

# Tendencias de la temperatura del termómetro húmedo en verano

JOSÉ ANTONIO LÓPEZ DÍAZ

## Introducción

La temperatura del aire es probablemente la variable climatológica más estudiada, pero para valorar el efecto de la temperatura sobre el hombre o la biosfera en general es importante tener en cuenta también la humedad. En una estimación del denominado confort térmico intervienen variables tales como la temperatura, la humedad, el viento y la radiación. Una variable meteorológica que combina temperatura y humedad es la temperatura del termómetro húmedo ("wet-bulb temperature"). Esta viene a medir la temperatura que alcanzaría el aire si, por medio de un proceso adiabático (sin intercambio de calor) en presencia de suficiente agua, el aire se saturara de vapor de agua. Para saturarse de vapor de agua es necesario evaporar agua hasta que la temperatura del aire, que se va enfriando en el proceso debido al calor latente de evaporación empleado, descienda lo suficiente como para que la cantidad de vapor de agua en el aire sea saturante a esa temperatura.

Como se puede deducir de la definición, para una temperatura del aire dada la temperatura del húmedo será tanto mayor cuanto mayor sea la humedad relativa (o absoluta). Si en cambio con la misma humedad absoluta aumenta la temperatura del aire entonces aumenta la temperatura del termómetro húmedo, y por tanto, con mayor razón aumenta si se conserva la humedad relativa aumentando la temperatura (pues la humedad absoluta debe aumentar para conservar la humedad relativa al aumentar la temperatura). En un diagrama termodinámico la temperatura del húmedo se puede obtener de la siguiente forma: a partir del punto representativo del aire ascendemos por una adiabática seca hasta alcanzar el punto de saturación del aire, y luego descendemos por una pseudo-adiabática hasta volver al nivel de presión inicial.

Sabemos que en las últimas décadas la temperatura del aire en España ha aumentado a un ritmo muy fuerte. Una investigación de la evolución de la temperatura del húmedo puede poner de manifiesto si han funcionado mecanismos compensatorios o acentuadores de esa tendencia al incluir la humedad. En este trabajo me centro en el verano por la especial incidencia que las olas de calor propias de esta estación del año tienen sobre la población.

## Tendencias de las temperaturas del aire y del húmedo en verano

En la tabla 1 se reflejan las tendencias medias de temperatura del aire y de temperatura del termómetro húmedo diurnas (promedio de las temperaturas a las 13Z, 3 de la tarde hora civil, y las 18Z, 8 de la tarde civiles) para los meses de junio a septiembre a lo largo de los 34 últimos años, 1981-2014. En estos años las tendencias crecientes de las temperaturas medias en España han sido muy acentuadas. Las tendencias se han evaluado sobre el conjunto de 42 observatorios ubicados en la Península y Baleares que se utilizan rutinariamente por la AEMET para el seguimiento del clima. Las tendencias se han expresado en grados Celsius por siglo (extrapolando la tendencia a un periodo de 100 años).

mes\tendencia (° C/100 a.)	T	TH
junio	6.2	2.2
julio	2.1	-0.4
agosto	4.3	0.4
septiembre	0.1	-0.6
medias	3.2	0.4

Tabla 1: Tendencias diurnas de la temperatura del aire y del termómetro húmedo

Salta a primera vista que las tendencias de las temperaturas del termómetro húmedo son mucho más moderadas que las del aire en todos los meses. El mes de agosto muestra este contraste de tendencias de la forma más contundente, pues frente a una tendencia de la temperatura del aire de 4.3°C por siglo la del termómetro húmedo es una décima parte, 0.4°C por siglo. El mes con más tendencia diurna en verano es junio, con 6.2°C por siglo, mientras que la tendencia del húmedo es la tercera parte aproximadamente. En el mes de septiembre prácticamente no hay tendencia del seco, y la del húmedo es decreciente.

mes-variable\hora	00Z	07 Z	13 Z	18 Z	media	sd
jun/T	3,8	7,3	7,0	5,3	5,8	1,6
jun/TH	1,9	4,0	2,6	1,9	2,6	1,0
jul/T	1,0	4,5	2,8	1,3	2,4	1,6
jul/TH	0,0	1,8	-0,2	-0,6	0,2	1,1
ago/T	2,7	5,9	5,5	3,2	4,3	1,6
ago/TH	0,6	2,6	0,8	0,2	1,1	1,1
sep/T	0,1	2,9	1,4	-1,1	0,8	1,7
sep/TH	0,0	2,0	-0,2	-1,0	0,2	1,3
Medias T	1,9	5,2	4,2	2,2	3,3	1,6
Medias TH	0,6	2,6	0,8	0,1	1,0	1,1

Tabla 2: Tendencias (° C / siglo) para los meses junio-septiembre de la T del aire y de la T del termómetro húmedo TH. En columnas las horas Z.

