

TENDENCIAS DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO EN CANARIAS, 1948-2014

César AZORÍN-MOLINA¹, Melisa MENENDEZ², Tim R. McVICAR^{3,4}, Adrian ACEVEDO², Sergio M. VICENTE-SERRANO⁵, Emilio CUEVAS⁶, Lorenzo MINOLA¹, Ganfeng ZHANG¹, Aifang CHEN¹, Deliang CHEN¹

1. *Department of Earth Sciences, University of Gothenburg, Gothenburg (Suecia)*

2. *Instituto de Hidráulica Ambiental, "IH Cantabria", Universidad de Cantabria, (España)*

3. *CSIRO Land and Water, Canberra, ACT (Australia)*

4. *Australian Research Council Centre of Excellence for Climate System Science, University of New South Wales, Sydney, (Australia)*

5. *Instituto Pirenaico de Ecología, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (IPE-CSIC) (España)*

6. *Centro de Investigación Atmosférica de Izaña, Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), Santa Cruz de Tenerife (España)*

cesar.azorin-molina@gu.se

RESUMEN

Este estudio examina las tendencias de la velocidad del viento en la interfase tierra-océano, y por debajo y encima de la capa de inversión térmica de los vientos alisios en Canarias. El trabajo se basa en dos fuentes de datos: (1) observaciones de la velocidad del viento en 9 estaciones terrestres (1981-2014), incluyendo una estación meteorológica de montaña (Izaña) ubicada por encima de la capa de inversión del alisio; y (2) simulaciones de velocidad del viento sobre el océano a partir de dos productos: SeaWind I a 30 km de resolución horizontal para 1948-2014, y SeaWind II a 15 km para 1989-2014. Los resultados revelan una tendencia de descenso estadísticamente significativa de los vientos alisios sobre el océano durante 1948-2014, mientras que no se detectan tendencias significativas para el periodo 1989-2014. A lo largo de este periodo más reciente, la velocidad del viento mostró la misma variabilidad climática en la interfase tierra-océano, y un patrón estacional distinto con reforzamiento del viento hacia el final de la primavera y el verano, y un debilitamiento de los vientos alisios en invierno-primavera-otoño. En Izaña, por encima de la capa de inversión del alisio, se detectan tendencias de ascenso estadísticamente significativas, reflejando un desacople en la variabilidad climática de la velocidad del viento comparado con las observaciones en superficie.

Palabras clave: velocidad del viento, tendencias, tierra-océano, capa de inversión, Islas Canarias.

ABSTRACT

This study examines wind speed trends at the land–ocean interface, and below–above the trade wind inversion layer in the Canary Islands. Two homogenized data sources

are used: (1) observed wind speed from nine land-based stations (1981–2014), including one mountain weather station (Izaña) located above the trade-wind inversion layer; and (2) simulated wind speed from two atmospheric hindcasts over ocean (i.e., SeaWind I at 30 km for 1948–2014; and SeaWind II at 15 km for 1989–2014). The results revealed a widespread significant negative trend of trade-winds over ocean for 1948–2014, whereas no significant trends were detected for 1989–2014. For this recent period wind speed over land and ocean displayed the same variability and a distinct seasonal trend pattern with a strengthening (late spring and summer) and weakening (winter–spring–autumn) of trade-winds. Above the inversion layer at Izaña, we found significant positive trends, indicating a decoupled variability and opposite wind speed trends.

Keywords: wind speed, trends, land-ocean interface, inversion layer, Canary Islands.

