

ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LA NUBOSIDAD EN EL NORTE DE LA PROVINCIA DE LUGO

Dominic ROYÉ^{1,2}, Domingo RASILLA³, Alberto MARTÍ¹, Nieves LORENZO⁴,
Norma ABALDE⁵

¹*Departamento de Xeografía, Universidade de Santiago de Compostela*

²*Departamento de Geografía, Universidade de Porto*

³*Departamento de Geografía, Universidad de Cantabria*

⁴*Departamento de Física Aplicada, Universidade de Vigo*

⁵*SICE*

**dominic.roye@usc.es, domingo.rasilla@unican.es, alberto.marti@usc.es,
nlorenzo@uvigo.es, nabalde@sice.com**

RESUMEN

El papel de la nubosidad dentro del sistema terrestre es un elemento clave con importantes efectos en los procesos atmosféricos. En particular, debe destacarse la implicación dentro del balance energético y el ciclo hidrológico, entre otros. Hay muchos bucles de retroalimentación entrelazados y muy complejos entre los elementos del sistema terrestre, como aerosoles u océanos, y un gran número de estos introducen interacciones no lineales. Sin embargo, la comprensión de este papel hasta hace unos años no era clara y aún tiene grandes incógnitas. Los fenómenos mesoescales son difíciles de estudiar, ya que la escala espacial de la información proporcionada por las fuentes habituales no es la más adecuada para el estudio de fenómenos locales. Sin embargo, en los últimos años, la disponibilidad de información con gran resolución espacial está paliando estas carencias. Para el estudio de las nieblas la resolución espacio-temporal es especialmente relevante. El objetivo de este trabajo es mostrar algunas características de las que afectan en primavera y verano a un sector de la provincia de Lugo, el Alto de Fiouco, a partir de la información proporcionada por las imágenes del sensor MODIS y METEOSAT. Estas nieblas son un fenómeno frecuente, que está generando numerosos problemas al tráfico a lo largo de la autovía A-8. La información obtenida mediante teledetección es combinada con fuentes de información tradicionales para determinar su alcance espacial, su dinámica diaria y las situaciones atmosféricas más características para su génesis y evolución.

Palabras clave: nubosidad, nieblas, Lugo, Fiouco, MODIS, METEOSAT.

ABSTRACT

The role of cloudiness within the earth system is known to be a key element which strongly affects atmospheric processes. In particular, its effect on the radiation budget and the hydrological cycle, among others, must be highlighted. There are many intertwined and complex feedback loops between the elements of the earth system, such as aerosols or oceans, with a great number of these introducing nonlinear interactions. Nevertheless, until a few years ago, understanding of this role

was not clear and, indeed, still presents great unknowns. Mesoscale phenomena are difficult to study, since the spatial scale of the information provided is not the most appropriate for local phenomena. However, in recent years, the availability of information with high spatial resolution is alleviating these shortcomings. For the study of fog the spatio-temporal resolution is especially relevant. The objective of this work is to show some characteristics of fog events that affect in spring and summer a northern area of the province of Lugo, the Alto de Fiouco, based on the information provided by MODIS and METEOSAT. These fogs are a frequent phenomenon, which usually generates numerous traffic problems along the A-8 motorway. The information obtained by remote sensing is combined with traditional information sources to determine its spatial scope, its daily dynamics and the main characteristic of atmospheric situations for its genesis and evolution.

Key words: cloudiness, fog, Lugo, Fiouco, MODIS, MeteoSat.

1. INTRODUCCIÓN

Los fenómenos meteorológicos que ocasionan una reducción de la visibilidad causan importantes efectos en el transporte por carretera, ya que, además de incrementar el cansancio del conductor, reducen la velocidad de tránsito e incrementan el riesgo de accidente. Este tipo de fenómenos, habitualmente menos "atractivos" para el investigador, ocasionan en los países desarrollados un número de muertes comparable al de otros fenómenos más cautivadores, como los tornados, las inundaciones o las tormentas (Ashley et al, 2015), confirmando que la niebla es el fenómeno más temido por muchos conductores (Musk, 1991). Según estos trabajos, la mayoría de los accidentes tienen lugar en las carreteras más transitadas, normalmente en invierno y sobre todo durante las horas de tránsito matutino al trabajo.

