

## INUSUALES ESTRUCTURAS SIMILARES A LOS RÍOS ATMOSFÉRICOS QUE AFECTAN A LA COSTA ESTE DE ESPAÑA

Raquel LORENTE-PLAZAS<sup>1</sup>, Juan Pedro MONTÁVEZ<sup>1</sup>, Alexandre M.  
RAMOS<sup>2</sup>, Ricardo M. TRIGO<sup>2</sup> and Pedro JIMÉNEZ-GUERRERO<sup>1</sup>

<sup>(1)</sup>Departamento de Física, Universidad de Murcia

<sup>(2)</sup>Instituto Dom Luiz, Universidade de Lisboa, Portugal

**lorente.plazas@gmail.com**

### RESUMEN

Devastadoras inundaciones afectaron al sureste de la Península Ibérica (PI) durante el 16-18 de Diciembre de 2016, superando los registros de precipitación los 300 mm/día. La imágenes de satélite del vapor de agua proporcionadas por el *Environmental Satellite Data and Information Service* mostraron unos largos filamentos de vapor de agua alcanzando la costa del Mediterráneo español durante dicho evento. Debido a su estructura similar a los ríos atmosféricos (RAs) algunos meteorólogos denotaron este fenómeno como “RA Mediterráneo”. En este trabajo analizamos estos largos filamentos de vapor de agua centrándonos en su frecuencia así como en las similitudes y diferencias con los RAs típicos. Para ello hemos desarrollado una metodología de detección de RA basada en el transporte de vapor de agua integrado (IVT, por sus siglas en inglés) que busca largos filamentos de IVT sobre el Mediterráneo occidental. En este estudio usaremos los datos de reanálisis ERA-Interim durante 1980-2017 y la base observacional SPAIN02 para la precipitación.

Los resultados muestran que los episodios de estructuras similares a los RA en el Mediterráneo son poco frecuentes, aproximadamente uno por año. Durante estos episodios tenemos precipitaciones anormalmente altas en las costas del Mediterráneo español superando en algunos puntos los 100 mm/día. Las situaciones sinópticas asociadas a estos eventos son una vaguada sobre la PI inyectando aire frío sobre el norte de África. Consecuentemente, la presión a nivel del mar sobre el norte de Europa aumenta mientras que sobre el norte de África disminuye favoreciendo el transporte de vapor de agua desde el Mediterráneo occidental hacia la PI.

**Palabras clave:** Ríos atmosféricos, precipitación extrema, transporte de vapor integrado, Mediterráneo.

### ABSTRACT

The southeast sector of the Iberian Peninsula was affected by harmful floods during 16-18<sup>th</sup> December 2016, with rainfall surpassing 300 mm/day in some locations. The water vapor satellite images provided by the *National Environmental Satellite Data and Information Service* showed long filaments of integrated water vapor (IVT) hitting the Spanish Mediterranean coast during this episode. Due to its structural similarities, some meteorologists called this phenomenon as an example of a “Mediterranean” atmospheric river (AR). This work analyzes these long IVT

filaments over the Mediterranean focusing on how frequent they are and what are the similarities and differences with standard ARs. A methodology based on the ARs detection has been developed to detect high values of IVT crossing the eastern and central Mediterranean sectors and bounded to the eastern coast of Spain. For this task, the reanalysis ERA-Interim for the period 1980-2017 is used along the high resolution daily precipitation dataset SPAIN02.

Results show that these events occur at low rates, approximately one per year and, with lower intensity and persistency than standard ARs with Atlantic origin. Nevertheless, these relatively rare events are often associated to anomalous high precipitation values observed over the Iberian Mediterranean coast, overpassing the 100 mm/day in some points. The synoptic situations associated at higher atmospheric levels correspond to a trough over the IP, with a low center over North Africa injecting cold air over this region. Then, the SLP increases over Northern Europe and decreases over Northern Africa inducing higher eastern winds and favoring the water vapor transport toward the IP coast.

