

Desarrollo de vientos locales de origen térmico en el valle del río Sil

*Rafael Sánchez González, M^a Luisa Orro Arcay
C. M. T. en Galicia.*

1.- Resumen.

En la localidad de Puebla de Trives, en la zona nororiental de la provincia de Ourense, a 750 metros de altitud, se vienen efectuando medidas de viento desde 1994 mediante una estación automática perteneciente a la Agencia Estatal de Meteorología. Los registros obtenidos presentan un comportamiento que difiere considerablemente del seguido por otros observatorios próximos. Las medidas muestran, en días de dominio anticiclónico, con vientos sinópticos poco relevantes, una clara periodicidad. Este régimen periódico se traduce, especialmente durante el verano, en una frecuencia de la componente oeste muy superior a la de los observatorios del entorno.

En este trabajo se pretenden relacionar estas anomalías respecto del régimen de vientos característico de la zona noroeste peninsular con la presencia de vientos locales de origen térmico generados a lo largo del curso bajo del río Sil, antes de su desembocadura en el Miño. Las características del valle del Sil en esta comarca resultan idóneas para la generación de los denominados vientos de valle y de ladera. La posición del punto de medida, a 750 metros de altitud, en la ladera noreste de la Serra de Queixa, permite el registro no sólo de los vientos de valle y de ladera, sino también de las contracorrientes que, asociadas a los mismos, discurren a cierta altura. A partir de los datos proporcionados por esta estación, se realiza un breve análisis estadístico de la frecuencia y características básicas de dichos vientos.

2.- Introducción.

2.1- Descripción del entorno geográfico.

El centro y noreste de la provincia de Ourense, así como el sureste de la de Lugo presentan los mayores relieves de Galicia, con más de 2000 metros de altitud en Peña Trevinca y alrededor de 1700 en Manzaneda, junto con profundas depresiones donde la altitud llega a ser del orden de 300 metros, por las que discurren ríos como el Sil y el Bibei. Esta configuración del terreno repercute sobre el clima de estas comarcas; en este área se localizan algunas de las zonas más áridas de Galicia, con clima de claros rasgos mediterráneos en el valle del Sil.

En las proximidades de O Barco de Valdeorras, la depresión del Sil, orientada en sentido este-oeste, alcanza unos 5 Km de anchura, a una altitud media de 330 metros y se encuentra rodeada de sierras de 700-800 m de altitud. La cuenca del Bibei discurre hacia el norte y desemboca en el Sil cerca de Trives. Entre Trives y Quiroga, la dirección del valle cambia a sureste-noroeste; presenta una anchura de 3 a 4 Km con altitudes medias situadas entre 300 y 400 metros y aparece rodeada por sierras de unos 1000 metros de altitud. En A Ribeira Sacra, entre Ribas de Sil y Os Peares, el río se encaja entre pizarras originando pendientes del 70 % en algunos puntos, al tiempo que se orienta en dirección noreste-suroeste en el primer tramo. Este fuerte gradiente de altitud genera unos notables contrastes climáticos; el clima de montaña que se observa en las zonas más altas, con mínimas medias invernales negativas, máximas estivales suaves y abundantes precipitaciones, contrasta con un clima relativamente cálido y seco, de rasgos mediterráneos, al lado del río. De hecho, en estas tierras, donde la escasa altitud se une a un cierto efecto de sombra pluviométrica respecto de los vientos húmedos

del SW provocado por la Serra de Queixa, se localiza alguno de los mínimos pluviométricos de Galicia con un valor medio anual de precipitación inferior a 800 mm.

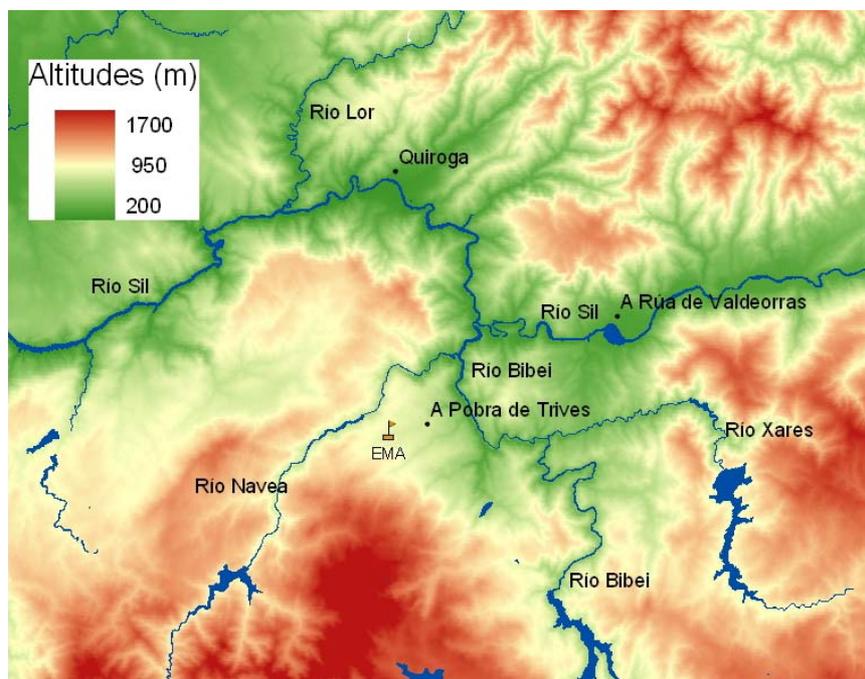


Figura 1. Entorno geográfico y localización de la estación de Puebla de Trives.

