

TEMPERATURAS MÁXIMAS ESTIVALES EN CANTABRIA: COMPORTAMIENTO ESPACIAL Y MECANISMOS RESPONSABLES

Virginia CARRACEDO, J. Carlos G. CODRON, Susana PACHECO, Domingo RASILLA
GIMENA- Departamento de Geografía, Urbanismo y Ordenación del Territorio,
Universidad de Cantabria

RESUMEN

Los episodios de altas temperaturas en Cantabria están caracterizados por distintas condiciones ambientales, consecuencia de la actuación de mecanismos mesoescalares que modifican los procesos inducidos por la circulación a escala sinóptica. Estos mecanismos son el resultado de la interacción entre el flujo sinóptico, el relieve y los contrastes en el balance energético entre las superficies marinas y las continentales.

Palabras clave: Cantabria, episodios cálidos, circulaciones a escala sinóptica y mesoescala.

ABSTRACT

Warm events in Cantabria are characterized by different atmospheric environments, due to the action of mesoscale mechanisms that modify the features resulting from the synoptic circulation. These mechanisms are consequence of the interplay among the synoptic flow, the orography and the contrasts in the energy balance between the marine and continental surfaces.

Key words: Cantabria, warm events, synoptic and mesoscale circulations.

1. INTRODUCCIÓN

Los episodios de altas temperaturas constituyen uno de los temas de investigación que ha recibido un mayor impulso en los últimos años, en gran medida debido a que una de las principales consecuencias del calentamiento global por efecto antropogénico será una mayor proliferación de este tipo de eventos (MORENO, 2005). La tendencia al aumento de las temperaturas en la Península Ibérica, generalizada desde mediados de los años 70, presenta, no obstante, ritmos diferentes según las estaciones astronómicas, y existen diferencias entre las zonas costeras y las interiores (MIRÓ y ESTRELA, 2004).

A tenor de las “normales climatológicas” no parece que los episodios estivales de calor constituyan un serio riesgo climático en el litoral cantábrico, sino más bien una breve interrupción del ambiente general de frescor. Sin embargo, la experiencia matiza dicha afirmación: en los valles del interior el calor suele “apretar” bastante más que en la costa (donde se ubican la mayoría de los observatorios de referencia), y no son infrecuentes episodios con bruscos contrastes térmicos respecto a los ámbitos costeros.

El presente trabajo persigue como objetivos la caracterización, tanto a nivel espacial como temporal, de las jornadas de calor estival en Cantabria, y un primer análisis de los mecanismos responsables de estos episodios.

2. DATOS Y METODOLOGÍA

Para su elaboración se ha contado con los valores de temperatura máxima diaria, entre 2000 y 2005, de un conjunto de observatorios pertenecientes a la red sinóptica del INM (GLOBALSOD, <http://www.ncdc.gov>), y a la red de estaciones de control de contaminación de la Consejería de Medio Ambiente del Gobierno de Cantabria (Centro de Investigación del Medio Ambiente, CIMA), que también proporcionó datos cada 15 minutos de dirección y velocidad del viento, temperatura, humedad, presión y radiación (Fig. 1). Su comportamiento espacio-temporal fue analizado mediante un Análisis en Componentes Principales (ACP). Los sondeos del Centro Meteorológico Territorial de Santander han permitido conocer los rasgos fundamentales de la estructura vertical de la atmósfera (<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>). Finalmente, la evolución estacional de las temperaturas, relacionada con factores astronómicos, fue minimizada considerando periodo estival al intervalo que abarca desde el 16 de junio al 15 de septiembre.

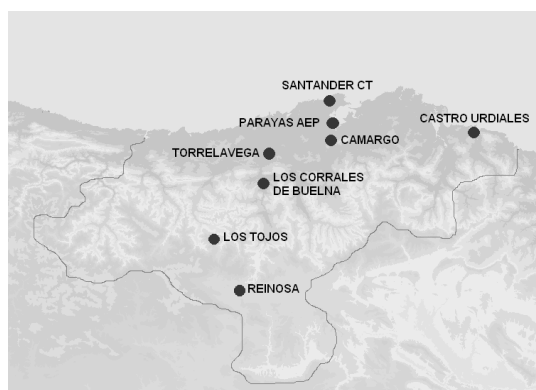


Fig. 1: Localización de los observatorios meteorológicos.

La circulación atmosférica a escala sinóptica correspondiente a estos episodios fue descrita a partir de la elaboración de mapas combinados de altura del nivel geopotencial de 850 hPa y de dirección y velocidad del viento en ese mismo nivel isobárico (<http://www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis/reanalysis.shtml>), con el fin de realizar una primera aproximación a los mecanismos atmosféricos desencadenantes de estos episodios.

