

COMPARACIÓN DE LAS TEMPERATURAS OBTENIDAS EN LAS GARITAS MONTSOURI Y STEVENSON. RESULTADOS PROVISIONALES DEL PROYECTO SCREEN

Por Manuel Bañón¹, Manola Brunet², Javier Sigró³, Enric Aguilar⁴, Francisco García⁵, Juan Esteban Palenzuela⁶ y Jesús Asín⁷.

¹ Instituto Nacional de Meteorología. Observatorio de Alicante. Email: mbg@inm.es

² Grupo de Investigación del Cambio Climático, Unidad de Geografía, Univ. Rovira i Virgili. Email: mbi@fl.urv.es

³ Grupo de Investigación del Cambio Climático, Unidad de Geografía, Univ. Rovira i Virgili. Email: eea@fl.urv.es

⁴ Grupo de Investigación del Cambio Climático, Unidad de Geografía, Univ. Rovira i Virgili. Email: oscar.saladie@urv.net

⁵ Instituto Nacional de Meteorología. CMT en Galicia. Email: esydes@inm.es

⁶ Instituto Nacional de Meteorología. CMT en Murcia. Email: xedmur@inm.es

⁷ Departamento de Métodos Estadísticos. Univ. De Zaragoza. Email: jasin@unizar.es

Resumen:

Con el fin de establecer los efectos de los diferentes abrigos meteorológicos en las series termométricas se han reproducido e instalado en los jardines meteorológicos de Murcia y de A Coruña sendas réplicas del abrigo abierto denominado "Montsouris", donde se miden simultáneamente las temperaturas con garitas Stevenson. El objetivo final del experimento es obtener, a través de las funciones de transferencia estimadas entre las series diferencia producidas y las variables meteorológicas que las determinan, los factores más robustos de corrección/minimización de dicho sesgo. Este trabajo tiene como finalidad contextualizar y describir los rasgos más sobresalientes de dicha réplica, ampliando los primeros resultados presentados en 2004, a la vez que proporcionar la magnitud y signo que este sesgo introduce en la temperatura del aire en ambas localizaciones de condiciones climáticas tan dispares.

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los parámetros meteorológicos de más difícil medida es la temperatura del aire. Frente a la sencillez que parece representar dicha medida, la realidad es que en el resultado final de la misma influyen muchos factores. Algunos de ellos son claramente conocidos, por ejemplo el tipo de termómetro, altura sobre el suelo, alrededores, vegetación, etc., pero otros no están demasiado investigados o tenidos en cuenta, caso del abrigo meteorológico. La OMM establece la temperatura del aire como la indicada por un termómetro expuesto al aire en un lugar protegido de la radiación solar directa. De ahí la existencia de las garitas meteorológicas, cuya misión es proteger el sensor de dicha radiación, precipitación o daño accidental, pero asegurando la libre circulación del aire o dificultando, en ciertas condiciones, la acumulación de hielo o nieve. Se estima como la mejor forma de medida en un observatorio de superficie la utilización de un abrigo meteorológico, con el sensor a una altura entre 1,2 y 2 m y en lugar despejado y libre de árboles, edificios u otras construcciones.

Actualmente, como abrigo meteorológico más común se utiliza la garita Stevenson, construida generalmente en madera, con dobles persianas laterales que impiden la entrada de radiación solar pero permiten una buena aireación. El suelo es fijo y el techo es doble con un espacio para la aireación. Dispone de una puerta frontal orientada al Norte.

Entre las garitas utilizadas habitualmente hasta principios del siglo XX se encontraba la de tipo

Montsouris. Ésta, según la descripción de A. Angot (1903), está compuesta de un doble techo de planchas de madera de un metro cuadrado de superficie (separado una de otra por un espacio abierto de 15 cm) y apoyado sobre 4 patas también de madera, iguales en altura de dos a dos, ancladas profundamente en el suelo y cuyos lados son respectivamente paralelos y perpendiculares a la meridiana. Las dos patas delanteras, más altas que las dos traseras (0.40 m) se sitúan hacia el norte del cuadrado, de forma que ello da una pendiente al techado exterior de 11.3°. Las patas delanteras proporcionan, sin contar los anclajes, una altura máxima al abrigo de 2.60 m; mientras que, las dos más pequeñas lo elevan a 2.20 m del suelo. En el interior del abrigo, bajo el techo inferior, se disponen orientadas al este y al oeste dos viseras laterales de madera en las que se apoya el travesaño del que cuelgan los termómetros. El carácter abierto del abrigo posibilita la libre circulación del aire alrededor de los termómetros a la vez que impide la entrada de la radiación solar directa.

