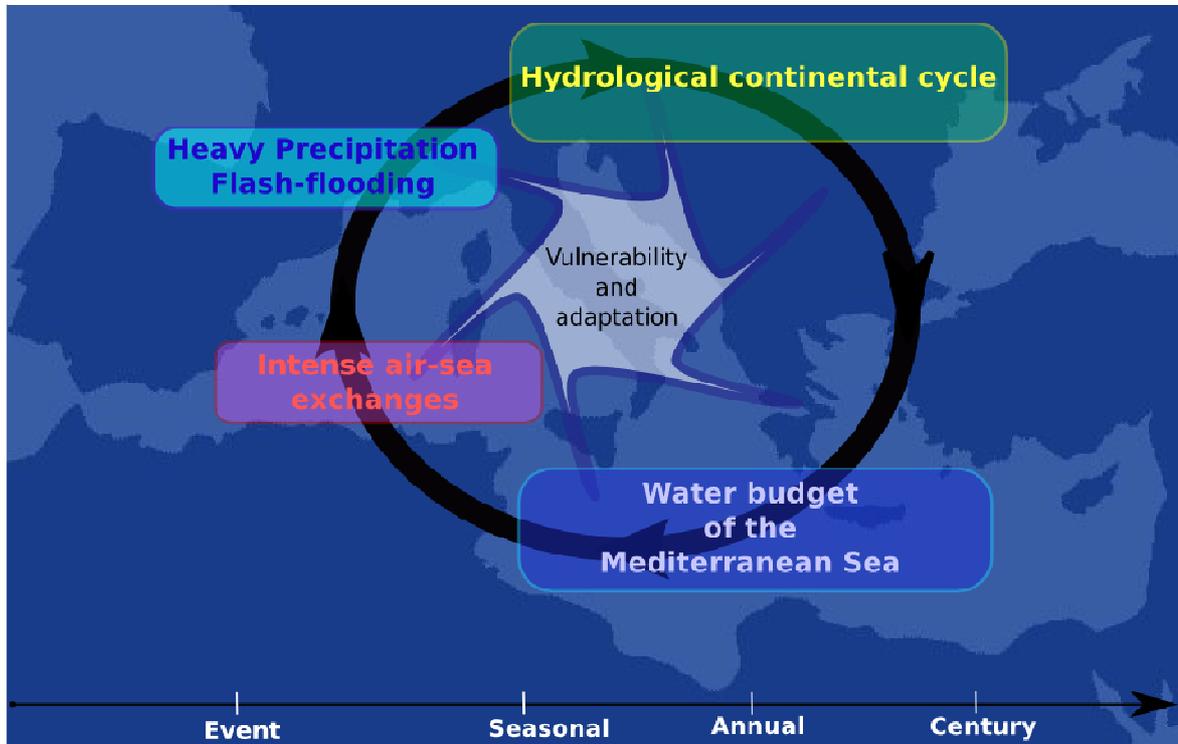
modelización regionales acoplados (océano-atmósfera, tierra-atmósfera, océano-tierra-atmósfera); (ii) la mejora de los sistemas de predicción determinista a escala convectiva; (iii) el diseño sistemas de modelización por conjuntos a alta resolución; (iv) el acoplamiento de estos sistemas de predicción por conjuntos a los modelos hidrológicos; y (v) el desarrollo de nuevas parametrizaciones (p.e. de los flujos aire-mar) y de métodos novedosos de asimilación de datos (p.e. esquemas de asimilación para los sistemas nubosos y precipitantes).



**Figura 2.3.-** Esquema temporal del período de observaciones extendidas (EOP) y subperíodos de observaciones especiales (SOP) según se han planeado en el proyecto HyMeX para la zona geográfica *NW Med TA* (ver Fig. 2.2) . En este caso, SOP1 tiene por misión documentar las precipitaciones intensas e inundaciones súbitas y el estado oceánico previo a la formación de aguas densas; y SOP2 pretende monitorizar la formación de aguas densas y convección oceánica así como los episodios de ciclogénesis y los eventos significativos de vientos locales.

La actividad científica de HyMeX se ha organizado a través de cinco tópicos principales claramente relacionados entre sí (Fig. 2.4) y a los que dedicarán sus esfuerzos los correspondientes *Working Groups (WG)*. En el apartado siguiente se describen los aspectos generales de esas cinco líneas de trabajo y se establecen las posibles contribuciones del Grupo de Meteorología de la UIB, tomando como referencia las líneas de investigación que se detallaron en el capítulo primero. En la exposición, se mantendrán los títulos originales (en

inglés) de los *WGs* y de las preguntas que estos grupos se plantean.



**Figura 2.4.-** Esquema de las cinco componentes principales del proyecto HyMeX, con indicación de las distintas escalas temporales implicadas.

## 2.2 Propuesta

- ***The water budget of the Mediterranean Sea (WG1)***

El Mar Mediterráneo está caracterizado por un balance de agua negativo (ésto es, la evaporación excede el input de agua dulce) que se compensa con el balance entre los dos flujos de intercambio con el Atlántico a través del estrecho de Gibraltar: un flujo entrante de agua cálida y no muy salina en la capa más próxima a la superficie, y un flujo saliente de agua fría y salina en las capas más profundas. Las aguas ligeras del Atlántico se transforman en aguas más densas mediante interacciones con la atmósfera que renuevan las aguas mediterráneas

de niveles intermedios y profundos y generan la circulación termohalina. Aunque el esquema general de la circulación termohalina está bien resuelto, se sabe muy poco sobre su variabilidad en la escala estacional e inter-anual. Otro aspecto que requiere investigación es la realimentación entre la cuenca marina mediterránea y la atmósfera superior a través de los diferentes términos del balance de agua. Finalmente, el balance del Mar Mediterráneo debe ser re-examinado en el contexto del calentamiento global, y es particularmente importante evaluar el impacto que tendrá el incremento del contenido calorífico del mar sobre la frecuencia e intensidad de los fenómenos meteorológicos de alto impacto. Las cuestiones científicas que pretende resolver este grupo de trabajo son:

*WG1-SQ1: What are the long-term mean values of the Mediterranean Sea Water Budget (MSWB) components and associated uncertainties?*

- No se prevén aportaciones relevantes del Grupo de Meteorología de la UIB en este tema.

*WG1-SQ2: What is the variability of the MSWB at seasonal, interannual and decadal time-scales?*

- La experiencia del grupo en el análisis de la precipitación y su variabilidad a distintas escalas espaciales y temporales (línea L7 del capítulo 1) puede ser útil para el estudio y evaluación de algunos términos del MSWB a nivel regional.

