

CLIMATOLOGÍA SINÓPTICA DE LA NUBOSIDAD A PARTIR DE DATOS
AVHRR EN LA PENÍNSULA IBÉRICA Y BALEARES DURANTE EL
SEMESTRE CÁLIDO MAYO-OCTUBRE (1997-2011)

César AZORÍN-MOLINA¹, Sergio M. VICENTE-SERRANO¹, Deliang CHEN²,
Bernadette H. CONNELL³, María-Ángeles DOMÍNGUEZ-DURÁN⁴, Jesús
REVUELTO¹, Juan-Ignacio LÓPEZ-MORENO¹

1. *Instituto Pirenaico de Ecología, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (IPE-CSIC), Departamento de Procesos Geoambientales y Cambio Global, Zaragoza*

2. *Regional Climate Group, Department of Earth Sciences, University of Gothenburg*

3. *Cooperative Institute for Research in the Atmosphere, Colorado State University*

4. *National Institute of Aerospace Technology, Canaries Space Centre*

cazorin@ipe.csic.es

RESUMEN

En este estudio se presenta la primera distribución espacial de la nubosidad en función de varios tipos sinópticos para el conjunto de la Península Ibérica y las Islas Baleares durante el período cálido del año (mayo-octubre). Las máscaras de nubes diarias se obtuvieron mediante la aplicación de un algoritmo diurno y multiespectral de detección de nubes sobre tierra para una serie temporal de 15 años (1997-2011) de datos del sensor *Advanced Very High Resolution Radiometer HRPT*. En este trabajo se procesaron un total de 2094 pases de tarde (entre las 1230 y 1720 UTC) correspondientes a los satélites NOAA-14, NOAA-16 y NOAA-18. El objetivo principal es analizar el impacto de la circulación atmosférica sobre la distribución espacial de los patrones de nubosidad utilizando la técnica de compuestos basada en la estratificación de las máscaras de nubes diarias en función de la clasificación sinóptica automática de Jenkinson y Collison. Los mapas de frecuencia de nubes de alta resolución espacial (1.1-km) permitieron identificar 6 regiones de interés (ROIs) caracterizadas por concentrar una elevada actividad nubosa (*hot spots*). La distribución espacial de la nubosidad en función de cada tipo de circulación atmosférica, permitió identificar los patrones sinópticos que desarrollan mayor nubosidad en cada una de las 6 ROIS. Los compuestos de nubosidad que aquí se presentan podrían tener diversas aplicaciones, entre otras, con fines predictivos a corto plazo mediante la identificación de aquellas áreas que concentran una mayor frecuencia de nubes por cada tipo sinóptico.

Palabras clave: NOAA-AVHRR, Climatología de la Nubosidad, Tipos Sinópticos, Península Ibérica e Islas Baleares.

ABSTRACT

In this study we retrieved the first spatial distribution of mid-afternoon clouds under various synoptic regimes across the Iberian Peninsula and the Balearic Islands for the warm/convective-season, from May through October. Accurate daily cloud masks were derived by applying a daytime over land multispectral convective cloud detection algorithm spanning 15-years (1997-2011) of Advanced Very High Resolution

Radiometer (AVHRR) HRPT data. We processed a total of 2094 afternoon overpasses (between 1230 and 1720 UTC) corresponding to the NOAA-14, NOAA-16 and NOAA-18 spacecrafts. The main goal is to analyze the impact of atmospheric circulation on the spatial distribution of cloud patterns by stratifying daily cloud masks as a function of the automated circulation-typing scheme of Jenkinson and Collinson. The AVHRR warm-season cloud climatology with high spatial resolution (1.1-km) identified six representative areas (regions of interest; ROIs) with intensified cloud activity (hot spots). The results also revealed the typical spatial distribution of clouds for each synoptic regime across the whole region. The regional cloud climatology presented here could be useful, for instance, to improve convective short-term forecasting by identifying active cloud areas for each atmospheric type.

Key words: NOAA AVHRR, Warm-Season Cloud Climatologies, Synoptic Regimes, Iberian Peninsula and Balearic Islands.

1. INTRODUCCIÓN

A pesar de los beneficios (p.ej., entrada de agua al sistema; Millan *et al.*, 2005) y riesgos (p.ej., inundaciones y pérdida de vidas humanas; Romero *et al.*, 2001) asociados al desarrollo de nubes y, en particular, de tipo convectivo de media tarde, el impacto de los regímenes sinópticos sobre la distribución espacial de las nubes a partir de datos satelitales no ha sido investigado en la bibliografía científica para el caso de la Península Ibérica (PI) y las Islas Baleares (IB). Estudios previos se han centrado en la identificación de las zonas más frecuentes de desarrollo de nubosidad convectiva, sin precisar bajo qué tipos de circulación atmosférica éstas se desarrollan. Por ejemplo, Ramis y Alonso (1988) presentaron el desarrollo de un frente de brisa marina en la isla de Mallorca. Pascual (1999) utilizó imágenes infrarrojas para el desarrollo de climatologías de la nubosidad convectiva en el nordeste de la PI. Pascual *et al.* (2004) examinaron datos del sensor *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR) a bordo de los satélites NOAA-16 y NOAA-17 para inferir la existencia de líneas de convergencia de la brisa marina en los sectores costeros montañosos del nordeste de la PI. Recientemente, Azorin-Molina *et al.* (2009) utilizaron datos del sensor AVHRR para conocer la distribución espacial de los frentes de brisa marina en el este de la PI y BI, proporcionando también resultados sobre el impacto de la circulación de viento en niveles bajos (850 hPa) en el desarrollo del frente de la brisa marina. Por último, cabe señalar que la mayoría de estudios sobre climatologías sinóptica de la nubosidad han sido llevados a cabo por el *Regional and Mesoscale Meteorology Branch* (RAMMB; http://rammb.cira.colostate.edu/research/satellite_climatologies/), principalmente para los Estados Unidos, América Central y la región del Caribe.