En el año 2003 se inició el proyecto SCREEN¹ que pretende estudiar los efectos de los diferentes

¹ * Proyecto de investigación titulado: "Evaluación y minimización del sesgo incorporado en las series más largas de la temperatura del aire en España asociado al cambio en la exposición de los termómetros", subvencionado por CYCIT, n° de referencia: REN2002-0091/CLI y coordinado por M. Brunet.

tipos de abrigos meteorológicos en la medida de la temperatura del aire.

Siguiendo las recomendaciones de la OMM en su Guía sobre Metadatos y Homogeneización se recomiendan dos aproximaciones tendentes a la minimización del efecto de los abrigos meteorológicos:

1. Reproducir experimentalmente las viejas condiciones y llevar a cabo medidas paralelas para obtener factores de ajuste
2. Modelizar las condiciones antiguas de exposición y compararlas con los datos actuales.



a)



b)



c)



d)

Fig. 1. Imágenes panorámicas y de detalle de la réplica experimental del abrigo Montsouris en A Coruña y Murcia. a) Vista general de la instalación en A Coruña. b) Vista frontal del abrigo Montsouris en A Coruña. c) Vista lateral del abrigo Montsouris en Murcia. d) Vista panorámica de la instalación en Murcia

Una presentación previa del proyecto con los resultados obtenidos durante un periodo inferior al año se realizó en las Jornadas Meteorológicas de la AME realizadas en Badajoz en 2004. Para la ejecución del proyecto se instalaron dos garitas meteorológicas diferentes, una Stevenson y otra Montsouris, situadas a 1 m de distancia aproximadamente.

En ellas, Fig. 1, se dispuso de dos termistores iguales, a igual altura sobre el suelo y que registraban la medida de temperatura puntual, media, máxima y mínima cada 10 minutos mediante un datalogger Campbell CR510-2M. Esta instalación se realizó en dos lugares de climas diferentes, A Coruña y Murcia, con el fin de poder comparar el comportamiento en ambos emplazamientos y la influencia de los diversos parámetros meteorológicos en dos lugares de diferente clima y con unas de las series más largas de la Península. La

proximidad de ambas garitas en los dos emplazamientos, la similitud de las condiciones micro y topo climáticas en torno a los abrigos instalados en cada uno de los dos jardines meteorológicos, aseguran idénticas condiciones de medición termométrica, resultando las diferencias que puedan derivarse en los registros tomados en uno y otro tipo de abrigo del efecto exclusivamente asociado a la diferente exposición abierta o cerrada de la garita utilizada.

Así pues, esta comunicación tiene como finalidad, a la vez que contextualizar el problema y presentar las condiciones de la réplica experimental

llevada a cabo, valorar cómo el ciclo térmico diario se ve afectado en las exposiciones abiertas reproducidas en dos localidades de característica climáticas tan contrastadas como Murcia y A Coruña frente a los abrigos cerrados utilizados actualmente. Aunque el experimento se está llevando a cabo todavía, el periodo de casi cinco años de medida da unos resultados más claros que los presentados en este foro hace 4 años, cuando no se había cubierto el ciclo anual.

2. EL SESGO ASOCIADO AL ABRIGO METEOROLÓGICO Y LA EVALUACIÓN DE SU MAGNITUD EN DOS VARIANTES DEL CLIMA MEDITERRÁNEO

La protección de los termómetros de la radiación solar directa y reflejada y también del intercambio de radiación terrestre de onda larga fue considerada durante el siglo XIX como un aspecto clave de la observación y vigilancia del estado

calórico del aire. Los servicios meteorológicos nacionales realizaron ingentes esfuerzos para mejorar la protección de los termómetros de los efectos no deseados de los flujos radiativos entrantes y salientes, con la finalidad de asegurar que las observaciones resultantes representaran la "verdadera temperatura del aire". Esta convicción propició la construcción de una variada gama de exposiciones y abrigos meteorológicos (sin protección en paredes norte, en abrigos abiertos, en cilindros de zinc, en garitas ventiladas, etc.), lo que condujo a frecuentes cambios en el diseño del protector usado.