Pese a que la instalación de dispositivos para la monitorización en tiempo real de las condiciones atmosféricas y del tráfico, al igual que los progresos en la predicción de estos fenómenos en tiempo real ("nowcasting"; Abdel-Aty et al, 2011, 2012) ha conseguido una sustancial reducción de los accidentes, la conducción bajo estas condiciones sigue suponiendo un elevado riesgo de accidentes. Uno de los tramos de la red principal de carreteras en los que la reducción de la visibilidad causa mayores problemas es el Alto del Fiouco, en el tramo de la A-8 que une Mondoñedo y Villalba, en la provincia de Lugo. Las frecuentes condiciones de baja visibilidad son la causa de numerosas incidencias, que culminaron en una colisión múltiple en julio de 2014, causante de la muerte de una persona. A raíz de este fenómeno, el Ministerio de Fomento ha promovido un concurso público de ideas con el que mitigar el problema (https://elpais.com/ccaa/2018/03/15/galicia/1521144504_936804.html).

Este trabajo constituye una primera aproximación al análisis de este fenómeno, utilizando como base la información proporcionada por las imágenes de los satélites Aqua/Terra (sensor MODIS) y METEOSAT, que es combinada con la de fuentes de información tradicionales para determinar su alcance espacial, su dinámica diaria y las situaciones atmosféricas más características para su génesis y evolución.

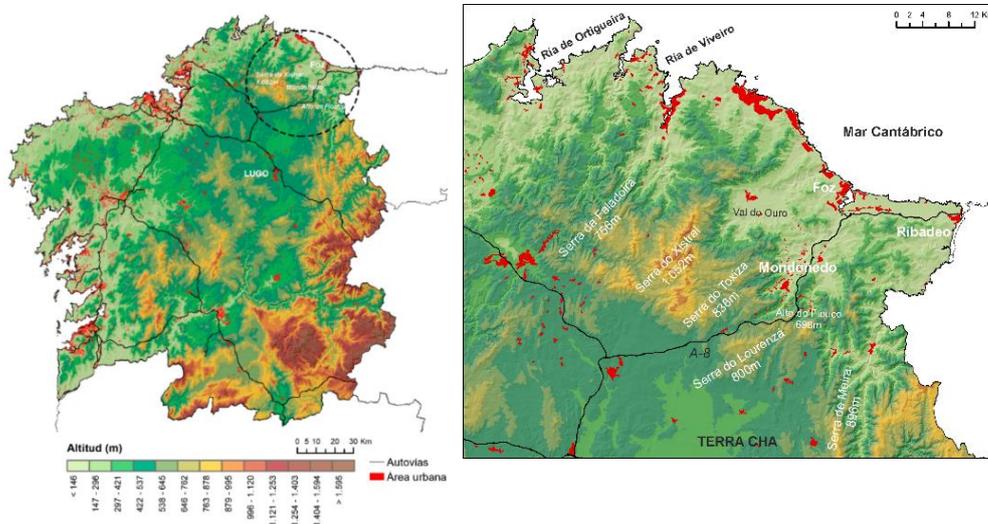


Fig. 1: Localización del área de estudio.

2. FUENTES Y METODOLOGÍA

Para el análisis de la nubosidad y su evolución temporal y espacial se ha utilizado fundamentalmente la base de datos CMSAF-COMET Ed. 1 (Stöckli et al, 2017). Esta base de datos en formato ráster (resolución 0,05°) recopila información obtenida de los satélites METEOSAT, con una resolución temporal horaria. El periodo de análisis ha sido 2011-2015. Para el análisis de la estructura vertical de la atmósfera se ha contado con la información proporcionada por la base de datos IGRA (<https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/weather-balloon/integrated-globalradiosonde-archive>), de la que se extrajeron los niveles significativos correspondientes a la estación de La Coruña (WMO 8001).

3. ÁREA DE ESTUDIO

Desde la desembocadura del río Miño al SO, hasta el río Eo en el extremo NE de Galicia, se extiende una orla de sierras por encima de los 600 y 700 m, unas veces más próximas y otras más alejadas de la costa, que ejercen de barrera natural ante la llegada de los flujos húmedos procedentes del océano Atlántico y del mar Cantábrico. Este hecho tiene una gran relevancia desde el punto de vista climático, pues provoca importantes contrastes espaciales entre los espacios litorales y las tierras del interior, especialmente en los valores de precipitación y de nubosidad.