3. RESULTADOS

3.1 Regionalización de las jornadas cálidas en Cantabria.

Una primera aproximación a este tipo de eventos lo constituye el análisis de la frecuencia de días con temperaturas máximas superiores a los 25°C (Fig. 2). Su frecuencia en los observatorios costeros (Santander-CMT, Parayas-Aeropuerto y Castro Urdiales) es relativamente baja, con un desplazamiento de su máximo al final del verano (agosto). La singularidad de Castro Urdiales responde, amén de una ubicación en un centro urbano, a una

TEMPERATURAS MÁXIMAS ESTIVALES EN CANTABRIA: COMPORTAMIENTO ESPACIAL Y MECANISMOS RESPONSABLES

localización oriental, accesible a las advecciones meridionales por el descenso de altitud de la Cordillera Cantábrica. En los valles interiores (Los Corrales, cuyos datos no aparecen en el gráfico) la estacionalidad es similar, pero se aprecia un aumento de su frecuencia. En altitud (Los Tojos y Reinosa) se reduce su número y se modifica su estacionalidad, con un doble máximo: agosto y junio mantienen su primacía, con un mínimo relativo en julio. Su carácter de ámbito de transición queda patente al compararlos con la evolución estacional de este tipo de jornadas cálidas en Burgos-Villafraja, donde los rasgos continentales son evidentes por el espectacular aumento de su frecuencia y una estacionalidad en la que prima el corazón del verano (julio y agosto).

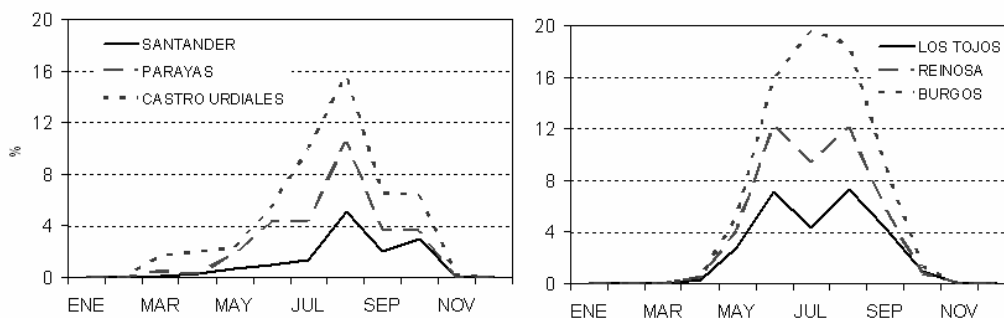


Fig. 2. Frecuencia mensual en el nº de jornadas cálidas ($T_{max} > 25^{\circ}$) en Cantabria.

A la hora de definir qué es una jornada de calor en Cantabria, los contrastes espaciales observados en las líneas previas aconsejan la elección de un umbral basado en la distribución de frecuencias de las temperaturas. La aplicación de un Análisis en Componentes Principales (ACP) no rotado no sólo satisface esta necesidad, jerarquizando el conjunto de jornadas, sino que también descubre comportamientos diferenciados entre unos observatorios y otros. La mayor parte de la variabilidad de las temperaturas máximas diarias (93 % de la varianza) es explicada por dos únicos componentes. El primero (83 %) cuantifica la magnitud de las temperaturas máximas, y dadas las dimensiones de la región, ningún observatorio manifiesta un comportamiento singular. En cambio, el segundo (10%) muestra el comportamiento diferenciado de los observatorios costeros respecto a los interiores.

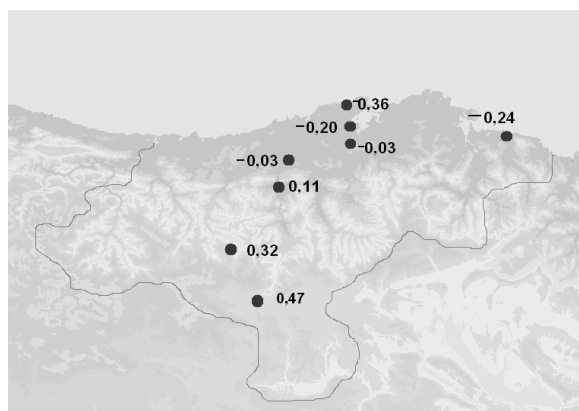


Fig. 3: Ponderaciones o pesos del 2º componente principal.