En la ladera noreste de la Serra de Queixa, unos cuatro kilómetros al suroeste de la localidad de Trives (Figura 1), se realizan desde 1994, por medio de una estación automática perteneciente a la Agencia Estatal de Meteorología, medidas, entre otros parámetros, de viento. El accidentado entorno de la estación canaliza el viento y se refleja claramente en la distribución de frecuencias del mismo para cada dirección, además de contribuir, como veremos en los próximos apartados, a generar vientos locales de origen térmico.

2.2- Vientos de valle y de ladera.

El estrecho valle del Sil constituye una estructura geográfica ideal para el desarrollo de vientos locales de origen térmico. En realidad, el sistema responsable de la aparición de estos vientos se completa con las comarcas de Monforte y Ourense, donde los gradientes de altitud se suavizan notablemente. Durante el día, la radiación incidente sobre una unidad de superficie horizontal sirve para calentar un menor volumen de aire en el cañón del Sil, donde buena parte del espacio situado bajo dicha unidad de área está ocupado por montañas, que en el entorno de Monforte y Ourense, donde la orografía es mucho más llana. Resulta, por tanto, que el mayor calentamiento del aire que ocupa el cañón del Sil se traduce, a una altitud dada, en un gradiente de presión que hace fluir el aire en dirección opuesta al curso del río. Durante la noche, se produce el proceso inverso, el enfriamiento del aire es, por la misma razón antes apuntada, más intenso en el cañón del Sil que en las comarcas de menor gradiente de altitud situadas río abajo. La variación de presión tiene ahora signo contrario y el flujo nocturno sigue la corriente del río.

Además de los vientos de valle (*valley wind*) que hemos descrito en el párrafo anterior, son característicos de estas estructuras geográficas los denominados vientos de ladera (*slope wind*). El mecanismo físico que los genera es ahora el contraste térmico entre el aire próximo a la ladera, que se enfría y calienta rápidamente, y el situado a la misma altura en la atmósfera libre, que presenta una mayor inercia térmica.

En el caso que nos ocupa son los vientos de valle y, en menor medida, los de ladera los relevantes. Conviene, sin embargo, tener presente que ambos se desarrollan en el mismo ámbito geográfico y que la distinción entre uno y otro está fundamentalmente basada en una cuestión de escala. Un análisis de un mayor espacio de terreno nos permitiría ver ambos tipos de viento incluidos en un sistema de vientos locales de origen térmico, que suele denominarse viento de montaña-llanura (*plain-mountain winds*). Cada una de las corrientes mencionadas presenta, a cierta altura, una contracorriente compensatoria. La corriente de retorno asociada al viento de valle (*anti-valley wind*) sopla remontando el río durante la noche y en el sentido del mismo durante el día. La asociada al viento de ladera (*anti-slope wind*) sopla hacia la ladera de noche y en sentido opuesto durante el día. El límite entre cada flujo y su correspondiente corriente de retorno se sitúa, a grandes rasgos, a una altura coincidente con la profundidad del valle y la contracorriente suele tener un espesor del orden de dicha profundidad. El registro del anemómetro de Trives muestra durante buena parte del día una dirección que sólo puede justificarse asumiendo que se trate de una de estas corrientes de retorno.

La trascendencia de estos vientos no depende tanto de su velocidad, en general débil, sino de la frecuencia con la que aparecen en determinadas épocas del año y, especialmente, de su difícil pronóstico, que exige un notable conocimiento de los mismos, pues son completamente independientes del viento sinóptico. La evolución de un incendio o la dispersión de un contaminante pueden requerir un pronóstico de la evolución del viento en estas regiones con una exactitud mayor que la que recoge la expresión convencional “flojos y variables”.

3.- Régimen de vientos observado.

El análisis de las tablas de frecuencias por direcciones del viento en Trives revela un comportamiento singular con relación a los observatorios próximos. Es en el régimen característico del verano donde se notan especialmente estas diferencias. Se trata de una época en la que la situación anticiclónica dominante provoca vientos del primer cuadrante que, debidamente adaptados a las peculiaridades topográficas del entorno de cada observatorio, destacan en la correspondiente rosa de los vientos.