**Key words:** Atmospheric rivers, extreme precipitation, IVT, Mediterranean Sea weather

## 1. INTRODUCCIÓN

Los ríos atmosféricos juegan un papel fundamental en el ciclo del agua, transportando el 90% del vapor de agua desde el ecuador hacia los polos (según Zhu and Newell, 1998) y siendo una fuente de agua dulce que transporta lluvias y nieves. La definición de río atmosférico (RA) sigue generando discrepancias entre la comunidad científica abarcando tanto características geométricas como físicas. De acuerdo a su geometría, los RA son largos filamentos de vapor de agua de longitud mayor de 2000 km, grosor menor que 1000 km y con valores de vapor de agua integrado mayor que 20 mm. Las situaciones sinópticas típicas asociadas a los RA los sitúan en la baja troposfera precediendo a un frente frío dentro del sector cálido junto a una corriente de chorro. Sin embargo, algunos trabajos sitúan los RAs en el sector frío del frente e incluso encuentran RAs no asociados con corrientes de chorro (Eiras-Barca et al., 2018). Otros autores señalan la relevancia de la convergencia de humedad para que se formen estas bandas.

Debido a su importancia, los RAs han sido ampliamente estudiados, especialmente a partir de la llegada de los satélites con SSM/I (Spatial Sensor Microwave Imager) que mide la columna total de vapor de agua. La mayoría de los trabajos se han centrado en la costa oeste de norte-américa (e.g. Neiman et al. 2008; Ralph and Dettinger 2012), aumentado durante la última década los estudios sobre el impacto de los RAs en el oeste de Europa (e.g. Ramos et al., 2016). Más escasos son los trabajos que relacionan la precipitación extrema y los RAs sobre las costas africanas, sur-americanas, australianas e incluso asiáticas (un resumen de ellos se puede encontrar en Gimeno et al. 2016). Más aún, los efectos de los RAs pueden llegar más allá de las costas continentales penetrando varios kilómetros al interior de los continentes, como demuestra Ciric et al. (2017) sobre el Danubio.

Centrándonos en la PI, varios casos de inundaciones han asociado la precipitación extrema con un RA. Por ejemplo, Liberato (2012) estudió el caso de las devastadoras inundaciones de Lisboa, Portugal, en 1983 y las atribuyó a un RA. Según Trigo et al. 2014, un RA también fue el causante del récord de precipitaciones en la PI en Diciembre de 1876. Eiras-Barca et al. (2018) analizó el RA de Octubre 1987 que causó récord de vientos (100 km/h) con precipitación superando 100 mm/día en el oeste de del PI. El primer estudio que analiza climatológicamente los RA en la PI fue Ramos et al. (2015) donde demostró que los RAs juegan un papel importante durante los días de precipitación extrema. Sin embargo, de acuerdo a este estudio, el impacto de los RAs sobre el este y el sureste está claramente reducido.

En este trabajo analizamos las estructuras similares a los RAs que se dan en el Mediterráneo, comparando sus características geométricas y físicas con los típicos RA que se dan en el Pacífico y el Atlántico. El estudio se estructura de la siguiente forma. En la sección 2 describimos la metodología y los datos. La sección 3 presenta los resultados. Finalmente, las principales conclusiones del trabajo se exponen en la sección 4.