1. INTRODUCCIÓN

La velocidad del viento cerca de la superficie terrestre (~ 10 metros) ha mostrado un descenso promedio a escala global de -0.140 metros por segundo por década ($\text{m s}^{-1} \text{dec}^{-1}$) en los últimos 50 años (McVicar *et al.*, 2012). Este fenómeno, conocido con el término anglosajón de "stilling" (Roderick *et al.*, 2007) se ha atribuido a varias causas, principalmente a cambios en los patrones de circulación atmosférica y en los usos del suelo (rugosidad del terreno); vid. Azorin-Molina *et al.* (2014, 2016). Sin embargo, la identificación de la(s) causa(s) exacta(s) aún no está resuelta por la comunidad científica. Este debilitamiento del viento no ocurre de forma global (McVicar *et al.*, 2012), ya que se han observado tendencias positivas en zonas costeras o en latitudes altas ($> 70^\circ$; Minola *et al.*, 2016), o incluso una recuperación de la velocidad del viento en la última década (Dunn *et al.*, 2016). Al contrario de este debilitamiento del viento en tierra, Wentz *et al.* (2007) observaron un aumento de las tendencias de la velocidad del viento sobre el océano de $+0.080 \text{ m s}^{-1} \text{dec}^{-1}$ (1987-2006) utilizando datos de satélite, y Tokinaga y Xie (2011) encontraron un aumento en la velocidad del viento de la misma magnitud, es decir, $+0.084 \text{ m s}^{-1} \text{dec}^{-1}$ (1988-2008) ajustando las observaciones de viento medidas en barco, y de $+0.134 \text{ m s}^{-1} \text{dec}^{-1}$ (1988-2008) utilizando medidas de satélite. Young *et al.* (2011) también analizaron las tendencias de la velocidad del viento sobre el océano a partir de observaciones de altímetros satelitales, observando incluso tendencias positivas de mayor magnitud ($+0,192 \text{ m s}^{-1} \text{dec}^{-1}$; 1991-2008).

Debido a estas discrepancias en las tendencias observadas de la velocidad del viento entre tierra (negativas) y océano (positivas), así como las incertidumbres en las tendencias por debajo y encima de la capa de inversión térmica del alisio, el objetivo de este estudio es analizar de forma simultánea y por primera vez la variabilidad de la velocidad del viento en la interfase tierra-océano y por debajo y encima de la inversión del alisio. El archipiélago canario, con elevaciones que superan los 3,700 m.s.n.m., brinda la oportunidad de evaluar simultáneamente las tendencias de la velocidad del viento en ambos entornos.

2. DATOS

2.1. Datos observados de velocidad del viento y homogeneización

Los datos observados de velocidad del viento se registraron en estaciones meteorológicas de primer orden y fueron suministrados por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). La red de estaciones terrestres abarca dos capas troposféricas clave: (i) 8 estaciones de baja altitud situadas cerca de la costa y por debajo de la capa de inversión, donde dominan los vientos alisios; y (ii) 1 estación meteorológica de montaña situada por encima de la capa límite en el Observatorio Atmosférico de Izaña a 2,373 m.s.n.m., donde prevalecen los vientos de la troposfera libre (flujos casi permanentes del noroeste) (Cuevas *et al.*, 2013). La velocidad del viento se midió utilizando dos tipos de anemómetros (anemógrafo universal 82a y el anemómetro SEAC SV5; Azorin-Molina *et al.*, 2014), y fueron registrados en teoría a una altura de 10 metros sobre el suelo como recomienda la Organización Meteorológica Mundial. Los datos brutos de velocidad media mensual del viento (en m s^{-1}) se obtuvieron a partir de los datos medios diarios de velocidad del viento promediados a partir de observaciones diez minutales realizadas a las 0000, 0700, 1300 y 1800 UTC. Los promedios mensuales se calcularon para los días con tres o más observaciones al día y para aquellos meses que tenían al menos 26 días observados; de lo contrario, el día o mes fue descartado (Azorin-Molina *et al.*, 2014).

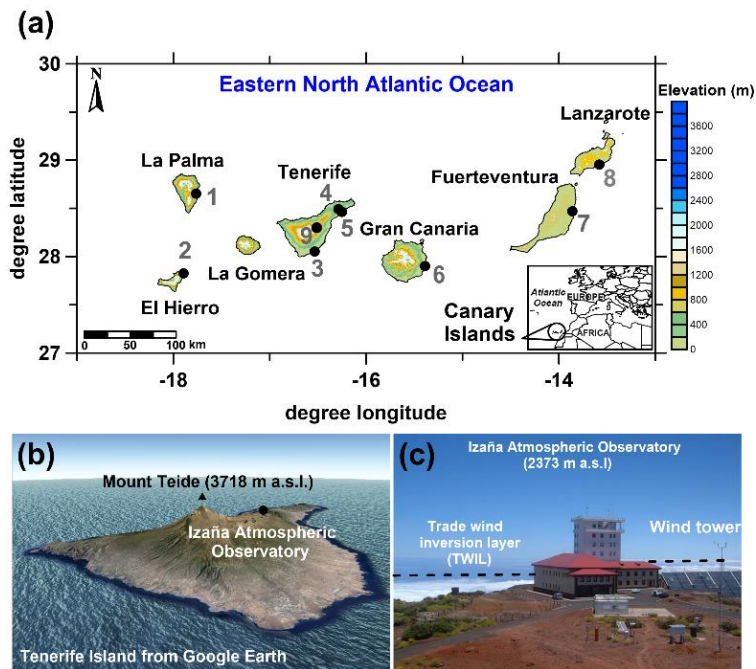


Fig. 1: (a) Mapa del archipiélago canario y la red de observatorios meteorológicos utilizados (puntos) en este estudio; (b) (c) localización del Observatorio Atmosférico de Izaña por encima de la capa de inversión del alisio, vientos que dominan la circulación atmosférica por debajo de $\sim 1,500$ m.s.n.m. (Carrillo *et al.*, 2016)