No ocurre así en Trives, donde el cuarto cuadrante no pierde importancia con la llegada del verano. Las direcciones comprendidas entre el WSW y el NW son las dominantes en la época. En ninguna otra de la veintena de estaciones con registros de viento en Galicia ocurre nada similar. Esta orientación de los vientos dominantes refleja el entorno de Trives, con un pasillo natural para el viento en dirección NW-SE, siguiendo a grandes rasgos el curso del río Sil.

La disposición del entorno geográfico de Trives se manifiesta también en la rosas de viento correspondientes al mes de enero, aunque gana peso la dirección W, como corresponde a una época en que son muy habituales los vientos del tercer cuadrante en la región. Se observa en todas las épocas una presencia apreciable de vientos de componente este. La figura 2 muestra la distribución de frecuencias durante enero y julio en cuatro horas distintas seleccionadas para poner de manifiesto la fuerte dependencia de las direcciones dominantes con el momento del día, lo que constituye una prueba de la existencia de vientos locales independientes de las condiciones sinópticas.

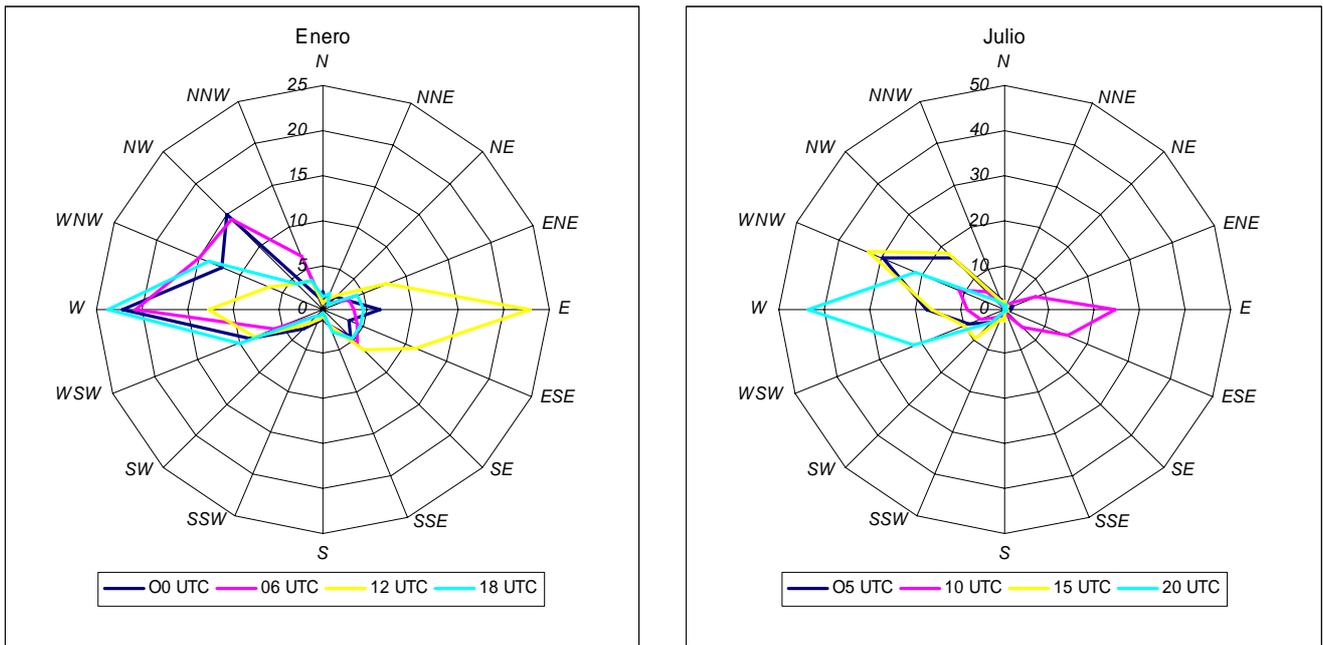


Figura 2. Rosas de viento de la estación de Trives correspondientes a distintas horas en los meses de enero y julio. Obsérvese la dependencia horaria de las frecuencias; en tres de las cuatro horas consideradas en cada una de ellas el viento sopla del cuarto cuadrante, en la hora restante, en cambio, es la dirección este la dominante. Puede verse también cómo a última hora de la tarde hay un claro predominio del viento del oeste, especialmente marcado en verano.

La figura 3 muestra el registro de la velocidad y dirección del viento entre el 24 y el 31 de julio de 2007. Se aprecia claramente el carácter periódico de ambas gráficas.