*WG1-SQ3: How do spatially and/or temporally localised intense events affect the MSWB?*

- La especialización del grupo en el estudio y simulación de episodios de alto impacto como sistemas convectivos, ciclogénesis intensa o medicanes (línea L2) podrá contribuir a conocer el papel de dichos episodios extremos en los diferentes componentes del MSWB. Dicha tarea requeriría acoplar los distintos modelos meteorológicos sobre los que se tiene experiencia (línea L1) a módulos oceánicos de otros grupos o incluso a modelos hidrológicos, tarea ésta última en la que el grupo ya ha trabajado (línea L5).

*WG1-SQ4: How will the MSWB evolve under future-climate conditions along the 21st century?*

- El Grupo de Meteorología de la UIB puede contribuir a contestar esta importante cuestión mediante la generación de escenarios regionalizados (p.e. de precipitación) para el futuro mediante las técnicas de downscaling que ha desarrollado (línea L8 del capítulo 1). También se está en disposición de acoplar modelos hidrológicos a las salidas numéricas de precipitación y humedad del suelo provistas por los RCMs, con el fin de evaluar los cambios en la frecuencia e intensidad de escorrentía superficial asociada a eventos de lluvia intensa (línea L5).

### • ***The continental hydrological cycle and related water resources (WG2)***

La climatología de la precipitación en la región mediterránea está caracterizada por veranos secos a menudo asociados a sequías muy prolongadas, seguidos de precipitaciones otoñales e invernales que suelen ser intensas. Esto da lugar a una variabilidad diaria y estacional muy alta en lo que se refiere a la recarga de los acuíferos, la descarga de los ríos, el contenido de agua en el suelo y las características de la vegetación, cuya interacción con la atmósfera se desconoce en muchos aspectos. Por ejemplo, se desconoce el impacto que tienen los incendios forestales de gran extensión favorecidos por las sequías estivales sobre el componente de evapotranspiración del ciclo hidrológico. El papel del estado de la superficie (uso y cobertura del suelo) y del tipo de suelo sobre la modulación de la precipitación es un factor también relativamente desconocido. Otra característica única de la cuenca mediterránea es el tipo de transferencia hidrológica e hidrogeológica, donde los acuíferos cársticos y sedimentarios juegan un papel fundamental. Cualquier progreso en el conocimiento de los temas anteriores es de capital importancia para el desarrollo de planes de gestión integrados de los hidrosistemas y para su adaptación a la presión antropogénica y el cambio climático. Las cuestiones científicas planteadas son:

*WG2-SQ1: How to quantify the water cycle components over the Mediterranean basin through an improved hydro-meteorological framework?*

- Si bien desde el punto de vista observacional se puede aportar muy poco desde nuestro ángulo, sí se puede contribuir significativamente a dar respuesta a esta cuestión desde el punto de vista de la simulación numérica para cuencas pequeñas y medianas. Las aportaciones del grupo en el estudio de las incertidumbres de la cadena de previsión hidrometeorológica ya se recalcaron en la línea L5 y se han ensayado métodos que capturan dichas incertidumbres, tanto en la componente meteorológica como hidrológica (líneas L4 y L5). La contribución de ambas líneas, sobre todo en el marco de las precipitaciones intensas mediterráneas y las inundaciones asociadas, puede ser muy fructífera.

*WG2-SQ2: Can we better understand the specificities of the hydrological processes in the Mediterranean? Can we improve the whole Mediterranean basin simulation of the continental hydrological cycle by better accounting for specific Mediterranean characteristics?*

- La contribución de la línea de especialización L5 (ver capítulo primero) se prevé que pueda ser de nuevo significativa en este caso. El grupo ha trabajado intensamente en la calibración del modelo hidrológico utilizado, explorando diferentes resoluciones de subcuenca y diferentes maneras de incorporar las características superficiales. Experimentos específicos soportados por campañas experimentales muy precisas que permitan monitorizar las características cambiantes de la cuenca, ayudarían a mejorar la calibración del modelo y por tanto la simulación hidrológica.

*WG2-SQ3: How will the continental hydrological cycle evolve in relation to global change?*

- Tal como se comentó para la cuestión WG1-SQ4, el Grupo de Meteorología tiene la capacidad de acoplar el modelo hidrológico a escenarios regionalizados de precipitación, propios o ajenos, y explorar de esta manera el papel del cambio climático regional sobre el ciclo hidrológico continental (líneas L5 y L8).

• **Heavy rainfalls, flash-floods and floods (WG3)**

Durante la estación otoñal, el Mediterráneo occidental se muestra propenso a las precipitaciones intensas y a las consiguientes inundaciones, típicamente muy rápidas y a veces verdaderamente catastróficas. Precipitaciones diarias por encima de 200 mm no son raras en esa estación, alcanzando en algunos casos el valor excepcional de 700 mm, como ocurrió en Septiembre de 2002 durante las severas inundaciones que afectaron al departamento de Gard (Francia). Tales cantidades de precipitación se pueden acumular durante un período de varios días cuando las perturbaciones frontales se ralentizan y sus efectos se refuerzan debido al relieve orográfico (p.e. los Alpes), pero también en menos de un día cuando un sistema convectivo de mesoescala (MCS) permanece cuasi-estacionario sobre una misma zona durante varias horas. Aunque los ambientes de gran escala propicios para la génesis de lluvias intensas se conocen relativamente bien, hace falta investigar mucho más los factores y mecanismos de escala sinóptica y mesoescala que determinan el anclaje de los sistemas convectivos o las intensidades de precipitación inusuales. Por otra parte, la orografía compleja, la variedad de superficies continentales en cuanto a la geología y los usos del suelo, y la dificultad de caracterizar el grado de humedad previo de las cuencas mediterráneas, complica significativamente la evaluación y predicción de los impactos hidrológicos. Las preguntas más relevantes que se plantea este grupo de trabajo son:

*WG3-SQ1: What are the characteristics of extreme hydrometeorological events in the Mediterranean?*

- El Grupo de Meteorología de la UIB es uno de los grupos líderes de la comunidad mediterránea en la caracterización de las situaciones de precipitación intensa, al menos las que afectan a las costas españolas. Así pues, se prevé una aportación crucial del grupo a la caracterización del fenómeno, tanto desde el punto de vista de la climatología (línea de investigación L7), del diagnóstico dinámico y termodinámico de los ingredientes precursores y reguladores (línea L2), como de la discriminación de los factores desencadenantes por vía de la simulación numérica (línea L3). La caracterización de los impactos hidrológicos

se podrá desarrollar gracias a la experiencia de simulación destacada en la línea L5.