Estación	1	2
Castro	30,4	27,3
Guarnizo	30,4	29,0
Torrelavega	29,7	28,2
Los Corrales	29,9	30,5
Los Tojos	26,4	30,2
Reinosa	26,6	33,6
Parayas-Aer	29,3	26,4
Santander-CT	27,6	23,8

Tabla 1: TEMPERATURA MÁXIMA DIARIA ($^{\circ}\text{C}$) EN CADA GRUPO O TIPO DE TIEMPO

El primer componente sirvió como índice térmico regional para cuantificar la intensidad del calor en Cantabria, seleccionándose las jornadas correspondientes al último quintil (el 20 % de los días más cálidos). Los valores del segundo componente discriminaron las jornadas cálidas con altas temperaturas en la costa (Grupo 1, primer quintil) y las homónimas con altas temperaturas en el interior (Grupo 2, último quintil).

3.2. Características temporales.

El primer grupo comprende 23 episodios y 32 días, 3 de ellos persistieron a lo largo de 3 días consecutivos, mientras 5 tuvieron una duración de 2 días. La mayor parte, en especial los más persistentes, ocurrieron en la segunda quincena de agosto; el resto del verano se mantuvo por debajo de su nivel, debido a la menor persistencia de esos eventos. El segundo grupo, correspondiente a las jornadas con temperaturas proporcionalmente más elevadas en el interior de Cantabria, comprende un total de 40 días organizados en 30 episodios, predominando los de un único día; tan sólo dos alcanzaron 3 días consecutivos mientras 6 perduraron dos días. A diferencia de los primeros, afectaron sobre todo a la 1ª quincena de julio, aunque fueron también abundantes en la 2ª quincena de junio.

3.3. Caracterización sinóptica.

Los mapas medios combinando la altura del geopotencial y el viento a 850 hPa durante cada tipo de evento muestran que la circulación a escala sinóptica no aporta una información excesivamente relevante. En efecto, muestran una circulación procedente de latitudes meridionales, propiciada por una dorsal al SE de la Península Ibérica y una vaguada sobre el Atlántico N, más próxima en el primer grupo. Este conjunto, correspondiente a días cálidos en la costa, corresponde casi exclusivamente a *suradas*. Con este nombre se conocen las irrupciones de un viento cálido y seco, el Sur, que sopla en toda la Cornisa Cantábrica, sobre todo en otoño e invierno. Está vinculado a una perturbación frente a la costa de Galicia, cuyo flanco meridional dirige masas de aire atlánticas, cuyas características termodinámicas son diferentes a la de sus homólogas estivales.

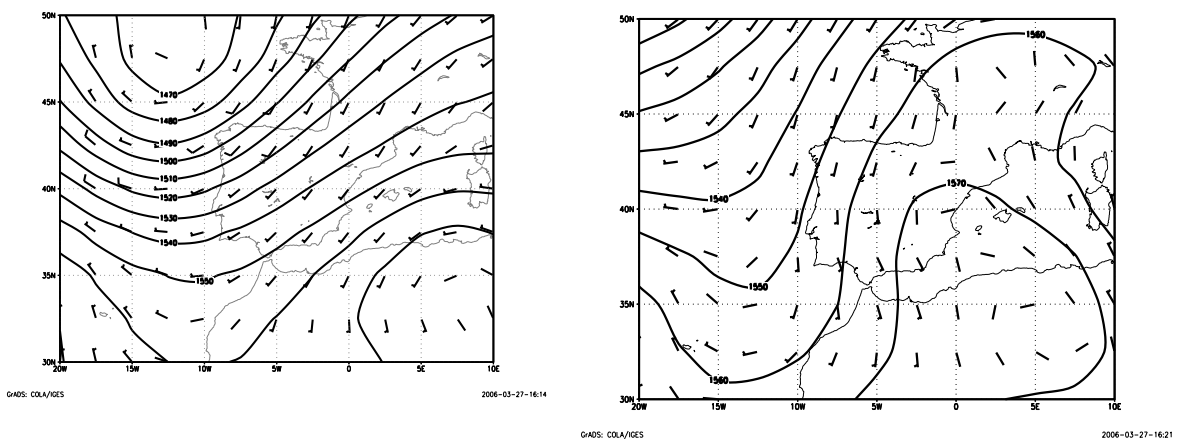


Fig. 4: Mapas combinados de altura de 850 hPa y viento en el mismo nivel asociados a los dos tipos de jornadas cálidas en Cantabria.

Las jornadas con altas temperaturas en el interior corresponden a una mayor variedad de situaciones en superficie, pero en casi todas ellas el denominador común es una dorsal en los niveles medios de la troposfera, cuyo eje se sitúa sobre la costa mediterránea, con una circulación mucho menos vigorosa en altura.