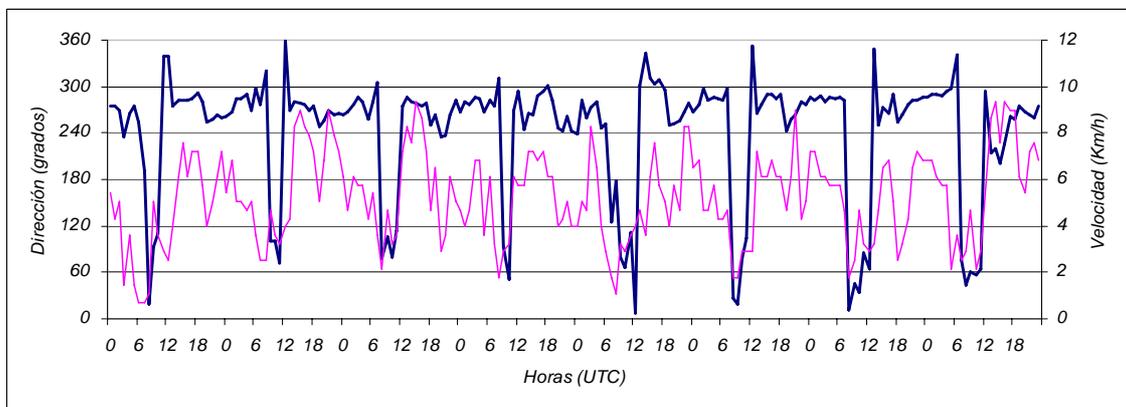


Figura 3. Dirección (en color azul) y velocidad (en color rosa) del viento observado entre los días 24 y 31 de julio de 2007 en la estación de Puebla de Trives. Puede verse la periodicidad asociada a los vientos locales.

Con más detalle, podemos considerar en la figura 4 el registro de viento obtenido por la estación de Puebla de Trives el día 21 de julio de 2006. Obsérvese cómo a las 05, 15 y 20 horas UTC sopla del cuarto cuadrante, en consonancia con las frecuencias mostradas en la figura 1. Esta gráfica puede servir como modelo de un día de verano con ausencia de vientos sinópticos relevantes. En estas situaciones se observa reiteradamente el siguiente ciclo: a primera hora de la mañana, no mucho después de la salida del sol, el viento, que había estado soplando del W u WNW por la noche, cambia su dirección por E o ESE. La velocidad, tras pasar por un mínimo cercano a la calma coincidiendo con el cambio de dirección, se recupera, aunque el viento sopla más débilmente que durante la noche. Hacia el mediodía o a primera hora de la tarde se produce

un cambio repentino tanto de dirección como de velocidad, ésta vuelve a ser WNW y el viento se reactiva después de otro mínimo secundario que coincide de nuevo con dicha transición.

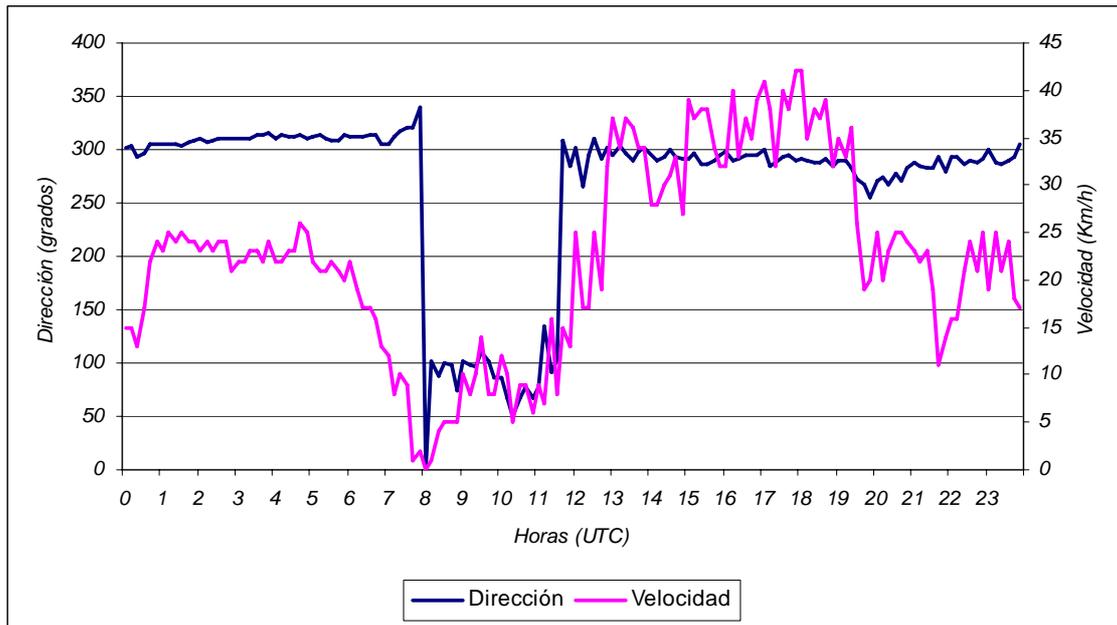


Figura 4. Viento registrado por la estación automática de Puebla de Trives el 21 de julio de 2006.