El objetivo principal de este estudio radica en cuantificar por primera vez y de forma objetiva el impacto de la circulación atmosférica a gran escala sobre la distribución espacial de las nubes a partir del sensor AVHRR de alta resolución (1.1-km), y conocer las áreas que desarrollan una mayor frecuencia de nubes en función de cada tipo sinóptico. Este trabajo se organiza en los siguientes apartados: la sección 2 describe los datos AVHRR; la sección 3 muestra brevemente el algoritmo de detección de nubes, y la clasificación sinóptica de Jenkinson y Collinson; la sección 4 presenta los compuestos de frecuencia de nubes en función de los 26 tipos sinópticos; y por último la sección 5 expone unas breves conclusiones.

2. DATOS AVHRR

En este trabajo se han utilizado datos vespertinos del sensor AVHRR (formato L1B ESA SHARP) a bordo de los satélites de órbita polar NOAA-14 (de 1310 a 1720 UTC), NOAA-16 (de 1244 a 1501 UTC) y NOAA-18 (de 1230 a 1437 UTC). Los datos fueron proporcionados por la estación de Maspalomas (Programa CREPAD, Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial, <http://crepadweb.cec.inta.es/es/index.html>) para el semestre mayo-octubre del período de 15-años 1997-2011. La resolución espacial de 1.1 km en el nadir del sensor AVHRR es importante en la detección de nubes convectivas desde los estadios iniciales de las nubes *Cumulus* (Cu) a los de disipación de las nubes *Cumulonimbus* (Cb), y los pases de tarde de los satélites (la hora más frecuente de adquisición de imágenes es entre las 1300 y 1400 UTC) es ideal para capturar el ciclo más activo de desarrollo de nubosidad.

La rutina de postproceso de los datos AVHRR (Baena-Calatrava, 2002) abarca la calibración radiométrica de los 5 canales de este sensor, el cálculo de los ángulos cenitales del satélite y del Sol, así como la correspondiente corrección geométrica (*European-1979-UTM-zone 30°N*), mejorada por una segunda corrección geométrica a partir de 97 puntos de control sobre un área comprendida entre 32°20'N y 46°46'N, y 13°15'W y 6°47'E. En total se procesaron 2094 escenas del sensor AVHRR (75.9% del total para el período 1997-2011; Tabla 1).

Satélite	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Total
NOAA-14	82	85	100	101	87	86	541
NOAA-16	89	94	118	116	90	101	608
NOAA-18	155	144	155	138	176	177	945
Total	326	323	373	355	353	364	2094

Tabla 1: NÚMERO MENSUAL DE IMÁGENES AVHRR DEL NOAA-14, NOAA-16 Y NOAA-18 UTILIZADAS PARA EL PERIODO DE ESTUDIO MAY.-OCT. 1997-2011.

3. MÉTODOS

3.1. Algoritmo de detección de nubes y cálculo de compuestos de nubosidad

El algoritmo consta de cuatro tests espectrales que se aplican de forma secuencial y permiten clasificar cada píxel en cuatro categorías (nuboso, despejado, nieve-hielo y sin nieve-hielo), y se define para la detección de nubes durante el semestre cálido mayo-octubre en la PI y las IB. Una descripción detallada de los tests y funcionamiento del algoritmo puede ser revisada en Azorin-Molina *et al.* (2013).

Los compuestos de nubosidad se basan en la frecuencia de nubes (en %) respecto al número de escenas disponibles [$f_i = (n_i / N) * 100$]; donde n_i es el número de píxeles

nubosos, y N el número total de píxeles y/o imágenes. Los mapas de frecuencia de nubes de alta resolución espacial han permitido identificar zonas de mayor actividad nubosa (ROIs). Sobre estos ROIs se han calculado estadísticos de la frecuencia de nubosidad para una matriz de 50x50 píxeles (Azorin-Molina *et al.*, 2009). Cabe matizar que los compuestos de nubosidad no sólo representan nubes convectivas, sino que también el resto de géneros nubosos y situaciones atmosféricas (p.ej., paso de sistemas frontales) durante el semestre cálido mayo-octubre.

3.2. Clasificación sinóptica objetiva de Jenkinson y Collison

Al objeto de analizar el impacto de la circulación atmosférica sobre la distribución espacial de los patrones de nubosidad, las 2094 máscaras de nubes fueron estratificadas en función de los tipos sinópticos que contempla la clasificación objetiva de Jenkinson y Collison (1977). Esta clasificación ha sido utilizada de forma satisfactoria en otros estudios climáticos en la PI y las IB (Martín-Vide, 2001), y por tanto una descripción detallada de los 16 puntos de grid de presión atmosférica y las 7 ecuaciones (calculan el viento geostrofico y las condiciones de vorticidad para determinar el tipo de tiempo sobre el retículo definido) utilizadas por este método sinóptico objetivo puede encontrarse en Azorin-Molina *et al.* (2011). Como resumen, el catálogo sinóptico original de Jenkinson y Collison identifica 27 tipos agrupados en cuatro categorías: (i) tipos sinópticos direccionales (N, NE, E, SE, S, SW, W y NW); (ii) tipos anticiclónicos (A) y ciclónicos (C); (iii) tipos sinópticos híbridos (AN, ANW, AW, ASW, AS, ASE, AE, ANE, CN, CNW, CW, CSW, CS, CSE, CE y CNE); y (iv) tipo sinóptico inclasificado (UD). Este último fue resuelto ampliando la retícula original de Spellman (2000) y Martín-Vide (2001). Por tanto, 26 tipos sinópticos han sido utilizados para estratificar las máscaras de nubes diarias y generar la primera climatología sinóptica de la nubosidad en la PI y las IB que se presenta a continuación.