## **2. DATOS Y MÉTODOS**

### **1.1. Datos**

En el estudio de los RAs en el Mediterráneo (a partir de ahora abreviados RA-MED) usaremos dos bases de datos: el reanálisis ERA-Interim (Dee et al. 2011; ERA-I) y las observaciones SPAIN02. ERA-I es una base de datos creada por el European Center for Medium-Range Weather Forecasts con datos de la atmósfera para todo el globo con una resolución espacial de  $0.75^\circ \times 0.75^\circ$  (aprox. 80 km) y con 60 niveles verticales. Aquí usamos el periodo 1980-2017 centrándonos en el Mediterráneo. Las variables meteorológicas analizadas son el transporte de vapor integrado (IVT), vapor de agua integrado (IWV), vientos horizontales, la presión a nivel del mar (SLP) y la altura geopotencial a 500 hPa (Z500). Además de analizar la precipitación diaria en ERA-I, usamos la base observacional SPAIN02 (Herrera et al. 2012) que cubre la España peninsular con una resolución  $0.1^\circ$ , lo que nos permite estudiar los fenómenos de precipitación orográfica con mayor precisión.

### **1.2 Métodos**

Para detectar los fenómenos similares a RAs en el Mediterráneo usaremos una técnica basada en IVT donde seleccionamos una banda longitudinal cercana a la costa Mediterránea española y rastreamos el filamento con altos valores de IVT. Los detalles del método son los siguientes:

1. Seleccionamos una sección longitudinal cercana a la costa del Mediterráneo español (de  $-2^\circ$  to  $1^\circ$  longitud y de  $37^\circ$  a  $43^\circ$  latitud). Usando esta sección definimos el valor umbral de acuerdo al percentil 90 para IVT y 1 para la componente zonal del IVT. Un valor anormalmente bajo de la componente zonal de IVT garantiza tener un fuerte flujo del este.

2. Para cada instante de tiempo se selecciona el punto dentro de la sección longitudinal con el máximo IVT y se comprueba si supera los valores umbrales definidos en el paso anterior. En caso positivo se inicia la búsqueda del filamento inspeccionando los tres puntos de malla contiguos situados al este. Si alguno de esos puntos también supera los valores umbrales se sigue el proceso, así hasta 20 veces que correspondería con una longitud del filamento superior a 1600 km.

Una vez identificados los filamentos de IVT, sus características son comparadas con los típicos RA construyendo las medias del plano horizontal para varias variables meteorológicas proporcionadas por ERA-I y se analiza la precipitación usando la base de datos SPAIN02 con mayor resolución espacial.

### 3. RESULTADOS

Usando la metodología descrita en la sección anterior, 66 casos de RA-MED han sido identificados durante los 35 años analizados. Estos casos son más frecuentes de Septiembre a Marzo alcanzando el máximo de IVT (226 kg/ms) y precipitación (20 mm/día) en Octubre. En la Tabla 1 se muestra el ciclo anual de frecuencias de RA-MED así como los valores medios de IVT y precipitación promediados espacialmente sobre la sección longitudinal usada en la detección de los RA-MED.

| MES   | Frecuencia | IVT (kg/ms) | Precip. (mm/día) |
|-------|------------|-------------|------------------|
| Ene.  | 14         | 137.17      | 5.30             |
| Feb.  | 9          | 137.18      | 7.29             |
| Mar.  | 4          | 189.03      | 4.19             |
| Abril | 3          | 184.51      | 3.96             |
| Mayo  | 1          | 156.59      | 10.72            |
| Jun.  | 0          | —           | —                |
| Jul.  | 0          | —           | —                |
| Agt.  | 2          | 101.73      | 0.64             |
| Sept. | 7          | 176.03      | 2.45             |
| Oct.  | 10         | 226.48      | 19.99            |
| Nov.  | 10         | 212.00      | 6.94             |
| Dic.  | 6          | 117.67      | 2.57             |

Tabla 1: Ciclo anual de frecuencias y valores medios de IVT obtenidos con ERA-I y precipitación proporcionada por SPAIN02 durante los eventos de RA-MED.