La figura 5 representa un día de invierno, en concreto el 28 de enero de 2008, que puede servir de modelo para las gráficas de anemocinémografo que proporciona la estación de Trives en días de invierno con viento sinóptico débil. Aunque es obvia la similitud de las dos figuras, conviene mencionar algunas diferencias significativas. En verano, el segundo cambio de dirección es anterior al máximo térmico, en tanto que en invierno la temperatura máxima se suele registrar antes. Además, en verano el máximo de viento suele ocurrir durante la tarde y ser posterior al giro en la dirección, levemente retrasado respecto del máximo de temperatura, en tanto que durante el invierno el máximo de viento es siempre nocturno. En verano, hacia las 19 horas se aprecia una cierta disminución de la velocidad y un leve giro hacia el WSW; dos horas más tarde ha recuperado la dirección, aunque no la velocidad, que permanece en valores inferiores a los medidos por la tarde. Ambas se mantienen después sin variaciones muy significativas hasta la mañana siguiente, cerrando de este modo el ciclo. La disminución de la velocidad y el giro hacia el WSW es mucho menos pronunciado o inexistente en invierno, además de ocurrir, si se presenta, un poco antes; después de este mínimo transitorio, la velocidad aumenta hasta alcanzar el máximo diario, que, como ya indicamos, en invierno suele darse por la noche.

En verano parecen apreciarse tres intervalos bien diferenciados: aproximadamente desde las 19 horas UTC de un día hasta las 08 UTC del día siguiente; entre las 08 y las 12 UTC y, finalmente, entre las 12 y las 19 UTC. El ciclo invernal, en cambio, parece más simple: un largo periodo entre las 15 horas de un día y las 09 del día siguiente y otro más corto desde las 09 a las 15, aproximadamente. Cuando el viento sinóptico es muy fuerte resulta imposible apreciar este ciclo; en situaciones intermedias, el viento dominante aparece modulado de acuerdo con lo que acabamos de describir, en mayor o menor medida según la intensidad de aquél.

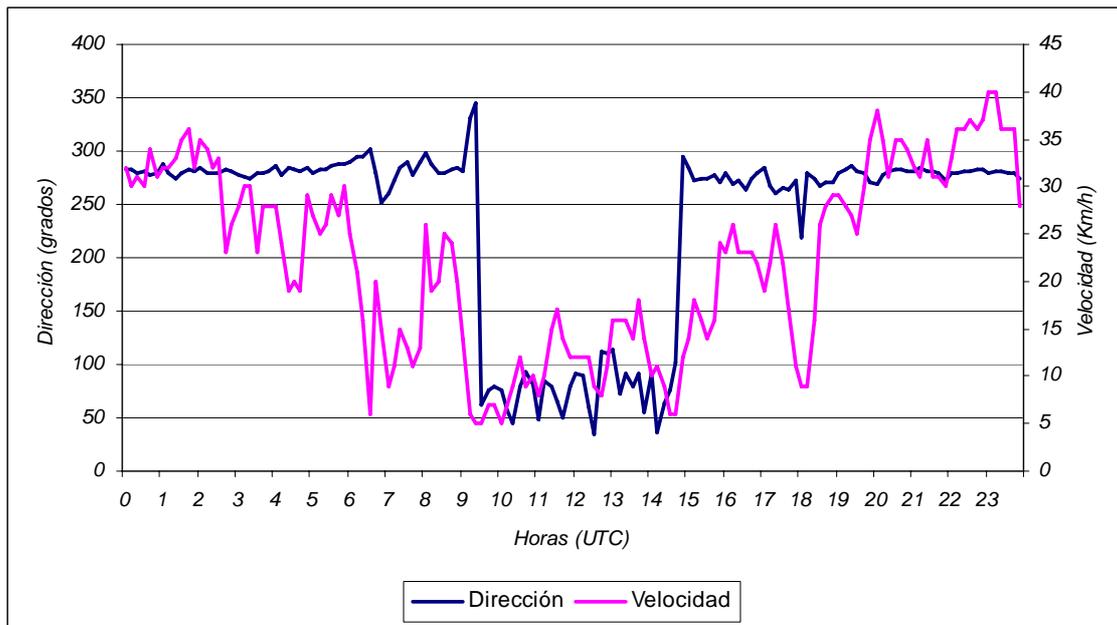


Figura 5. Viento registrado por la estación automática de Puebla de Trives el 28 de enero de 2008.

Significativos resultan también los gráficos horarios del factor de estabilidad del viento en Trives; este parámetro se define como el cociente entre los valores de la media vectorial y la media aritmética de la velocidad del viento, calculadas ambas sobre el mismo conjunto de observaciones. Un valor próximo a la unidad correspondería a un viento muy estable en dirección y, por el contrario, valores cercanos a cero se obtendrían cuando el viento, a una hora dada, no presenta preferencia por una cierta dirección.