3.4. Caracterización dinámica.

Los datos proporcionados por los sondeos de Santander-CMT a las 12 UTC aportan más información sobre la estructura vertical de la atmósfera durante estos eventos, sugiriendo un papel relevante del viento a 850 hPa (altitud que coincide aproximadamente con la de la divisoria cantábrica) como uno de los mecanismos causantes de las diferencias térmicas entre la costa y el interior de Cantabria (Fig. 5). Cuando las temperaturas máximas se concentran en la costa los vientos predominantes a 850 hPa soplan del SSW, SW y WSW, mientras que cuando las temperaturas más altas se registran en el interior se aprecia una mayor diversidad, ya que junto a los vientos del SSW y S, existe un segundo máximo de frecuencia que abarca desde el WSW al NW. Con todo, la diferencia más significativa es la velocidad del viento: no es infrecuente que supere los 15-20 nudos en el primer grupo, frente a los 8-12 nudos en el segundo.

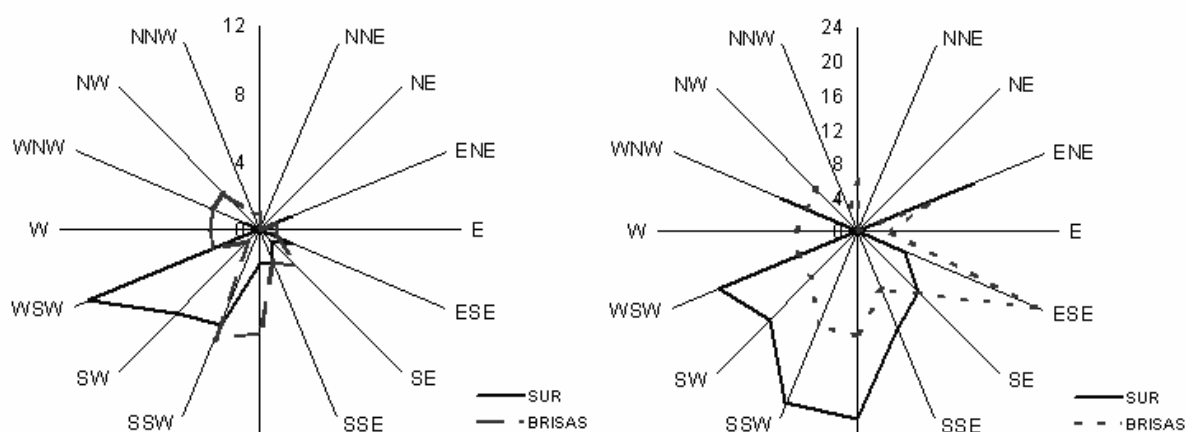


Fig. 5: Dirección (izda.) y velocidad (dcha.) del viento a 850 hPa durante los episodios de altas temperaturas según tipos de tiempo.

Igualmente, las capas bajas de la atmósfera muestran sensibles diferencias entre ambas situaciones. Efectivamente, el rasgo más destacable durante las *suradas* es la gran homogeneidad vertical (Fig. 6). La temperatura desciende siguiendo un gradiente próximo a la adiabática seca (comportamiento común de las masas de aire que sufren una compresión durante su descenso a lo largo de la vertiente de sotavento), mientras la humedad relativa se mantiene por debajo del 50 %, salvo en las proximidades de la superficie y, de forma puntual, en torno a los 400 m. Esta anomalía podría corresponder a un rotor, ya que coincide con una disminución considerable de la velocidad del viento y una tendencia al aumento de la temperatura potencial del termómetro húmedo; por debajo de su nivel, es apreciable un incremento de la velocidad del viento, que coincide con un descenso de la temperatura potencial, rasgos característicos de un chorro de vientos a baja altura, un rasgo típico de las *suradas*.