*WG3-SQ2: How can we improve heavy rainfall process knowledge and prediction?*

- Los nuevos enfoques ensayados por el grupo, p.e. la inversión de vorticidad potencial y la separación de factores (línea L3) han ayudado y ayudarán a una mejor comprensión de los episodios mediterráneos de lluvia intensa. En cuanto a la predicción, el grupo tiene experiencia en nuevos enfoques de predicción probabilística a mesoescala (ver línea L4 en el capítulo uno), así como en sistemas cuasi-operacionales de predicción hidrometeorológica determinista a muy alta resolución (línea L10).

*WG3-SQ3: How can we improve hydrological prediction?*

- Como se comentó en el Capítulo 1 al discutir la línea de investigación L5, el grupo ha establecido claramente los beneficios que se derivan de la predicción probabilística (L4) sobre la posterior simulación hidrológica. Aunque el salto existente entre las capacidades de los modelos meteorológicos y las necesidades de los modelos hidrológicos es todavía muy grande cuando se trata de anticipar los efectos hidrológicos sobre cuencas pequeñas, estrategias como las exploradas en la línea L5 pueden ayudar a avanzar en el camino deseado.

*WG3-SQ4: How will extreme hydrometeorological events evolve under future climate conditions during the 21st century?*

- De nuevo, las técnicas de downscaling de escenarios climáticos de precipitación (línea L8), en este caso con mayor énfasis sobre los valores extremos que sobre los regímenes medios, y la posibilidad de realizar simulaciones hidrológicas forzadas con estos escenarios (línea L5) ayudarán a responder a esta cuestión desde el punto de vista nuestro grupo. Por otra parte, los resultados obtenidos en nuestro proyecto MEDICANES (línea L9) serán fundamentales para anticipar los efectos del cambio climático sobre este infrecuente –aunque violento– tipo de tempestad ciclónica.

• ***Intense sea-atmosphere interactions (WG4)***

El Mar Mediterráneo comprende algunas áreas donde se producen intensos intercambios aire-mar, asociados a vientos muy fuertes generados por la respuesta orográfica al forzamiento de gran escala (p.e. Mistral, Bora, Sirocco, Tramontana), ciclogénesis profunda (p.e. ciclogénesis de Génova) y patrones regionales de alta/baja presión. La sucesión de eventos de fuerte intercambio aire-mar y el consiguiente enfriamiento de la superficie del mar afectan considerablemente a los balances de calor y agua del Mar Mediterráneo, mediante la formación de aguas densas y convección oceánica profunda durante el invierno y el comienzo de la primavera. El funcionamiento de los ecosistemas está íntimamente relacionado a esta dinámica compleja, la cual demanda un mayor conocimiento por nuestra parte. Para tal propósito, es preciso documentar mejor las características hidrológicas y dinámicas así como la variabilidad inter-anual de la formación de aguas densas y convección oceánica profunda, analizando los papeles respectivos del forzamiento atmosférico y los procesos oceánicos. Al mismo tiempo, deberíamos comprender la manera en que las modificaciones de la capa de mezcla oceánica influyen sobre la capa fronteriza atmosférica. Las cuestiones científicas específicas que se plantea esta línea del proyecto son:

*WG4-SQ1: How do Mediterranean cyclogenesis, local topography and land-sea distribution interact to produce strong winds?*

- Como se resaltó en el capítulo primero, el grupo es experto en la aplicación de técnicas climáticas para el análisis de fenómenos atmosféricos (líneas L6, L7 y L10) y en la aplicación de la simulación numérica para el estudio de circulaciones mesoescalares (línea L1). Por lo tanto, el grupo tendría plena capacidad y experiencia para documentar y estudiar los sistemas regionales de viento asociados a la compleja topografía mediterránea. La aplicación de técnicas de sensibilidad y separación de factores (línea L3) sería fundamental para evaluar cuantitativamente el papel de los distintos agentes atmosféricos y fisiográficos sobre dichos vientos regionales.

*WG4-SQ2: How air-sea fluxes are modulated during Mediterranean intense events and how air-sea fluxes parameterisations should be improved?*

- Las herramientas de simulación numérica disponibles en el grupo (líneas L1 a L4) podrían aplicarse al estudio de los flujos de intercambio aire-mar para los episodios intensos de interés. La comparación de los resultados numéricos con las observaciones generadas en las campañas experimentales previstas podría ser útil para calibrar o mejorar las parametrizaciones de los flujos de calor sensible, calor latente y momento de los modelos. Por otra parte, los intercambios aire-mar son intrínsecamente decisivos en los eventos de Mediane, por lo que los conocimientos adquiridos en esta línea de trabajo (apartado L9 del capítulo primero) serían también aprovechables para responder a WG4-SQ2.

*WG4-SQ3: How does the Mediterranean Sea responds to the atmosphere?*

- No se prevén aportaciones relevantes del Grupo de Meteorología de la UIB en este tema.

### • **Societal and economic impacts (WG5)**

La región mediterránea se caracteriza por un aumento de su demografía, con una ocupación creciente de las áreas costeras. En el contexto del cambio climático, la población de la región se enfrenta a algunos retos medioambientales preocupantes, tales como el posible aumento de episodios meteorológicos extremos (lluvias intensas, inundaciones, olas de calor, ...) y otras modificaciones de mayor plazo temporal (cambios en la disponibilidad de recursos hídricos, sequías, etc). HyMeX tiene como uno de sus propósitos la monitorización de los factores de vulnerabilidad y las estrategias de adaptación desarrolladas por las distintas sociedades mediterráneas en su esfuerzo por acomodarse a los impactos del cambio climático y los fenómenos extremos. Así, las cuestiones científicas a las que quiere dar respuesta este grupo de trabajo son:

*WG5-SQ1: Which methods, indicators and sensors may be used to monitor short-term and long-term adaptation strategies at various space scales and for different cultural contexts?*

- La experiencia del grupo en el análisis de fenómenos extremos, a partir de climatologías orientadas a los registros disponibles o mediante climatologías sintéticas de ingredientes (líneas L6 y L7) puede ser útil para una mejor documentación y caracterización de los fenómenos de alto impacto social, tanto para el clima presente como futuro. Otra línea de investigación relevante es el estudio del potencial climático para el turismo (L10), al ser dicha actividad una fuente de riqueza fundamental en muchos enclaves mediterráneos y sobre la que se espera un impacto apreciable del cambio climático. El grupo ha desarrollado indicadores cuantitativos específicos para el turismo que permiten modelar la evolución de su potencial –desde el punto de vista estrictamente ambiental, sin tener en cuenta otros condicionantes socioeconómicos– como consecuencia del cambio climático.