En la tabla 2 se muestra un desglose de las tendencias por horas tipo de observación. En las dos últimas filas están las medias a lo largo de los 4 meses de las dos variables analizadas. Podemos ver que las horas 9 de la mañana y 3 de la tarde civiles son las que tienen más tendencia, del orden de más del doble que las 8 de la tarde y 2 de la madrugada. Pese a esta importante variación horaria se mantiene la disminución importante de las tendencias del húmedo respecto a las del aire. A las 8 de la tarde vemos tendencias negativas en septiembre del orden de 1 grado por siglo tanto en seco como en húmedo, y en julio del termómetro húmedo de 0.6 grados por siglo.

PirOr	Nor	Due	Tajo	Gana	Givir	MeAnd	Seg	Júc	Ebr	Bal	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	B	
T	4.0	2.7	3.2	3.1	3.3	4.2	1.7	3.6	3.9	3.1	2.5
TH	0.0	1.8	-0.7	1.3	0.4	-1.8	0.0	1.3	1.0	0.2	1.3
dif	4.0	0.8	3.9	1.8	2.9	6.0	1.7	2.3	2.9	2.9	1.1

Tabla 3: Tendencias (° C / siglo) diurnas promedio junio-septiembre para temperatura del aire T y del húmedo TH por cuencas hidrográficas.

→ En cuanto a la distribución territorial del contraste de tendencias de T y TH, en la tabla 3 se han calculado estas tendencias diurnas veraniegas para el mismo periodo 1981-2014 para los observatorios de cada cuenca hidrográfica por separado. Las claves de cuenca son: 0 Pirineo oriental, 1 Norte, 2 Duero, 3 Tajo, 4 Guadiana, 5 Guadalquivir, 6 Mediterránea-andaluz, 7 Segura, 8 Júcar, 9 Ebro, B Baleares. Las mayores diferencias entre la tendencia de T y la de TH se registran en las cuencas del Guadalquivir, Pirineo oriental y Duero; las menores diferencias en cambio aparecen en la cuenca norte y Baleares. Hay tendencias de TH negativas en las cuencas del Guadalquivir y del Duero. Pero se puede decir que pese a las importantes variaciones regionales el patrón de menor tendencia de TH que de T es común a todas las cuencas, salvo la cuenca Norte antes mencionada.

	Int Atl	Int Med	Cos Atl	Cos Med
T	3.5	3.5	2.3	3.2
TH	-0.2	-1.6	1.6	1.7
TH <sub>m</sub>	1.2	1.2	0.8	0.9
TH <sub>h</sub>	2.6	2.7	2.0	2.8

Tabla 4: Tendencias (° C / siglo) diurnas veraniegas para temperatura del aire T, del húmedo TH, del húmedo estimada a partir de la de T suponiendo humedad absoluta constante TH<sub>m</sub>, y del húmedo a partir de la de T suponiendo humedad relativa constante TH<sub>h</sub>. En columnas interior atlántico, interior mediterráneo, costa atlántica, costa mediterránea.

En la tabla 4 se han dividido los 42 observatorios de referencia en cuatro grandes divisiones geográficas, resultantes de considerar si se trata de un observatorio del interior o de la costa, y si pertenece a la cuenca atlántica o a la mediterránea. En las dos primeras filas se recogen las tendencias de T y de TH. Se aprecia que las diferencias entre las tendencias de T y de TH son mayores para las estaciones de interior, para las cuales la tendencia de TH es próxima a cero para la cuenca atlántica y es incluso marcadamente negativa (-1.6°C / siglo) para el interior mediterráneo. En la costa, las tendencias de TH son muy similares para la costa atlántica y la mediterránea, pero la de T es superior en la costa mediterránea, próxima a las idénticas tendencias de T en los dos interiores.

