

# ALGORITMO DE DETECCIÓN DE NUBES EN IMÁGENES NOAA-AVHRR PARA EL ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD ESPACIO-TEMPORAL DE TORMENTAS

César AZORÍN-MOLINA<sup>1</sup>, Rafael BAENA-CALATRAVA<sup>2</sup>, Imanol ECHAVE-CALVO<sup>3</sup>, Bernadette CONNELL<sup>4</sup>, Sergio M. VICENTE-SERRANO<sup>1</sup>, Juan Ignacio LÓPEZ-MORENO<sup>1</sup>, Javier ZABALZA<sup>1</sup>, Enrique MORÁN-TEJEDA<sup>5</sup>, Jorge LORENZO-LACRUZ<sup>1</sup>, Jesús REVUELTO<sup>1</sup>, Fergus REIG-GRACIA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Instituto Pirenaico de Ecología, Consejo Superior de Investigaciones Científicas*

<sup>2</sup>*Centro de Estudios Materiales y Control de Obra, S.A.*

<sup>3</sup>*ITT Visual Information Solutions*

<sup>4</sup>*Cooperative Institute for Research in the Atmosphere, Colorado State University*

<sup>5</sup>*Climate Change and Climate Impacts Group, University of Geneva*

cazorin@ipe.csic.es, baycat\_2@yahoo.es, imanol.echave@exelisvis.com, connell@cira.colostate.edu, svicen@ipe.csic.es, nlopez@ipe.csic.es, jzabalza@ipe.csic.es, enrique.moran@unige.ch, jlorenzo@ipe.csic.es, jrevuelto@ipe.csic.es, fergus@ipe.csic.es

## RESUMEN

En este estudio se presenta un nuevo algoritmo de detección de nubes aplicado sobre tierra a imágenes diurnas del sensor AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*), a bordo de la serie de satélites de órbita polar NOAA. El algoritmo consta de cuatro tests espectrales que 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 Península Ibérica y las Islas Baleares. En este trabajo se presentan composiciones de frecuencia de la nubosidad convectiva con alta resolución espacial (1.1-km) para el año 2004, utilizando los pases de los satélites NOAA-17 (0900-1200 UTC) y NOAA-16 (1200-1500 UTC). Estos mapas permiten identificar las zonas con mayor actividad convectiva. La herramienta que aquí se presenta puede resultar muy útil en trabajos futuros para construir climatologías de nubosidad convectiva y plantear el análisis de la variabilidad espacio-temporal de las tormentas. En relación a ello el algoritmo se plantea con el objetivo de ser aplicado en la validación de la hipótesis acerca del aumento del nivel de condensación de las nubes por encima de los relieves costeros mediterráneos y el cambio en el régimen y pérdida de tormentas observada durante las últimas décadas en el área mediterránea.

**Palabras clave:** Algoritmo, Detección de Nubes Convectivas, AVHRR, Península Ibérica e Islas Baleares.

## ABSTRACT

In this study a daytime over land multispectral cloud detection algorithm is presented with the aim to derive accurate daily cloud masks with high spatial resolution (1.1 km) over the Iberian Peninsula and the Balearic Islands. The cloud detection scheme is designed to process Advanced Very High Resolution Radiometer HRPT data and is tested here on NOAA-17 (0900-1200 UTC) and NOAA-16 (1200-1500 UTC) overpasses for the warm 6-month study period May-October 2004. The algorithm consists of four spectral threshold tests applied to each pixel and the fixed or constant thresholds have been successfully tested to be functional during the central months of the warm

season. The algorithm discretizes all AVHRR data into four groups called cloud-filled, cloud-free, snow-ice and snow-free radiances. The convective cloud frequency composites enable the detection of the areas most likely to receive convection. This cloud analysis tool is presented here to compute regional convective cloud composites and analyze the spatial and temporal variability of thunderstorms in future studies. For instance, the proposed scheme could therefore be applied for validating the hypothesis about the rise of cloud condensation level above coastal mountains and consequently loss of summer storms observed in the Iberian Mediterranean area during last decades.

**Key words:** Algorithm, Convective Cloud Detection, AVHRR, Iberian Peninsula and Balearic Islands.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las nubes ejercen un papel decisivo en el balance energético planetario al controlar la cantidad de radiación solar que llega a la superficie terrestre. Además, son un eslabón muy importante en el ciclo natural del agua en la Tierra. Por tanto, afectan directamente al cambio climático (Giorgi y Lionello, 2008). Por una parte, las variaciones espacio-temporales en la cobertura nubosa modifican la cantidad de radiación solar, el intercambio de agua (precipitaciones), la temperatura, la humedad, la presión atmosférica, y el viento, que en general son los principales parámetros atmosféricos que determinan el clima (Arking, 1991). Por otra, los cambios que se producen en el clima por causa natural, o forzados por la acción antropogénica (Solomon *et al.*, 2007), también afectan directamente a la nubosidad, creando entre ambos un complejo sistema climático.

La incertidumbre más importante es la de conocer la diferencia entre el enfriamiento y el calentamiento que provocan las nubes. Por lo general, las nubes enfrían la temperatura de la superficie terrestre en aproximadamente 5C (Rossow y Zhang, 1995), pero los escenarios climáticos futuros pueden reforzar uno de ambos procesos, aumentando el enfriamiento más que el calentamiento, lo que reduciría el calentamiento global, o al contrario, lo cual lo aceleraría (Cracknell, 2001). Esta incertidumbre ha llevado a la comunidad científica internacional a abrir un debate sobre el posible impacto que provocaría en el clima cualquier variación significativa en la cobertura nubosa (Hartmann y Michelsen, 2002). Según el *Intergovernmental Panel on Climate Change* (<http://www.ipcc.ch/>), la respuesta de la cobertura nubosa al incremento de los gases de efecto invernadero es la principal incertidumbre en las predicciones numéricas sobre sensibilidad climática. En los modelos climáticos globales -GCMs- y regionales -RCMs- las propiedades a mejorar se traducen en (a) cobertura nubosa a diferentes niveles, (b) contenido de agua en las nubes (líquida o en forma de hielo), y (c) el tamaño de las gotas de agua o hielo.