*WG5-SQ2: Which lessons can be learnt from the experience of different societies and individuals to better cope with climate change and hydrometeorological extreme events around the Mediterranean Sea?*

- No se prevén aportaciones relevantes del Grupo de Meteorología de la UIB en este tema.

*WG5-SQ2: How can we make these lessons beneficial and relevant for all Mediterranean communities?*

- No se prevén aportaciones relevantes del Grupo de Meteorología de la UIB en este tema.

## **Capítulo 3**

### **PROYECTO PARA EL CORTO PLAZO**

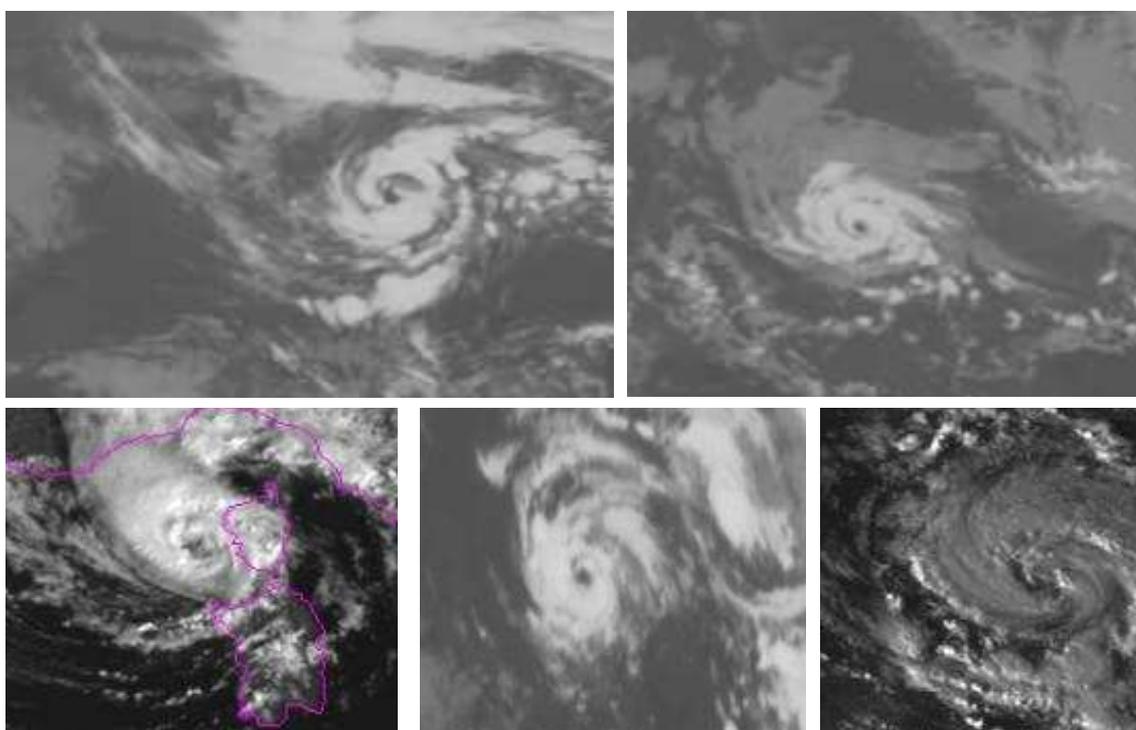
#### **3.1 MEDICANES**

La presente propuesta se enmarca dentro de una línea de especialización muy clara del Grupo de Meteorología de la UIB al que pertenece el aspirante: los ciclones mediterráneos y su impacto social en un escenario de cambio climático como el actual. Más concretamente, el Dr. Romero es IP del proyecto:

*MEDICANES: meteorological environments, numerical predictability and risk assessment in the present and future climate (MEC, CGL2008-01271)*

Dicho proyecto cuenta con 7 investigadores del grupo de la UIB más otros 6 de la AEMET (4 de la delegación de la Agencia en las Islas Baleares y 2 de la sede central en Madrid). Tiene asignada una becaria FPI (la Srta Maria Tous) que durante la primavera de 2011 ha realizado una visita de 3 meses en el Program in Atmospheres, Ocean and Climate (PAOC) del MIT (Cambridge, USA) bajo la supervisión del Prof. Kerry A. Emanuel, uno de los mayores especialistas mundiales en ciclones tropicales. El proyecto, de tres años de duración, finaliza el 31 Diciembre de 2011 pero se ha obtenido una prórroga hasta finales de 2012 ante el retraso de algunos objetivos.