4. RESULTADOS

4.1. Climatología estacional de la nubosidad e identificación de las ROIs

En la Figura 1 se presentan los compuestos de nubes estacional (mayo-octubre) y mensual para el período 1997-2011. El mapa estacional de distribución de la nubosidad a alta resolución espacial (1.1-km) es fundamental para identificar las áreas que presentan una mayor probabilidad de recibir desarrollo de nubosidad y, por tanto, establecer las ROIs que deben ser vigiladas por, por ejemplo, meteorólogos con fines de predicción. El rasgo característico de este compuesto es el marcado gradiente latitudinal entre el norte de la PI, con frecuencias máximas de nubosidad que alcanzan el 73.8% en el borde septentrional de la zona Atlántico-Cantábrica y de los Pirineos, y el mínimo de nubosidad del 12.4% localizado en el sur de la PI. Este compuesto permite además identificar seis ROIs o zonas con elevada frecuencia de nubosidad. Estas ROIs corresponden básicamente a las principales zonas montañosas de la PI y las IB: (i) la Cordillera Cantábrica (ROIs1; máxima frecuencia 66.2%); (ii) los Pirineos (ROIs2; 67.6%); (iii) el Sistema Central (ROIs3; 41.5%); (iv) las montañas del este del Sistema Ibérico (ROIs4; 44.5%); (v) las montañas Béticas (ROIs5; 43.9%); y (vi) el centro de la isla de Mallorca (ROIs6; 41.2 %), como resultado principal de la convergencia de la brisa marina en el centro de la isla (Ramis y Alonso, 1988). Además de estas ROIs

donde la frecuencia de nubes es alta, también existen otras zonas secundarias (p.ej. relieves prebéticos de la montaña de Alicante, o sierras litorales y prelitorales de Cataluña, entre otras) que desarrollan una elevada nubosidad y por tanto deben ser examinadas con fines de predicción meteorológica. Por el contrario, los porcentajes mínimos de nubosidad aparecen en las regiones costeras del sur de la PI, bahías, así como los principales ríos peninsulares (p.ej., Ebro, Tajo y Guadalquivir), al tratarse de zonas donde generalmente la circulación del viento tiende a divergir.

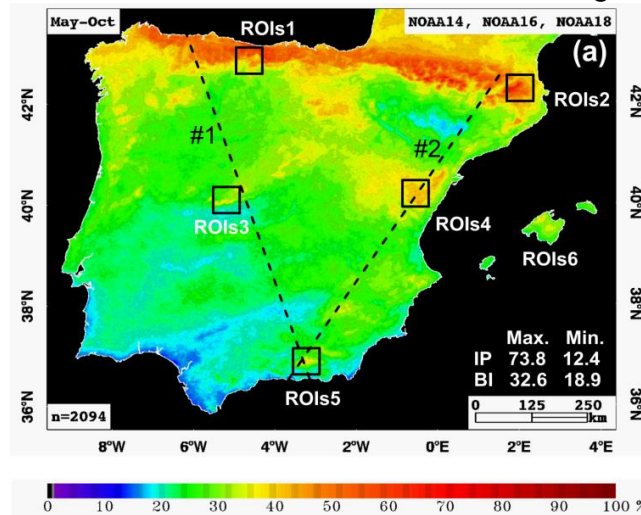


Fig. 1: Mapa estacional de frecuencia (en %) de nubosidad de los satélites NOAA-14, NOAA-16 y NOAA-18 durante el semestre cálido mayo-octubre 1997-2011. Las ROIs se representan en cuadrados de 50x50 píxeles, excepto para la Isla de Mallorca donde los estadísticos se calculan sobre toda la isla. El número de imágenes promediadas se indica en la esquina inferior izquierda. Las líneas discontinuas representan los transectos de nubosidad y orografía, que también pueden ser consultados en Azorin-Molina *et al.* (2014). Los estadísticos de frecuencia máxima y mínima para el conjunto de la PI e IB se indican en la esquina inferior derecha de la imagen.