BRUNET et al (2004), dan una relación de distintas comparaciones experimentales entre diferentes abrigos realizadas a partir de la segunda mitad del s. XIX, tendentes a establecer las desviaciones de las medidas termométricas tomadas bajo uno u otro tipo de abrigo (WILD, 1879; MARRIOTT, 1879; GILL, 1882; WHIPPLE, 1883; MAWLEY, 1884). También se enumera una serie de estudios en los que se recopilaba información sobre el diseño y tipo de abrigo utilizado en diferentes países del mundo y sobre las desviaciones en las lecturas termométricas registradas en una u otra exposición (HAZEN, 1885; MARGARY, 1924; SPARKS, 1972; LAING, 1977).

Recientemente y asociado a la evaluación de las tendencias térmicas y del cambio climático inducido antrópicamente, se ha reanudado el interés por documentar y estimar la fracción del "sesgo del abrigo" remanente en las series instrumentales más largas de diferentes ámbitos climáticos o a escala planetaria (ANDERSSON y MATTISSON, 1991; RICHARDS, et al., 1992, 1993; PARKER, 1994; NICHOLLS, et al, 1996; NORDLI, et al., 1997; VAN DER MEULEN AND BRANDSMA, 2008; BRANDSMA AND VAN DER MEULEN, 2008). En estos últimos, se valoran y documentan los efectos que sobre el acrecentamiento artificial del ciclo diario y anual de las temperaturas ha inducido el distinto tipo de abrigo utilizado.

El sesgo diferencial introducido en ambos parámetros térmicos extremos, de mayor magnitud en las temperaturas máximas que en las mínimas, ha conducido a un incremento artificial de la amplitud térmica diaria (ATD) durante el periodo en el que las observaciones fueron realizadas bajo condiciones de abrigo abierto, como la incorporada en las series promedio mensuales de la ATD de Agosto correspondientes a los observatorios de A Coruña y Murcia.

El sesgo es mayor en las temperaturas máximas que en las temperaturas mínimas y su magnitud es estacionalmente dependiente en el caso de las temperaturas máximas. Para éstas, el mayor efecto se registra durante la mitad cálida del año, mientras

que en la mitad fría del año se reduce notablemente hasta alcanzar su mínima expresión.

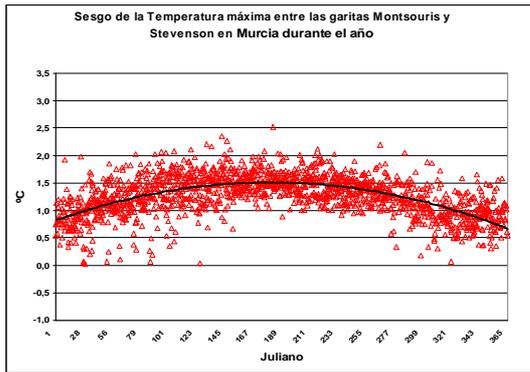
Por el contrario, las diferencias promedio correspondientes a las temperaturas mínimas diarias presentan además de una menor magnitud y una mayor estabilidad a lo largo del año, sin registrarse diferencias estacionales apreciables. Este sesgo ha sido responsable del incremento artificial del promedio anual de la temperatura media diaria, más alto para las observaciones tomadas bajo la protección del abrigo Montsouris.

3. RESULTADOS DEL EFECTO INDUCIDO SOBRE LAS MEDIDAS DE LA TEMPERATURA DEL AIRE POR EL TIPO DE ABRIGO USADO

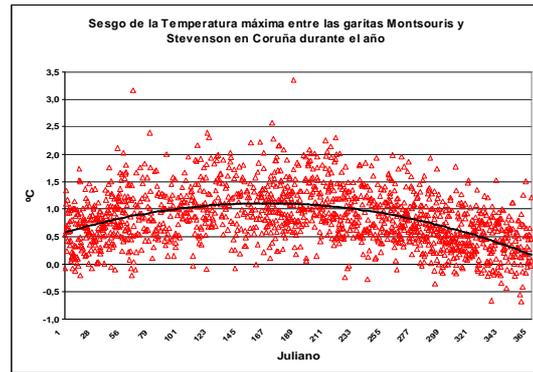
El experimento se inició en Murcia a finales de Febrero de 2003, mientras que en A Coruña no lo hizo hasta finales de Marzo. Además, derivado del inadecuado funcionamiento del equipo registrador Campbell allí instalado, sólo se ha podido obtener un registro pareado de la temperatura del aire desde mitad de Junio 2003, en el que el problema técnico asociado al aparato de registro quedó solucionado.

