

# ACTUALIZACIÓN DE LOS VALORES DEL ÍNDICE DE LA OSCILACIÓN DEL MEDITERRÁNEO OCCIDENTAL (WEMOI): 1821-2013

Joan Albert LÓPEZ-BUSTINS<sup>1</sup>, Javier MARTÍN-VIDE<sup>1</sup>, Mariano BARRIENDOS<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Grup de Climatologia, Facultat de Geografia i Història, Universitat de Barcelona*

<sup>2</sup>*Departament d'Història Moderna, Universitat de Barcelona*

jlopezbustins@ub.edu, jmartinvide@ub.edu, mbarriendos@ub.edu

## RESUMEN

En 2014 se cumplen 8 años desde la publicación de la propuesta del patrón de variabilidad de la Oscilación del Mediterráneo Occidental (WeMO) en una revista científica internacional y 12 años desde su primer planteamiento en el III Congreso de la Asociación Española de Climatología, en Palma de Mallorca. Desde entonces, los usos de su índice (WeMOi) y sus referencias internacionales en revistas incluidas en el *Journal Citation Reports* han rebasado el medio centenar. Los autores que han trabajado y trabajan con el índice son principalmente científicos del campo de las Ciencias de la Tierra de origen español, italiano y francés. Como reflejo de lo anterior, las peticiones recibidas en el *Grup de Climatologia* (Universitat de Barcelona) sobre la actualización de los valores del WeMOi han sido constantes a lo largo de los últimos años. Con esta publicación se pretende (1) asentar la metodología de actualización de dichos valores y (2) presentar la evolución temporal más reciente de éstos. La metodología se basa en datos instrumentales de presión atmosférica de las series de referencia de San Fernando, en el suroeste peninsular ibérico, y de Padua, en el valle del Po. Se han llevado a cabo correcciones y homogenizaciones internas en algunos valores a resolución diaria a lo largo de todo el período de estudio, que abarca prácticamente dos centurias: 1821-2013. Asimismo, en este trabajo se detallan los procedimientos de estandarización de los valores de presión y el cálculo de los valores del índice a las distintas escalas temporales. Los valores del WeMOi muestran una fase negativa en los primeros años del presente siglo. La base de datos mensuales del WeMOi está actualmente accesible en la página web del Grupo de Climatología.

**Palabras clave:** Índice de Teleconexión, Oscilación del Mediterráneo Occidental, Patrón de Variabilidad, Presión Atmosférica, Series Climáticas Seculares, WeMOi.

## ABSTRACT

It is 8 years since the Western Mediterranean Oscillation (WeMO) pattern came to light in an international scientific journal. The first approach of the WeMO was showed at the 3<sup>rd</sup> AEC Meeting in Palma de Mallorca. The uses of the WeMO index (WeMOi) and its references in international journals included in the Journal Citation Reports have gone beyond the 50 cites. Those authors interested in the WeMOi are mainly Earth's scientists from Spain, Italy and France. Consequently, the Climatology Group (University of Barcelona) has received a large number of petitions on updated WeMOi data along the last years. With this work we are willing (1) to establish the methodology followed for updating WeMOi values and (2) to show a very recent time evolution of these values. Methodology is based on instrumental barometric data from San Fernando (SW Spain) and Padua (N Italy). We have carried out several corrections and homogenisations in some values at daily time scale along the whole study period: 1821-2013. The standardization process of the atmospheric pressure data and that calculation of the WeMOi

values are properly exposed in this work. The WeMOi values show a negative phase at the beginning of the present century. Monthly database is currently available at the Climatology Group website.

**Key words:** Atmospheric Pressure, Long Climatic Series, Teleconnection Index, Variability Pattern, WeMOi, Western Mediterranean Oscillation.

## 1. TRAYECTORIA CIENTÍFICA DE LA WEMO

Los índices de teleconexión son indicadores numéricos de conexiones a distancia en los subsistemas atmosférico y oceánico. Estas conexiones se detectan, normalmente, en los comportamientos sincrónicos entre algunos centros de acción, anticiclones y depresiones, más o menos alejados a distintas escalas temporales. La escala geográfica de estas conexiones oscila entre extensas áreas, como es el caso de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO: *North Atlantic Oscillation*), y ámbitos más regionales, como es el caso de la conexión que se trata en este trabajo: la Oscilación del Mediterráneo Occidental (WeMO: *Western Mediterranean Oscillation*). La WeMO se define como la conexión atmosférica entre el suroeste peninsular ibérico y el norte de Italia (Martín-Vide, 2002) (Fig. 1). Esta oscilación se caracteriza en su fase positiva por altas presiones en el suroeste peninsular (comúnmente, se trata del anticiclón de las Azores) y bajas presiones en el norte de Italia (asociadas normalmente a la depresión del Golfo de Génova). El cálculo de su índice (WeMOi) cubre casi dos centurias (1821-2013) gracias a la localización de series barométricas seculares en sendas regiones del dipolo: San Fernando (Cádiz) y Padua (Véneto). El origen de su planteamiento se halla en la baja correlación estadística entre la pluviometría de la fachada oriental de la península ibérica y el índice de la NAO (NAOi) (Rodó *et al.*, 1997; Esteban-Parra *et al.*, 1998). Esta franja tiene un sumo interés en cuanto a irregularidad pluviométrica, hecho que propició en su momento la necesidad de ensayar un patrón de variabilidad a escala regional acotado a la cuenca occidental del Mediterráneo (Martín-Vide, 2002). La mayor influencia climática del patrón se ha detectado en la variabilidad pluviométrica de la península ibérica a lo largo del semestre frío del año (Martín-Vide y López-Bustins, 2006). La ocurrencia de su fase normal, o positiva, conlleva circulación de vientos del noroeste que dan lugar a anomalías positivas de precipitación en la franja cantábrica, un área geográfica que también presenta una débil influencia de la NAO (Muñoz-Díaz y Rodrigo, 2004; López-Bustins *et al.*, 2008), y anomalías negativas en la fachada mediterránea. El desprendimiento de borrascas profundas sobre el Golfo de Cádiz o el fortalecimiento del anticiclón centroeuropeo favorecen la ocurrencia de la fase negativa de la WeMO, estableciéndose una circulación de flujos mediterráneos sobre la península que revierte la distribución espacial de las anomalías de precipitación.