Estos datos en bruto fueron sometidos a un protocolo de control de calidad y homogeneización para eliminar inhomogeneidades (Pryor *et al.*, 2009). Para ello aplicamos un método de homogeneización relativa en HOMER (HOMogenization software in R), basado en la comparación de cada serie candidata con las otras series disponibles, sin necesidad de disponer series de referencia o metadatos (Mestre *et al.*, 2013). En el caso de la serie de Izaña, con dinámica atmosférica diferente a superficie, utilizamos el reanálisis NCEP/NCAR a 700 hPa (Kalnay *et al.*, 1996) como serie de referencia. Posteriormente para esta estación aplicamos el *Standard Normal Homogeneity Test* (SNHT; Alexandersson, 1986) mediante el software AnClim (Stepanek, 2004). Tras la homogeneización, también se aplicó un relleno de lagunas. En la Figura 1 se representa la distribución espacial de las 9 estaciones meteorológicas con datos homogeneizados de velocidad del viento para el periodo 1981-2014; los datos anteriores a 1981 fueron descartados por las numerosas lagunas existentes.

2.2. Datos simulados de velocidad del viento: SeaWind

Los datos de velocidad del viento sobre el océano Atlántico alrededor del archipiélago canario se obtuvieron a partir de dos simulaciones mediante el modelo *Weather Research and Forecasting* (WRF) junto al *Advanced WRF* (Skamarock *et al.*, 2008): (i) SeaWind I, un producto con una resolución horizontal de 30 km iniciado y con condiciones de contorno proporcionadas por el reanálisis NCEP / NCAR (1948-2014), cuya escala temporal mejora los estudio previos (Wentz *et al.*, 2007; Tokinaga y Xie 2011; Young *et al.*, 2011); y (ii) SeaWind II, un producto *hindcast* de resolución horizontal de 15 km obtenido a partir del reanálisis ERA-Interim (1989-2014). Una descripción detallada de la configuración y parametrizaciones de ambos productos, así como su validación, puede encontrarse en Menendez *et al.* (2014) y Azorin-Molina *et al.* (2018). Para este estudio utilizamos el dato de velocidad media mensual del viento, calculado como promedio de las salidas horarias. Por último, cabe destacar que las observaciones de velocidad del viento en tierra no fueron asimiladas en ambas simulaciones y, por tanto, observaciones y simulaciones son independientes.

3. ANÁLISIS DE TENDENCIAS Y PERIODOS DE ESTUDIO

En primer lugar, calculamos las series de anomalías de las observaciones y simulaciones (como desviaciones respecto a la media del periodo 1981-2010; excepto para el periodo común 1989-2014) de velocidad del viento a nivel de estación (o punto de malla). También calculamos las series regionales como promedio de las anomalías de velocidad del viento para las 8 estaciones meteorológicas (Izaña se analizó por separado), y todos los puntos de malla de las simulaciones. Seguidamente aplicamos un análisis de regresión lineal entre la serie temporal (variable independiente) y la serie de anomalías de velocidad del viento (variable dependiente) a fin de calcular el signo y magnitud de la tendencia de la velocidad del viento. La pendiente del modelo de regresión representa la magnitud de la tendencia de la velocidad del viento; en $\text{m s}^{-1} \text{dec}^{-1}$; la variabilidad multidecadal fue representada por un filtro gaussiano de paso bajo de 15 años. La significación estadística de las tendencias lineales anuales, estacionales y mensuales se calculó utilizando el coeficiente de correlación no paramétrico de Mann-Kendall tau-b (Kendall y Gibbons, 1990), que mide el grado en

que una tendencia está aumentando o disminuyendo, aplicando previamente la función de autocorrelación (von Storch, 1995) puesto que las autocorrelaciones significativas incrementan la probabilidad de que el tau-b detecte tendencias significativas; sin encontrar una autocorrelación más allá del lag-0 al nivel de significación $p < 0.05$. En este trabajo se presentan las tendencias de la velocidad del viento considerando tres umbrales de significación estadística (McVicar *et al.*, 2010): (i) significativas a $p < 0.05$; (ii) significativas a $p < 0.10$; y (iii) no significativas a $p < 0.10$. Además, los resultados muestran las tendencias de la velocidad del viento para 3 periodos de estudio: 1948-2014 (SeaWind I), 1989-2014 (todas las observaciones y simulaciones), y 1981-2014 (observaciones), a escala anual, estacional y mensual.