En el norte de la provincia de Lugo, desde Estaca de Bares hasta la desembocadura del río Eo, se suceden concretamente una serie de relieves abruptos muy próximos a la costa con altitudes comprendidas entre los 750 y los 1.050 m. De oeste a este se localizan las sierras de Faladoira (756 m), Xistral (1.052 m), Toxiza (838 m), Lourenzá (800 m) y Cadeira (776 m). Todo un cordal montañoso que sirve de límite entre la orla litoral cantábrica, con altitudes inferiores a los 150 m y la superficie de

aplanamiento de Terra Chá, que ocupa gran parte de la mitad norte de la provincia de Lugo, con una altitud media en torno a los 500 m. La Serra do Xistral es la más importante de todas, un auténtico macizo configurado por un conjunto de sierras menores. Orientada de SSO a NNE a lo largo de 13 km, supera los 1.000 en varios picos.

A pesar de que son montañas de poca altitud, presentan fuertes pendientes y valles encajados en la vertiente cantábrica, debido a la escasa distancia al mar y al importante desnivel. Condicionados por la estructura y la disposición de estas sierras, los valles tienen generalmente una orientación SSO-NNE, abiertos así a los flujos húmedos procedentes del Cantábrico y favoreciendo su ascenso hasta los sectores más elevados de las sierras próximas. Los valles de los ríos Masma y Batán son los que canalizan concretamente dichos flujos hacia las cumbres de la sierra de Lourenzá, donde se localiza el Alto do Fiouco a 698 m.

Entre Ribadeo y Foz, la Mariña lucense presenta una franja litoral rectilínea y llana conformada por la rasa cantábrica. Un tramo aplanado y estrecho (2,5 a 3 km) que tiene continuidad por Asturias. La Mariña occidental presenta, por el contrario, agudos entrantes (Rias de Viveiro y O Barqueiro) y salientes (Estaca de Bares). Entre la estrecha franja litoral y la orla montañosa el relieve es muy variado, con tramos en los que los ríos (Landro, Ouro, Masma, Batán y Eo) se encajan y forman valles con fondos planos de poca altitud, y otros con relieves más elevados.

Hacia el oeste de Foz la línea de costa se incurva y asciende en latitud, al igual que las sierras más septentrionales del macizo de Xistral, que se alargan hasta casi el borde del mar con altitudes que superan los 500 m. Esta configuración orográfica de la Mariña oriental y central, a modo de anfiteatro abierto al E y NE, veremos que constituye un factor fundamental que explica las peculiares características de la nubosidad en este sector del norte de Lugo.

4. RESULTADOS

4.1 Ciclo anual de la fracción de nubosidad.

La figura 2 muestra la evolución, a lo largo del año, de la fracción de cielo cubierto por nubes sobre el ámbito de trabajo. A partir de ella se deduce la existencia de dos periodos bien definidos, uno durante la estación fría (enero, febrero, noviembre y diciembre) y otro durante la estación cálida (de mayo a septiembre), separados por dos periodos intermedios, de diferente duración, uno primaveral (marzo y abril) y otro otoñal (únicamente octubre). La fracción de cielo cubierto por nubes es más elevada durante el periodo invernal, con promedios que oscilan entre el 60 y el 80%, y su distribución espacial muestra un gradiente N-S, correspondiendo los valores más elevados a las superficies marinas, siendo, por el contrario, la penillanura lucense mucho menos afectada por las nubes. Durante la estación cálida la nubosidad disminuye considerablemente (del 40 al 60%), siendo julio el mes con una menor fracción de cielo cubierto por las nubes; además, el patrón geográfico de la nubosidad no está relacionado con la latitud, sino con la orografía. La zona con mayor nubosidad corresponde a toda la franja que se extiende entre la línea de costa y el reborde montañoso interior, que se inicia al W en las sierras de Faladoira y Xistral, y continua hacia el E por las sierras de Toxiza, Lourenzá y Cadeira. Al N, el

extremo occidental del Cantábrico, y al S, el interior de la provincia de Lugo, muestran cielos mucho menos cubiertos. La mayor frecuencia de situaciones A (31%), N (5%), NE (5%) y E (2.5%) durante los meses centrales del año (mayo-septiembre), frente a un incremento en el número de situaciones del S (2.5%), SO (11%) y O (15%) durante el invierno (noviembre-febrero), es uno de los factores que, como veremos, explica en buena medida este diferente comportamiento estacional de la nubosidad. En los periodos de transición se mezclan ambos patrones espaciales.