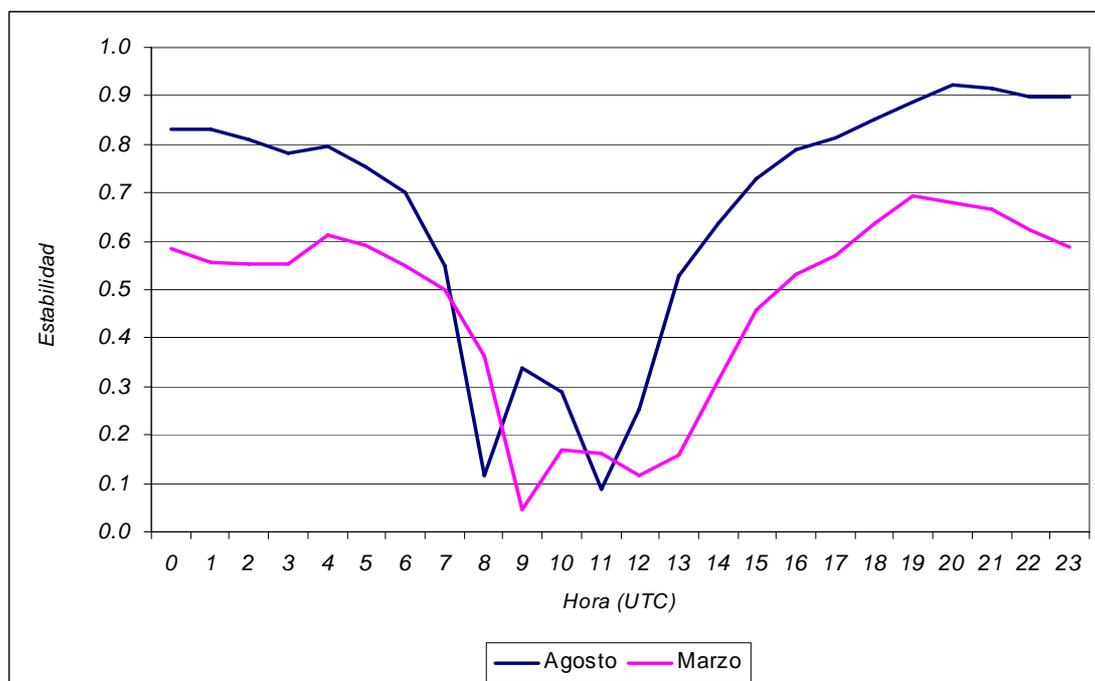


Figura 6. Representación del factor de estabilidad del viento a lo largo del día para los meses de agosto (línea azul) y marzo (línea rosa). Los cálculos se efectuaron a partir de los valores horarios registrados entre 1994 y 2007. Para una hora dada, se calculó la media vectorial de la velocidad para las observaciones disponibles, así como la media aritmética; el parámetro de estabilidad es el cociente de ambas medias.

En la figura 6 se han representado los valores horarios del factor de estabilidad para marzo y agosto, meses con una importante presencia de los vientos locales de origen térmico, a partir de las observaciones disponibles dentro del periodo 1994-2007. Puede observarse que durante el mes de agosto la estabilidad supera el 70 % a lo largo de buena parte del día y cae hasta valores cercanos a cero a determinadas horas que, como veremos, coinciden con los momentos de transición, cuando la dirección del viento es más variable. Este esquema de la estabilidad del viento pone claramente de manifiesto la existencia de un patrón que se repite diariamente. Durante el mes de marzo la estabilidad presenta un comportamiento parecido, si bien es bastante más pequeña, como consecuencia de la menor presencia de vientos locales en esta época del año; además, los mínimos aparecen desplazados en consonancia con la oscilación anual de las horas de cambio en la dirección del viento. La representación de este parámetro para otros meses del año, con menor proporción de vientos locales y mayor predominio del viento sinóptico, muestra unas curvas de aspecto similar, pero con valores del parámetro de estabilidad mucho más pequeños.

4.- Análisis de los datos y conclusiones.

4.1.- Frecuencia mensual de los vientos locales.

Para determinar objetivamente la presencia o ausencia de los vientos locales se utilizó el siguiente procedimiento: se estudiaron, día a día, los años 1996 y 1997, extrayendo de la serie de datos las fechas en que el régimen descrito en el apartado anterior estaba claramente establecido. Se obtuvo así una estimación bastante precisa de los momentos en que, mes a mes, se producían los diferentes cambios en la dirección del viento. Posteriormente, ya de modo automático, se analizó todo el periodo 1994-2000 seleccionando aquellos días en que, dentro de los intervalos determinados en primera aproximación, el viento soplabla con la dirección adecuada en, al menos el 80 % de las observaciones diezminutales. Los resultados se recogen en la figura 7.