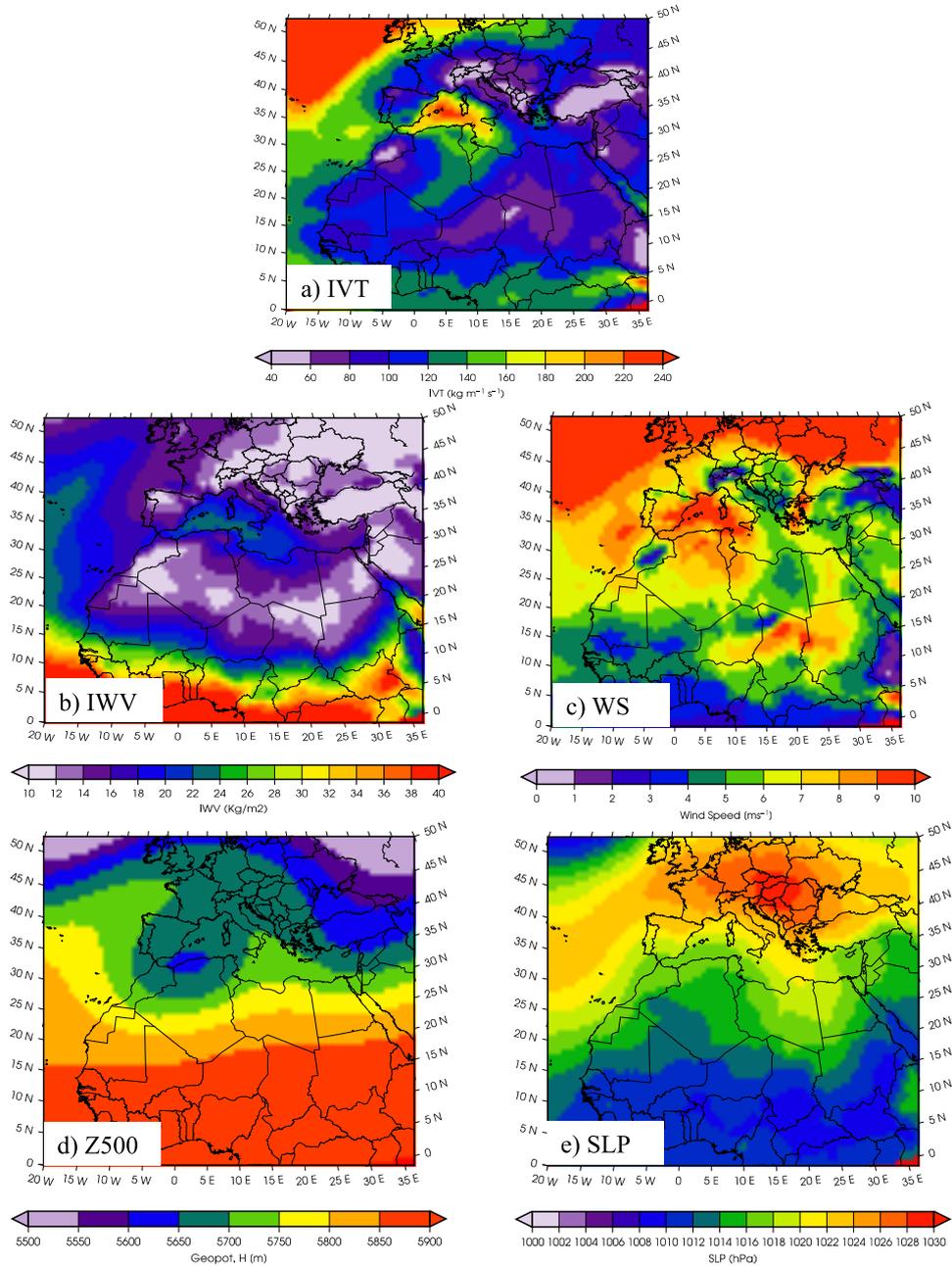


Figura 1. Para los eventos con RA-MED media temporal de a) IVT, b) IWV, c) vientos horizontales a 850 hPa, d) Z500 y e) SLP obtenidos con los datos del reanálisis ERA-Interim.