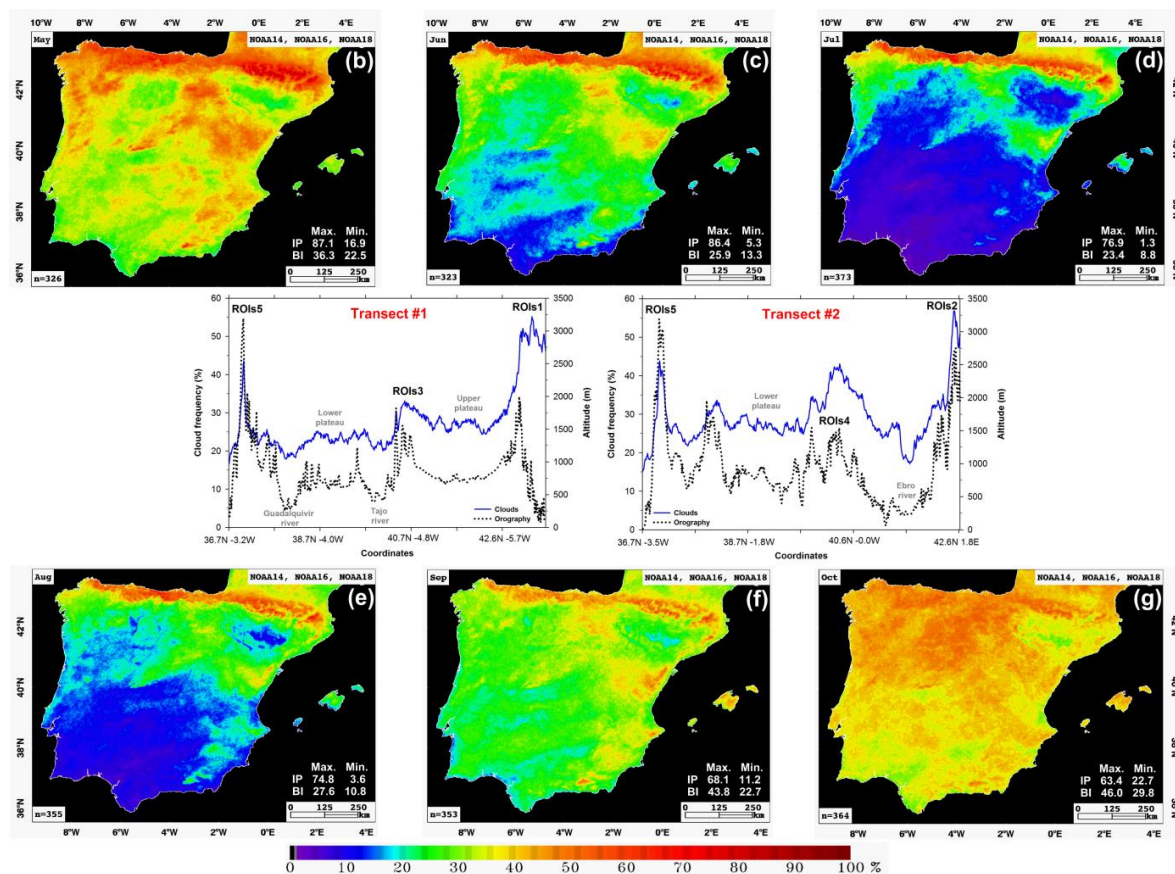


Fig. 1: Idem anterior, (b) mayo, (c) junio, (d) julio, (e) agosto, (f) septiembre, (g) octubre.

Los transectos # 1 y # 2 dibujados en la Figura 1 que cruzan en diagonal y de sur a norte la PI, confirman la elevada correspondencia entre la distribución espacial de las nubes y la orografía, con coeficientes de correlación del 0.6 (transecto#1) y 0.7 (transecto#2), y del 0.8 para el conjunto del territorio (Fig. 1). Es decir, las zonas de mayor nubosidad se corresponden con áreas de montaña de mayor elevación (ROIs; entre un 55 y 60%), mientras que las zonas de menor frecuencia de nubes ocupan zonas orográficas bajas y/o de depresión (por ejemplo, los ríos peninsulares; entre un 15 y 20%; o zonas costeras).

4.2. Compuestos de nubes en función del tipo sinóptico

La Figura 2 muestra la climatología sinóptica de la nubosidad en la PI y las IB en forma de mapas de frecuencia de nubosidad con alta resolución espacial en función de los 26 tipos sinópticos de Jenkinson y Collison (1977), agrupados por bloques: (i) tipos de tiempo anticiclónico y anticiclónicos híbridos (Figura 2a), (ii) tipos de tiempo ciclónico y ciclónicos híbridos (Figura 2b), y (iii) tipos de tiempo direccionales (Figura 2c). Estos mapas se complementan con el resumen de estadísticos que aparece en los diagramas de caja y bigotes de la Figura 3, que permite analizar la frecuencia de nubosidad por cada tipo sinóptico y ROIs. A grandes rasgos se observa una clara diferencia en la frecuencia y patrones espaciales de la nubosidad entre estos tres grandes grupos sinópticos. Los tipos de tiempo anticiclónico y anticiclónicos híbridos se caracterizan por presentar frecuencias bajas de nubosidad en toda la región (con excepciones como se indican para cada ROIs); las situaciones sinópticas ciclónicas o ciclónicas híbridas se asocian con

condiciones atmosféricas inestables y por tanto con nubosidad abundante repartida por toda el área de estudio; por último, las circulaciones sinópticas direccionales presentan una distribución espacial de la nubosidad muy bien definida, concentrando generalmente la nubosidad en zonas expuestas a barlovento de los flujos principales de viento y a las fuentes de humedad de origen. A continuación, describimos los tipos sinópticos favorables para el desarrollo (o inhibición) de la nubosidad para cada ROIs.