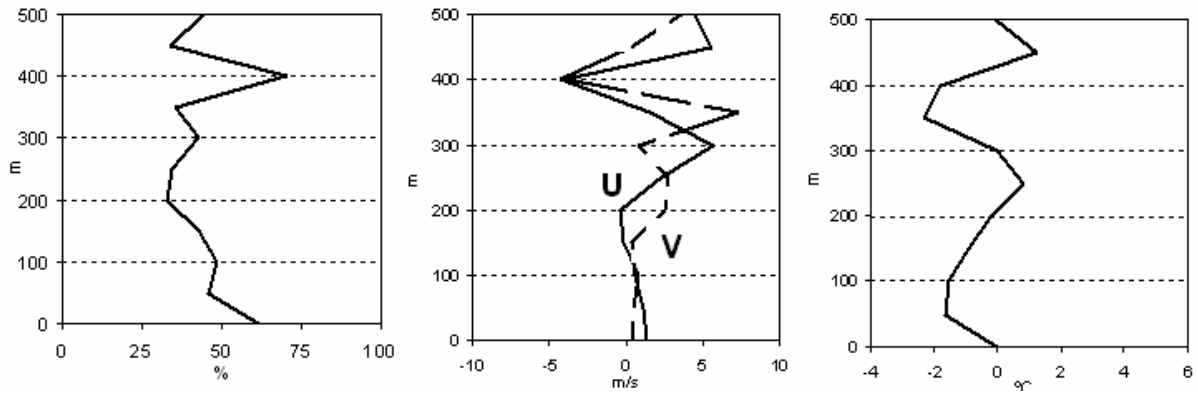


Fig. 6: Estructura vertical de la atmósfera (humedad relativa, izquierda; componentes zonal y meridiana del viento, centro; gradiente de la temperatura potencial del termómetro húmedo, derecha). Altas temperaturas con viento Sur.

El rasgo más destacable de las situaciones de altas temperaturas en el interior es la superposición de dos masas de aire (Fig. 7). En superficie, una fresca y húmeda (humedad relativa superior al 70 % y gradiente vertical negativo de la temperatura potencial del termómetro húmedo). Los valores negativos de las componentes zonal y meridiana del viento identifican a este flujo como una brisa marina, que sopla habitualmente del NE en la costa de Cantabria. La masa en altura es relativamente más cálida y muy seca (alrededor del 50 % de humedad relativa, gradiente positivo de la temperatura potencial del termómetro húmedo), y se mueve bajo un viento procedente de latitudes meridionales (valor positivo del componente meridiana del viento), probablemente de origen continental, aunque es difícil saber si proviene del N de África, de la propia Meseta o es una mezcla de ambas.

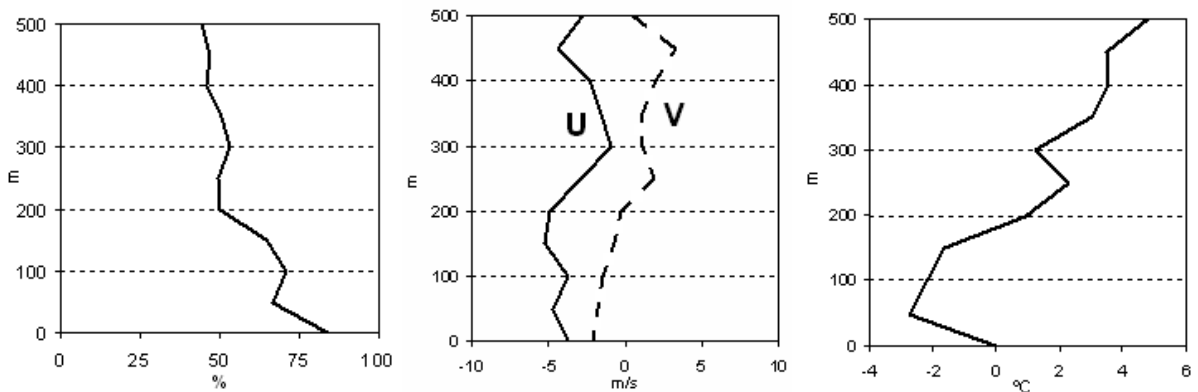


Fig. 7: Estructura vertical de la atmósfera (humedad relativa, izquierda; componentes zonal y meridiana del viento, centro; gradiente de la temperatura potencial del termómetro húmedo, derecha). Altas temperaturas con advección húmeda en la costa.

Dada su originalidad, se procedió a un análisis más profundo de los rasgos de ésta última estructura vertical de la atmósfera. La consecuencia más destacada de la superposición de dos masas de aire con propiedades termodinámicas tan diferentes es una notable inversión térmica, que se caracterizó gracias a los siguientes parámetros (Fig. 8):

TEMPERATURAS MÁXIMAS ESTIVALES EN CANTABRIA: COMPORTAMIENTO ESPACIAL Y MECANISMOS RESPONSABLES

1. DIF_BASE: diferencia entre la temperatura de superficie y la de la base de la inversión.
2. DIF_TECNO: diferencia entre la temperatura de superficie y la del techo de la inversión.
3. POT diferencia entre las temperaturas en la base y el techo de la inversión.
4. ALTURA de la base de la inversión

Su altura modal se sitúa entre los 100 y 200 m (más del 40 % de los días), aunque puede llegar a alcanzar los 800 m, o convertirse ocasionalmente en una fina película de aire húmedo inferior a los 100 m. La diferencia térmica entre su base y su cima alcanza, por término medio, casi los 5° C, aunque ha habido casos de hasta 9° C.