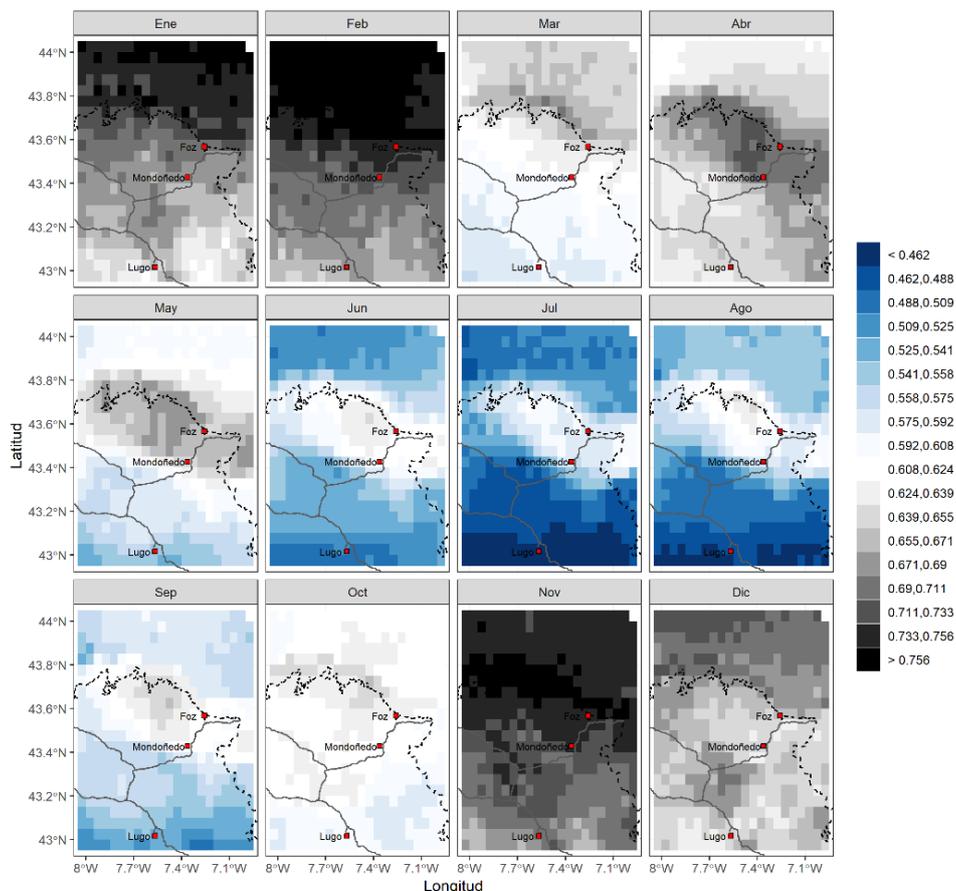


Fig. 2: Ciclo anual de la fracción de la cobertura nubosa en el ámbito de estudio.

Fuente: CM-SAF- COMET ed.01.

La nubosidad de carácter orográfico muestra un ciclo horario muy marcado. Tomando como referencia el periodo cálido antes citado, y analizando la fracción de cielo cubierto según horas, se observa un mínimo durante las horas nocturnas (03 UTC) y un máximo diurno (15 UTC). Analizando con detalle los patrones espaciales de la nubosidad se detectan otros aspectos interesantes. Por ejemplo, el máximo de nubosidad durante las horas nocturnas se ubica frente a la costa lucense, lo cual podría ser el resultado de la condensación de las partículas de aire más frío que