La Figura 1 muestra el promedio de los 66 casos de RA-MED para IVT, IWV y la velocidad del viento horizontal a 850 hPa. A parte de los valores medios, también se han analizados las anomalías (no mostradas por brevedad) calculadas restando al día afectado por un MED-AR la media de todo el periodo 1980-2017. La media de IVT muestra valores mayores sobre el Mediterráneo occidental superando los 220 kg/ms, i.e., aproximadamente 55 kg/ms superior a la media durante el periodo 1980-2017. Durante estos eventos, también nos encontramos valores significativos de IVT sobre el norte de África.

El aumento de IVT sobre el Mediterráneo occidental es consecuencia tanto de su componente termodinámica como dinámica como se muestra en la media del IWV y la velocidad del viento a 850 hPa. El IWV aumenta alrededor de 1 kg/m<sup>2</sup> y la velocidad del viento 1.5 m/s sobre el Mediterráneo occidental. Sin embargo, el aumento de IVT sobre el norte de África se debe principalmente a encontrarnos en situaciones más ventosas tanto a 850 hPa como a 500 hPa mas que a un aumento del IWV. Por tanto, podemos encontrar estructuras similares a los RA en el Mediterráneo con valores elevados de IVT formando largos filamentos.

Para el estudio de las situaciones sinópticas asociadas a los eventos de RA-MED, analizamos Z500 y la SLP para la media de los eventos (ver Fig. 1). El Z500 muestra una vaguada sobre el este de la Península Ibérica inyectando aire frío con un centro de bajas alturas sobre el norte de Argelia. Durante estos eventos el Z500 aumenta sobre el norte de Europa y disminuye sobre el norte de África. Los RA sobre el Pacífico que impactan las costas norte-americanas también están caracterizados por un dipolo de anomalías de Z500 que determina la intensidad y la dirección del RA, localizándose éste en la intersección del dipolo. En los RA del Pacífico la Z500 es inferior al norte y superior al sur del filamento, sin embargo, en los RA-MED ocurre lo contrario, lo que es coherente con la dirección de IVT desde el este en vez de desde el oeste. La SLP aumenta sobre el norte de Europa, más significativamente sobre las Islas Británicas y disminuye en menor medida sobre el norte de África. Estos cambios en SLP provocan un aumento de los vientos del este que alcanzan la costa

El análisis de Z500 y SLP comparte ciertas similitudes con las situaciones típicas de gota fría o DANA (depresión aislada en altos niveles) donde el aire frío en las capas mas altas está rodeado por aire más cálido sobre el Mediterráneo. En una DANA la corriente de chorro polar sufre una ruptura que produce un aislamiento de una masa de aire frío rodeada por aire más cálido. La formación de las DANAs está fomentada por circulación por bajo índice de circulación zonal y generalmente se deben a dos situaciones sinópticas. Dicha ruptura puede deberse al desplazamiento meridional de una vaguada que se separa del chorro. La segunda situación que favorece las DANAs es lo que se conoce como “configuración de bloqueo” que se dan cuando se bifurca el chorro en dos ramales donde el ramal más al sur puede separarse formando la DANA. Como consecuencia del [gradiente térmico](#) vertical, el aire cálido y húmedo sobre el mar asciende por convección hasta las capas medias y altas atmosféricas desencadenando intensas tormentas. Las DANAs han sido

identificadas como una de las situaciones sinópticas que más influyen en la precipitación extrema en el sur de Europa y norte de África (Nieto et. al 2006).

Los típicos RA suelen ir asociados a situaciones de precipitación extrema cuando se ven forzados por movimientos ascendentes como, por ejemplo, al interactuar con montañas. Aunque las montañas que encontramos en las costas Mediterráneas de la PI son significativamente menos elevadas que, por ejemplo, la costa oeste de americana, su complejidad orográfica también puede favorecer precipitaciones extremas. La Figura 3 muestra la media y las anomalías de precipitaciones durante los eventos de RA-MED usando la base de datos observacional de SPAIN02. Los resultados muestran valores de precipitación significativamente mayores sobre el este de la Península Ibérica superando los 20 mm/día. El mapa de anomalías muestra un dipolo este-oeste con precipitaciones anormalmente altas en la costa Mediterránea.