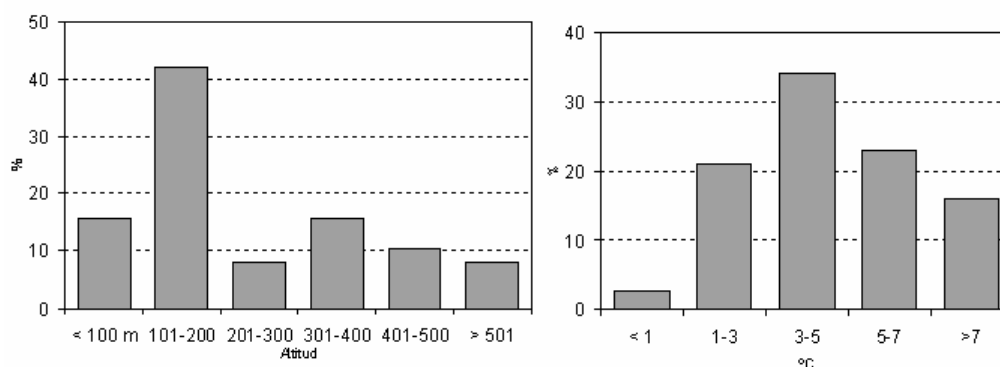


Fig. 8: Frecuencia de la altura máxima de la capa de aire húmedo y de la potencia (°C) de la inversión térmica.

El contraste térmico entre el litoral y el interior de Cantabria, medido por el valor del 2° componente obtenido del ACP, muestra una clara relación con la temperatura del techo de la inversión y su potencia. Es decir, el calor en el interior de Cantabria está determinado por la intensidad y potencia de la advección cálida en altura, lo que pone de manifiesto una rápida continentalización del clima oceánico, y explica los matices mediterráneos de algunas comarcas como Liébana o Polaciones, resguardadas por el relieve de la influencia moderadora de las brisas.

	°C TECHO	°C BASE	POT °C	ALTURA
2° CP	**0.66	0.28	**0.57	0.06
ALTURA (m)	-0.13	** -0.50	0.13	

Tabla 2: CORRELACIONES (r de Pearson) ENTRE EL VALOR DEL 2° COMPONENTE DE LAS TEMPERATURAS MÁXIMAS Y LA ALTURA DE LA CAPA HÚMEDA, Y DIVERSOS PARÁMETROS LIGADOS A LAS INVERSIONES TÉRMICAS (** significativos con un nivel de probabilidad del 95%)

3.5. Análisis de las circulaciones mesoescalares asociadas a las jornadas de calor.

De todo lo expuesto se deduce que la ocurrencia de ambos tipos de situaciones no reside sólo en factores sinópticos, sino también en mecanismos de índole mesoescalar, ligados a los contrastes en el balance de energía entre un mar, relativamente fresco en verano como el Cantábrico, y un interior montañoso, al que se adosa el bloque elevado meseteño. Los datos

meteorológicos de humedad y componente meridiana del viento, obtenidos de las estaciones de contaminación del CIMA cada 15 minutos, nos han ayudado a conocer las características de esas circulaciones mesoescalares.

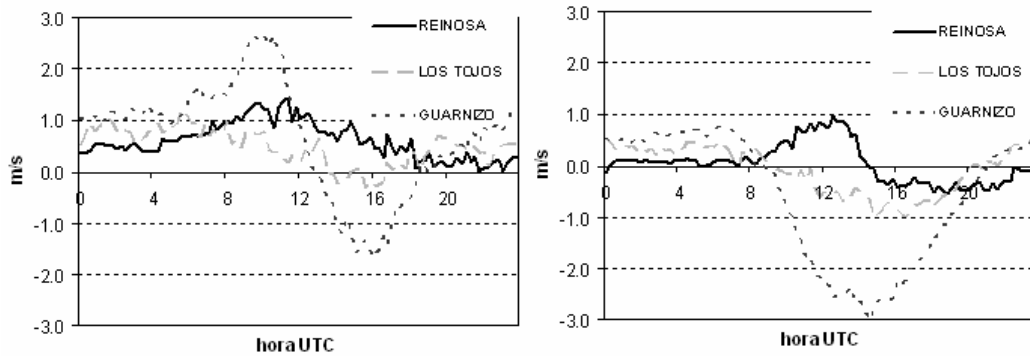


Fig. 9: Evolución de la componente meridiana del viento (m/s) durante las *suradas* (grupo 1, izquierda) y los episodios de advección marítima en la costa (grupo 2, derecha).