Todo esto justifica la importancia de la observación de las nubes y la mejora en las técnicas de detección de nubes mediante imágenes de satélite. El presente estudio tiene como principal objetivo definir un algoritmo de detección de nubes sobre tierra en imágenes diurnas durante el semestre cálido mayo-octubre en la PI y las IB. Esta herramienta y los mapas de frecuencia de nubosidad resultantes permitirán identificar las zonas con mayor actividad convectiva, y a su vez analizar la variabilidad espacio-temporal de las tormentas en trabajos futuros.

## 2. ESTADO ACTUAL DE LOS CONOCIMIENTOS CIENTÍFICOS

A nivel planetario se conoce que las nubes cubren casi 2/3 de la Tierra, resultando el porcentaje de cobertura nubosa mayor sobre los océanos (70%) frente a los continentes (60%) (Rossow y Schiffer, 1999). Aunque existen esfuerzos internacionales que tratan de caracterizar las nubes a nivel global, siguen existiendo grandes lagunas a nivel regional, como ocurre en el caso de la PI (Sánchez-

Lorenzo *et al.*, 2009; Azorin-Molina *et al.*, 2009). El *International Satellite Cloud Climatology Project* (ISCCP; <http://isccp.giss.nasa.gov/>) representa el esfuerzo internacional más importante dedicado a inferir la distribución global de las nubes, dando soporte a muchos estudios climáticos y de modelización desde 1982. El *Pathfinder Atmospheres Extended* (PATMOS-x; <http://cimss.ssec.wisc.edu/patmosx/>), como continuación de PATMOS (1995-1999), es un proyecto financiado por la NOAA/NESDIS cuyo objetivo principal es obtener registros atmosféricos y climáticos. El *EUMETSAT Satellite Application Facility on Climate Monitoring* (CM SAF; <http://www.cmsaf.eu/bvbw/appmanager/bvbw/cmsafInternet>) es la principal iniciativa a nivel europeo en proporcionar información geofísica a partir de datos de satélite geostacionarios (MSG) y de órbita polar (NOAA, MetOp, DMSP), con el fin de estudiar el clima. Por otro lado y con distinta finalidad, el *EUMETSAT Satellite Application Facility on support to Nowcasting and Very Short-Range Forecasting* (SAFNWC; <http://www.nwcsaf.org>) desarrolla varios productos en tiempo real como soporte a la predicción meteorológica operativa, a partir de imágenes de satélite (MSG y NOAA) desde 1997.

A diferencia de todos estos esfuerzos internacionales realizados en otras regiones, existen muy pocos estudios que hayan desarrollado herramientas para la estimación de las nubes mediante imágenes de satélite en el caso de la PI y las IB. Flores-Tovar y Baldasano (2001) aplicaron un esquema de detección de nubes para cartografiar la radiación solar en el NE de la PI. Sospedra *et al.* (2004) propusieron un algoritmo para la detección de nubes en imágenes nocturnas. Casanova *et al.* (2005 y 2010) desarrollaron un algoritmo de detección de nubes utilizando perfiles verticales proporcionados por las sondas del Meteosat VIS-IR, NOAA-A/TOVS, MSG y MODIS AQUA-AIRS, con el objetivo de ser utilizado como soporte al tráfico aéreo. Gómez-Chova (2008) llevó a cabo una investigación sobre la detección de nubes en imágenes MERIS (*MEdium Resolution Imaging Spectrometer*) y CHRIS (*Compact High Resolution Imaging Spectrometer*).

### 3. DATOS AVHRR

En este trabajo se han utilizado datos del sensor *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR; formato L1B ESA SHARP) a bordo de los satélites de órbita polar NOAA-17 (0900-1200 UTC) y NOAA-16 (1200-1500 UTC). Los datos fueron proporcionados por la estación de Maspalomas (Programa CREPAD, Instituto de Técnica Aeroespacial, <http://crepadweb.cec.inta.es/es/index.html>) para el semestre mayo-octubre 2004. 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). Las órbitas matutinas del satélite NOAA-17 detectan principalmente las nubes Cu, mientras que los pases vespertinos del satélite NOAA-16 captan las nubes Cb.

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. Las cuentas digitales (DNs) de los canales 1 (0.58-0.68  $\mu\text{m}$ ) y 2 (0.72-1.10  $\mu\text{m}$ ) se calibraron a reflectancias (en %), mientras que los canales térmicos 4 (10.30-11.30  $\mu\text{m}$ ) y 5 (11.50-12.50  $\mu\text{m}$ ) a temperatura de brillo (en °K). En el caso del satélite NOAA-16, el canal 3b (3.55-3.93  $\mu\text{m}$ ) estuvo siempre activo (día y noche), por lo que se calibró a temperatura de brillo. En cambio, el canal 3a (1.58-1.64  $\mu\text{m}$ ) del satélite NOAA-17 estuvo activo de día y el canal 3b durante la noche, por lo que todos los datos diurnos de este satélite se calibraron a reflectancias.