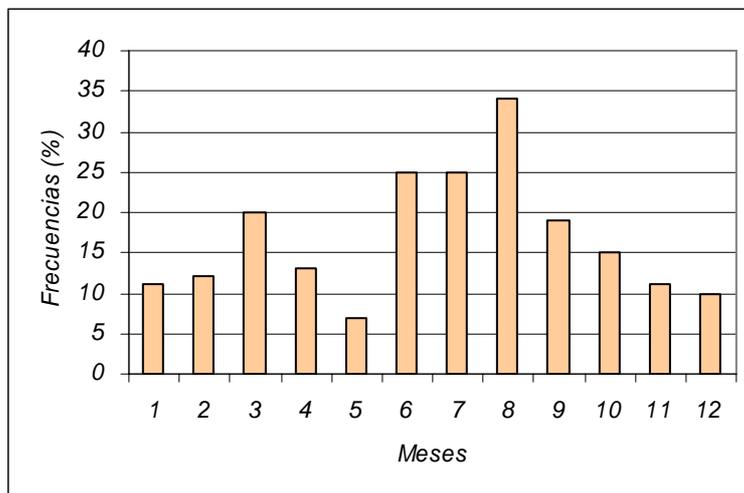


Fig. 7. Frecuencia con la que se observa la presencia de vientos locales en Trives para cada uno de los meses del año.

El mes en que resultan más frecuentes las situaciones de completo desarrollo de viento local es el de agosto, aunque no llega al 35 % de los días; se inicia después un descenso hasta alcanzar el mínimo de diciembre, en torno al 10 %. A medida que transcurre el invierno se incrementa la presencia de días con un régimen de viento local bien definido; en marzo hallamos un máximo secundario que deja paso a un nuevo descenso hasta alcanzar el mínimo absoluto en el mes de mayo. Un brusco crecimiento en junio nos acerca al máximo veraniego.

4.2- Horas de transición e interpretación de las mismas en función de un esquema de viento de valle y ladera.

Una vez seleccionados los días en que el régimen de viento local en Trives se consideraba bien establecido, se calcularon con mayor precisión que en la primera estimación (apoyada únicamente en los años 1996 y 1997) los momentos en los que, por término medio, se producen los cambios en la dirección del viento. El resultado se muestra en la Figura 8.

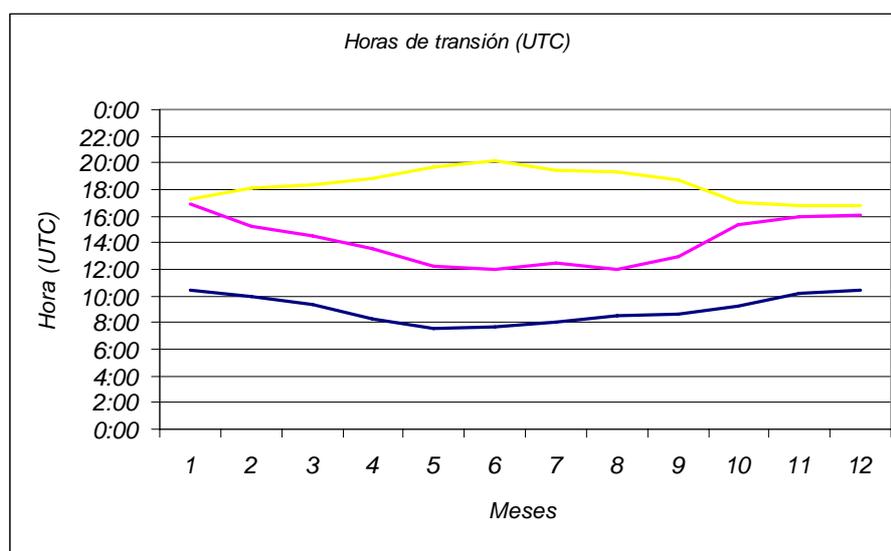


Fig. 8. Instante en el que, por término medio, se producen cambios significativos en la dirección del viento en Trives para los distintos meses del año.

La primera transición (línea de color azul en la figura 8), esto es, la que separa el viento de componente W del de componente E, está directamente relacionada con la hora de salida del sol, aunque retrasada alrededor de dos horas respecto de ella. En particular, en mayo-junio se presenta muy temprano, entre las 07:30 y las 08:00 UTC y la época en que se observa más tarde coincide con la época de mayor retraso en la salida del sol: durante el solsticio de invierno tiene lugar poco después de las 10:00 UTC. Parece deducirse que esta transición es un reflejo a la altura de Trives del establecimiento en el valle del viento diurno, de modo que habría que interpretar este flujo como la contracorriente asociada al viento ascendente a lo largo del valle.

La segunda transición (línea de color rosa en la figura 8) no guarda tan estrecho paralelismo como la anterior con el movimiento solar. Más bien está relacionada con la onda térmica anual. Oscila entre las 12 horas UTC durante los meses de verano y las 16-17 horas en los meses de invierno. En este tramo la dirección del viento sería la correspondiente al flujo diurno de valle. Se establece cuando el viento del valle alcanza suficiente espesor para sustituir, a la altura de Trives, a la contracorriente asociada. La variación anual de esta curva es de unas cuatro horas: notablemente superior a la de la primera transición y se confunde con la curva asociada a la tercera transición durante los meses invernales. Esto último significa que, a la altura de Trives, rara vez se observa el viento de valle durante el invierno; al contrario, está presente casi siempre la contracorriente que este viento local provoca.