Desde su primera formulación en el III Congreso de la Asociación Española de Climatología, en Palma de Mallorca, (Martín-Vide, 2002), y su posterior publicación internacional en la revista *International Journal of Climatology* (Martín-Vide y López-Bustins, 2006), sus usos y aplicaciones se han extendido entre los estudiosos de las Ciencias de la Tierra en el ámbito mediterráneo. Esta publicación internacional se ha citado en más de medio centenar de ocasiones, excluyendo las autocitas, en revistas indexadas en *Journal Citation Reports* (Tabla 1). Sus aplicaciones en el campo de la Agricultura y la Biología han sido notables (Tabla 2), sobre todo, en trabajos relacionados con la variabilidad de poblaciones de especies marinas (Martín *et al.*, 2012; Aizpurua *et al.*, 2013; Coll *et al.*, 2014). Los científicos que más han usado el WeMOi proceden del ámbito mediterráneo noroccidental. Las palabras claves dan cuenta de que el índice se ha aplicado principalmente en trabajos de Climatología española relacionados con la intensidad

de la precipitación en el ámbito mediterráneo. Al hilo de ello, se corrobora la óptima potencialidad del índice a resolución diaria para el estudio de episodios torrenciales en algunas áreas (López-Bustins, 2007).

La petición de una actualización periódica del índice ha sido solicitada reiteradamente al *Grup de Climatologia* de la Universitat de Barcelona por un listado medianamente largo de científicos del campo de las Ciencias de la Tierra de origen mayoritariamente español, italiano y francés. El marco científico del presente Congreso de la Asociación Española de Climatología es una excelente oportunidad para presentar los valores actualizados del WeMOi y los procedimientos seguidos para su cálculo.

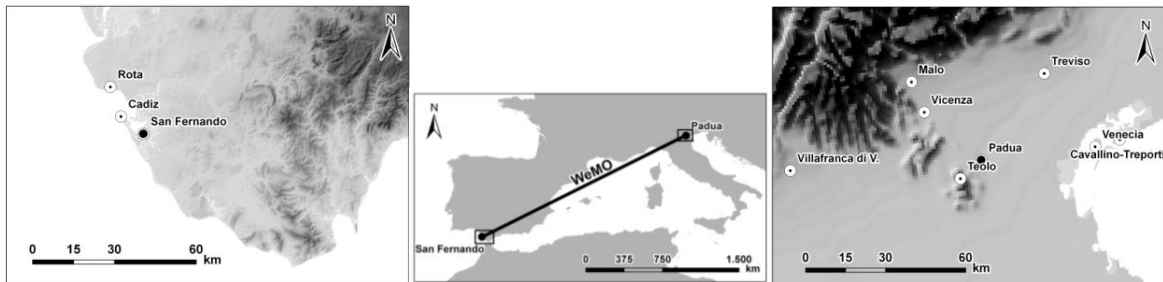


Fig. 1: Transecto de la WeMO sobre la cuenca occidental del Mediterráneo (centro) y localización de las estaciones que componen las series barométricas seculares de referencia para el cálculo del índice de la WeMO (WeMOi): San Fernando, en el extremo meridional de la península ibérica (izquierda), y Padua, en el extremo oriental de la Llanura Padana (derecha).

Año	Citas (excluyendo las autocitas)
2006	0
2007	4
2008	1
2009	9
2010	7
2011	10
2012	7
2013	12
2014	3
Total	53

Tabla 1: NÚMERO DE CITAS RECIBIDAS HASTA EL 30 DE MAYO DE 2014 DEL TRABAJO DE MARTÍN-VIDE Y LÓPEZ-BUSTINS (2006) PUBLICADO EN LA REVISTA *INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY* EL 11 DE SEPTIEMBRE DE 2006. EN LA TABLA SE EXCLUYEN 7 AUTOCITAS. FUENTE: BASE DE DATOS *SCOPUS*.

Revista	Temática	País de origen de los autores	Palabra clave
<i>International Journal of Climatology</i> (5)	Ciencias de la Tierra (34)	España (38)	España (17)
<i>Journal of Geophysical Research D Atmospheres</i> (3)	Ciencias agrícolas y biológicas (18)	Italia (7)	Mar Mediterráneo (15)
<i>Journal of Hydrology</i> (3)	Ciencias ambientales (17)	Francia (7)	Intensidad de la precipitación (14)

Tabla 2: LAS TRES REVISTAS, TEMÁTICAS, PAÍS DE ORIGEN DE LOS AUTORES Y PALABRAS CLAVES MÁS FRECUENTES DE LOS TRABAJOS INTERNACIONALES QUE CITAN EL ARTÍCULO DE MARTÍN-VIDE Y LÓPEZ-BUSTINS (2006). SE INDICA EL NÚMERO DE TRABAJOS ENTRE PARÉNTESIS. ALGUNAS CITAS ESTÁN INCLUIDAS EN MÁS DE UNA TEMÁTICA, PAÍS Y PALABRA CLAVE. FUENTE: BASE DE DATOS SCOPUS.