#### 4. ALGORITMO DE DETECCIÓN DE NUBES CONVECTIVAS

La Figura 1 despliega el diagrama de flujo que esquematiza el funcionamiento del algoritmo de detección de nubes propuesto en este trabajo, basado principalmente en el *AVHRR Processing scheme Over cLOUDs, Land and Ocean* (APOLLO), definido por Saunders (1986) y Saunders y Kriebel (1988). Este esquema de detección de nubes puede ser aplicado a imágenes diurnas (elevación solar  $>5^\circ$ ) y sobre píxeles de tierra. El esquema de detección de nubes que aquí se presenta consiste en un total de 4 tests espectrales que se aplican de forma secuencial a nivel de píxel. Los umbrales que aquí se presentan han sido testados en múltiples imágenes con el objeto que funcionen correctamente durante el semestre cálido del año (mayo-octubre), temporada de actividad convectiva en la PI y las IB. Los píxeles contaminados por nube corresponden a aquellos que cumplen a la vez los Test 2, 3 y 4. La máscara nubosa final se obtiene restando los píxeles etiquetados como nieve/hielo a los identificados como nube.

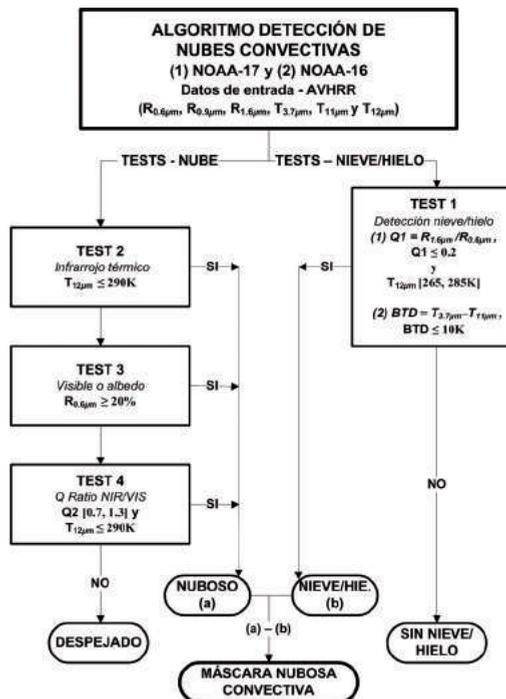


FIG. 1: Algoritmo de detección de nubes convectivas en imágenes diurnas sobre tierra.

##### 4.1. Test 1. Detección de píxeles contaminados por nieve/hielo

El Test 1 corresponde a la detección de píxeles contaminados por nieve o hielo, que pueden aparecer en la PI en los meses de mayo, junio y octubre. La nieve y el hielo pueden ser discriminados de los píxeles nubosos utilizando principalmente los canales visibles y también el infrarrojo cercano. En el caso del NOAA-17, se define una Q ratio (Q1) como cociente entre el valor de reflectancia a 1.6  $\mu\text{m}$  y a 0.6  $\mu\text{m}$ . La nieve y el hielo reflejan considerablemente menos a 1.6  $\mu\text{m}$ , y por tanto valores de  $Q1 \leq 0.2$  agrupan aquellos píxeles contaminados por nieve/hielo. Para eliminar algunas fuentes de error detectadas (tope nuboso de Cu y Cb; lagunas; zonas áridas; etc.) se añadió un test complementario basado canal 5. De este modo, se han etiquetado como píxeles contaminados por nieve/hielo aquellos con una  $Q1 \leq 0.2$  y una temperatura de brillo a 12 m comprendida entre 265 y 285K. En el caso del satélite NOAA-16, en

el cual el canal 3b está activo durante el día, la detección de píxeles contaminados por nieve/hielo se realizó aplicando un umbral de diferencia de temperatura de brillo (BTD) de  $\leq 10K$  (Figuras 2c y 2d) entre  $3.7 \mu m$  (Figura 2a) y  $11 \mu m$  (Figura 2b).

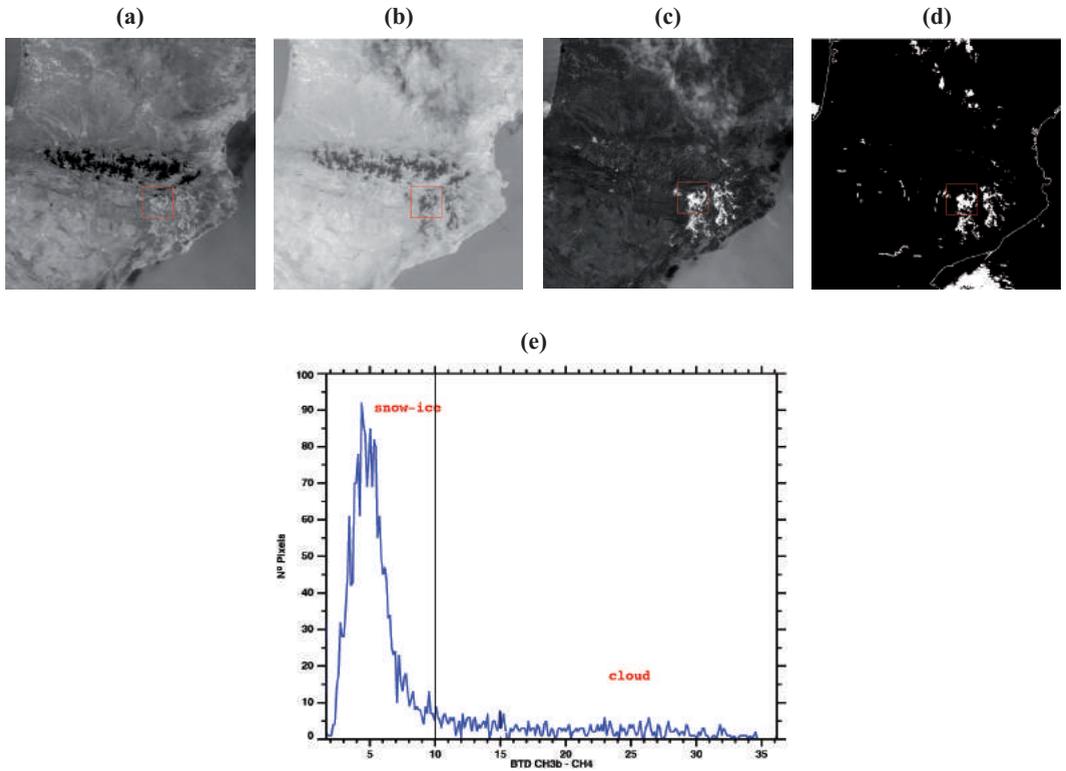
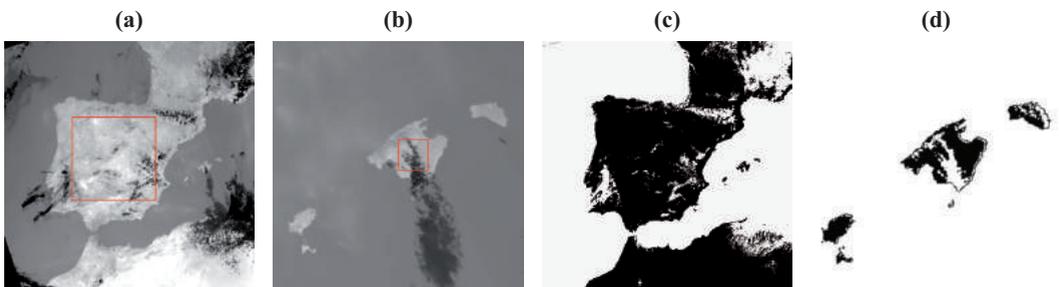