Podemos preguntarnos si estas tendencias de TH inferiores a las del aire son compatibles *grosso modo* con algún tipo de mecanismo sencillo. Es natural entonces considerar qué tendencia del húmedo induce una tendencia del seco cuando la humedad se mantiene constante. Como la humedad puede referirse tanto al contenido de vapor de agua del aire (humedad absoluta) como a la razón de la tensión del vapor a la tensión del vapor saturante a la temperatura del aire (humedad relativa), tenemos dos posibilidades. Utilizando la ecuación psicrométrica aproximada:

$$T - Th = A (M (Th) - m) \quad (1)$$

En la que  $A=L/c_p \sim 2.5 \text{ } ^\circ\text{C} / (\text{g/kg})$ , M (Th) es la proporción de mezcla (g vapor / kg aire seco) saturante a la temperatura Th y m la proporción de mezcla del aire, podemos calcular dTh/dT para un proceso con m constante y para otro con h (= m/M (T)) constante. Se obtienen las ecuaciones:

$$(dTh/dT)_m = 1 / (1 + A M' (Th)) \quad (2)$$

y

$$(dTh/dT)_h = (1 + A h M' (T)) / (1 + A M' (Th)) \quad (3)$$

en las que  $M' = dM/dT$ .

En la fila marcada TH<sub>m</sub> se reflejan las tendencias de TH que se derivan de la tendencia de T suponiendo un proceso con m=cte. En cada observatorio se ha hecho la estimación de TH<sub>m</sub> con los valores medios de T y TH necesarios para aplicar la ec. (2). Con el

valor de (dTh/dT)<sub>m</sub> se transforma la tendencia de T en TH<sub>m</sub>, tendencia inducida a humedad absoluta constante. De forma análoga se ha computado la fila TH<sub>h</sub> para tendencia inducida por la del aire en un proceso a humedad relativa constante aplicando (3).

Vemos que en los observatorios del interior, tanto de la cuenca atlántica como, sobre todo, de la mediterránea, la tendencia observada de TH es claramente inferior a la correspondiente a humedad absoluta constante (y *a fortiori* a humedad relativa constante); esto indicaría que el aumento de temperatura ha ido acompañado de desecación del aire en esta valoración global. En cambio es interesante el contraste con los observatorios costeros, en los que el valor observado de la tendencia del húmedo se sitúa entre los valores de los procesos a humedad absoluta constante y a humedad relativa constante. Es razonable pensar que las brisas marinas diurnas con su aporte de aire húmedo tienen que ver en esta diferencia. En todo caso, en términos de impacto del ascenso de las temperaturas sobre el confort térmico humano, podemos decir que en el interior la desecación del aire contrarresta el efecto del aumento de la temperatura del aire, mientras que en las costas esta compensación se atenúa o desaparece.

## La problemática de las medidas de humedad

El problema de las inhomogeneidades en las series climatológicas siempre acecha ante cualquier estudio climatológico. Los cambios de emplazamiento del observatorio, o de su entorno son dos de las causas más comunes, además de los cambios de sensor. La medida precisa de la humedad es, además, de por sí problemática, pues son varios los métodos que se pueden utilizar y no concuerdan perfectamente: medida de la temperatura del termómetro húmedo directamente con el psicrómetro, medida de la humedad relativa con higrómetro de cabello, o con sensores de humedad relativa más modernos como los de capacitancia o resistencia. Además cambios en el tipo de suelo o su irrigación próximo al sensor pueden afectar de forma importante a la humedad.

mes/tendencia (° C/100 a.)	RETIRO		BARAJAS	
	T	TH	T	TH
junio	6.9	-3.5	4.8	7.1
julio	3.4	-8.7	2.5	6.3
agosto	5.8	-6.7	4.8	7.3
septiembre	0.5	-6.3	-0.2	4.3
medias	4.2	-6.3	3.0	6.2

Tabla 5: Tendencias diurnas de la temperatura del aire y del húmedo

La tabla 5 sirve para ilustrar esta cuestión en el contexto de este estudio de comparación de las tendencias veraniegas de T y de TH. Esta tabla recoge las mismas tendencias diurnas para meses de verano que la tabla 1 para dos observatorios de Madrid, el del parque del Retiro y el del aeropuerto de Barajas. Salta a la vista la gran diferencia en las tendencias de TH entre ambos observatorios próximos, hasta el punto de que tienen signos opuestos con valores absolutos muy altos. Dada la proximidad de los observatorios cabe concluir que son las inhomogeneidades en la medida de la humedad las principales responsables de esta fuerte disparidad de tendencias. Una vez más se pone de manifiesto la importancia del cuidado de las series de observación para el conocimiento del clima, sus variaciones y sus tendencias.