descienden por los valles hasta el mar; la nubosidad va descendiendo progresivamente hacia el interior de Lugo. Sin embargo, durante las horas diurnas el patrón espacial se invierte parcialmente respecto a las nocturnas. La mayor nubosidad se concentra ahora en una franja que se extiende desde la costa hasta la divisoria de las sierras interiores, para ir disminuyendo a sotavento de éstas, al igual que hacia el norte de la línea de costa. Esta diferencia del patrón espacial entre ambos momentos del día podría ser debida al incremento de la velocidad de los vientos de componente N, NE y E durante las horas centrales del día, favoreciendo así la entrada desde el Cantábrico de aire húmedo, retenido y forzado a ascender por las escarpadas vertientes septentrionales de las sierras, provocando así una densa nubosidad de estancamiento.

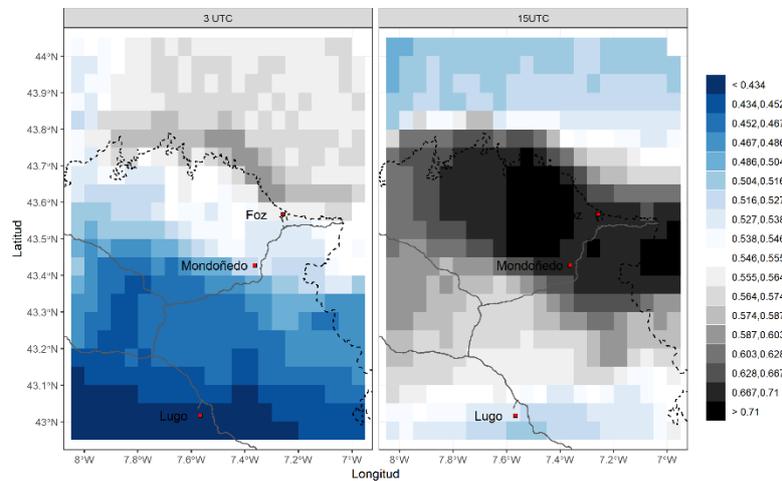


Fig. 3: Ciclo horario de la fracción de la cobertura nubosa durante el periodo mayo-septiembre. Fuente: CM-SAF- COMET ed.01.

4.2 Análisis y clasificación de días con nubosidad orográfica.

Para examinar en detalle las citadas variaciones espaciales y temporales de los patrones de nubosidad, la base de datos, organizada en modo S (cada fila consiste en todas las observaciones a una hora concreta, las columnas conforman cada uno de los puntos de rejilla) fue sometida a un análisis en componentes principales. Para suavizar el peso del ciclo anual de la nubosidad, se calculó la nubosidad media en toda la ventana de trabajo, y este valor fue substraído de todos los registros de nubosidad en cada lapso temporal. Tres fueron los componentes principales considerados significativos. Los mapas de ponderaciones de cada componente principal aparecen en la figura 4, mientras que su evolución temporal (ciclo anual y horario) se representa en la figura 5.

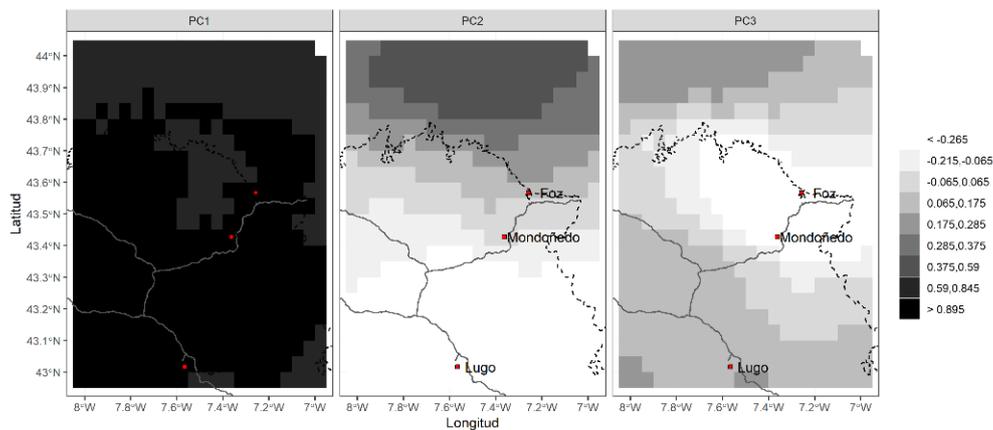


Fig. 4: Componentes principales resultado del análisis de la fracción horaria de la cobertura nubosa. Fuente: CM-SAF- COMET ed.01.