La ROIs1 representada por la cordillera Cantábrica recibe la mayor frecuencia de nubes durante el tipo sinóptico CSW (frecuencia media 79.2%), seguido del tipo direccional del N (74.3%) y del NW (73.8%), y los ciclónicos híbridos CN (72.5%) y CNW (70.0%), entre otros. Como excepción, también se observa una elevada frecuencia de nubes bajo los tipos de tiempo anticiclónicos híbridos, en concreto los tipos ANW (61.2%) y AN (60.7%). Por tanto, los tipos sinópticos que favorecen el desarrollo de nubosidad sobre la cornisa Cantábrica se asocian a circulaciones de viento del suroeste, oeste, noroeste y norte que aportan humedad desde el océano Atlántico y el mar Cantábrico. Por el contrario, los tipos sinópticos que tienden a inhibir y/o desarrollar menor nubosidad sobre esta ROIs corresponden al ASE (12.2%) y al AS (16.3%), es decir, circulaciones meridionales que aportan masas de aire de origen tropical cálidas y secas desde el norte de África. La ROIs2 ubicada en la zona Pirenaica oriental despliega las cantidades de nubosidad más elevadas bajo el tipo sinóptico AN (68.0%), AN (63.6%), ANE (63.3%), NE (62.4%) y CNE (62.2%); es decir, el desarrollo de nubosidad diurna se produce bajo el dominio de inyecciones frías asociadas a vientos del norte y también circulaciones del nordeste que aportan cierta humedad y ayudan a inestabilizar la atmósfera. Al igual que la ROIs1, esta zona montañosa también representa una excepción por cuanto también desarrolla frecuencias elevadas de nubosidad bajo tipos de tiempo anticiclónicos híbridos debido al forzamiento de disparo que ejerce la orografía. En un lado opuesto, los tipos sinópticos del ASW (15.2%), CSE y S (21.6%) son los que desarrollan menor nubosidad sobre el área pirenaica. La ROIs3 localizada en las montañas del sistema Central recibe las cantidades de nubosidad más elevadas bajo situaciones de CSW (82.7%) y CW (71.4%), seguidas de los patrones direccionales del W (63.2%). Se puede concluir por tanto que son las circulaciones de viento del oeste y suroeste las que aportan la llegada de humedad desde el Atlántico al centro de la PI, y los relieves del sistema Central los que disparan estos vientos en la vertical y favorecen el desarrollo de nubosidad. Por otro lado, los tipos de tiempo más estables y que desarrollan menores porcentajes medios de nubosidad corresponden al AE (7.8%) y ASE (10.8%), circulaciones mediterráneas que inhiben prácticamente el desarrollo de nubosidad diurna sobre esta zona montañosa.

ANTICYCLONIC & HYBRID WEATHER TYPES

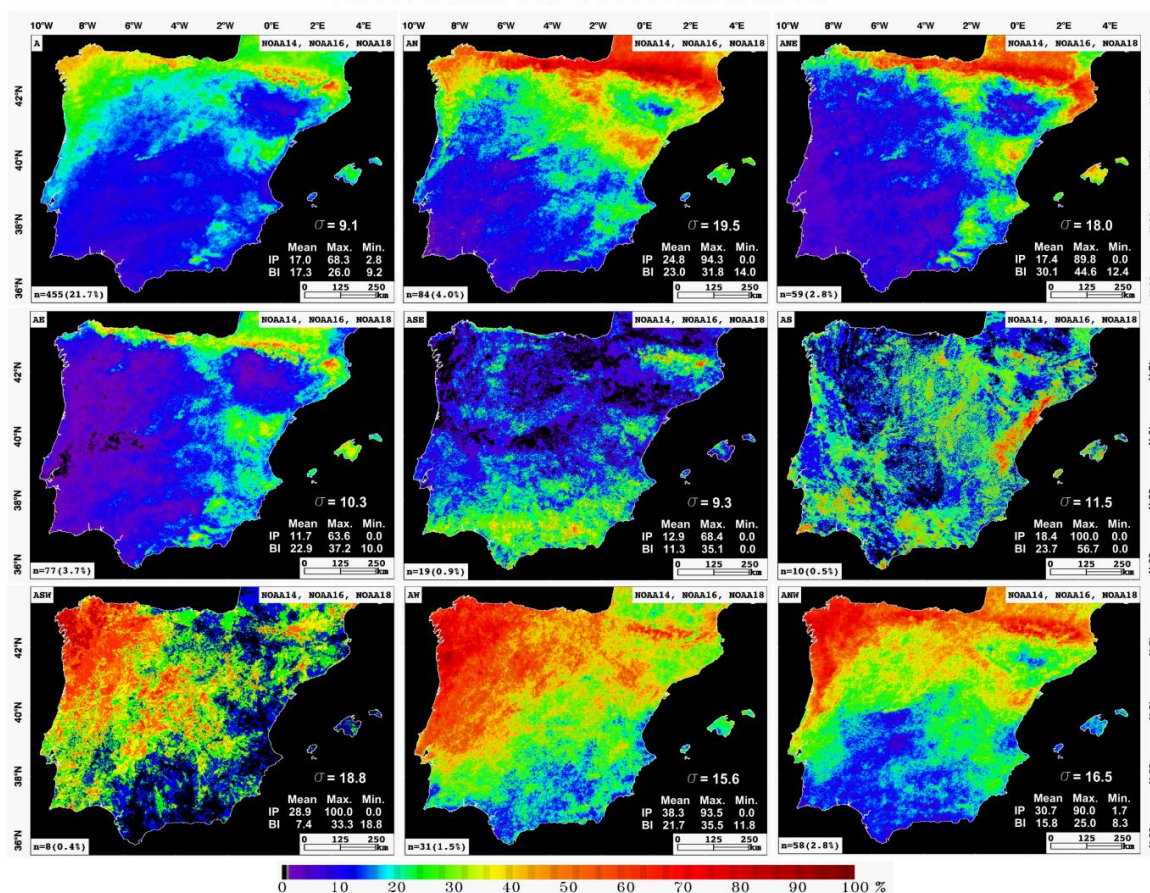


Fig. 2a: Idem Fig. 1, representando los tipos de tiempo anticiclónico, y anticiclónicos híbridos. Los estadísticos presentados en la esquina inferior derecha incluyen el valor medio, máximo y mínimo para el conjunto de la PI y las IB, así como la desviación típica que ayuda a interpretar la variabilidad espacial de la nubosidad por cada patrón sinóptico.