El registro automático y continuo de la temperatura del aire permite obtener un alto volumen de datos diarios (144 promedios térmicos diez minutos por día). Con la finalidad de validar las series diezminutarias obtenidas, se ha procedido a la inspección estadística y visual de las mismas, con el objetivo de asegurar la calidad, consistencia y fiabilidad de los registros obtenidos. Para ello, se han sometido a las series diezminutarias a pruebas de coherencia interna, mediante la aplicación de un test de consistencia entre registros consecutivos, tendente a asegurar que la proporción de cambio entre un registro y el siguiente no exceda el umbral climático esperable en cada localización. Además, se ha procedido a etiquetar todas las diferencias que disten de su promedio diario más de 3σ , siendo posteriormente eliminadas o validadas tras su inspección gráfica. Para ello, se ha estimado y graficado el ciclo diario de la temperatura del aire en ambas localidades y en las dos exposiciones, cuya finalidad reside en identificar, validar o rechazar algunos valores extremos, cuando éstos no son coherentes con la hora de observación en los que han sido registrados ni con la secuencia adyacente de valores registrados.

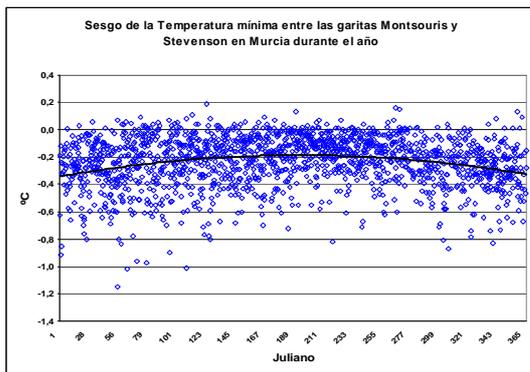
Una vez comprobada la bondad de las series diezminutarias, se ha procedido a identificar las temperaturas máxima y mínima diarias para el conjunto de los días analizados en uno y otro observatorio. La temperatura máxima diaria ha sido establecida como el promedio diezminutario más alto de la temperatura del aire en los 144 datos diarios producidos, mientras que la temperatura



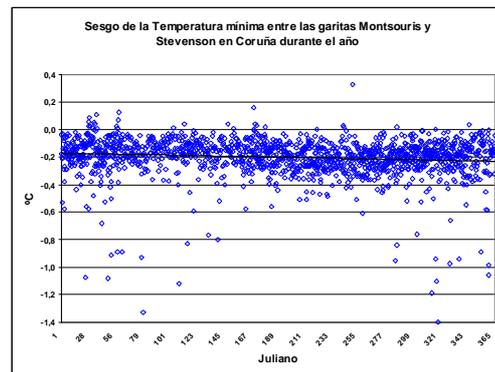
a)



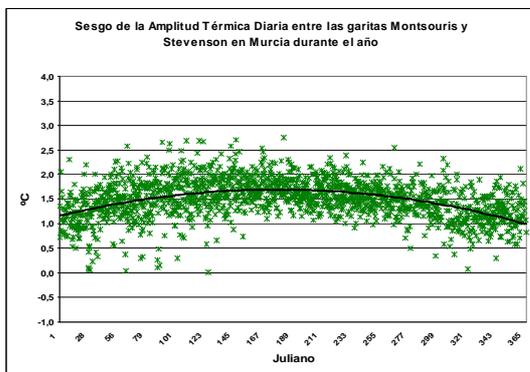
b)



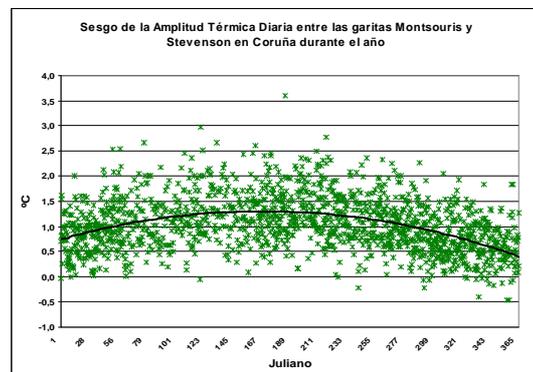
c)