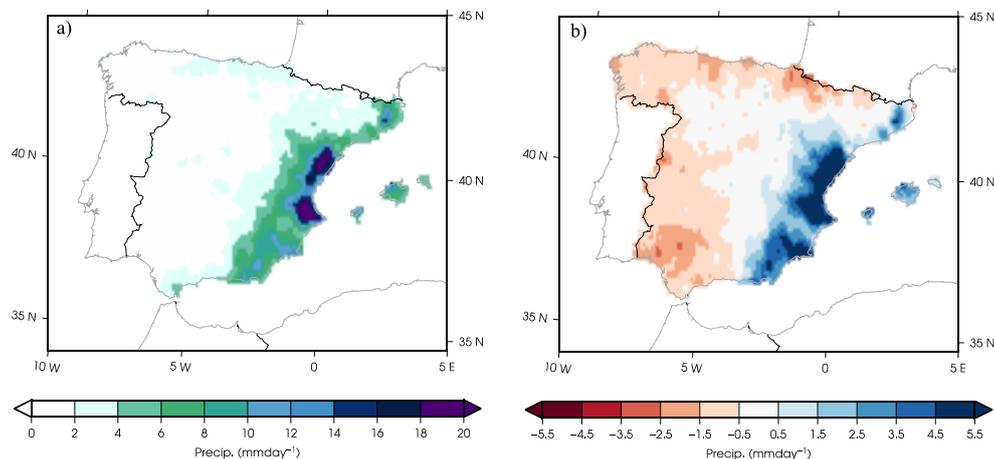


Figura 2. Para los eventos de RA-MED a) precipitación media y b) anomalías de precipitaciones respecto al periodo 1980-2015 usando la base de datos observacional de SPAIN02.

#### 4. DISCUSIÓN

En este estudio se demuestra la existencia de estructuras similares a los RA sobre el Mediterráneo occidental. Estos filamentos, aunque poco frecuentes, son relevantes en los impactos hidrometeorológicos que afectan al este de la PI. El análisis de la base de datos SPAIN02 evidencia como estos eventos están relacionados con precipitación extrema debida a la interacción de los RA-MED con la compleja orografía de la costa Mediterránea de la IP. Los datos del reanálisis de ERA-I han sido usados tanto en la detección de los RA-MED como en el análisis de las condiciones sinópticas asociadas.

Los resultados muestran como el aumento de IVT sobre el Mediterráneo occidental se debe tanto a un aumento de IWV como un aumento de los vientos horizontales. Los RA-MED están asociados con una vaguada sobre la PI que trae aire frío sobre el norte

de África y deja aire más caliente sobre el norte de Europa. Análogamente a los RA en el Pacífico aparece un dipolo de anomalías de SLP y Z500 pero invertido, con disminución de SLP y Z500 sobre el norte de Argelia y, con aumento de ambas magnitudes sobre las Islas Británicas extendiéndose gran parte del norte de Europa. Esto hace que el flujo de aire húmedo venga del este en vez del oeste a diferencia de lo que ocurre en la mayoría de los RA. Las características sinópticas de los RA-MED comparten similitudes con los eventos de gota fría donde una profunda vaguada desarrolla circulaciones cerradas de baja presiones en la troposfera media o alta sobre el este de la PI o norte de África.

Este estudio establece las bases para mejorar la predictibilidad de estos eventos con estructura similar a los RA que se dan el Mediterráneo occidental. En futuros trabajos se analizará en profundidad las situaciones sinópticas y meteorológicas comparándolas con los típicos RA.