FIG. 2: (a) Canal 3b ( $3.55-3.93 \mu m$ ); (b) Canal 4 ( $10.30-11.30 \mu m$ ); (c) BTD  $T_{3.7 \mu m} - T_{11 \mu m}$ ; (d) Máscara de nubes  $BTD > 10K$ ; (e) Histograma de  $50 \times 50$  píxeles (cuadro rojo en las imágenes) aplicado para la detección de nieve/hielo (Test 1, NOAA-16).

#### 4.2. Test 2. Test de infrarrojo térmico

El Test 2 corresponde al test de infrarrojo térmico utilizando el canal 5 ( $12 \mu m$ ; Figura 3a y 3b). Después de realizar varios ensayos en diferentes imágenes diurnas sobre la PI y las IB, se encontró un umbral de  $\leq 290K$  a partir del cual se encuentran los píxeles contaminados por nubes de cualquier tipología. Además la convección se desarrolla generalmente bajo situaciones de elevada radiación con temperaturas de la superficie terrestre  $> 290K$ .



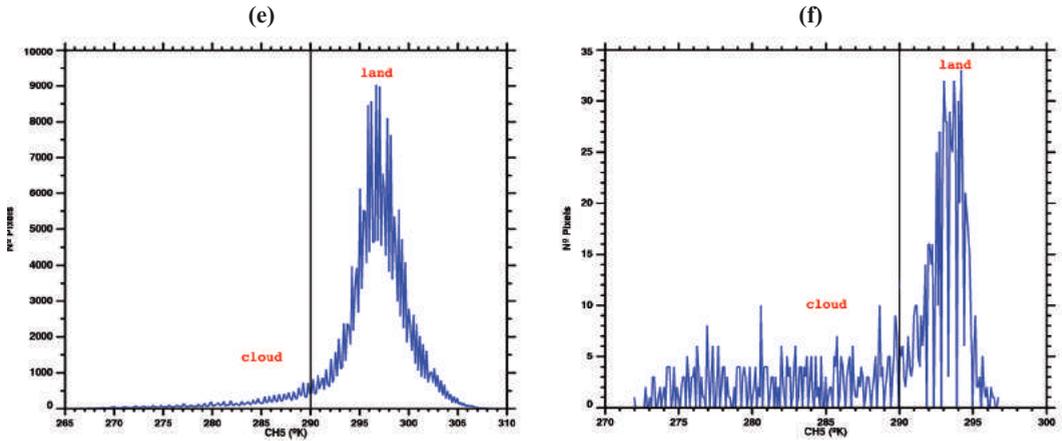


FIG. 3: (a) Canal 5 (11.50-12.50  $\mu\text{m}$ ) NOAA-16, PI; (b) Canal 5 (11.50-12.50  $\mu\text{m}$ ) NOAA-16, IB; (c) Máscara de nubes T12  $\mu\text{m} \leq 290\text{K}$ , PI; (d) Máscara de nubes T12  $\mu\text{m} \leq 290\text{K}$ , IB; (e) Histograma de 515x485 píxeles utilizado para la detección de nubes en la PI; (f) Histograma de 33x33 píxeles aplicado para la detección de nubes en las IB.

### 4.3. Test 3. Test visible o de albedo

El Test 3 corresponde al test visible o albedo y utiliza la reflectancia del canal 1 (0.6  $\mu\text{m}$ ; Figura 4). En general, los píxeles contaminados por nubes presentan reflectancias  $\geq 20\%$  en esta longitud de onda, por lo que se ha seleccionado este umbral fijo para detectar píxeles nubosos.

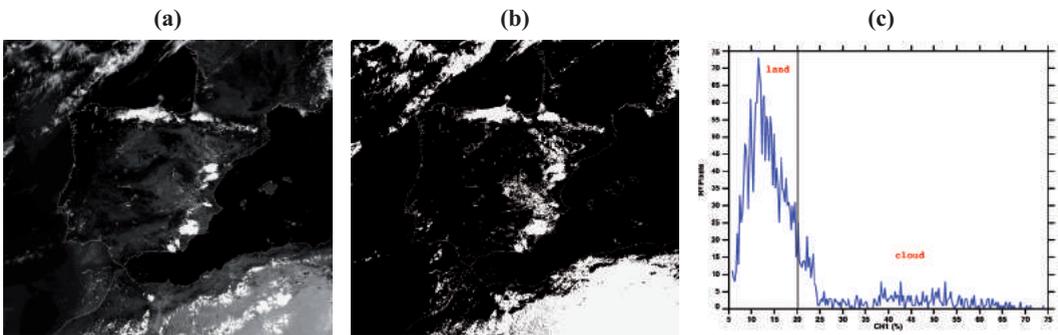


FIG. 4: (a) Canal 1 (0.58-0.68  $\mu\text{m}$ ) NOAA-16, PI; (b) Máscara de nubes R0.6  $\mu\text{m} \geq 20\%$ ; (c) Histograma de 50x50 píxeles utilizado para la detección de nubes.