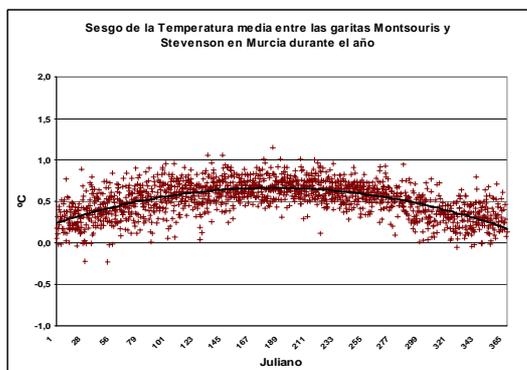
d)



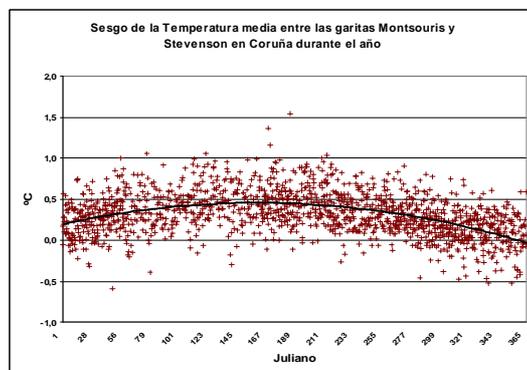
e)



f)



g)



h)

Fig.2 : Sesgo de las temperaturas máximas, a) y b), mínimas, c) y d), ATD, e) y f), y TMD, g) y h), para Murcia (paneles izquierdos) y Coruña (paneles derechos) en función del día Juliano. La línea de ajuste corresponde a una ecuación polinomial de segundo grado

mínima corresponde al promedio más bajo de estos registros. A partir de estas series, se ha generado un nuevo registro temporal de los promedios diarios de la temperatura del aire (TMD), para ambos abrigos y emplazamientos, computados como la semisuma de ambas temperaturas extremas, así como se ha calculado la Amplitud Térmica Diaria (ATD).

Con las nuevas series generadas de las temperaturas diarias, se ha procedido a su comparación, creando las respectivas series diferencia diaria (Montsouris menos Stevenson) de las temperaturas máximas, mínimas, medias y ATD. Se ha contrastado la significación estadística de todas las diferencias mediante la prueba de Wilcoxon para muestras emparejadas (signos y rangos). Todas las diferencias en uno y otro observatorio han sido significativas a nivel 0.01.

En ambos observatorios se han encontrado importantes similitudes y algunas diferencias. Para ambos casos el sesgo en las temperaturas máximas es positivo y claramente estacional y el de las temperaturas mínimas ligeramente negativo y no estacional. El efecto sobre la TMD y ATD es que en ambos casos obtenemos sesgo positivo, mucho más amplio en la ATD, y estacional. El reflejo de estas conclusiones se observa en las gráficas (Fig 2 a, b, c, d, e, f, j y h) expuestas a continuación, en las que se representa el sesgo en función del día del año en ambos observatorios.

A continuación se exponen, en el primer subapartado, los resultados obtenidos tras comparar los registros termométricos diarios resultantes de la medición pareada en diferentes condiciones de exposición en Murcia y, en el segundo, de A Coruña.

a. Garita Stevenson versus abrigo Montsouris: Diferencias existentes en Murcia

La comparación de las temperaturas diarias registradas en ambos abrigos desde marzo de 2003 a diciembre de 2007 en el CMT en Murcia se halla representada por la figura 3a y 3b, mientras que la Tabla 1 recoge los estadísticos descriptivos del conjunto de series diferencias analizadas. El efecto del tipo de abrigo usado no es despreciable, aunque su signo y magnitud difiere para los distintos parámetros térmicos analizados.

Se observa una sobreestimación en los valores de Temperaturas máximas de la garita Montsouris con carácter estacional, que en el computo anual es de 1,3 °C de media y una infraestimación, de valor absoluto menor, -0,2 °C, en las temperaturas mínimas. El resultado final de ambas es la existencia de una ATD mayor en la garita Montsouris, de 1,5 °C en valor medio y que alcanza más de 2 °C en ocasiones, así como una sobrestimación mucho más pequeña en las temperaturas medias diarias, 0,5 °C, debido al sesgo

contrario en máximas y mínimas. Tanto en la ATD, como en la TMD la series tienen un carácter estacional forzada por el sesgo existente en las temperaturas máximas.