## 2. ACTUALIZACIÓN Y REVISIÓN DE LOS VALORES DIARIOS DE LAS SERIES BAROMÉTRICAS DEL DIPOLO

### 2.1. San Fernando

La serie del suroeste peninsular está constituida principalmente por las observaciones meteorológicas realizadas en dos estaciones: Cádiz (observaciones de los hermanos Urrutia) (1821-1869) y San Fernando (Observatorio de Marina, ROA) (1870-2013). Estos datos proceden del proyecto IMPROVE (Camuffo y Jones *et al.*, 2002) donde ya se trataron algunas inhomogeneidades. Estas series de presión del suroeste español no están reducidas al nivel del mar, pero este hecho no afecta a los valores del WeMOi porque las series del dipolo se estandarizan individual y previamente antes de calcular las diferencias entre ellas para obtener el valor del índice. El Observatorio de Marina se halla a unos 30 m sobre el nivel del mar y la ciudad de Cádiz a unos 20 m sobre un tómbolo, aunque se desconoce a día de hoy la ubicación exacta de las observaciones realizadas por los hermanos Urrutia dentro el casco urbano gaditano. Aún así, se considera que éstas se hicieron a una altura sobre el nivel del mar muy similar a la del Observatorio de Marina. San Fernando y Cádiz se hallan a una distancia de poco más de 10 km (Fig. 1). Hay un período de solapamiento de datos diarios entre la serie de Cádiz y San Fernando de 11 años (1870-1880) que permitió aplicar un leve ajuste sobre los valores de Cádiz que aparecían algo más elevados (1,14 hPa de media), sobretudo en los meses estivales, respecto a los valores registrados en San Fernando (Fig. 2). Para hacer las correcciones se halló una regresión lineal entre las diferencias de presión diaria entre ambos observatorios y la temperatura media diaria que también registraron los hermanos Urrutia en Cádiz. El ajuste resultó satisfactorio al 99% del nivel de confianza ( $r = 0,66$ ) y con una variabilidad explicada del 43%, donde se deduce una mayor diferencia de presión diaria entre ambas series cuanto más elevada es la temperatura media diaria. En la Fig. 2 se puede apreciar cómo los valores homogenizados del mes de julio, el mes con la mayor diferencia (2,18 hPa) entre ambos observatorios, muestran una oscilación dentro de la misma horquilla de valores que aquéllos registrados posteriormente en San Fernando.

En la Fig. 3 se puede comprobar que la serie barométrica del suroeste peninsular está prácticamente completa para todo el período 1821-2013. Casi el 75% de los datos corresponden a San Fernando, seguido de los valores de los hermanos gaditanos (24,4%). No obstante, aparece un pequeño porcentaje (1,0%) de la prensa local del “Diario El Comercio” durante los años 1851 y 1852. Se extraviaron los cuadernos de anotaciones de los hermanos Urrutia de ese par de años

(Barriendos *et al.*, 2002). Los datos de este diario local proceden de un observador privado de identidad desconocida de la ciudad de Cádiz y fueron considerados en el proyecto IMPROVE para rellenar dicho hueco. También hay un porcentaje muy menor (0,6%) perteneciente al observatorio de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) en Rota, que se halla a unos 20 km al noroeste de San Fernando (Fig. 1). Los datos de Rota son principalmente del período comprendido entre los meses de junio de 1989 y julio de 1990, ambos inclusive. En esos años es cuando la AEMET instaló en el recinto del observatorio una estación automática digital (modelo SEAC) con adquisición de presión atmosférica, entre otras variables, cada 10 minutos (ROA, 1990, 1991 y 2012). El instrumental no estaba bien calibrado durante los primeros años y dio lugar a medidas erróneas hasta 1994, las cuales se pudieron corregir en parte en la tesis de López-Bustins (2007). En la actualidad, las medidas continúan haciéndose con el barómetro de la estación automática el cual es sometido a un plan de verificación semestral (personal del ROA, comunicación personal). Los datos para actualizar la serie son proporcionados directamente por el personal del Observatorio de Marina quienes suministran los datos calibrados y en mm de Hg al nivel de estación (32 m).

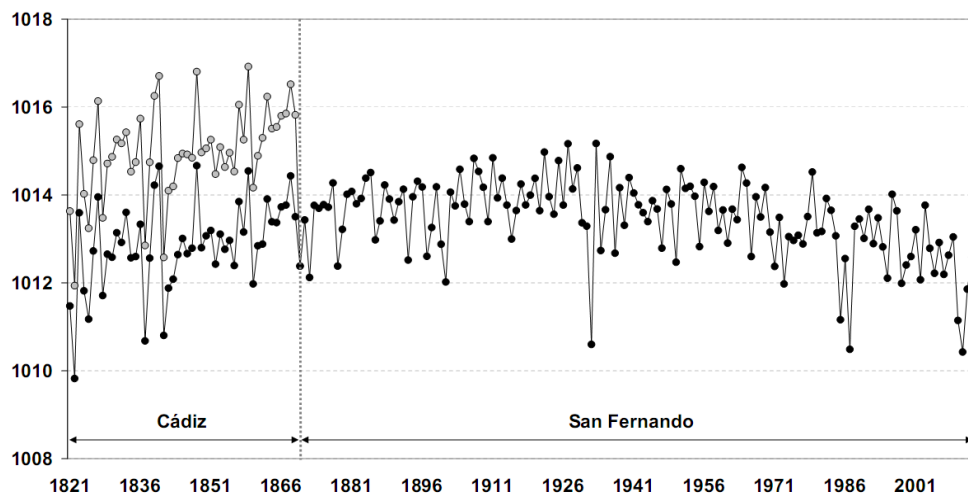


Fig. 2: Evolución de la presión atmosférica media (en hPa) en el mes de julio a nivel de estación en Cádiz, por parte de los hermanos Urrutia durante el período 1821-1869, y en San Fernando, por parte del Observatorio de Marina durante el período 1870-2013. Los círculos grises del período 1821-1869 son los datos originales inhomogéneos y los círculos negros son estos mismos datos corregidos.