### 4.4. Test 4. Test de la ratio NIR/VIS

Por último, el Test 4 corresponde al cociente de reflectancias (Q2) entre el infrarrojo cercano NIR-IR (R0.9  $\mu\text{m}$ ) y el VIS (R0.6  $\mu\text{m}$ ), (Figura 5). En principio, todos los píxeles con un cociente Q2 comprendido entre 0.7 y 1.3 representan nubes. Sin embargo, algunas zonas áridas del interior peninsular, principalmente de ambas mesetas y el valle del Ebro, pueden desplegar valores de Q2 comprendidos entre ambos umbrales, de tal modo que se añadió un test complementario basado en la temperatura de brillo en el canal 5 (T12  $\mu\text{m}$ ) con el objeto de eliminar esta fuente de error. Este test etiqueta píxeles nubosos aquellos con una ratio Q2 comprendida entre 0.7 y 1.3, y una temperatura de brillo T12  $\leq 290\text{K}$ .

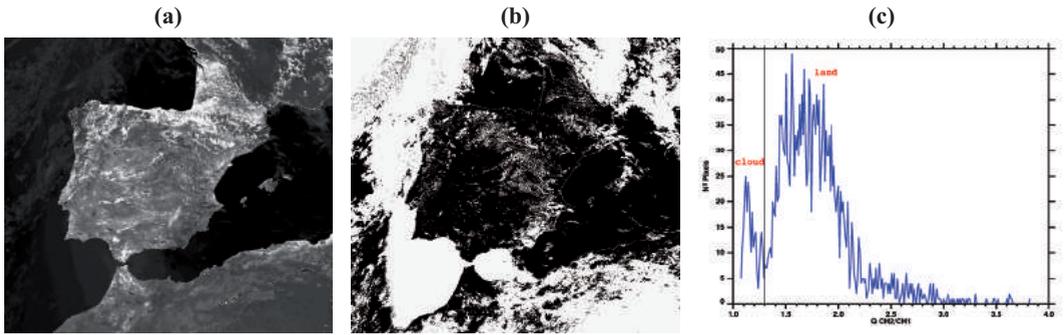


FIG. 5: (a)  $Q2$  Ratio  $R_{0.9 \mu m}/R_{0.6 \mu m}$  NOAA-16, PI; (b) Máscara de nubes  $Q2$  0.7-1.3 y  $T_{12 \mu m} \leq 290K$ , PI; (c) Histograma de 50x50 pixeles empleado para la detección de nubes.

### 5. COMPOSICIONES DE FRECUENCIA DE NUBOSIDAD CONVECTIVA

La Figura 6 representa el mapa de frecuencia de nubosidad convectiva a resolución de 1.1-km durante el semestre cálido (mayo-octubre 2004) en la PI y las IB. La distribución regional de las nubes está asociada a las características de la topografía, la altitud, disposición de la línea de costa, etc. A partir de esta cartografía se pueden identificar las áreas potencialmente convectivas que se corresponden con las zonas de montaña (p.ej., Pirineos, Cordillera Cantábrica, Sistema Ibérico, etc.), frente a otras que concentran escasa actividad convectiva, caso de zonas deprimidas (p.ej. valle del Ebro o Guadalquivir), allí donde operan mecanismos de subsidencia y divergencia superficial hacia los flancos montañosos que las bordean, o en zonas costeras (p.ej. Golfo de Valencia). Además, se observa un claro gradiente latitudinal, oscilando la frecuencia máxima de la nubosidad en torno al 60-80% en la mitad norte de la Península Ibérica, y descendiendo al 0-10% en zonas del sur (influencia del cinturón de altas presiones subtropicales). También cabe destacar el área convectiva que se desarrolla en el centro de la isla de Mallorca, allí donde se produce la convergencia superficial de las brisas marinas.

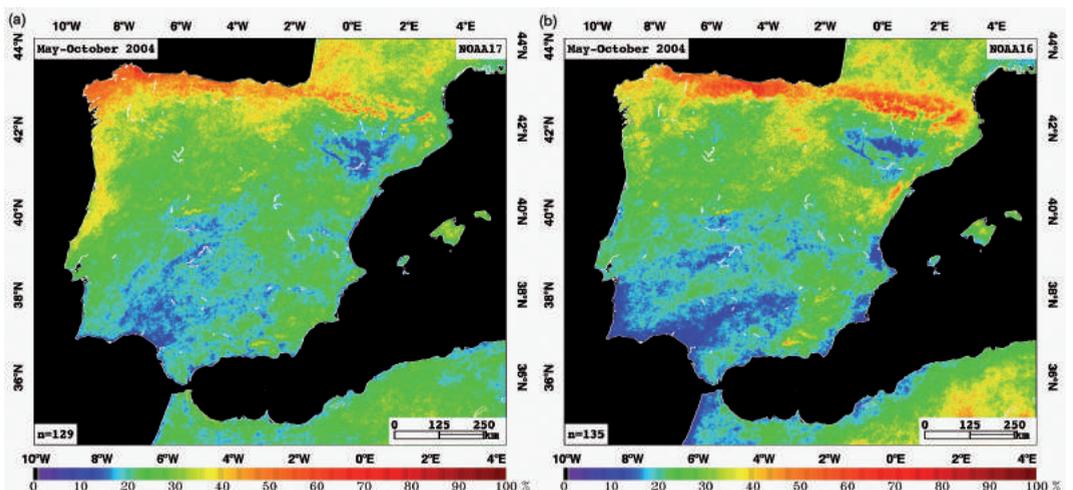


FIG. 6: Mapas de frecuencia de nubosidad convectiva para el satélite (a) NOAA-17 y (b) NOAA-16 durante el semestre cálido mayo-octubre 2004.