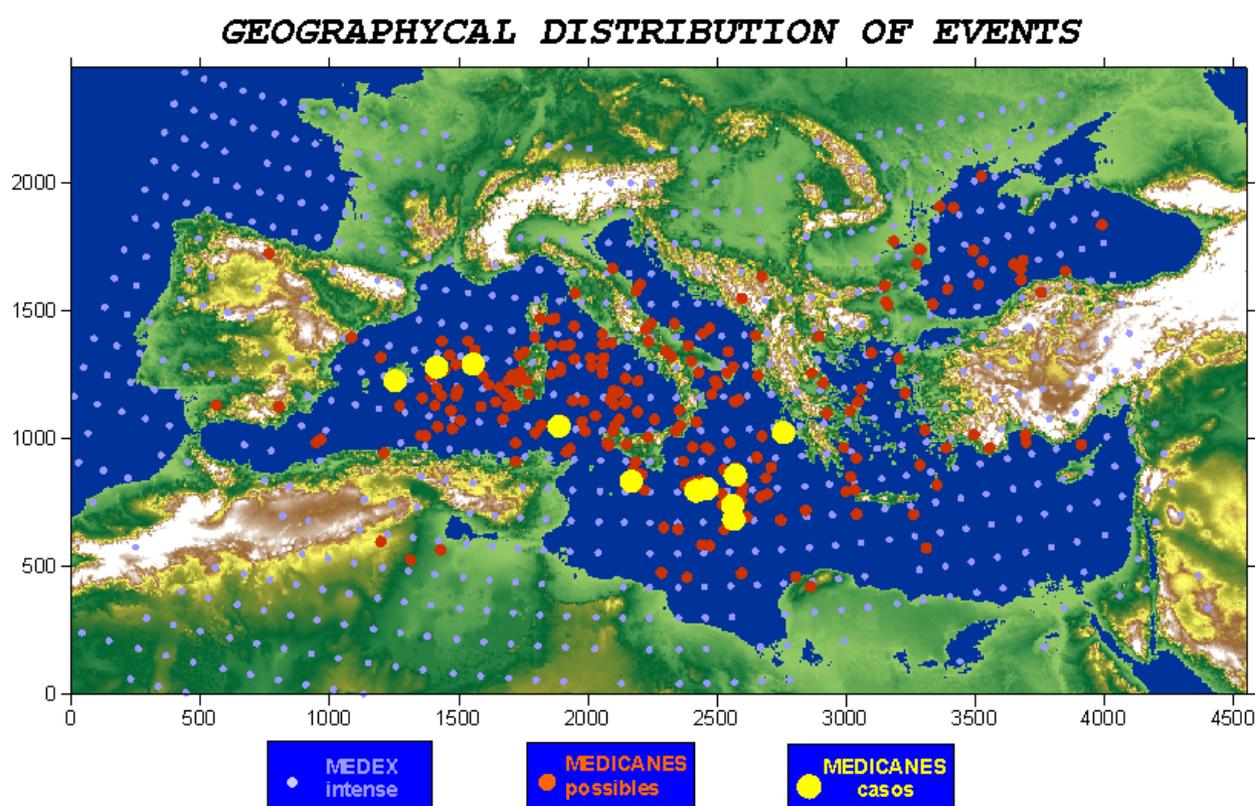
La propuesta de investigación que se describe en este capítulo pretende potenciar y ampliar algunos de los objetivos que se habían planteado en el proyecto matriz MEDICANES. Paralelamente, en la última convocatoria del "Programa nacional para estancias de profesores e investigadores seniors en centros extranjeros" el Dr. Romero **solicitó** una estancia de tres meses en el MIT durante el verano de 2012 para trabajar estrechamente en este tema con el Prof. Emanuel y su equipo. A continuación se exponen los elementos principales del proyecto, comenzando por una descripción de la problemática y dejando para el apartado 3.2 los aspectos concretos de la propuesta.



**Figura 3.1.-** Algunos ejemplos de medicane detectados en las imágenes de satélite.

Las imágenes de satélite así como las observaciones meteorológicas de barcos y estaciones costeras permiten confirmar la existencia ocasional de tempestades ciclónicas similares a los ciclones tropicales sobre el Mar Mediterráneo (Fig. 3.1), las cuales a veces alcanzan la intensidad de huracán (Ernst and Matson 1983; Reale and Atlas 2001; Jansà 2003). A este fenómeno se le ha denominado Medicane. Estos ciclones, aunque poco frecuentes y de

reducido tamaño, suponen una amenaza importante para las sociedades costeras de la región, especialmente del Mediterráneo occidental y central (Fig. 3.2), y ya han dejado su huella en algunas zonas concretas, como es el caso de la isla de Mallorca. La peligrosidad real del fenómeno en un sentido estadístico (es decir, la probabilidad de padecerlos) y su conexión con el cambio climático, son cuestiones abiertas que requieren de una investigación específica como la que se piensa desarrollar.

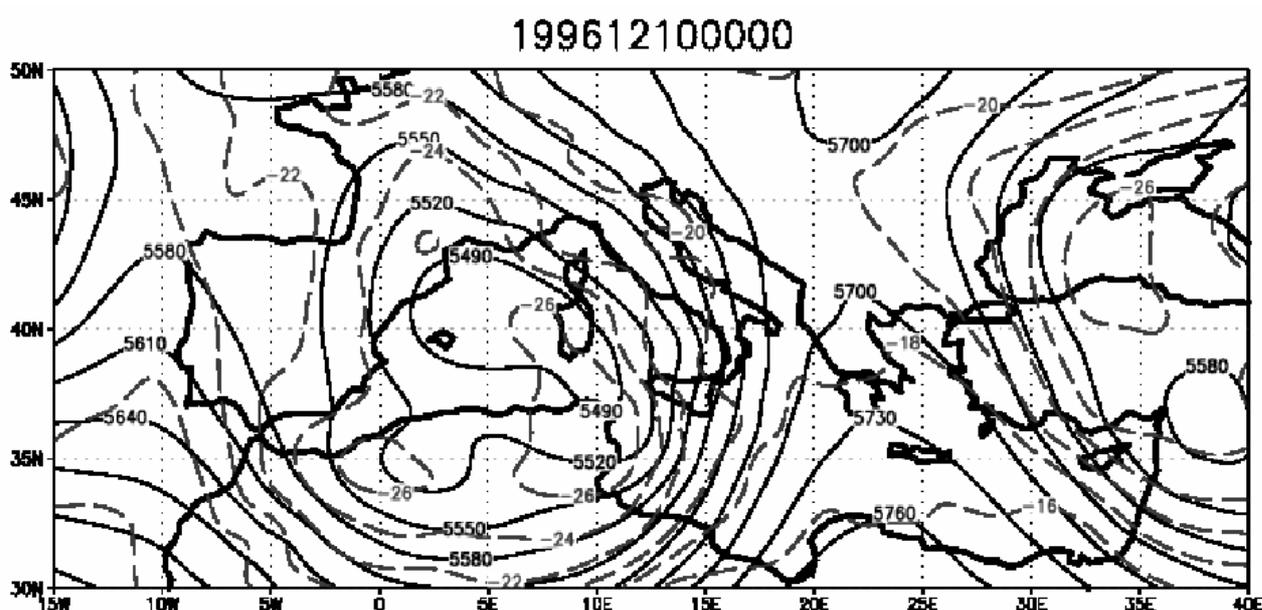


**Figura 3.2.-** Distribución espacial de los medicanes detectados en los archivos históricos del satélite Meteosat. Se distingue entre posibles casos (puntos rojos) y casos definitivamente catalogados como medicanes (puntos amarillos) de acuerdo con el criterio descrito en Tous and Romero (2011a y 2011b).