Durante las *suradas*, y a excepción de Reinosa, donde predominan vientos del S todo el día, se observa una inversión de la componente meridiana del viento a mediodía (Fig. 9). Efectivamente, desde las 20 horas UTC a las 13 UTC del día siguiente sus valores son positivos (componente S), mientras durante las horas vespertinas adquiere valores negativos (componente N). La suave componente nocturna debe ser interpretada como la típica brisa terral asociada al relativo enfriamiento de la vertiente septentrional de la Cordillera Cantábrica, convertida en una *surada* a partir de las 05 UTC, con un máximo entre las 08 y las 12 UTC. Cabe destacar, por último, la aceleración sufrida por éstas a sotavento en comparación con los valores del viento a barlovento.

Respecto a las situaciones con altas temperaturas en el interior (grupo 2), el campo de vientos se simplifica: la componente meridional nocturna (brisa terral) es sustituida a partir de las 8 de la mañana por una septentrional (brisa marina), alcanzando su máxima intensidad en valles interiores que aceleran el viento (Los Corrales). Se observa, no obstante, cómo en la vertiente meridional (Reinosa) la componente N aparece más tarde, ya que incluso a lo largo de la mañana se asiste a una intensificación de la meridional.

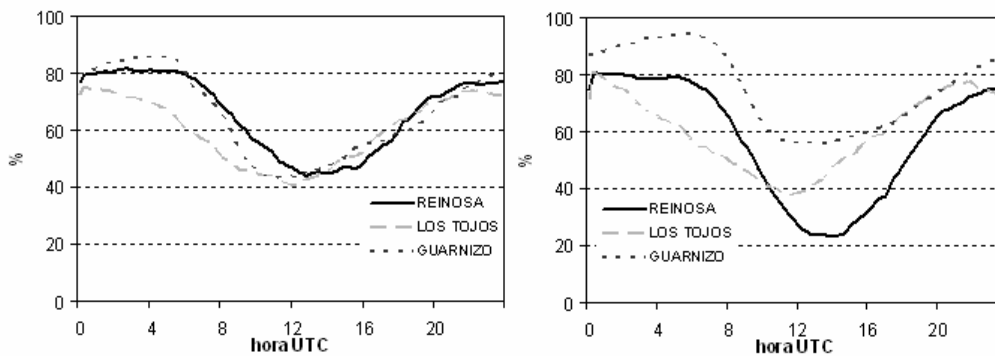


Fig. 10: Evolución de la humedad relativa (%) en situaciones de altas temperaturas con Sur (izquierda) y con advección marina (derecha).

El efecto de estas circulaciones sobre la humedad es considerable (Fig. 10). En las *suradas* las diferencias regionales son insignificantes; las altas temperaturas y la sequedad no provienen de la devolución a la atmósfera de calor latente (los valores de radiación tampoco muestran sensibles contrastes), sino del calentamiento adiabático por compresión a lo largo de su descenso desde la divisoria a la costa cantábrica. La sustitución vespertina del sur por una brisa marina explica la disimetría en los valores horarios de humedad, cayendo de manera más abrupta por la mañana.

Mayores contrastes se perciben, lógicamente, en el caso de las entradas de aire marítimo. En los observatorios próximos a la costa no desciende por debajo del 55%, mostrando su evolución horaria el efecto de la progresiva intensificación de este flujo húmedo durante el día. Por el contrario, en el interior la humedad desciende considerablemente, y en el caso de Reinosa su evolución diurna se retrasa a mediodía, en relación con el momento de máxima recepción de energía solar. En Los Tojos, próximo a la divisoria pero aún en la vertiente septentrional, se detecta un comportamiento singular, dado que la curva muestra una disposición mucho más plana. Sin descartar problemas en los sensores, podría explicarse por los efectos combinados de altitud y localización meridional, que lo somete permanentemente a los efectos de las advecciones cálidas en altura, y de su emplazamiento en una ladera, favoreciendo su descenso hacia el fondo del valle. El emplazamiento de Reinosa en el fondo de un valle limita el movimiento nocturno (valores casi nulos del componente meridiano del viento), favoreciendo procesos de enfriamiento y humificación asociados a la masa de agua del pantano del Ebro (GARCÍA CODRON, 1995).

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La combinación de un territorio abrupto y un mar como el Cantábrico con una peculiar dinámica estival, favorece la génesis de circulaciones mesoescalares que modifican las condiciones atmosféricas a escala sinóptica, y se convierten en claros condicionantes de la climatología regional.

Las altas temperaturas son más frecuentes en Cantabria de lo que cabe deducir a partir de los valores suministrados por los observatorios costeros. Responden fundamentalmente a situaciones similares a escala sinóptica, pero sensiblemente diferentes, debido fundamentalmente a las circulaciones a mesoescala.