La Figura 7 y los estadísticos presentados en la Tabla 1 son reveladoras de la variabilidad intraanual de la actividad convectiva en la PI y las IB. Mayo representa el mes con mayor nubosidad (Figura 7a) alcanzando un 41.4% (NOAA-17) y 45.7% (NOAA-16), decreciendo rápidamente la frecuencia a 17.1% (NOAA-17) y 16.6% (NOAA-16) en Junio (Figura 7b) como consecuencia de una mayor influencia del anticiclón de Azores. Este patrón de escasa nubosidad se intensifica en Julio (Figura 7c), que representa el mes con menor nubosidad con 15.0% (NOAA-17) y 16.4% (NOAA-16). A partir de Agosto se observa un leve incremento de la actividad convectiva, alcanzando un 20.9% (NOAA-17) y 19.2% (NOAA-16) durante este mes (Figura 7d), y 25.3% (NOAA-17) y 25.0% (NOAA-16) en Septiembre (Figura 7e). Octubre por último es el segundo mes con mayor frecuencia de actividad convectiva (Figura 7f), alcanzando un 34.7% (NOAA-17) y 35.8% (NOAA-16) como consecuencia de un mayor inestabilidad, principalmente sobre la mitad occidental de la PI.

Satélite	Mayo		Junio		Julio		Agosto		Septiembre		Octubre		Total	
	N17	N16	N17	N16	N17	N16	N17	N16	N17	N16	N17	N16	N17	N16
PI	43.5	50.8	12.8	19.4	14.2	14.1	24.2	21.7	21.5	20.4	40.0	40.3	25.9	25.9
BI	39.3	40.7	21.4	13.8	15.9	18.7	17.5	16.7	29.0	29.6	29.4	31.2	25.2	23.9
Media	41.4	45.7	17.1	16.6	15.0	16.4	20.9	19.2	25.3	25.0	34.7	35.8	25.6	24.9

TABLA 1: Frecuencia media de nubosidad convectiva (May-Oct. 2004).

## 6. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

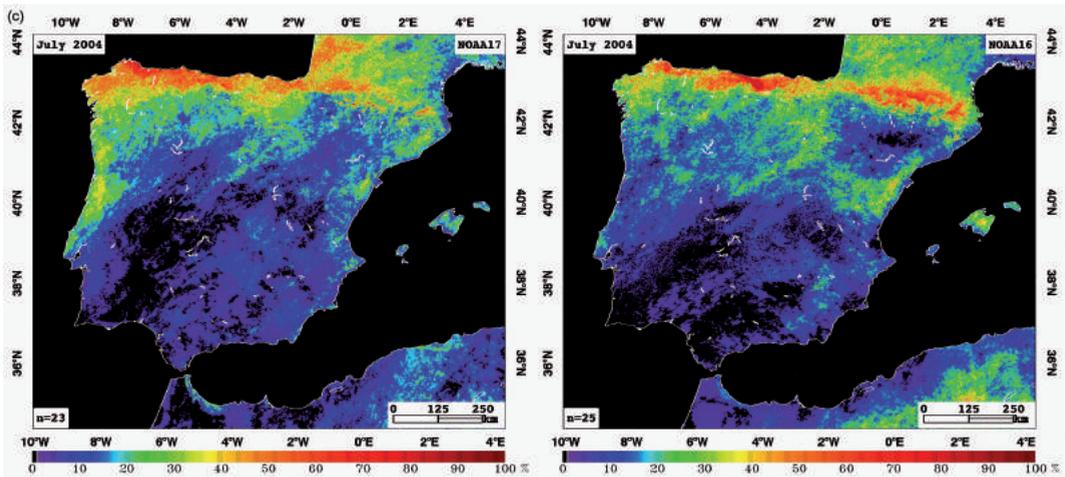
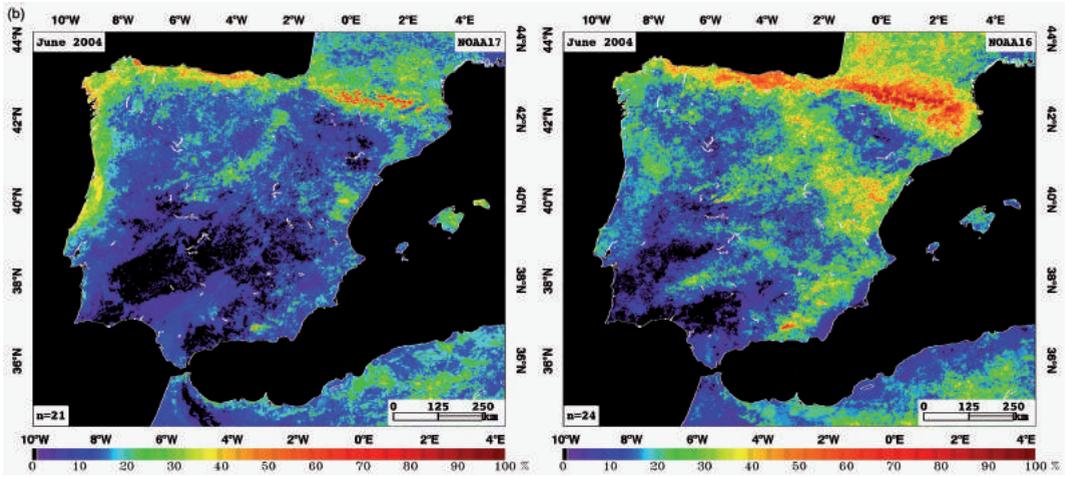
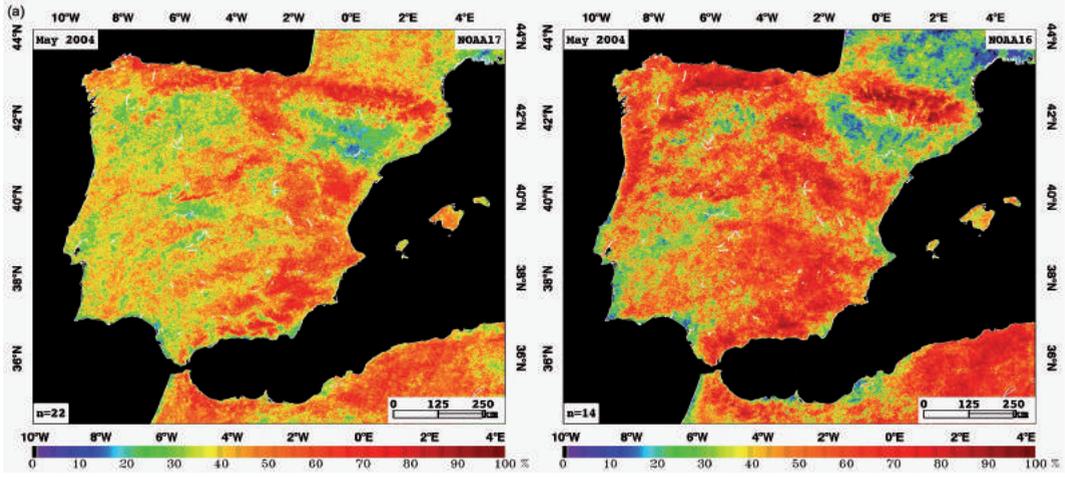
En este trabajo se ha presentado un nuevo algoritmo de detección de nubes con el objeto de crear mapas de frecuencia de nubosidad convectiva en tierra durante el semestre mayo-octubre en la PI y las IB. En este estudio se ha descrito brevemente el funcionamiento de esta nueva herramienta, y se han presentado a modo de ejemplo composiciones de frecuencia de nubosidad convectiva para el año 2004. La resolución espacial de estos mapas (1.1-km), y la disponibilidad de datos del sensor AVHRR a bordo de los satélites NOAA desde el año 1979 a la actualidad, abre una interesante vía de trabajo futuro para el estudio de la variabilidad espacio-temporal de las tormentas en la PI y las IB. Una de las hipótesis a contrastar está relacionada con el aumento del nivel de condensación de las nubes por encima de los relieves costeros mediterráneos y el cambio en el régimen y consecuente pérdida de tormentas observada durante las últimas décadas en el área mediterránea (Millán *et al.*, 2005).

### Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el contrato JAE-DOC043 del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, y los proyectos CGL2011-27536 y CGL2011-27574-C02-02 de la Comisión Española de Ciencia y Tecnología y FEDER, ACQWA (FP7-ENV-2007-1-212250) financiado por el VII Programa Marco de la Comisión Europea, “Efecto de los Escenarios de Cambio Climático Sobre La Hidrología superficial y la Gestión de Embalses del Pirineo Aragonés”, financiado por “la Obra Social La Caixa” y el Gobierno de Aragón y la Influencia del Cambio Climático en el turismo de nieve, CTP01/10, financiado por la Comisión de trabajo de los Pirineos. Los autores quieren agradecer a Maria de los Ángeles Domínguez-Durán y Ángel García-Sevilla (Programa CREPAD - INTA) por el suministro de los datos del sensor AVHRR.

## REFERENCIAS

- Arking A. (1991). "The Radiative Effects of Clouds and their Impact on Climate". *Bulletin of the American Meteorological Society*, **72**(6), pp. 795-813.
- Azorin-Molina, C., Connell, B.H., 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.
- Casanova, C., Romo, A., Hernández, E., Casanova, J.L., Sanz, J. (2005). "Rapid response for cloud monitoring through Meteosat VIS-IR and NOAA-A/TOVS image fusion: civil aviation application. A first approach to MSG-SEVIRI". *International Journal of Remote Sensing* **26**(8), pp. 1699-1716.
- Casanova, C., Romo, A., Hernández, E., Casanova, J.L. (2010). "Operational cloud classification for the Iberian Peninsula using Meteosat Second Generation and AQUA-AIRS image fusion". *International Journal of Remote Sensing*, **31**(1), pp. 93 - 115.
- Cracknell, A.P. (2001) *Remote Sensing and Climate Change - the Role of Earth Observation*. Springer Praxis Books.
- Flores-Tovar, H. y Baldasano, JM. (2001). "Solar Radiation Mapping from NOAA AVHRR Data in Catalonia, Spain". *Journal of Applied Meteorology*, **40**(11), pp. 1821-1834.
- Giorgi, F. y Lionello, P. (2008). "Climate change projections for the Mediterranean region". *Global and Planetary Change*, **63**, pp. 90-104.
- Gómez-Chova L. (2008). *Cloud screening algorithm for MERIS and CHRIS multispectral sensors*. Tesis Doctoral, Universidad de Valencia.
- Hartmann, D.L., y Michelsen, M.L. (2002) "No evidence for iris". *Bulletin of the American Meteorological Society*, **83**, pp. 249-254.
- Millan, M.M., Estrela, M.J., Miro, J., (2005) "Rainfall components: Variability and spatial distribution in a Mediterranean area (Valencia region)" *Journal of Climate*, **18**(14), pp. 2682-2705.
- Rossow, W.B., y Y.-C. Zhang, Y.-C. (1995) "Calculation of surface and top of atmosp here radiative fluxes from physical quantities based on ISCCP datasets, 2. Validation and first results". *Journal of Geophysical Research*, **100**, pp. 1167-1197.
- Rossow, W.B., y Schiffer, R.A. (1999) "Advances in Understanding Clouds from ISCCP". *Bulletin of the American Meteorological Society*, **80**, pp. 2261-2288.
- Sanchez-Lorenzo, A., Calbo, J., Brunetti, M. y Deser, C. (2009). "Dimming/brightening over the Iberian Peninsula: Trends in sunshine duration and cloud cover and their relations with atmospheric circulation". *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, **114**, D00D09.
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M. y Miller, H.L. (Eds.) (2007) *Climate Change 2007: The Scientific Basis: Contribution to Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK.
- Sospedra, F., Caselles, V., Valor, E., Di Bella, C., Coll, C., Rubio, E. (2004). "Night-time cloud cover estimation". *International Journal of Remote Sensing*, **25**(11), pp. 2193-2205.
- Saunders, R.W. (1986) "An automated scheme for the removal of cloud contamination from AVHRR radiances over western Europe". *International Journal of Remote Sensing*, **7**(7), pp. 867-886.
- Saunders, R.W., Kriebel, K.T. (1988) "An improved method for detecting clear sky and cloudy radiances from AVHRR data". *International Journal of Remote Sensing*, **9**(1), pp. 123-150.