### AGRADECIMIENTOS

El grupo de modelización atmosférica regional (MAR), Universidad de Murcia agradece a los fondos FEDER de la Unión Europea y el proyecto REPAIR-CGL2014-59677-R (Ministerio de Ciencia e Innovación de España). Raquel Lorente-Plazas agradece la financiación de las becas postdoctorales de la universidad de Murcia y su estancia en la sección de obstetricia del Hospital de Santa Lucía de Cartagena.

### REFERENCIAS

- Ciric, D., R. Nieto, A. M. Ramos, A. Drumond, and L. Gimeno, 2017: Wet spells and associated moisture sources anomalies across Danube river basin. *Water*, 9 (8), 615.
- Dee, D. P., Uppala, S. M., Simmons, A. J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., ... & Bechtold, P. (2011). The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the royal meteorological society*, 137(656), 553-597.
- Eiras-Barca, J., Dominguez, F., Hu, H., Garaboa-Paz, A. D., & Miguez-Macho, G. (2017). Evaluation of the Moisture Sources in two Extreme Landfalling Atmospheric River Events using an Eulerian WRF-Tracers tool. *Earth System Dynamics Discussions*, 1-21.
- Gimeno, L., Dominguez, F., Nieto, R., Trigo, R., Drumond, A., Reason, C. J., ... & Marengo, J. (2016). Major mechanisms of atmospheric moisture transport and their role in extreme precipitation events. *Annual Review of Environment and Resources*, 41, 117-141.
- Herrera, S., Gutiérrez, J. M., Ancell, R., Pons, M. R., Frías, M. D., & Fernández, J. (2012). Development and analysis of a 50-year high-resolution daily gridded precipitation dataset over Spain (Spain02). *International Journal of Climatology*, 32(1), 74-85.

- Lavers, D. A., & Villarini, G. (2013). The nexus between atmospheric rivers and extreme precipitation across Europe. *Geophysical Research Letters*, *40*(12), 3259-3264.
- Liberato, M. L., & Trigo, R. M. (2014). Extreme precipitation events and related impacts in western Iberia. *IAHS Publ*, *363*, 171-176.
- Liberato, M. L., Ramos, A. M., Trigo, R. M., Trigo, I. F., Durán-Quesada, A. M., Nieto, R., & Gimeno, L. (2012). Moisture sources and large-scale dynamics associated with a flash flood event. *Lagrangian modeling of the atmosphere*, 111-126.
- Neiman, P. J., Ralph, F. M., Wick, G. A., Lundquist, J. D., & Dettinger, M. D. (2008). Meteorological characteristics and overland precipitation impacts of atmospheric rivers affecting the West Coast of North America based on eight years of SSM/I satellite observations. *Journal of Hydrometeorology*, *9*(1), 22-47.
- Nieto, R., et al., 2005: Climatological features of cutoff low systems in the northern hemisphere. *Journal of Climate*, *18* (16), 3085-3103.
- Ralph, F. M., & Dettinger, M. D. (2012). Historical and national perspectives on extreme West Coast precipitation associated with atmospheric rivers during December 2010. *Bulletin of the American Meteorological Society*, *93*(6), 783-790.
- Ramos, A. M., Trigo, R. M., Liberato, M. L., & Tomé, R. (2015). Daily precipitation extreme events in the Iberian Peninsula and its association with atmospheric rivers. *Journal of Hydrometeorology*, *16*(2), 579-597.
- Trigo, R. M., Varino, F., Ramos, A. M., Valente, M. A., Zêzere, J. L., Vaquero, J. M., ... & Russo, A. (2014). The record precipitation and flood event in Iberia in December 1876: description and synoptic analysis. *Frontiers in Earth Science*, *2*, 3.
- Zhu, Y., & Newell, R. E. (1998). A proposed algorithm for moisture fluxes from atmospheric rivers. *Monthly weather review*, *126*(3), 725-735.