Los medicanes se distinguen de los sistemas ciclónicos ordinarios en el mecanismo de desarrollo. Mientras los ciclones ordinarios (más frecuentes en la estación fría) son baroclinos en origen -es decir, extraen su energía de la energía potencial disponible asociada a los gradientes horizontales de temperatura a

gran escala- los Medicanes se fundamentan en el desequilibrio termodinámico entre el mar y la atmósfera (Emanuel 1986). Esta es la razón, además de su apariencia visual en las imágenes de satélite, por la que se les considera ciclones cuasi-tropicales y es perfectamente lícito aplicar a este problema los conocimientos y herramientas diseñados para los mucho mejor estudiados ciclones tropicales (Emanuel 2003; Emanuel 2005a).

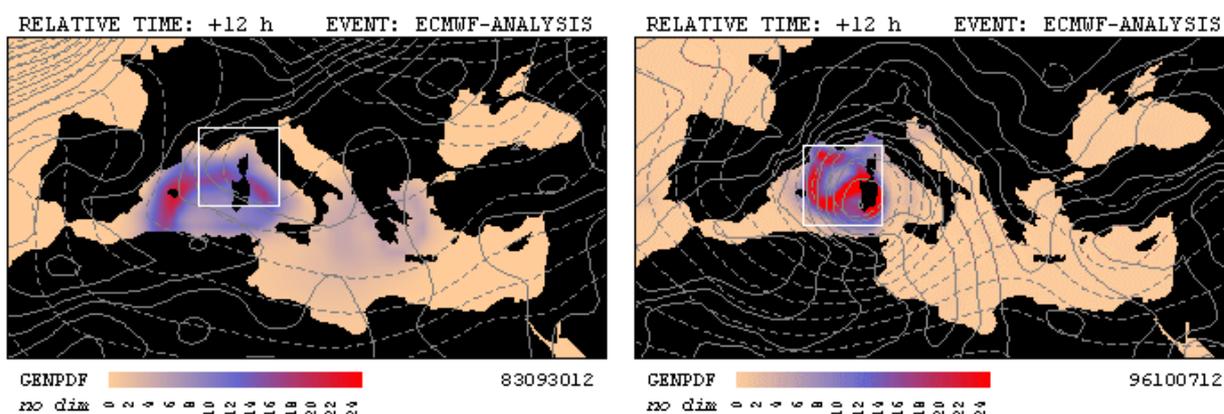
No obstante, el estado climatológico habitual del Mar Mediterráneo y la atmósfera superior no son muy propicios para el desarrollo y mantenimiento de ciclones cuasi-tropicales: la energía potencial disponible para este tipo de ciclón normalmente no es muy grande, y la atmósfera por encima de una fina capa superficial es normalmente demasiado seca como para permitir la génesis. Así pues, parecen ser necesarias condiciones meteorológicas muy especiales para que los Medicanes puedan desarrollarse, de ahí su infrecuente ocurrencia en el clima actual.



**Figura 3.3.-** Situación sinóptica relacionada con un caso de medicane generado en el Mediterráneo occidental. Se muestra la altura geopotencial y temperatura a 500 hPa.

Los análisis sinópticos de algunos medicanes bien estudiados revelan que el precursor inevitable de estas tempestades es la presencia de una perturbación profunda, aislada y de núcleo frío en la troposfera media y alta (Fig. 3.3), a

menudo resultado de la "rotura" de una onda de Rossby troposférica característica de las latitudes medias (p.e. Pytharoulis et al. 2000, Homar et al. 2003). Cuando dicho sistema se aproxima al Mediterráneo, o se desarrolla in situ, el aire a través de una capa profunda de la troposfera experimenta un movimiento vertical ascendente, enfriándose y aumentando su humedad relativa. Una atmósfera en esas condiciones es susceptible al desarrollo de ciclones de tipo tropical, por dos razones: primero, el potencial termodinámico local para ciclones tropicales será grande, debido a un desequilibrio termodinámico aire-mar anormalmente alto inducido por el contraste vertical de temperaturas; segundo, al ser el aire muy húmedo en una espesa capa, se inhibe la formación de corrientes convectivas descendentes que tienden a prevenir la ciclogénesis tropical. Un tercer factor favorecedor de la ciclogénesis es la existencia de una cizalladura vertical del viento relativamente débil a través de la troposfera, consecuencia de la configuración sinóptica descrita. De hecho, el Grupo de Meteorología de la UIB ha demostrado la aplicación exitosa de un índice tropical empírico para la detección de probabilidades elevadas de génesis de Medicane (Fig. 3.4), el cual se fundamenta en la existencia de poca cizalladura vertical del viento, alta humedad en la troposfera media, vorticidad ciclónica precursora a niveles bajos y un alto desequilibrio termodinámico aire-mar (Romero and Emanuel 2006, Romero 2007, Tous and Romero 2011a, 2011b).



**Figura 3.4.-** Intensidad del índice tropical empírico de génesis, calculado para dos situaciones meteorológicas que dieron lugar a la formación de un medicane en el Mediterráneo occidental, sobre las zonas marcadas con un cuadro blanco.

Experimentos numéricos de algunos casos de estudio utilizando un modelo no hidrostático, axisimétrico y con resolución explícita de las nubes (Emanuel 2005a, Fita et al. 2007) ha demostrado que las depresiones intensas y aisladas de niveles medio-altos son, efectivamente, incubadoras ideales de ciclones regulados por los flujos superficiales de calor sensible y latente, como los medicanes. En las simulaciones, a partir de una circulación inicial de balance asociada a la depresión fría de niveles medio-altos, pero sin existencia previa de cualquier perturbación del viento superficial, surge en pocos días un ciclón de pequeña escala y núcleo cálido, es decir, un medicane.

Si se examinan las imágenes de satélite de las últimas décadas (p.e. Tous and Romero 2011b) se desprende que los medicanes genuinos se forman con una frecuencia muy baja, aproximadamente un caso cada dos o tres años (Fig. 3.2). La reducida extensión del Mediterráneo, junto al pequeño tamaño e infrecuente ocurrencia de estas tempestades y la ausencia absoluta de misiones de reconocimiento aéreo como las que se realizan rutinariamente para los huracanes atlánticos, significa que el registro estadístico de los medicanes es ciertamente muy disperso. ¿Con qué frecuencia/probabilidad realmente ocurren? ¿Existen zonas preferentes en el Mediterráneo para su desarrollo y mantenimiento? ¿Qué intensidad podrían llegar a alcanzar? ¿Cómo puede cambiar esta fenomenología ante el cambio climático? (p.e. Emanuel 1987, Emanuel 2005b). Estas son las cuestiones que deseáramos contestar a través de este proyecto, empleando para ello dos aproximaciones metodológicas complementarias que se describen a continuación.