En el caso de la ROIs4, emplazada en el sector oriental de las montañas del sistema Ibérico, desarrolla nubosidad bajo situaciones sinópticas de tipo ciclónico híbrido con influencia tanto atlántica como mediterránea, destacando el CSW (68.9%), CNE (62.5%), y CN y CW (61.9%). Una característica particular de esta región es que desarrolla nubosidad bajo prácticamente todos los tipos sinópticos, excepto para la situación de ASW (10.3%) dominada por la influencia del anticiclón de Azores. Más hacia el sur, la ROIs 5 representada por las montañas del sistema Bético, se caracteriza por su proximidad al cinturón de altas presiones subtropicales y la influencia de masas de aire estables, por lo que las cantidades de nubosidad sólo ofrecen valores moderados para los tipos sinópticos del CW (56.2%), CNE (53.3%), y CSW (50.2%), mientras descienden a valores ínfimos para el tipo sinóptico ASW (6.0%), que representa el porcentaje de nubosidad más bajo de todo el resto de ROIs. Por último, la ROIs6 que cubre el conjunto de la isla de Mallorca, despliega cantidades de frecuencia de nubosidad entre moderadas y bajas para todos los tipos de tiempo, resultando éstas sólo superiores al 50% por el tipo del CW (57.1%), seguido del CN (44.8%). En el otro

extremo, las frecuencias de nubosidad más bajas ocurren al igual que para otros ROIs, bajo el tipo ASW (9.6%), y también CS (11.6%).

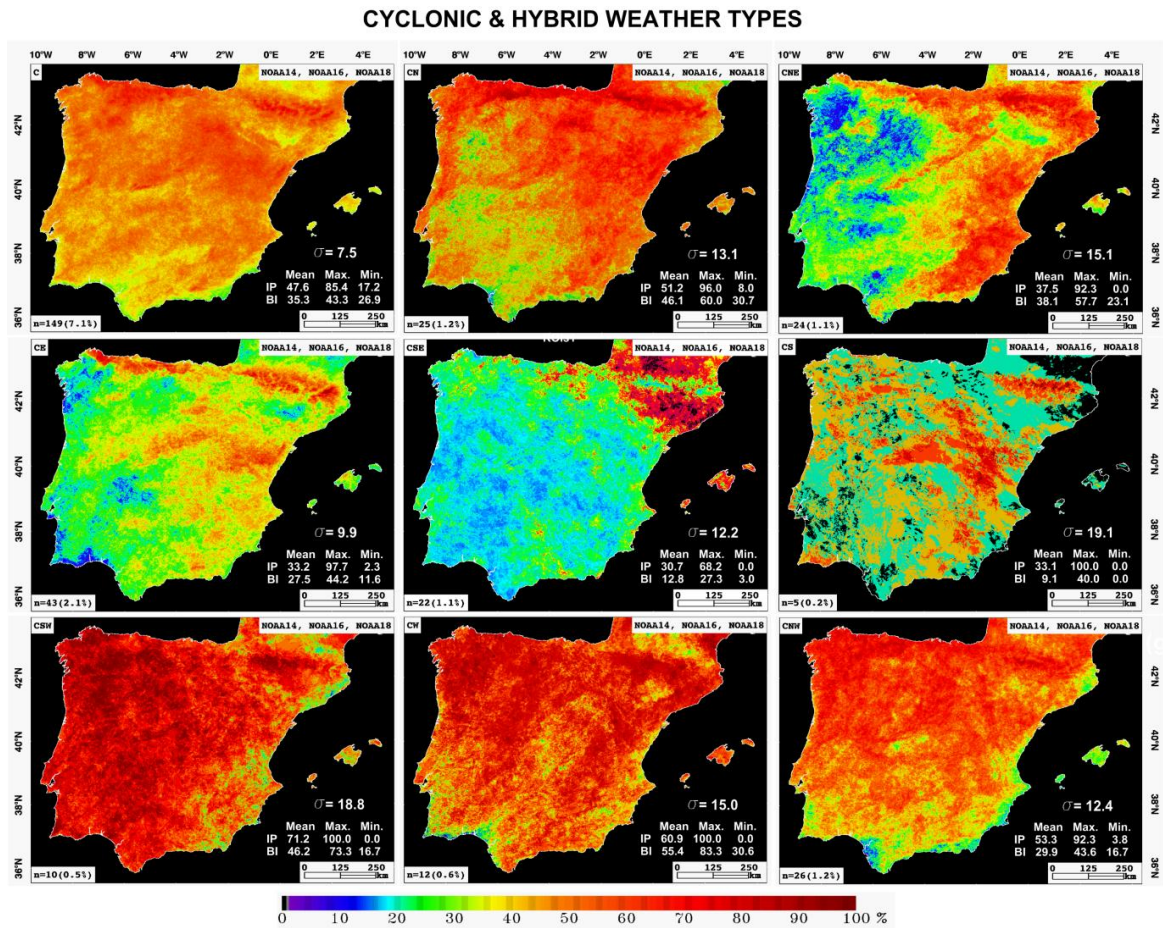


Fig. 2b: Idem Fig 2a, representando los tipos de tiempo ciclónico, y ciclónicos híbridos.

	TIPOS SINÓPTICOS MÁS NUBOSOS					TIPOS SINÓPTICOS MENOS NUBOSOS				
ROIs1	CSW	N	NW	CN	CNW	ASE	AS	SE	AE	CS
ROIs2	AN	N	ANE	NE	CNE	ASW	CSE	S	AS	ASE
ROIs3	CSW	CW	W	SW	CNW	AE	ASE	ANE	A	AN
ROIs4	CSW	CNE	CN	CW	CE	ASW	ASE	A	AE	SE
ROIs5	CW	CNE	CSW	SW	S	ASW	ANW	AN	A	ANE
ROIs6	CW	CN	CSW	C	CNE	ASW	CS	ASE	CSE	ANW

Tabla 2: RESUMEN DE LOS CINCO TIPOS SINÓPTICOS MÁS Y MENOS NUBOSOS POR CADA ROIs.