La última discontinuidad (línea amarilla en la figura 8) presenta una oscilación anual similar a la primera de ellas. Se establece hacia las 17:00 horas en diciembre y hacia las 20:00 a comienzos del verano. Reproduce con notable exactitud la variación anual de la hora de puesta

del sol en Trives. El giro de dirección hacia el W característico de esta transición tiene una importante interpretación: en un momento en que el viento de valle y su contracorriente son muy débiles, pues se está estableciendo la corriente nocturna descendente, el flujo dominante es el viento de ladera que desciende desde Manzaneda hasta los ríos Bibei y Sil; se trata, por tanto, de una manifestación de este tipo de viento dentro del flujo general asociado al valle.

4.3- Máximos de viento.

La figura 9 muestra el valor máximo medio de la velocidad diurna y nocturna en Trives en los días en que puede considerarse que el régimen local de vientos está plenamente establecido. Las líneas discontinuas corresponden a la hora en que, por término medio, tiene lugar el máximo.

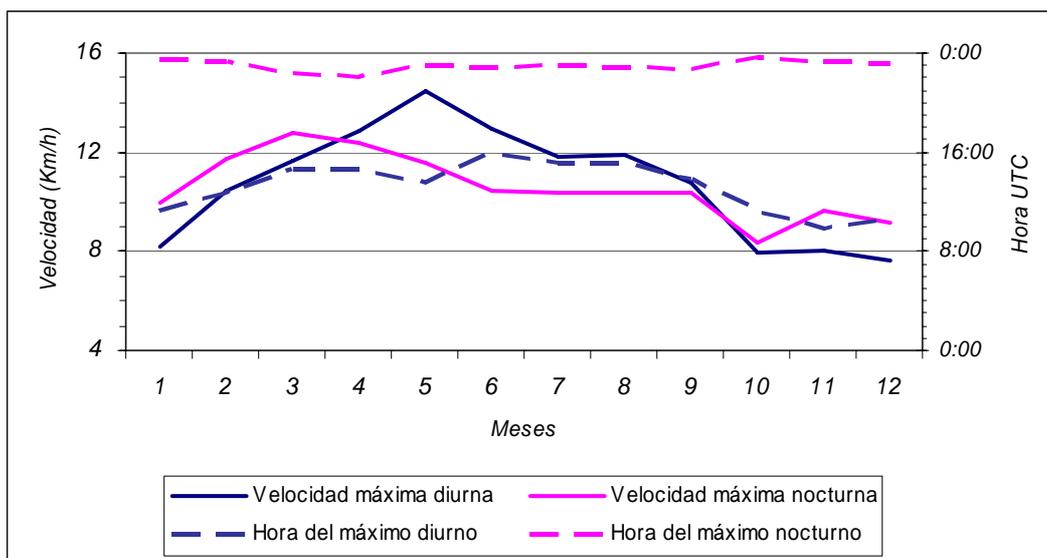


Fig 9. Máximos medios diurno y nocturno del viento local en Trives y horas en que ocurren.

De abril a septiembre el máximo absoluto se registra de día, en un momento situado entre las 14 y las 16 UTC, cuando el viento sobre Trives, de acuerdo con la interpretación propuesta, forma parte de la corriente ascendente asociada al flujo de valle. El valor máximo medio oscila entre los 10 y los 15 Km/h; el valor diurno más alto se observa durante el mes de mayo.

Por el contrario, entre octubre y abril el máximo diario en los días con un claro régimen de viento local en Trives, tiene lugar durante la noche. Muy cerca de las 24 horas y sin apenas variación en su localización temporal a lo largo de todo el periodo. A esa hora, en Trives se observa, según la interpretación expuesta, la existencia de la contracorriente ascendente asociada al flujo nocturno descendente de valle. El valor de este máximo nocturno oscila entre los 8 y los 13 Km/h, valores levemente inferiores a los máximos del verano. El mes con las velocidades máximas nocturnas más altas es el de marzo.

Puesto que el máximo en verano tienen lugar poco después del mediodía, cuando el viento en Trives procede del WNW y el máximo invernal ocurre durante la noche, con viento también del WNW, resulta que esta es la dirección que acapara, a lo largo de todo el año, las mayores velocidades asociadas al viento local.

5.- Referencias.

Alvarez Rodríguez, J.A., 1997: Galicia. Geografía, tomo XX. Ed. Hércules. A Coruña. Cap. 5.

Atkinson B. W., 1981: Meso-scale Atmospheric Circulations. Academic Press. Cap. 6.

David Whiteman C. D., 1990: Observations of Thermally Developed Wind Systems in Mountainous Terrain. Atmospheric Processes over Complex Terrain, Meteor. Monogr., N° 45, Amer. Meteor. Soc., 5-42

Stewart, J. Q., C. D. Whiteman, W. J. Steenburgh, and X. Bian, 2002: A climatological study of thermally driven wind systems of the U. S. Intermountain West. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 83, 699-708.