4. RESULTADOS

4.1. Tendencias y variabilidad multidecadal de la velocidad del viento

La tabla 1 resume las tendencias anuales y estacionales de la velocidad del viento para el periodo 1948-2014 (SeaWind I), 1981-2014 (observaciones e Izaña), y el periodo común 1989-2014 para todos los productos analizados. Anualmente, y también para cada una de las estaciones (excepto invierno), la velocidad del viento descendió significativamente sobre el océano durante 1948-2014. Este descenso no se detectó en tierra para el periodo 1981-2014, observándose un leve aumento de la velocidad del viento a escala anual, en primavera y verano, y descensos en invierno y otoño. A escala mensual (no se muestra en la Tabla 1), el viento en la capa de inversión se reforzó con ascensos estadísticamente significativos en mayo y junio (también en noviembre), y en cambio descensos en octubre. Por encima de la inversión del alisio, las tendencias observadas en Izaña para este mismo periodo 1981-2014 muestran un signo complementemente opuesto al observado en superficie, con ascensos estadísticamente significativos en invierno y otoño, tendencias contrarias que se manifiestan en particular a escala mensual; los descensos más significativos ocurren en mayo, mientras que las tendencias positivas dominan en septiembre-octubre.

Periodo	SW I 1948- 2014	Obs. 1981- 2014	Izaña 1981- 2014	SW I 1989- 2014	SW II 1989- 2014	Obs. 1989- 2014	Izaña 1989- 2014
Anual	(-0.064)	0.023	(0.316)	-0.077	-0.008	0.032	(0.587)
Inv.	-0.016	-0.020	0.366	-0.086	-0.047	0.019	(0.784)
Pri.	(-0.058)	0.042	0.215	-0.153	-0.050	0.007	(0.408)
Ver.	(-0.100)	0.067	0.188	0.038	0.133	0.096	(0.430)
Oto.	(-0.082)	-0.014	(0.505)	(-0.144)	-0.114	-0.016	(0.782)

Tabla 1: Tendencias anuales y estacionales de la velocidad el viento para SeaWind I (SW I), SeaWind II (SW II), observaciones e Izaña durante diferentes periodos, y el periodo común 1989-2014. Los valores se expresan en $m s^{-1} dec^{-1}$, y se resaltan las tendencias estadísticamente significativas al nivel $p < 0.10$ (negrita) y $p < 0.05$ (negrita y paréntesis)

En el caso del periodo más reciente (1989-2014) y común para todos los productos, lo más destacado corresponde al acoplamiento de tendencias en la interfase océano-

tierra, con tendencias similares (coeficiente de Pearson $r > 0.9$ y $p < 0.05$) entre los productos SeaWind I, SeaWind II y las observaciones. En cambio, tendencias opuestas ($p < 0.05$) ocurren en Izaña, con $r -0.66$ frente SeaWind I / SeaWind II y $r -0.57$ respecto a las observaciones en tierra.

El acoplamiento entre SeaWind I y SeaWind II y las observaciones en la capa de inversión del alisio se muestra en la Figura 2, donde se observa una idéntica variabilidad decadal ($r 0.7-0.9$ $p < 0.05$) entre estos tres productos en la interfase tierra-oceano. En cambio, estos coeficientes de correlación son débiles y negativos con Izaña, en particular en marzo-abril ($r -0.4$) y septiembre ($r -0.6$). El filtro gaussiano también muestra este desacoplamiento en la variabilidad decadal entre los productos ubicados en la capa límite y el observatorio de Izaña.