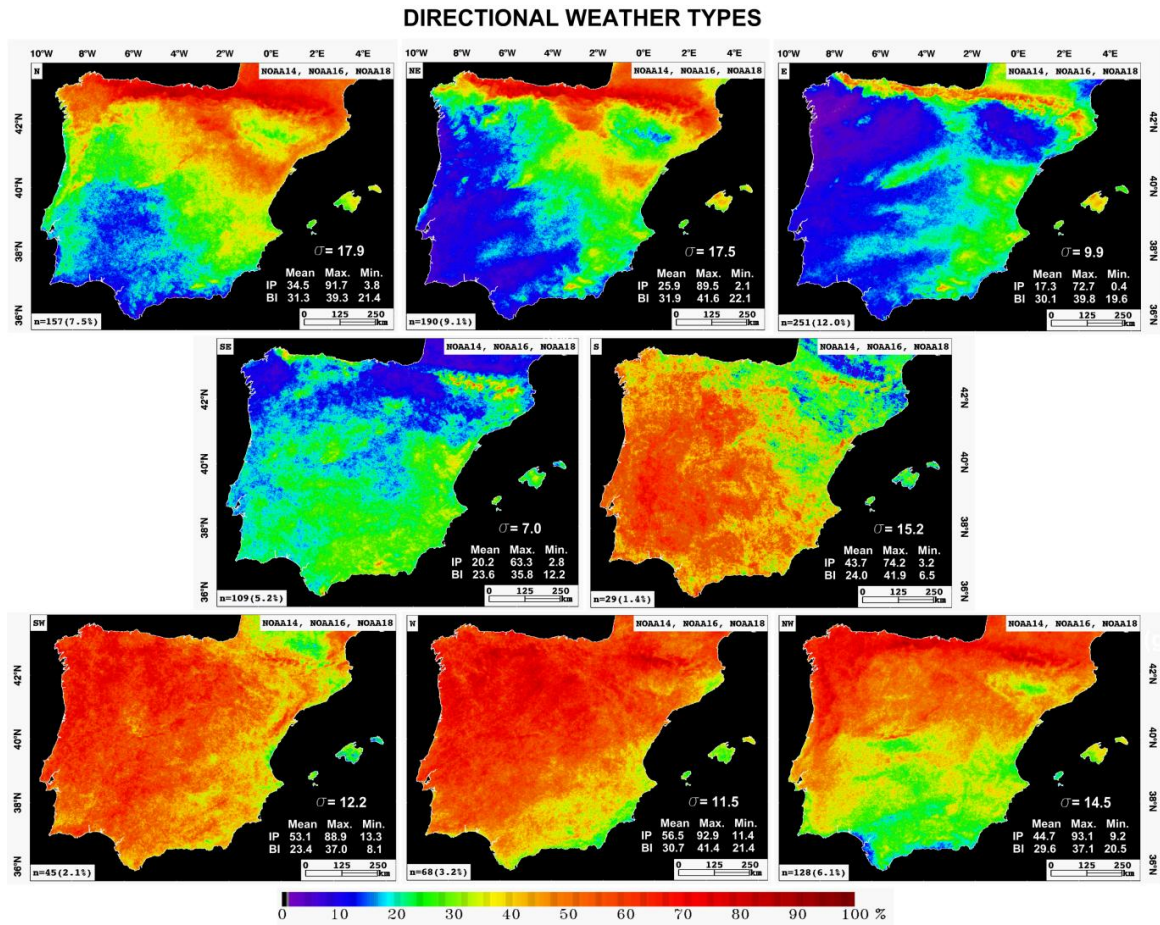


Fig. 2c: Idem Fig. 2a, representando los tipos de tiempo direccionales.