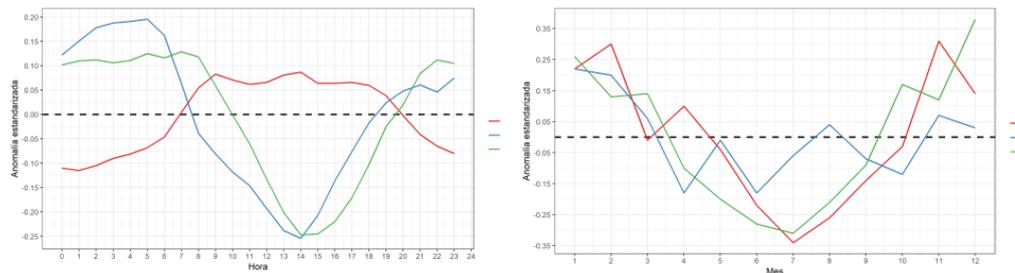


Fig. 5: Evolución temporal de los componentes principales resultado del análisis de la fracción horaria de la cobertura nubosa. Fuente: CM-SAF- COMET ed.01.

El primer componente refleja la variación estacional de la nubosidad en el ámbito de trabajo, máxima en invierno y mínima en verano, mostrando un ligero máximo diurno. El segundo componente muestra un gradiente N-S, con una estacionalidad menos marcada y un ciclo diario con máximo nocturnos y mínimos diurnos. Este patrón podría representar el papel de las circulaciones del N, en una de las fases, y las circulaciones del SW, o también las nieblas de la penillanura interior lucense, en la fase opuesta. El tercer componente es similar al mapa promedio del periodo estival, reflejando que la nubosidad orográfica muestra máximos vespertinos estivales.

4.3 Caracterización dinámica de los días con una nubosidad orográfica destacada.

Considerando el tercer componente como manifestación de la nubosidad orográfica, se seleccionaron todos los mapas (valores horarios) en los que el valor de ese componente era inferior a -1,96 (percentil 5); posteriormente, se seleccionaron e identificaron los días en los que, al menos, 6 mapas (horas) cumplieran dicha condición. La situación atmosférica corresponde a un desplazamiento del anticiclón de las Azores hacia el NE de su posición media estival, acompañado por un reforzamiento de la baja térmica del Golfo de Cádiz. Como consecuencia, el

gradiente de presión en superficie se refuerza frente a las costas de Galicia, siendo buena prueba de ello un máximo de vientos del N y NE.

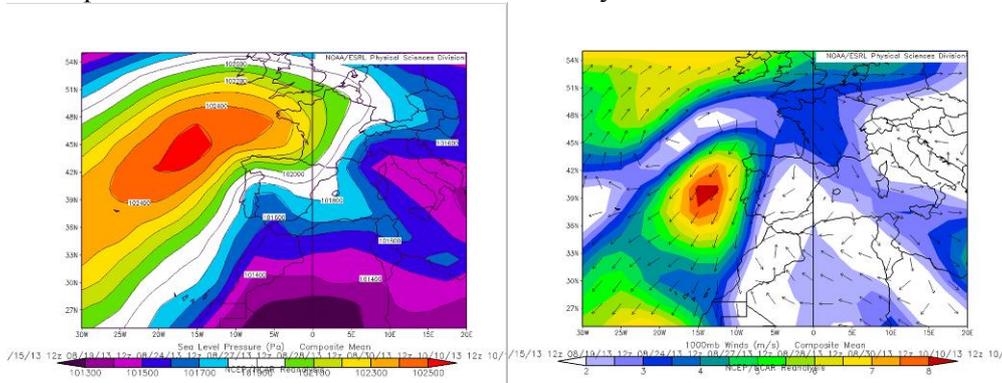


Fig. 6: Mapa medio de la presión a nivel del mar y de la dirección y velocidad del viento correspondiente a los días con un valor del componente 3 $< -1,96$. Fuente: NCEP.