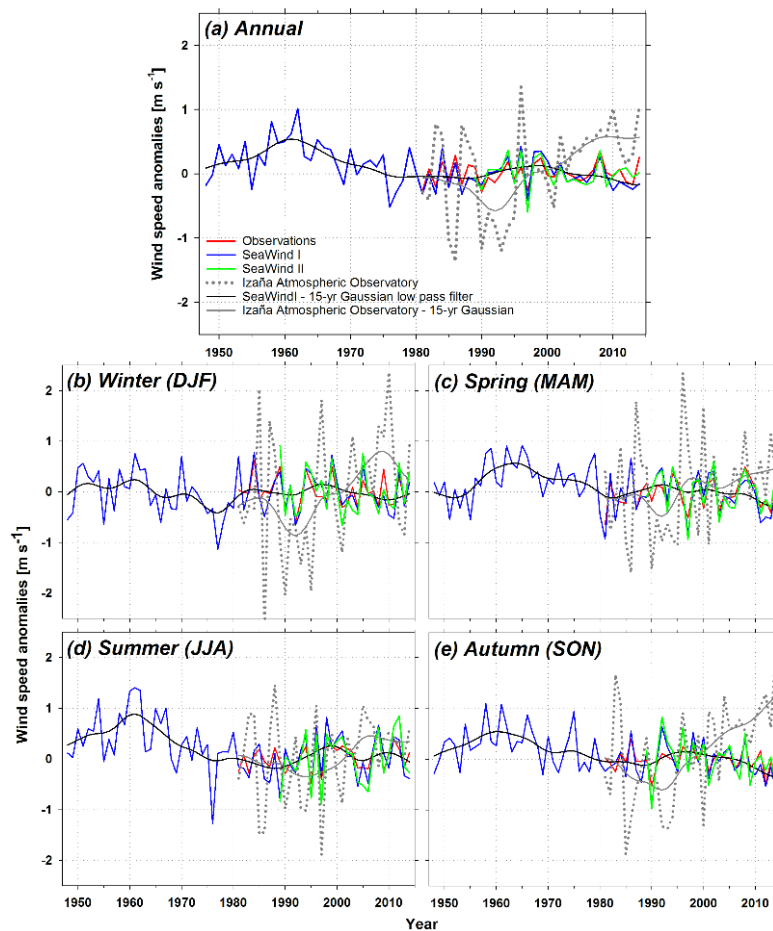


Fig. 2: Anomalías anuales y estacionales de la velocidad del viento ($m s^{-1}$) de las series observadas, Izaña y simulaciones SeaWind I y SeaWind II a lo largo del periodo 1948-2014. El filtro gaussiano de paso bajo (15-años) se dibuja en trazo continuo para SeaWind I (en negro) e Izaña (gris)

4.2. Distribución espacial de las tendencias de la velocidad del viento

Las Figuras 3 (anual y estacional) y 4 (mensual) muestran la distribución espacial del signo, magnitud y significación estadística de las tendencias de la velocidad del viento sobre el océano del producto SeaWind I durante 1948-2014. El resultado principal es el dominio de las tendencias negativas, de un modo particular a escala anual, primavera, verano y otoño (de abril a octubre). La única excepción es el invierno (entre noviembre-marzo), cuando las tendencias de descenso no son estadísticamente significativas o incluso se vuelven positivas (febrero-marzo).

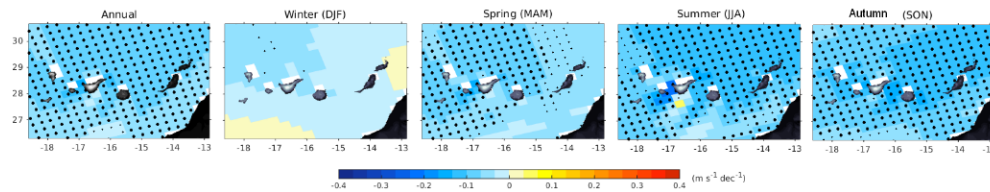


Fig. 3: Distribución espacial del signo, magnitud y significación estadística de las tendencias estacionales de la velocidad del viento para SeaWind I (1948-2014). El tamaño de los puntos muestra la significación estadística a $p < 0.05$ (grandes) y $p < 0.10$ (pequeños)