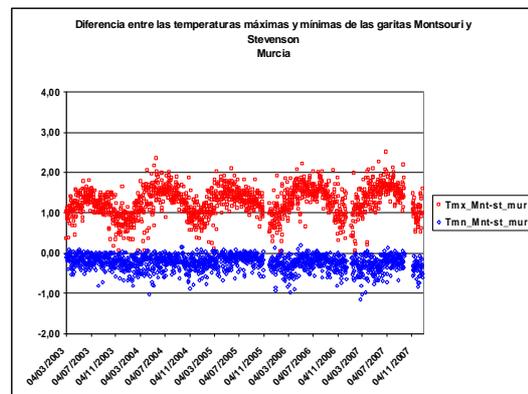


Fig. 3a : Sesgo de las temperaturas máximas y mínimas en Murcia (Mont-Stev)

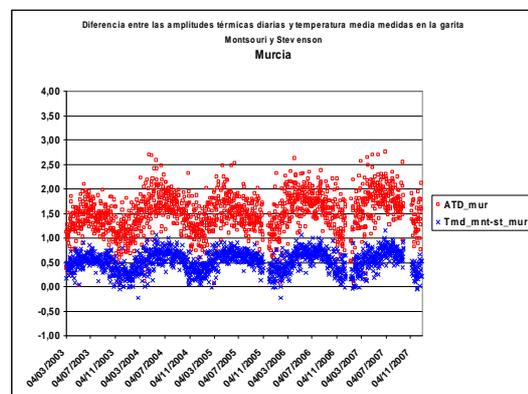


Fig. 3b : Sesgo de la ATD y TMD en Murcia (Mont-Stev)

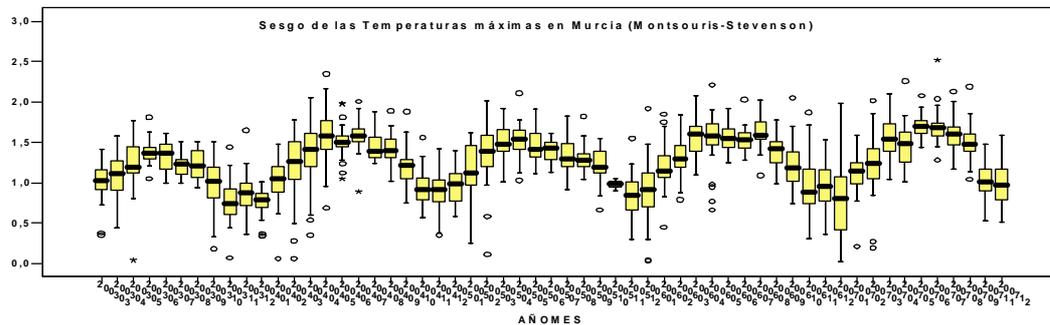
En las estaciones de primavera y verano se disparan los sesgos de las temperaturas máximas, alcanzando valores medios de 1,4 y 1,5 °C, frente al sesgo de 1 °C el resto del año. En la TMD también ocurre que la época cálida del año tiene sesgo de 0,6 °C frente a los 0,4 °C de la fría. Donde el sesgo es más pronunciado es en la ATD, 1,7-1,6 °C de la primavera y verano, frente a 1,3 °C durante el resto del tiempo.

Existe una diferencia en la magnitud del sesgo de las temperaturas positivas en los diferentes años que podría estar relacionada con la variación de los diversos parámetros meteorológicos como viento o insolación durante estos cinco años, y el hecho de que abrigo Montsouris es mucho más abierto que el Stevenson y está más expuesto a los cambios meteorológicos.