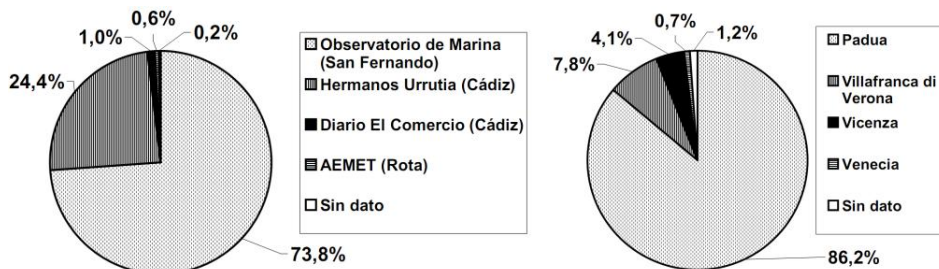


Fig. 3: Porcentaje del volumen de datos sobre el total de los 73.490 días (transcurridos entre el 1 de enero de 1821 y el 31 de diciembre de 2013) aportados por distintos observatorios a las series representativas del dipolo: San Fernando (izquierda) y Padua (derecha).

## 2.2. Padua

La reconstrucción de la serie barométrica del extremo oriental del valle del Po se llevó a cabo mayoritariamente con los datos tomados en el Castillo de Ezzelino en la ciudad de Padua. Estos datos fueron extraídos del proyecto IMPROVE (1821-1990) y homogenizados a resolución diaria por parte de los científicos italianos Maugeri *et al.* (2004). Se incorporaron los datos de Vicenza (1991-2000), proporcionados por estos mismos científicos Maugeri *et al.* (2003), para completar la serie hasta el final del siglo XX (López-Bustins, 2007), donde se hizo especial énfasis en la homogeneidad espacial de la presión atmosférica para reconstruir series de esta variable meteorológica. Vicenza se encuentra a unos 30 km al noroeste de Padua (Fig. 1). Padua se halla a 12 m sobre el nivel del mar y Vicenza a 40 m, pero no supuso ninguna inhomogeneidad porque ambas series estaban reducidas al nivel del mar.

Para actualizar los datos hasta 2013 hacía falta conseguir una observación de referencia en el norte de Italia que mostrara continuidad y fiabilidad para el cálculo de los valores del WeMOi en el futuro. No hubo continuidad de observación en Padua a partir del año 1997 e incluso los datos posteriores a 1990 se tuvieron que descartar para su tratamiento climatológico como bien expusieron Maugeri *et al.* (2004) en su trabajo de homogenización de series diarias de presión atmosférica en la Llanura Padana. En un primer intento de actualización, se intentó recuperar los datos más recientes de la serie de Vicenza procedentes de las fuerzas aéreas, pero no hubo éxito para hallar continuidad de la serie a partir de 2008. Seguidamente, se inició la búsqueda de datos de otros observatorios en Padua o cercanos a la ciudad. Se rastreó hasta en 6 bases de datos distintas, entre ellas, cabe destacar la *Banca Dati Agrometeorologica Nazionale* y el *Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare Italiana*, pero no se encontró una serie sistemática en Padua o en un radio de 50 km (dentro de la unidad geográfica del valle del Po en su vertiente norte). Se hallaron buenas series en Teolo (10 km al suroeste de Padua), Venecia (35 km al este), Malo (40 km al noroeste), Treviso (40 km al noreste) y Cavallino-Treporti (45 km al este) (Fig. 1); pero ninguna de ellas mostraba una continuidad sin lagunas hasta la actualidad y sin tramos inhomogéneos. Finalmente, se escogió una serie homogénea del aeropuerto de Verona, ubicado en el municipio de Villafranca di Verona, la cual se halla 68 m sobre el nivel del mar, 75 km al oeste de Padua y 50 km al suroeste de Vicenza. Es una serie de las fuerzas aéreas italianas como Vicenza, pero sus datos están disponibles y son actualizados con una elevada frecuencia en la web del proyecto ECA&Dataset (<http://www.ecad.eu>) (Klein Tank *et al.*, 2002). La web ofrece datos diarios de esta serie desde enero de 1999 hasta la actualidad sin hueco alguno.

También se consideró una serie completa de Venecia que cubre 101 años de datos diarios (1900-2000) del *Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti de Venecia*. Este instituto nos proporcionó los datos del *Osservatorio Meteorologico Padri Cavanis* de Venecia situado en el tejado del *Istituto Cavanis* a 18 m sobre el nivel del mar. Tanto los datos de presión de Villafranca di Verona como de Venecia se obtuvieron ya reducidos al nivel del mar. Con la serie de Venecia se pudieron rellenar directamente 490 días del período 1906-1938. La serie fue comparada con la serie de Padua durante este período y presentó unas diferencias coherentes, según el factor de continentalidad, mostrando un suave ciclo anual. Se hicieron pequeñas correcciones a partir de dicha comparación añadiendo 0,5-1 hPa a los datos de Venecia en dicho período para rellenar los huecos de Padua. Tras estos últimos rellenos, la serie representativa del norte de Italia presenta solamente 860 días (1,2%) sin dato a lo largo de 193 años (Fig. 3). Actualmente, más del 85% de los datos son de Padua y solamente alrededor de un 8% corresponden a la nueva serie de Villafranca di Verona.