## 3.2 Propuesta

### • *Primera aproximación: Ciclones sintéticos*

El profesor Emanuel y su equipo han desarrollado una metodología encaminada a predecir el riesgo a largo plazo de experimentar vientos intensos asociados a ciclones tropicales (Emanuel et al. 2006). Se trata de una metodología que intenta combinar los mejores aspectos de las aproximaciones estadística y determinista. Primero, se usan los registros existentes sobre formación de

ciclones tropicales para construir una densidad de probabilidad espacio-temporal de génesis de estas tempestades. Esa función de distribución se emplea para producir de un modo aleatorio ciclones sintéticos cuya trayectoria se quiere determinar. Las trayectorias se generan también sintéticamente de acuerdo con una regla empírica bien conocida según la cual los ciclones tropicales se mueven siguiendo el promedio vertical ponderado del flujo troposférico, incluyendo una corrección que da cuenta del llamado "efecto beta" asociado a la curvatura terrestre. Para ello, se generan aleatoriamente series temporales sintéticas de los vientos medios troposféricos, las cuales poseen medias mensuales y desviaciones estandar que cumplen rigurosamente con la estadística climatológica de los datos de reanálisis de referencia (p.e. ERA-40 o NCEP) y con el espectro de potencias observado para la turbulencia geostrófica. Una vez creadas las series temporales sintéticas del flujo medio troposférico, se producen las trayectorias sintéticas de las depresiones. Para el caso de las cuencas tropicales, Emanuel et al. (2006) demostraron que las propiedades estadísticas críticas de las trayectorias generadas se ajustaban satisfactoriamente a los registros de ciclones observados. Con esta técnica, es muy fácil generar un altísimo número de trayectorias (~100,000 ). Finalmente, un modelo determinista –simple aunque preciso– de la intensidad de los ciclones tropicales que incorpora elementos atmosféricos y oceánicos, se ejecuta sobre cada una de las trayectorias para producir series temporales sintéticas de la intensidad del ciclón y de la distribución radial de los vientos (Fig. 3.5).



**Figura 3.5.-** Cien trayectorias sintéticas de huracanes atlánticos, generadas mediante la técnica descrita. El color da idea de la intensidad máxima de los vientos alcanzada.

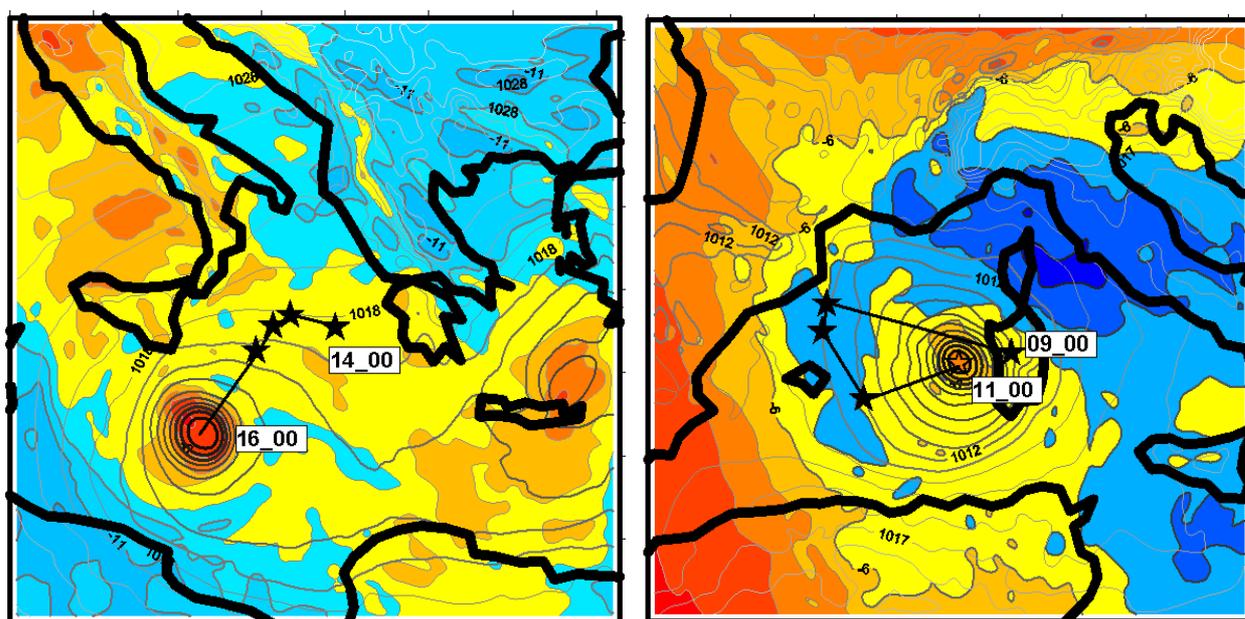
De este modo, se puede trazar con precisión la distribución de probabilidades de vientos huracanados en cualquier punto del dominio. Por ejemplo, los autores demostraron que la probabilidad estimada en Miami (Florida), donde históricamente se ha experimentado un alto número de tempestades en comparación con otras zonas, alcanza un nivel de acuerdo excelente con las probabilidades calculadas a partir de los datos históricos.

Desgraciadamente, la misma técnica no puede aplicarse directamente al Mediterráneo. Primero, la historia de génesis de medicanes es muy escasa, tal como se ha comentado, como para construir una distribución de probabilidad de génesis razonable a partir de los datos. Segundo, la climatología mensual del Mediterráneo es inadecuada para generar por sí misma medicanes sintéticos, ya que como se ha comentado estas tempestades aparecen únicamente en condiciones sinópticas muy especiales que se separan significativamente de la climatología media. Así pues, se deberá trabajar en la adaptación del método a las especificidades mediterráneas. Concretamente se propone identificar la probabilidad de génesis a partir de la climatología del índice tropical empírico descrito en la sección anterior (Romero and Emanuel 2006, Romero 2007, Tous and Romero 2011a, 2011b; Fig. 3.4) y adaptar el sistema al subespacio de la climatología sinóptica definido por la irrupción o formación in situ de perturbaciones frías en los niveles medio-altos de la troposfera. La técnica se fundamentará en los reanálisis ERA-40 y/o NCEP para la exploración del riesgo de medicanes en el clima presente, y en los outputs de los últimos modelos de simulación climática (GCMs) disponibles, para la identificación del problema en el clima futuro.