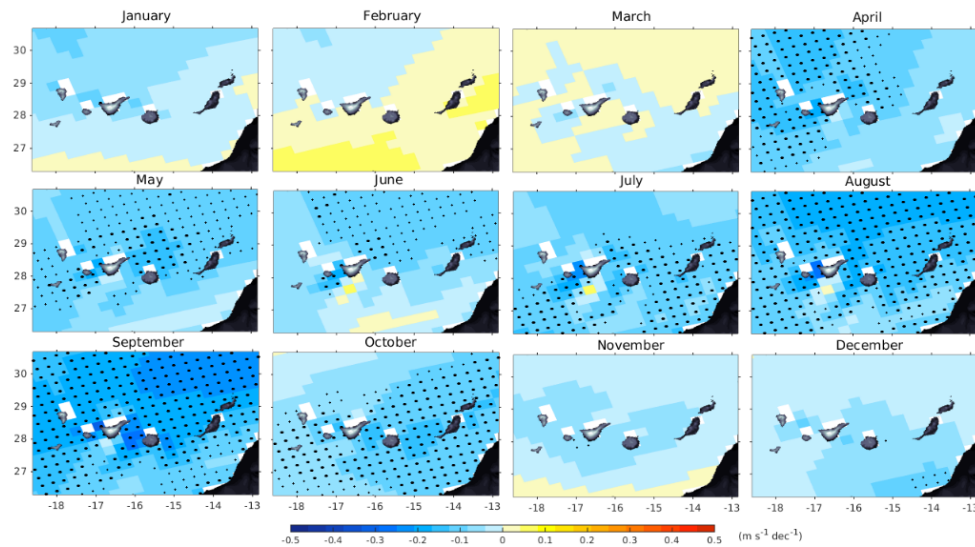


Fig. 4: Idem Fig. 3, excepto a escala mensual.

Este análisis en la distribución espacial de las tendencias es más interesante cuando se muestran en las Figuras 5 (anual y estacional) y 6 (mensual) todos los productos para el periodo común 1989-2014. Anualmente, se observa un dominio de tendencias negativas en SeaWind I y SeaWind II, que ocurre principalmente a sotavento (suroeste) del alisio dominante del noreste. Esto ocurre en las islas de mayor topografía compleja, como Tenerife, Gran Canaria y La Palma. En las estaciones de tierra este dominio de tendencias negativas no es tan mayoritario, y destaca de nuevo las diferencias observadas en la isla de Tenerife, donde las tres estaciones ubicadas

dentro de la capa límite muestran descensos en la velocidad del viento, mientras en la estación de Izaña hay una tendencia opuesta de signo positivo. A escala estacional, destaca el dominio de tendencias negativas en invierno, primavera y otoño y, principalmente, el reciente ascenso de la velocidad del viento en verano y en el norte de la isla así como entre las islas (efecto venturi p.ej. entre Tenerife y Gran Canaria). El efecto de la topografía en las tendencias de la velocidad del viento también es notorio, destacando en verano la aparición de tendencias negativas a sotavento de las islas principales. Este reforzamiento del alisio en verano también se observa en las estaciones de tierra.

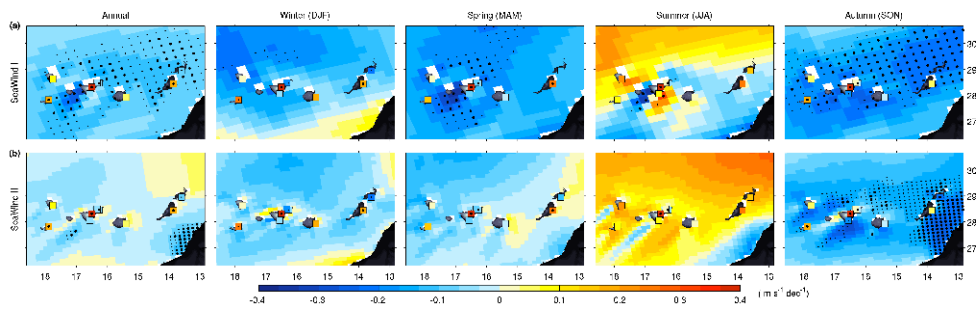


Fig. 5: *Idem Fig. 3, a SeaWind I, SeaWind II y observaciones (1989-2014)*

Por último, la distribución espacial de las tendencias a escala mensual identifica cuatro fases: (i) descensos entre enero y abril; (ii) ascensos entre mayo y agosto; (iii) descensos entre septiembre y octubre; y (iv) dominio de ascensos en noviembre y diciembre. Estas fases también se reflejan en las observaciones en tierra, con excepción del dominio de tendencias positivas en la estación de Izaña.