En la Fig. 4 se muestra la evolución anual de la presión atmosférica reducida a nivel del mar de las series de Padua, Vicenza, Villafranca di Verona y del conjunto de la Llanura Padana, ésta

última extraída del trabajo de Maugeri *et al.* (2004). La presión media anual de Padua y Vicenza evolucionan de formar muy similar, hecho que evidencia la necesidad de no homogenizar los datos de Vicenza y preservar la variabilidad natural, sobretodo, a una escala tan fina como es la diaria. Se halla una buena correspondencia entre las series de Vicenza y Padua hasta 1990, a partir de entonces la serie de Padua se desmarca tanto de la serie de Vicenza como de la del conjunto del valle del Po por presentar valores inhomogéneos (Maugeri *et al.*, 2004). La presión media de la Llanura Padana oscila paralelamente a las dos series anteriores, pero se distancia moderadamente en algunos años. Es debido a que esta serie también está reflejando, a parte de Padua, la presión atmosférica de enclaves relativamente lejanos como Milán o Turín, entre otros. La serie de Villafranca di Verona solamente se solapa en un par de años con la serie de Vicenza y ambas muestran unos valores similares. Este período de solapamiento se extiende concretamente desde el 1 de enero de 1999 hasta el 1 de abril de 2001 (822 días). Son 818 días de solapamiento (4 días sin dato en la serie de Vicenza) que son esenciales para hacer la homogenización de los datos de Villafranca di Verona. Para estos 818 días, Villafranca di Verona (1.015,81 hPa) presenta una presión media muy ligeramente superior (0,01 hPa) a la de Vicenza (1.015,80 hPa). No obstante, si separamos los días con una mayor dinámica atmosférica (de octubre a marzo) de los días del semestre cálido (de abril a septiembre), las diferencias medias son algo mayores. Respecto a Vicenza, Villafranca di Verona tiene una presión media 0,07 hPa superior durante el período frío y 0,07 hPa inferior durante el período cálido. Son resultados coherentes teniendo en cuenta la ubicación geográfica más continental de Villafranca di Verona respecto a Vicenza (Fig. 1). La desviación media de las diferencias diarias entre ambas series no alcanza 1 hPa, concretamente, tiene un valor de 0,61 hPa. A pesar de que las diferencias son pequeñas es importante centrar los esfuerzos en corregir mínimamente estos valores porque la mayoría de estudios realizados y peticiones recibidas requieren los datos más recientes del WeMOi. Además, por el momento, los valores de presión de Villafranca di Verona serán de ahora en adelante los de referencia para construir el WeMOi en su polo nororiental.

Se observó un ciclo intraanual en las diferencias diarias de presión entre ambos observatorios, siendo positivas en los meses fríos y negativas en los cálidos. En consecuencia, se optó por corregir levemente los meses invernales potencialmente afectados por el anticiclón invernal centroeuropeo (restando 0,1 hPa a los días de diciembre y febrero, y algo más a los días centrales del invierno –enero- con 0,2 hPa). Las mismas correcciones, pero en signo opuesto, se aplicaron a los días estivales (junio, julio y agosto). Tras las leves correcciones se obtuvo una diferencia media diaria entre ambos observatorios de 0,00 hPa. Las diferencias diarias por semestres también se anularon (0,00 hPa), corrigiéndose las diferencias báricas intraanuales entre ambos observatorios. Las futuras actualizaciones de la serie de Villafranca di Verona deberán someterse a estas pequeñas correcciones en los meses señalados. En la Fig. 5 se presenta un ajuste muy satisfactorio entre ambas series diarias de presión, una vez aplicados los ajustes a la serie de Villafranca di Verona, con una  $r^2$  prácticamente de 1. Solamente en el 1,2% de los 818 días se observa una diferencia bárica superior a 2 hPa entre ambos observatorios, y el 81,4% de los días muestra una diferencia inferior a 1 hPa.

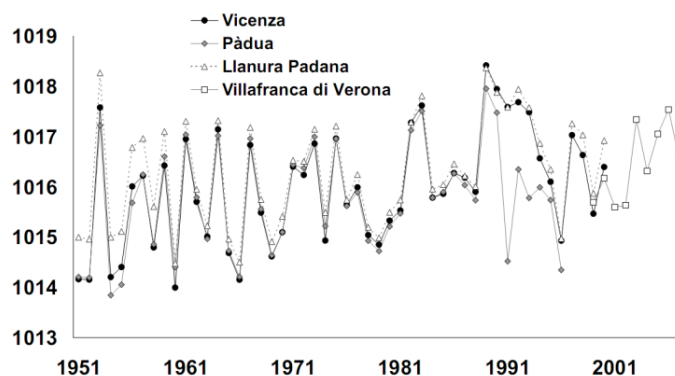


Fig. 4: Evolución de la presión atmosférica media anual (en hPa) reducida al nivel del mar observada en Vicenza, Padua, Villafranca di Verona y en el conjunto de la Llanura Padana durante el período 1951-2007.