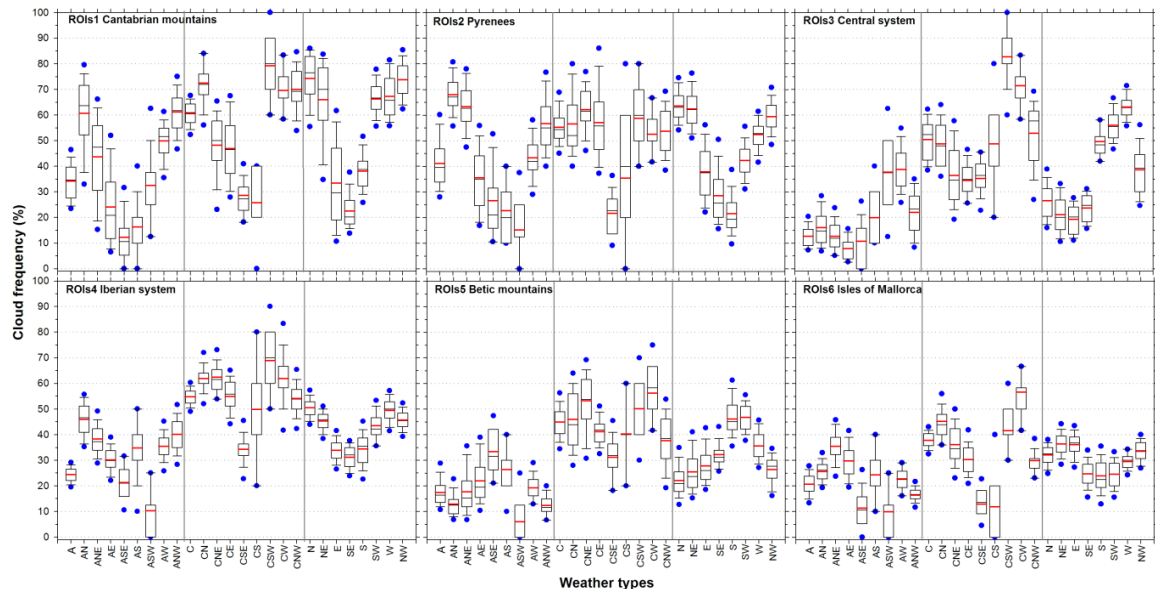


Fig. 3: Diagrama de caja y bigotes de la frecuencia de nubes de los 26 tipos sinópticos por cada una de las ROIs. En el se representa la media (línea roja), mediana (línea negra), el rango intercuartílico (cuartiles 25% y 75%; caja), los percentiles 10% y 90% (bigotes), y los percentiles 5% y 95% (puntos azules) por cada tipo sinóptico.

5. RESUMEN Y CONCLUSIONES

La tabla 2 presenta un resumen de los cinco tipos sinópticos que desarrollan mayor nubosidad, así como los cinco tipos sinópticos que tienden a inhibir la formación de nubes por cada ROIs. Los transectos # 1 y # 2 para cada uno de los 26 tipos sinópticos puede consultarse en Azorin-Molina *et al.* (2014). La resolución espacial (1.1-km) de los mapas de frecuencia de nubosidad por cada tipo sinóptico puede resultar de mucha utilidad con fines de predicción meteorológica, a fin de conocer las áreas potencialmente proclives a recibir más nubosidad, y en consecuencia, precipitaciones, en función de la situación atmosférica. Además, esta climatología sinóptica de la nubosidad resulta de interés para otros campos como, por ejemplo, la energía solar, la hidrología, la agricultura, entre otras. Como trabajo futuro se plantea generar estos compuestos de nubes para todo el año, abarcando también el semestre frío noviembre-abril, así como ampliar la escala temporal utilizando los 35-años de disponibilidad de datos NOAA-AVHRR.

6. AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido financiada por (i) el contrato de C. A-M (JCI-2011-10263); y (ii) los proyectos CGL2011-27574-C02-02, CGL2011-27536/HID financiados por la CICYT, y el FEDER; y el proyecto MEDACC ((LIFE12 ENV/ES/000536). Los autores desean agradecer al programa CREPAD del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial por el suministro de los datos AVHRR (en particular a Ángel García-Sevilla y Marta Romeo-Gallego); a Rafael Baena-Calatrava, Imanol Echave-Calvo y Fergus Reig-Gracia por la ayuda prestada de programación en IDL, y al Dr. Tinghai Ou por el procesado de datos de reanálisis.

7. REFERENCIAS

- Azorin-Molina, C., Connell, B.H., y Baena-Calatrava, R. (2009). Sea-Breeze Convergence Zones from AVHRR over the Iberian Mediterranean Area and the Isle of Mallorca, Spain. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 48(10), pp. 2069-2085.
- Azorin-Molina, C., Chen, D., Tijm, S., y Baldi, M. (2011). A multi-year study of sea breezes in a Mediterranean coastal site: Alicante (Spain). *International Journal of Climatology*, 31 (3), pp. 468-486.
- Azorin-Molina, C., Baena-Calatrava, R., Echave-Calvo, I., Connell, B.H., Vicente-Serrano, S.M., y López-Moreno, J.I. (2013). A daytime over land algorithm for computing AVHRR convective cloud climatologies for the Iberian Peninsula and the Balearic Islands. *International Journal of Climatology*, 33 (9), pp. 2113-2128.
- Azorin-Molina, C., Vicente-Serrano, S.M., Chen, D., Connell, B.H., Domínguez-Durán, M.A., Revuelto, J., y López-Moreno, J.I. (2014) AVHRR warm-season cloud climatologies under various synoptic regimes across the Iberian Peninsula and the Balearic Islands. *International Journal of Climatology*, En prensa.
- Jenkinson, A.F., y Collison, B.P. (1977). *An initial climatology of gales over the North Sea*. Synoptic Climatology Branch Memorandum No. 62, Meteorological Office, Bracknell.

- Martin-Vide, J. (2001). Limitations of an objective weather-typing system for the Iberian peninsula. *Weather*, 56, pp. 248-250.
- Millan, M.M., Estrela, M.J., y Miro J. (2005) Rainfall components: Variability and spatial distribution in a Mediterranean area (Valencia region). *Journal of Climate*, 18(14), 2682-2705.
- Pascual, R. (1999). Summer convection in Catalonia: An analysis using Meteosat IR imagery (in Spanish). En Proceedings, *IV Simposio Nacional de Predicción*, Instituto Nacional de Meteorología, Madrid.
- Pascual, R., Callado, A., y Berenguer, M. (2004). Convective storm initiation in central Catalonia. En *Proceedings, ERAD*, 1-5.
- Ramis, C., y Alonso, S. (1988). Sea-breeze convergence line in Majorca. A satellite observation. *Weather*, 43, pp. 288-293.
- Romero, R., Doswell, C.A., y Riosalido, R. (2001). Observations and Fine-Grid Simulations of a Convective Outbreak in Northeastern Spain: Importance of Diurnal Forcing and Convective Cold Pools. *Monthly Weather Review*, 129(9), pp. 2157–2182.
- Spellman, G. (2000). The application of an objective weather-typing system to the Iberian peninsula. *Weather*, 55, pp. 375-3