El perfil vertical promedio durante los días seleccionados superpone dos masas de aire con características contrastadas. Desde la superficie hasta unos 925 hPa se aprecia una capa fresca (unos 18°C) y relativamente húmeda ($> 70\%$), cuyo espesor no supera los 600 m de altitud. Por encima, separada por una inversión térmica, se sitúa una masa de aire animada por un movimiento subsidente. Cada una de ellas está animada por movimientos diferentes; en superficie, la componente zonal del viento es claramente negativa, lo que implica un viento del NE; por encima de la inversión, la componente zonal adquiere valores positivos (viento del NW).

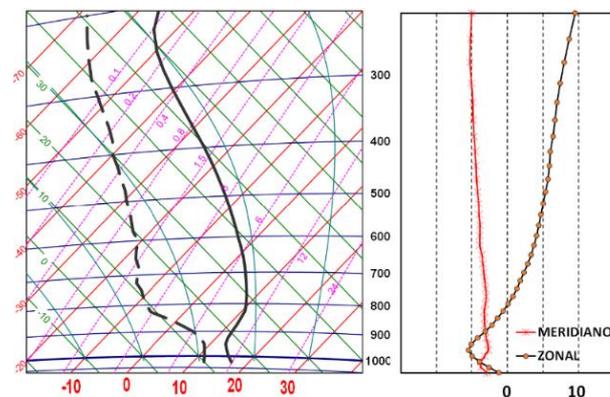


Fig. 6: Sondeo medio correspondiente a los días con un valor del componente 3 $< -1,96$. Fuente: IGRA.

El origen de las nieblas orográficas en el Alto de Fiouco es el ascenso mecánico de la citada masa superficial, que desencadena su condensación por debajo de las cumbres de los relieves costeros. Así lo prueba la distribución altitudinal del nivel de condensación por ascenso (NCA) de los sondeos (La Coruña) correspondientes a los días seleccionados. Una mayoría corresponde al intervalo 601-800 m, es decir, por debajo de las cumbres más elevadas de la zona; dada la frecuente inversión térmica

por encima, las nubes sólo podrían desarrollarse en horizontal, formando una capa casi continua de estratocúmulos pegados a los relieves más elevados.

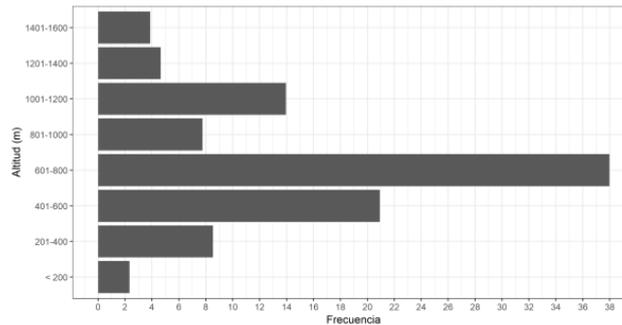


Fig. 7: Altura del nivel de condensación por ascenso correspondiente a los días con un valor del componente 3 <-1,96. Fuente: IGRA.

Las condiciones a escala sinóptica más favorables a los fenómenos descritos, entre los meses de abril y septiembre, corresponden mayoritariamente a los tipos de circulación A, ANE, NE, AN, AE, E (90 %), es decir, situaciones sinópticas que propician vientos del noreste en el norte de Lugo. Estas situaciones arrastran la humedad procedente del Cantábrico, que al chocar con las barreras montañosas, se convierte en nieblas y nubes de estancamiento (Figura 8). Obsérvese la mayor concentración de nubosidad al norte de la provincia de Lugo en los citados tipos de circulación, con respecto al resto de Galicia, donde la nubosidad es mucho menor.