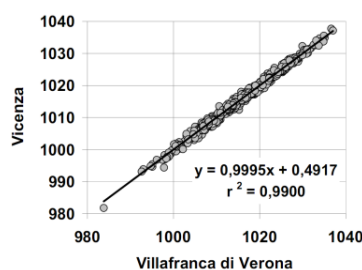


Fig. 5: Regresión lineal entre las series diarias de presión atmosférica (en hPa) de Vicenza y Villafranca di Verona durante el período 01-01-1999 – 01-04-2001 una vez aplicadas las correcciones en los meses más fríos y cálidos del año.

### 3. PROCESO DE ESTANDARIZACIÓN Y HOMOGENEIDAD DE LOS VALORES DEL WEMOI

En el proceso de estandarización de los valores diarios del WeMOi se toma de referencia el treinteno reciente 1981-2010 a razón de cubrir 10, 8 y 12 años de las series de Padua, Vicenza y Villafranca di Verona, respectivamente. Hasta el momento se había usado siempre el treinteno convencional 1961-1990 (Martín-Vide y López-Bustins, 2006), pero ante la automatización de registros y el uso de nuevas series se ha considerado un período de solapamiento anterior y posterior a la década de los 1990. Durante esta década es cuando se han acontecido los cambios más importantes en los registros de las series del índice. Se consideran todos los días del treinteno (desde el 1 de enero de 1981 hasta el 31 de diciembre de 2010) para el cálculo de la media y desviación tipo de referencia. De esta forma, se detectan todos los episodios de levante (fase negativa de la WeMO) por débiles que se presenten. De lo contrario, éstos pasarían desapercibidos ante las medias del índice profundamente negativas en otoño, y episodios leves quedarían erróneamente realzados en los meses invernales cuando el WeMOi sustenta medias más elevadas. Los detalles sobre el proceso de tipificación diaria del índice se pueden hallar en el capítulo 1 de la tesis de López-Bustins (2007).

La reconstrucción a escala diaria garantiza unos valores fiables para la escala mensual y anual, que son las más usadas y pedidas para estudios climáticos y ambientales. La estandarización



mensual se lleva a cabo calculando previamente las medias mensuales de cada serie del dipolo a partir de los datos diarios. Si un determinado mes de alguna de las series de referencia contiene más de diez lagunas diarias es contabilizado sin dato mensual para el índice. Se calculan las anomalías normalizadas mensuales para ambas series, considerando también el treinteno 1981-2010, y se hallan las diferencias entre ellas (San Fernando menos Padua). Los valores estacionales y anuales del índice se obtienen promediando los valores mensuales de éste.

Se evaluó la homogeneidad de los valores del WeMOi por meses mediante el test de *von Neumann*. Previamente, se aplicó el ajuste estadístico *Kolmogorov-Smirnoff* para confirmar previamente la distribución normal de los valores mensuales de ambas series y del mismo índice para todo el período 1821-2013. Se dedujo que los valores del índice de los meses fríos son homogéneos, pero, en cambio, aquéllos pertenecientes a los meses de finales de primavera y verano contienen inhomogeneidades. También se aplicó el test de *Pettitt* a los valores del WeMOi por meses y volvieron a obtenerse los mismos meses inhomogéneos. Este test nos permitió detectar un “*break point*” en todos estos meses inhomogéneos alrededor de los años de enlace (1860-1880) entre la serie de Cádiz y San Fernando (Fig. 6). En consecuencia, se aplicó el test de *von Neumann* a los valores medios mensuales de las series de San Fernando y Padua, y se confirmó la hipótesis de que el período de observación de los hermanos Urrutia (Cádiz) en la serie de San Fernando continúa siendo inhomogéneo, a pesar de los intentos realizados para corregirlo. Mientras los valores mensuales de presión atmosférica de Padua resultaron homogéneos a lo largo de todo el año, en San Fernando se detectaron inhomogeneidades en algunos meses primaverales y estivales. Además, como se hace referencia en el apartado 2.1., los meses que mostraban una mayor discrepancia en la serie de Cádiz respecto a los valores de San Fernando eran precisamente los meses estivales. Las futuras mejoras de los valores del WeMOi en próximas actualizaciones deben ir en esta dirección. Mientras, se opta por categorizar los datos diarios, mensuales y anuales del WeMOi en tres categorías con el objetivo de informar a los usuarios del índice: 1) fiable, 2) moderadamente fiable y 3) sin dato disponible. Los datos moderadamente fiables son principalmente los valores del WeMOi calculados a partir de las observaciones de Cádiz y los rellenos realizados con datos puntuales de Rota, en el caso de San Fernando, y de Venecia, en el caso de Padua. Los valores mensuales del WeMOi obtenidos con 4-10 huecos diarios a lo largo del mes en alguna de las dos series de referencia también han sido considerados moderadamente fiables. De los 70.492 días comprendidos entre el 1 de enero de 1821 y el 31 de diciembre de 2013, el WeMOi dispone de datos fiables y moderadamente fiables en el 65,3 y 33,3% de ellos, respectivamente. No hay ningún tipo de dato disponible solamente en el 1,4% de los días. Para los 2.316 valores mensuales del WeMOi, estos porcentajes son prácticamente idénticos (65,2, 33,6 y 1,2%) y, para los 193 anuales, el porcentaje de datos fiables es algo más bajo: 62,2, 34,2 y 3,6%.