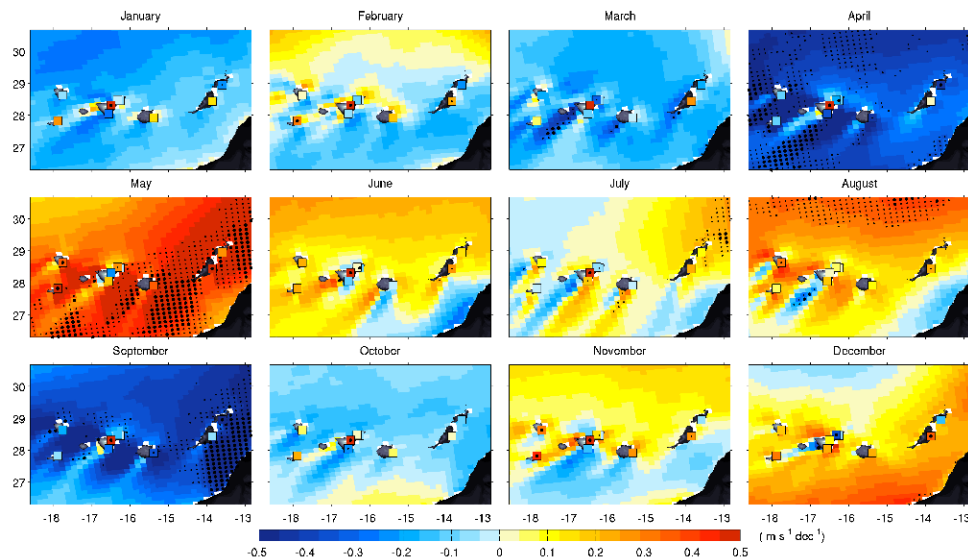


Fig. 6: *Idem Fig. 3, a escala mensual para SeaWind II y observaciones (1989-2014)*

5. CONCLUSIÓN

En este trabajo detectamos un descenso significativo de la velocidad del viento sobre el océano Atlántico durante el periodo 1948-2014 utilizando las simulaciones de SeaWind I. Para el periodo común 1989-2014, tanto las observaciones sobre tierra como ambas simulaciones SeaWind I y SeaWind II sobre océano no mostraron tendencias significativas a escala anual; sin embargo, se detectó un patrón estacional bien marcado, con ascenso de la velocidad del viento a finales de primavera y verano, y descenso de los vientos alisios en invierno-primavera-otoño. En el caso de Izaña, ubicado por encima de la inversión del alisio, los vientos de la troposfera libre tendieron a aumentar significativamente en casi todas las escalas temporales. En consecuencia, se detectó un desacoplamiento y tendencias opuestas y estadísticamente significativas de los vientos entre la capa límite y por encima de la inversión del alisio. Azorin-Molina *et al.* (2018) atribuyeron estas tendencias a la variabilidad decadal de varios índices de circulación atmosférica.

6. AGRADECIMIENTOS

C. A-M. ha contado con el apoyo del contrato *Marie Skłodowska-Curie Individual Fellowship* (proyecto STILLING - 703733) financiado por la Comisión Europea. Esta investigación ha sido financiada por los proyectos de investigación: BECC, MERGE, VR (2014-5320), VR (2017-03780), PCIN-2015-220, CGL2014-52135-C03-01 y Red de variabilidad y cambio climático RECLIM (CGL2014-517221-REDT). M.M obtuvo financiación del programa Ramón y Cajal y apoyo del contrato PORTIO (BIA2015-70644-R). Los autores desean agradecer a la AEMET por los datos observados, en particular a Juan-José de Bustos (Observatorio Atmosférico de Izaña).

7. REFERENCIAS

- Alexandersson, H. (1986) "A homogeneity test to precipitation data." *International Journal of Climatology*, **6 (6)**, 661-675.
- Azorin-Molina, C., Vicente-Serrano, S.M., McVicar, T.R., Jerez, S., Sanchez-Lorenzo, A., López-Moreno, J.I., Revuelto, J., Trigo, R. M., Lopez-Bustins, J.A., Espirito-Santo, F.(2014). "Homogenization and assessment of observed near-surface wind speed trends over Spain and Portugal, 1961-2011." *Journal of Climate*, **27 (10)**, 3692-3712.
- Azorin-Molina, C., Guijarro, J.A., McVicar, T.R., Vicente-Serrano, S.M., Chen, D., Jerez, S., Espirito-Santo, F. (2016). "Trends of daily peak wind gusts in Spain and Portugal, 1961–2014." *Journal of Geophysical Research – Atmospheres*, **121(3)**, 1059–1078.
- Azorin-Molina, C., Menendez, M., McVicar, T.R., Acevedo, A., Vicente-Serrano, S.M., Cuevas, E., Minola, L., Chen, D. (2018). "Wind speed variability over the Canary Islands, 1948-2014: focusing on trend differences at the land-ocean interface and below-above the trade-wind inversion layer." *Climate Dynamics*, **50(11-12)**, 4061-4081.