#### • **Segunda aproximación: Simulaciones de ambientes pro-medicanes**

Un método alternativo para abordar el problema es el que se está empezando a desarrollar en el proyecto matriz MEDICANES. Se fundamenta en la simulación numérica mediante un modelo mesoescalar (MM5) de los ambientes pro-medicanes que se pueden identificar -utilizando el índice tropical empírico- en el clima presente y futuro. El clima presente queda descrito por los datos de reanálisis o de simulaciones de GCMs corridas para un período control del siglo XX y el clima futuro se deriva de las simulaciones de los GCMs para finales del

siglo XXI. A partir de las simulaciones mesoescalares masivas y la aplicación sobre los outputs de algoritmos automáticos de detección y seguimiento de ciclones, capaces de discriminar las perturbaciones simétricas y de núcleo cálido (i.e. medicanes; p.e. Hart 2003) se pueden trazar los mapas de riesgo para el clima presente y futuro. La inclusión de diferentes GCMs e incluso de varios escenarios de emisión de gases de efecto invernadero y aerosoles permite, además, dar cuenta de algunas fuentes de incertidumbre que afectan a los resultados.



**Figura 3.6.-** Ejemplos de simulación con el modelo MM5 de dos medicanes que afectaron al Mediterráneo central y occidental. Se muestra la presión a nivel del mar y se destaca (en color) la presencia de núcleo cálido a través de la temperatura a 700 hPa.

Simulaciones mesoescalares de casos de estudio particulares (p.e. Gili et al. 1997, Homar et al. 2003) ya han demostrado la capacidad de los modelos, al menos cuando operan con resoluciones horizontales de entre 5-10 km, para resolver la génesis y estructura general de los medicanes (Fig. 3.6). No obstante, estas simulaciones no están exentas de error en lo que respecta a la trayectoria e intensidad del ciclón y en ocasiones producen excesiva convección marítima que repercute en la formación de falsos medicanes (Jansà 2003). Estos problemas estarían ligados al pequeño tamaño característico de los medicanes y a su

dependencia de procesos físicos parametrizados en los modelos como el intercambio aire-mar, turbulencia en la capa límite, convección por cúmulos y microfísica de nubes. Las incertidumbres asociadas a las parametrizaciones físicas del modelo pueden tratarse convenientemente mediante el empleo de un ensemble multifísica, tal como se ha estado experimentando en el proyecto MEDICANES.

Puesto que a lo largo de los próximos meses se piensa tener finalizadas un buen número de las simulaciones de ambientes pro-medicanes para el clima presente y futuro, se propone examinar en detalle los resultados numéricos obtenidos y realizar el análisis estadístico correspondiente. Es decir, se obtendrá una versión alternativa de los mapas actual y futuro de riesgo de medicanes y se compararán los resultados con los indicadores de peligrosidad extraídos de la aproximación basada en la generación de ciclones sintéticos.

## **Capítulo 4**

### **REFERENCIAS**

Emanuel, K. A., 1986: An Air-Sea Interaction Theory of Tropical Cyclones. Part I: Steady-State Maintenance. *J. Atmos. Sci.*, 43, 585-604.

Emanuel, K. A., 1987: The dependence of hurricane intensity on climate. *Nature*, 326, 483-485.

Emanuel, K. A., 2003: Tropical cyclones. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 31, 75-104.

Emanuel, K. A., 2005a: Genesis and maintenance of Mediterranean hurricanes. *Adv. Geosc.*, 2, 217-220.

Emanuel, K. A., 2005b: Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years. *Nature*, 436, 686-688.

Emanuel, K. A., S. Ravela, E. Vivant, and C. Risi. 2006: A Statistical-Deterministic Approach to Hurricane Risk Assessment. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 87, 299-314.

Ernst, J. A., and M. Matson, 1983: A Mediterranean tropical storm?. *Weather*, 38, 332-337.

Fita, L., R. Romero, A. Luque, K. Emanuel, and C. Ramis, 2007: Analysis of the environments of seven Mediterranean tropical-like storms using an axisymmetric, nonhydrostatic, cloud resolving model. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 7, 1–16.

Gili, M., A. Jansà, J. Riesco, and J. A. García-Moya, 1997: Quasi-tropical cyclone on 12th September 1996 in the Balearics. *INM-WMO International Symposium on Cyclones and Hazardous Weather in the Mediterranean*, 143-150.

Hart, R., 2003: A cyclone phase space derived from thermal wind and thermal asymmetry. *Mon. Wea. Rev.*, 131, 585-616.

Homar, V., R. Romero, D. J. Stensrud, C. Ramis, and S. Alonso, 2003: Numerical Diagnosis of a Small, Quasi-Tropical Cyclone over the Western Mediterranean: Dynamical vs. boundary factors. *Quart. J. R. Meteorol. Soc.*, 129, 1469-1490.

HyMeX: White Book, Version 1.3.2, February 2008 (available in [http://www.hymex.org/?page=key\\_documents](http://www.hymex.org/?page=key_documents)).

HyMeX: International Science Plan (ISP), Version 2.3.2, September 2010 (available in [http://www.hymex.org/?page=key\\_documents](http://www.hymex.org/?page=key_documents)).

HyMeX: International Implementation Plan (IIP), under preparation (available in [http://www.hymex.org/?page=key\\_documents](http://www.hymex.org/?page=key_documents)).

Jansà, A., 2003: Miniciclons a la Mediterrània. *IX Jornades de Meteorologia Eduard Fontserè* (ISBN 84-930328-6-7), 75-85.

Pytharoulis, I., G. C. Craig, and S. P. Ballard, 2000: The hurricane-like Mediterranean cyclone of January 1995. *Meteorol. Appl.*, 7, 261–279.

Reale, O., and R. Atlas, 2001: Tropical cyclone-like vortices in the extratropics: observational evidence and synoptic analysis. *Weather Forecast.*, 16, 7-34.

Romero, R., 2007: Huracans i medicanes: resposta a l'escalfament global. *XIII Jornades de Meteorologia Eduard Fontserè* (ISBN 84-934207-2-7), 108-120.

Romero, R., and K. Emanuel, 2006: Space-time probability density of Mediterranean hurricane genesis in the light of an empirical tropical index. V Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica, CD-Rom.

M. Tous, R. Romero, 2011: Medicanes: cataloguing criteria and exploration of meteorological environments, *Tethys*, 8, 53-61.

Tous, M., and R. Romero, 2011b: Meteorological environments associated with medicane development. *International Journal of Climatology*, [accepted with minor revisions].