#### 4. EVOLUCIÓN TEMPORAL RECIENTE DEL WEMOI EN INVIERNO

Se representa, a modo ilustrativo de la reconstrucción del WeMOi llevada a cabo a lo largo de 193 años, la evolución temporal de los valores del índice para invierno (diciembre, enero y febrero). En esta estación del año no se detectan inhomogeneidades a lo largo de todo el período de estudio y el WeMOi tiene una fuerte influencia sobre la variabilidad pluviométrica en las franjas mediterránea y cantábrica de la península ibérica. En la Fig. 7 se muestra la evolución temporal de dichos valores junto con las anomalías tipificadas de precipitación invernal en Valencia (1837-2010) y Bilbao (1910-2010), extraídas del trabajo de Oliva *et al.* (2006) y actualizadas con datos del proyecto ECA&Dataset. Estas series son representativas de las citadas franjas peninsulares y se correlacionan al 99% del nivel de confianza con el WeMOi: Valencia ( $r = -0,44$ ) y Bilbao ( $r = 0,57$ ). Incluso, ambas series están correlacionadas negativa y estadísticamente entre ellas al 99% del nivel de confianza ( $r = -0,34$ ). Cabe destacar la fase extremadamente negativa de la WeMO

acontecida a mediados del siglo XIX y que se correspondió con precipitaciones muy abundantes en Valencia. Oliva *et al.* (2006) relacionaron esta oscilación extrema del índice, asociada a un clima extremo en Valencia, con las últimas pulsaciones de la Pequeña Edad de Hielo. Durante la mayor parte del siglo XX los valores del WeMOi fueron positivos, correspondiéndose con anomalías positivas de precipitación en Bilbao y modestas en Valencia. Los valores positivos del WeMOi se mantuvieron estables a lo largo del pasado siglo hasta que en la década de 1990 tuvo lugar una fase extrema negativa del WeMOi. Ésta fue correspondida con ciclos anómalos de precipitación en ambas series pluviométricas, destacándose la grave sequía acontecida en el País Vasco entre 1994 y 1995 (Olcina Cantos, 2001). Desde entonces, los valores del WeMOi invernales se mantienen en valores más bien negativos cerrando el ciclo o fase positiva observada a lo largo del siglo XX.

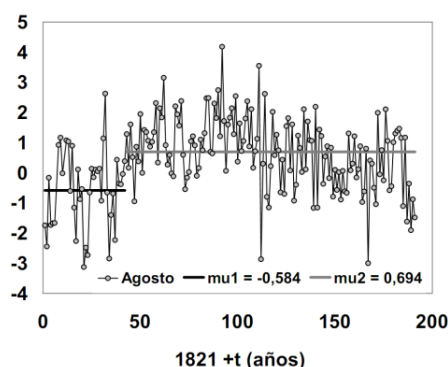


Fig. 6: Valores del test de homogeneidad de *Pettitt* obtenidos de los valores mensuales del WeMOi en agosto de todo el período.

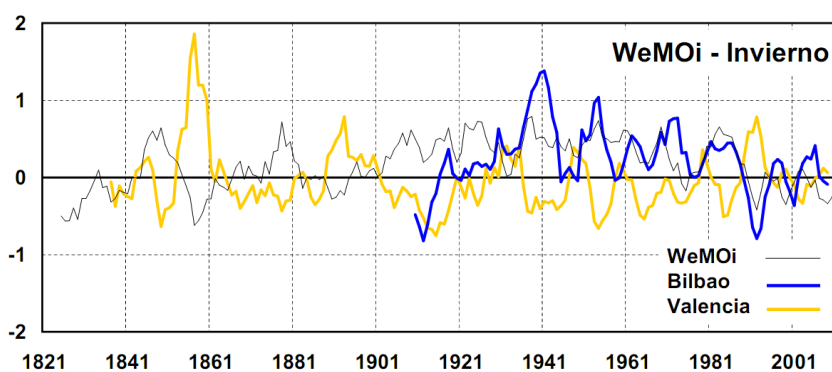


Fig. 7: Medias móviles de 5 años de los valores invernales (diciembre, enero y febrero) del WeMOi y las series estandarizadas de precipitación invernal de Bilbao y Valencia a lo largo del período 1821/1822-2012/2013.

## 5. APUNTES FINALES

- Se constatan dos series de referencia con datos accesibles para actualizar periódicamente el WeMOi: San Fernando (suroeste de España) y Villafranca di Verona (norte de Italia).
- Para mejorar la calidad del índice no solamente se debe continuar trabajando en la línea de actualización, sino, también en la revisión de todo el período para corregir las inhomogeneidades y rellenar las lagunas aún existentes.

- El principal período a revisar en el futuro son las observaciones de los hermanos Urrutia en Cádiz entre 1821 y 1869. La incógnita aún por resolver sobre la ubicación exacta de sus observaciones y del instrumental utilizado dificulta su homogenización.
- El cambio de emplazamiento de los registros barométricos en el nodo de la Llanura Padana no ha implicado inhomogeneidad alguna a pesar de la distancia considerable entre la nueva serie (Villafranca di Verona) y la original (Padua).
- El WeMOi invernal muestra una buena correspondencia con las variaciones de precipitación en las regiones de influencia de la fachada norte y este peninsular. La variabilidad del índice explica la correlación estadísticamente significativa entre dos series pluviométricas distantes dentro de la península ibérica.
- Se ponen a disponibilidad de los usuarios del WeMOi los valores mensuales de éste, detallándose las distintas categorías de fiabilidad, en la web del *Grup de Climatologia* de la Universitat de Barcelona: <http://www.ub.edu/gc/English/wemo.htm>

## 6. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha estado financiado por el proyecto PRECABAL (CGL2011-29263-C02-01, 2012-2014) del Ministerio de Economía y Competitividad, y por el *Grup de Climatologia* de la Universitat de Barcelona (UB) (2014 SGR 300, Generalitat de Catalunya). Se agradece la colaboración de los señores Francesco Rech (*Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto*) y Gabriele Scalvini (*Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti*) por los datos de presión diaria de Venecia del *Osservatorio Meteorologico Padri Cavanis (Istituto Cavanis)*, del señor Michele Brunetti por la información facilitada sobre bases de datos de presión atmosférica de la Llanura Padana, del señor Javier Gallego del Observatorio de Marina (ROA) por el suministro de datos de presión diaria de algunos años de San Fernando y del señor Antonio Gázquez (*Servei Meteorològic de Catalunya*) por la ayuda prestada en la localización de algunos Anales del ROA en Cataluña. Algunos autores son miembros del *Institut de l'Aigua* de la UB.