El verano no es la estación más propicia para la génesis de *suradas*, ya que las perturbaciones de latitudes medias circulan a partir de las Islas Británicas. Sus ocasionales irrupciones no tienen la duración ni la persistencia de sus homólogos invernales, ni las masas de aire presentan las mismas características. Ello no obsta, sin embargo, para que, si se cumplen determinadas condiciones, surjan perturbaciones orográficas en el flujo sinóptico (ondas de montaña, saltos hidráulicos, chorros a baja altura; RASILLA, 1996) que lo transforman en *suradas* (Fig. 11A) capaces de elevar considerablemente las temperaturas al final de su recorrido, la costa, y acelerándose en el fondo de los valles al atravesar valles estrechos y longitudinales (*efecto venturi*: Besaya, Miera).

La llegada de masas de aire cálido de procedencia meridional está vinculada a grandes dorsales de la circulación del oeste. El marco sinóptico impide la conversión del flujo en altura en un viento descendente, por lo que los contrastes en el balance energético regional

favorecen la génesis de un gran vórtice sobre la vertiente septentrional de la Cordillera Cantábrica, en cuya rama superior persiste un flujo de componente meridional, mientras en su ramal de superficie las brisas arrastran masas de aire húmedo hacia el interior de Cantabria (Fig. 11B).

Cabe preguntarse cuánto penetran estas brisas en el interior de Cantabria y con qué características. Parece evidente que el flujo superficial nacido como brisa en la costa de Cantabria avanza progresivamente hacia el interior, aunque bastante más seco y cálido, alcanzando la divisoria por la tarde. Aunque no es posible afirmarlo de manera taxativa, una inspección visual de las rosas de viento en Burgos-Villafraja y Logroño-Agoncillo plantea que la elevada frecuencia de vientos de componente NE y NW en verano correspondería a una prolongación de dichas brisas.

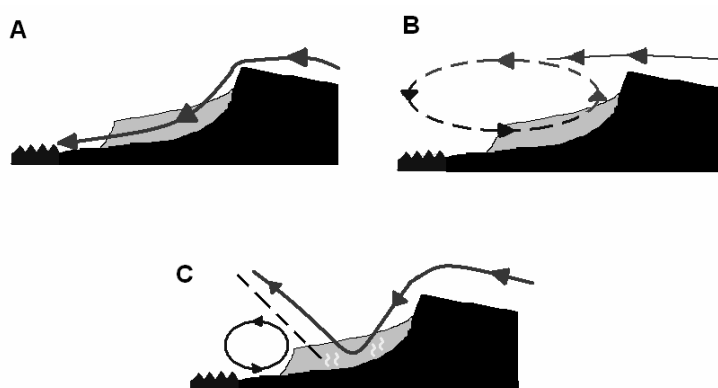


Fig. 11: Mecanismos que explican los distintos flujos mesoescalares.

La desaparición a mediodía de las *suradas* y su sustitución por brisas es explicable por esos mismos mecanismos mesoescalares, y en especial, la reducción que experimenta la estabilidad de las capas bajas por la convección diurna. En cualquier caso, como conclusión definitiva, el clima oceánico sufre una rápida continentalización a medida que nos alejamos de la costa y deja de beneficiarse de los efectos dulcificadores de las circulaciones mesoescalares ligadas a los contrastes térmicos entre continentes y océanos.

5. AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo no hubiera sido posible sin la colaboración del Centro de Investigación del Medio Ambiente de Cantabria (CIMA), dependiente de la Consejería de Medio Ambiente del Gobierno de Cantabria, por la cesión de los datos de la “Red de control y vigilancia de la calidad del aire”.

6. BIBLIOGRAFÍA

ARTECHE, J.L.; SANZ, M.P. y ORTIZ, F.J. (2004). “Caracterización de la brisa en Santander”. En: FERNÁNDEZ DE ARRÓYABE, P. *et al.*; (Coords.). *El clima, entre el mar y la montaña*. Publicaciones de la AEC, Serie A, nº 4, pp. 195-203.

TEMPERATURAS MÁXIMAS ESTIVALES EN CANTABRIA: COMPORTAMIENTO ESPACIAL Y MECANISMOS RESPONSABLES

MIRÓ, J.J. y ESTRELA, M.J. (2004). "Tendencia de la temperatura en los meses de julio y agosto en la Comunidad Valenciana en las últimas décadas: cambios en la frecuencia de días calurosos". En: FERNÁNDEZ DE ARRÓYABE, P. *et al* (Coords.). *El clima, entre el mar y la montaña*. Publicaciones de la AEC, Serie A, nº 4, pp. 389-398.

GARCÍA CODRON, J.C. (1995). "El impacto climático de los embalses cantábricos". *Serie Geográfica*, vol. 4, pp. 33-42.

MORENO, J. M. (Coord). (2005). *Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático*. Ministerio de Medio Ambiente y Universidad Castilla-La Mancha, 846 pp.