- Carrillo, J., Guerra, J.C., Cuevas, E., Barrancos, J. (2016). "Characterization of the marine boundary layer and the trade-wind inversion over the sub-tropical North Atlantic." *Boundary Layer of Meteorology*, **158(2)**, 311–330.
- Cuevas, E., Gonzalez, Y., Rodriguez, S., Guerra, J.C., Gomez-Pelaez, A.J., Alonso-Perez, S., Bustos, J., Milford, C. (2013). "Assessment of atmospheric processes driving ozone variations in the subtropical North Atlantic free troposphere." *Atmospheric Chemistry and Physics* **13(4)**, 1973–1998.
- Dunn, R.J.H., Azorin-Molina, C., Mears, C.A., Berrisford, P., McVicar, T.R. (2016). "Surface winds." In state of the climate 2015. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **97(8)**, S38-S40.
- Kalnay, E. *et al.* (1996). "The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project." *Bulletin of the American Meteorological Society*, **77(3)**, 437–471.
- Kendall, M.G., Gibbons, J.D. (1990). Rank Correlation Methods. Oxford University Press.
- McVicar, T.R., Van Niel, T.G., Roderick, M.L., Li, L.T., Mo, X.G., Zimmermann, N.E., Schmatz, D.R. (2010) "Observational evidence from two mountainous regions that near surface wind speeds are declining more rapidly at higher elevations than lower elevations: 1960-2006." *Geophysical Research Letters*, **37 (6)**, L06402.
- McVicar, T.R., Roderick, M.L., Donohue, R.J., Li, L.T., Van Niel, T.G., Thomas, A., Grieser, J., Jhajharia, D., Himri, Y., Mahowald, N.M., Mescherskaya, A.V., Kruger, A.C., Rehman, S., Dinpashoh, Y. (2012). "Global review and synthesis of trends in observed terrestrial near surface wind speeds: Implications for evaporation." *Journal of Hydrology*, **416-417**, 182-205.
- Menendez, M., Garcia-Diez, M., Fita, L., Fernandez, J., Mendez, F.J., Gutierrez, J.M. (2014). "High-resolution sea wind hindcasts over the Mediterranean area." *Climate Dynamics* **42(7)**, 1857–1872.
- Mestre, O., Domonkos, P., Picard, F., Auer, I. *et al.* (2013). "HOMER: a homogenization software—methods and applications." *Q J Hung Meteorol Serv* **117(1)**, 47–67
- Minola, L., Azorin-Molina, C., y Chen, D. (2016). "Homogenization and assessment of observed near-surface wind speed trends across Sweden, 1956–2013." *Journal of Climate* **29(20)**, 7397–7415.
- Pryor, S.C., Barthelmie, R.J., Young, D.T., Takle, E.S., Arritt, R.W., Flory, D., Gutowski Jr., W.J., Nunes, A., y Roads, J. (2009). "Wind speed trends over the contiguous United States." *Journal of Geophysical Research – Atmospheres*, **114(D14)**, D14105.
- Roderick, M.L., Rotstayn, L.D., Farquhar, G.D., y Hobbins, M.T. (2007). "On the attribution of changing pan evaporation." *Geophysical Research Letters*, **34 (17)**, L17403.
- Stepanek, P. (2004) "AnClim- software for time series analysis (for windows)." Department of Geography, Faculty of Natural Sciences. Masaryk University: Brno, 1.47 MB.
- Tokinaga, H., y Xie, S.P. (2011). "Wave and anemometer-based sea-surface wind (WASWind) for climate change analysis." *Journal of Climate* **24(1)**, 267–285.

- von Storch, H. (1995). Misuses of statistical analysis in climate research. En: von Storch, H., y Navarra, A. (Eds.). *Analysis of Climate Variability: Applications of Statistical Techniques*, Springer, 11-26.
- Wentz, F.J., Ricciardulli, L., Hilburn, K., y Mears, C. (2007). "How much more rain will global warming bring?." *Science* **317(5835)**, 233–235.
- Young, I.R., Zieger, S., y Babanin, A.V. (2011). "Global trends in wind speed and wave height." *Science* **332(6028)**, 451–455.