## 7. REFERENCIAS

- Aizpurua, O.; Garin, I.; Alberdi, A.; Salsamendi, E.; Baagøe, H. y Aihartza, J. (2013). Fishing long-fingered bats (*Myotis capaccinii*) prey regularly upon exotic fish. *Plos One*, 8, pp. 1-7.
- Barriendos, M.; Martín-Vide, J.; Peña, J.C. y Rodríguez, R. (2002). Daily meteorological observations in Cádiz-San Fernando. Analysis of the documentary sources and the instrumental data content (1786-1996). *Climatic Change*, 53, pp. 151-170.
- Camuffo, D. y Jones, P.D. (2002). *Improved Understanding of Past Climatic Variability from Early Daily European Instrumental Sources*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Coll, M.; Carreras, M.; Ciércoles, M.; Cornax, M.J.; Gorelli, G.; Morote, E. y Sáez, R. (2014). Assessing fishing and marine biodiversity changes using fishers' perceptions: The Spanish Mediterranean and Gulf of Cadiz case study. *Plos One*, 9, pp. 1-15.
- Esteban-Parra, M.J.; Rodrigo, F.S. y Castro-Díez, Y. (1998). Spatial and temporal patterns of precipitation in Spain for the period 1880-1992. *International Journal of Climatology*, 18, pp. 1557-1574.

Klein Tank, A.M.G. y Coautores 2002. Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment. *International Journal of Climatology*, 22, pp. 1441-1453.

López-Bustins, J.A. (2007). *The Western Mediterranean Oscillation and Rainfall in the Catalan Countries*. Tesis Doctoral, Universitat de Barcelona.

López-Bustins, J.A.; Martín-Vide, J. y Sánchez-Lorenzo, A. (2008). Iberia winter rainfall trends based upon changes in teleconnection and circulation patterns. *Global and Planetary Change*, 63, pp. 171-176.

Martín, P.; Sabatés, A.; Lloret, J. y Martín-Vide, J. (2012). Climate modulation of fish populations: the role of the Western Mediterranean Oscillation (WeMO) in sardine (*Sardina pilchardus*) and anchovy (*Engraulis encrasicolus*) production in the north-western Mediterranean. *Climatic Change*, 110, pp. 925-939.

Martín-Vide, J. (2002). Ensayo sobre la Oscilación del Mediterráneo Occidental y su influencia en la pluviometría del este de España. En: Guijarro Pastor, J.A.; Grimalt Gelabert, M.; Laita Ruiz de Asúa, M. y Alonso Oroza, S. (Eds.). *L'Aigua i el Clima*, Palma de Mallorca, pp. 35-42.

Martín-Vide, J. y López-Bustins, J.A. (2006). The Western Mediterranean Oscillation and rainfall in the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology*, 26, pp. 1455-1475.

Maugeri, M.; Brunetti, M.; Monti, F. y Nanni T. (2003). The Italian Air Force sea-level pressure data set (1951-2000). *Il Nuovo Cimento*, 26C, pp. 453-467.

Maugeri, M.; Brunetti, M.; Monti, F. y Nanni T. (2004). Sea-Level pressure variability in the Po plain (1765-2000) from homogenized daily secular records. *International Journal of Climatology*, 24, pp. 437-455.

Muñoz-Díaz, D. y Rodrigo, F. (2004). Impacts of the North Atlantic Oscillation on the probability of dry and wet winters in Spain. *Climate Research*, 27, pp. 33-43.

Olcina Cantos J. 2001. Causas de las sequías en España. Aspectos climáticos y geográficos de un fenómeno natural. En: Gil Olcina, A. y Morales Gil, A. (Eds.). *Causas y consecuencias de las sequías en España*, Alicante, pp. 49-110.

Oliva, M.; López-Bustins, J.A.; Barriendos, M.; Muedra, C. y Martín-Vide, J. (2006). Reconstrucción histórica de la Oscilación del Mediterráneo Occidental (WeMO) e inundaciones en el levante peninsular (1500-2000). En: Cuadrat Prats, J.M.; Saz Sánchez, M.A.; Vicente-Serrano, S.M.; Lanjeri, S.; de Luis Arrillaga, M.; González-Hidalgo, J.C. (Eds.). *Clima, Sociedad y Medio Ambiente*, Zaragoza, pp. 241-250.

Real Instituto y Observatorio de la Armada (ROA) en San Fernando (1990, 1991 y 2012). *Anales 1989, 1990 y 2011. Observaciones Meteorológicas, Sísmicas y Magnéticas*. Ministerio de Defensa, Madrid.

Rodó, X.; Baert, E. y Comin, F.A. (1997). Variations in seasonal rainfall in Southern Europe during the present century: relationships with the North Atlantic Oscillation and the El Niño-Southern Oscillation. *Climate Dynamics*, 13, pp. 275-284.