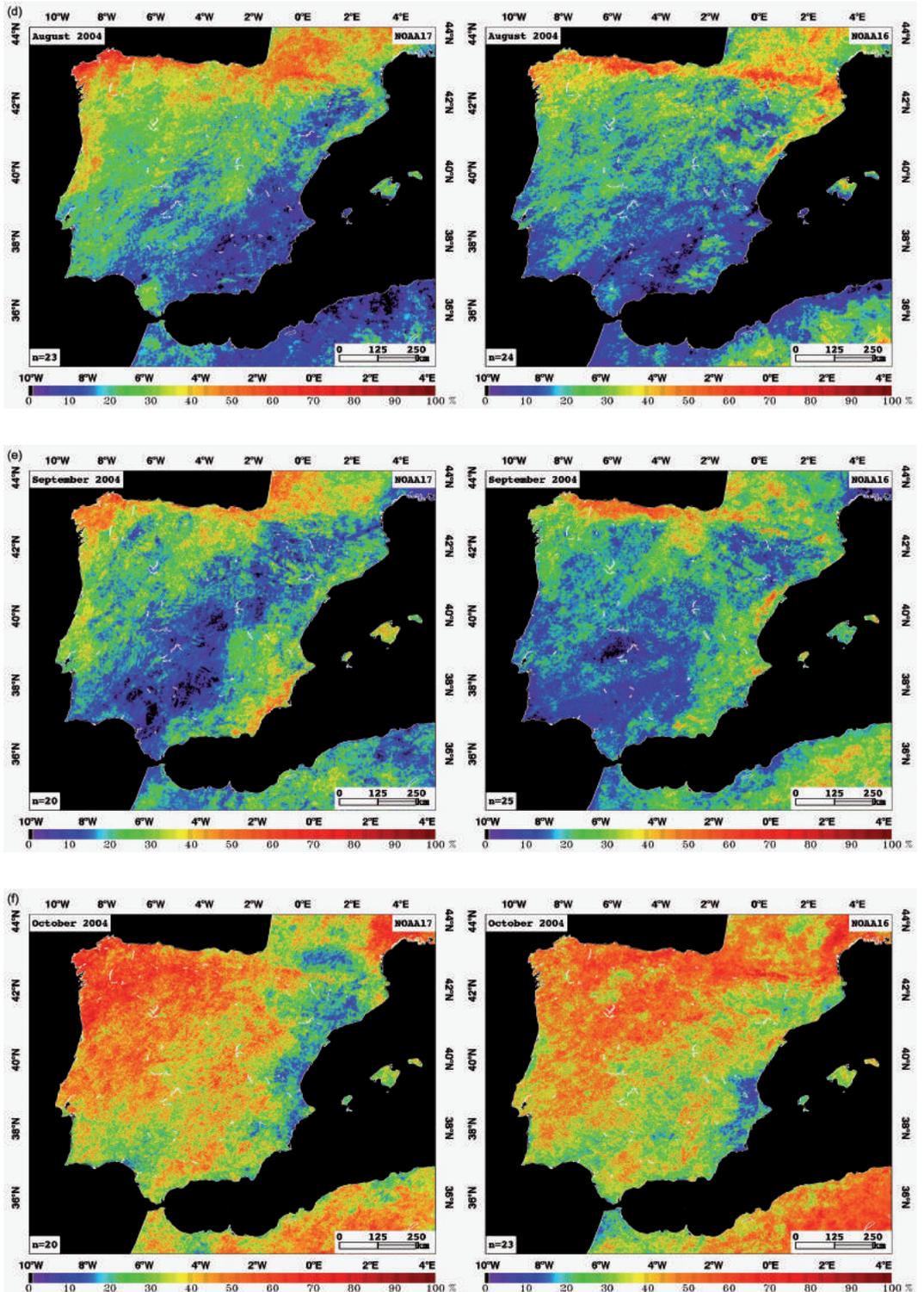


FIG. 7: Mapas de frecuencia de nubosidad convectiva para el satélite NOAA-17 (izquierda) y NOAA-16 (derecha) en (a) mayo, (b) junio, (c) julio, (d) agosto, (e) septiembre, y (f) octubre de 2004.