5. CONCLUSIONES

Las singularidades de algunos fenómenos atmosféricos de gran interés para las actividades humanas dificultan su análisis desde una perspectiva climática, ya que escapan a las fuentes habituales de información. El objetivo de este trabajo ha sido mostrar las posibilidades que ofrecen esas nuevas fuentes de información, particularmente las imágenes de los satélites Terra/Aqua (MODIS) y METEOSAT, en combinación con tipos de circulación y sondeos termodinámicos, para estudiar las nieblas que afectan a un peligroso tramo de la autovía A-8, el alto de Fiouco, al norte de la provincia de Lugo. Su origen se debe a un proceso mesoescalar en el que las peculiaridades del relieve de la Mariña lucense tienen un marcado protagonismo. La nubosidad en este sector presenta un ciclo anual y otro diario. En los meses de invierno la nubosidad es más abundante (60-80% de fracción de cielo cubierto) y presenta un claro gradiente latitudinal N-S; sin embargo, entre mayo y septiembre la nubosidad es menor (40-60%) y se concentra en una franja entre la costa y el reborde montañoso interior, que alcanza altitudes entre los 750 y los 1.050 m. Durante estos meses cálidos la nubosidad de estancamiento desaparece prácticamente durante la noche y es más densa durante las horas centrales del día, especialmente entre los 600 y 800 m. Las situaciones atmosféricas más favorables a esta nubosidad de carácter orográfico corresponden a tipos A, N, NE y E, que favorecen la llegada de masas húmedas del Cantábrico, que se convierten en nieblas

y nubes de estancamiento en las vertientes de barlovento de las sierras del interior, dispuestas a modo de anfiteatro abierto hacia el NE.

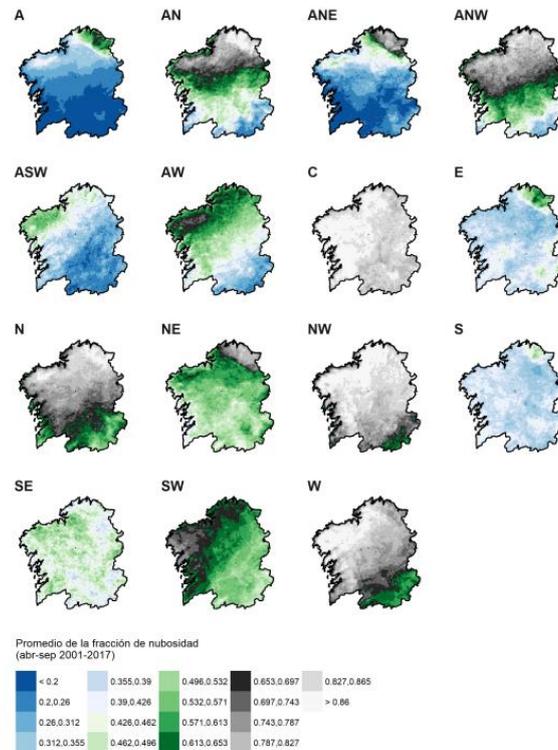


Figura 8: Promedio de la fracción de nubosidad según los tipos de tiempo para los meses de abril a septiembre del periodo 2001-2017.

6. REFERENCIAS

- Abdel-Aty, M; Ekram, A; Huang, H; Choi, K (2011). A study on crashes related to visibility obstruction due to fog and smoke. *Acc. Anal. Prev.*, 43(5):1730-1737.
- Abdel-Aty, M; Hassan, H; Ahmed, M; Al-Ghamdi, A (2012). Real-time prediction of visibility related crashes. *Transp. Res. Part C: Emerg. Technol.*, 24:288-298.
- Ashley, WS; Strader, S; Dziubla, DC; Haberlie, A (2015). Driving blind: Weather-related vision hazards and fatal motor vehicle crashes. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 96:755-778.
- Lorenzo, MN; Taboada, JJ; Gimeno, L (2008). Links between circulation weather types and teleconnection patterns and their influence on precipitation patterns in Galicia (NW Spain). *Int J Climatol*, 28:1493–1505.

Musk, L (1991). Climate as a factor in the planning and design of new roads and motorways. In: Perry, A.H., Symons, L.J. (Eds.), Highway Meteorology. E&FN

Spon, London.

Stöckli, R; Duguay–Tetzlaff, A; Bojanowski, J; Hollmann, R; Fuchs, P; Werscheck, M (2017): CM SAF CIOud Fractional Cover dataset from METeosat First and Second Generation - Edition 1 (COMET Ed. 1), Satellite Application Facility on Climate Monitoring, DOI:10.5676/EUM_SAF_CM/CFC_METEOSAT/V001, https://doi.org/10.5676/EUM_SAF_CM/CFC_METEOSAT/V001.