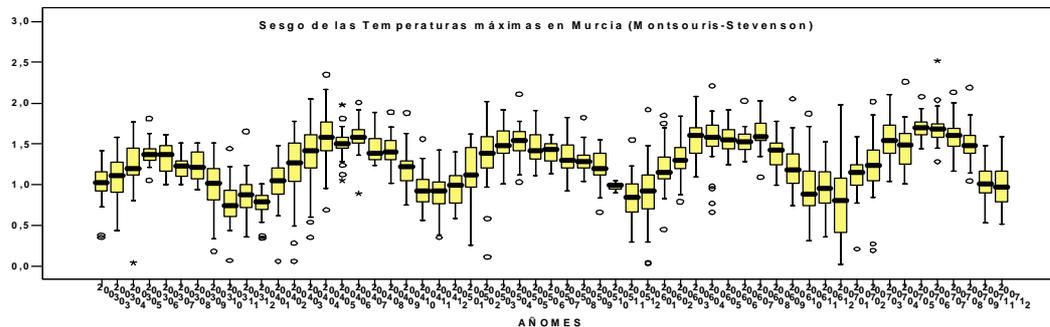
A continuación se presenta, Figura 4, un diagrama de cajas de la evolución de los datos registrados en Murcia durante estos años, repartidos por meses, para las variables sesgo de la Temperatura máxima, Temperatura mínima, TMD y ATD. En ellos se puede observar con claridad lo expuesto anteriormente.

| Murcia ² | | | | | | | | |
|---------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Año | | | | | | | | |
| | Tmxst | Tmxmnt | Tmnst | Tmnmnt | Tmx_Mnt-st | Tmn_Mnt-st | TMD_mnt-st | ATD_mnt-st |
| Media | 25,7 | 26,9 | 13,5 | 13,3 | 1,3 | -0,2 | 0,5 | 1,5 |
| Max | 41,6 | 43,4 | 26,0 | 26,0 | 2,5 | 0,2 | 1,1 | 2,8 |
| Min | 5,1 | 5,2 | -3,6 | -3,8 | 0,0 | -1,2 | -0,2 | 0,0 |
| STD | 7,1 | 7,3 | 6,5 | 6,6 | 0,4 | 0,2 | 0,2 | 0,4 |
| Nº datos | 1647 | 1647 | 1643 | 1643 | 1647 | 1647 | 1643 | 1643 |
| Invierno | | | | Primavera | | | | |
| | Tmx_Mnt-st | Tmn_Mnt-st | TMD_mnt-st | ATD_mnt-st | Tmx_Mnt-st | Tmn_Mnt-st | TMD_mnt-st | ATD_mnt-st |
| Media | 1,0 | -0,3 | 0,4 | 1,3 | 1,4 | -0,2 | 0,6 | 1,7 |
| Max | 2,0 | 0,1 | 0,9 | 2,6 | 2,4 | 0,2 | 1,1 | 2,7 |
| Min | 0,0 | -1,2 | -0,2 | 0,1 | 0,0 | -1,0 | 0,0 | 0,0 |
| STD | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,4 |
| Nº datos | 362 | 362 | 362 | 362 | 452 | 452 | 451 | 451 |
| Verano | | | | Otoño | | | | |
| | Tmx_Mnt-st | Tmn_Mnt-st | TMD_mnt-st | ATD_mnt-st | Tmx_Mnt-st | Tmn_Mnt-st | TMD_mnt-st | ATD_mnt-st |
| Media | 1,5 | -0,2 | 0,6 | 1,6 | 1,0 | -0,3 | 0,4 | 1,3 |
| Max | 2,5 | 0,1 | 1,1 | 2,8 | 2,2 | 0,2 | 0,9 | 2,6 |
| Min | 0,9 | -0,8 | 0,1 | 0,9 | 0,1 | -0,9 | -0,1 | 0,1 |
| STD | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,3 |
| Nº datos | 454 | 455 | 454 | 454 | 379 | 378 | 376 | 376 |

Tabla 1: Estadísticos de la serie de datos de Murcia distribuidos para todos los datos existentes y por estaciones



a)



b)

² Tmx_Mnt-st = Temp. Max. Diaria medida en garita Montsouris - Temp. Max. Diaria medida en garita Stevenson
Tmn_Mnt-st = Temp. Min. Diaria medida en garita Montsouris - Temp. Min. Diaria medida en garita Stevenson
TMD_mnt-st_mur = Diferencia entre la temperatura media diaria [(Tmax+Tmin)/2] medida en la garita Montsouris y Stevenson
ATD_mur = Diferencia entre la amplitud térmica diaria (Tmax-Tmin) medida en la garita Montsouris y Stevenson
Tmxst = Temp. Max. Diaria medida en garita Stevenson
Tmxmnt = Temp. Max. Diaria medida en garita Montsouris
Tmnst = Temp. Min. Diaria medida en garita Stevenson
Tmnmnt = Temp. Min. Diaria medida en garita Montsouris

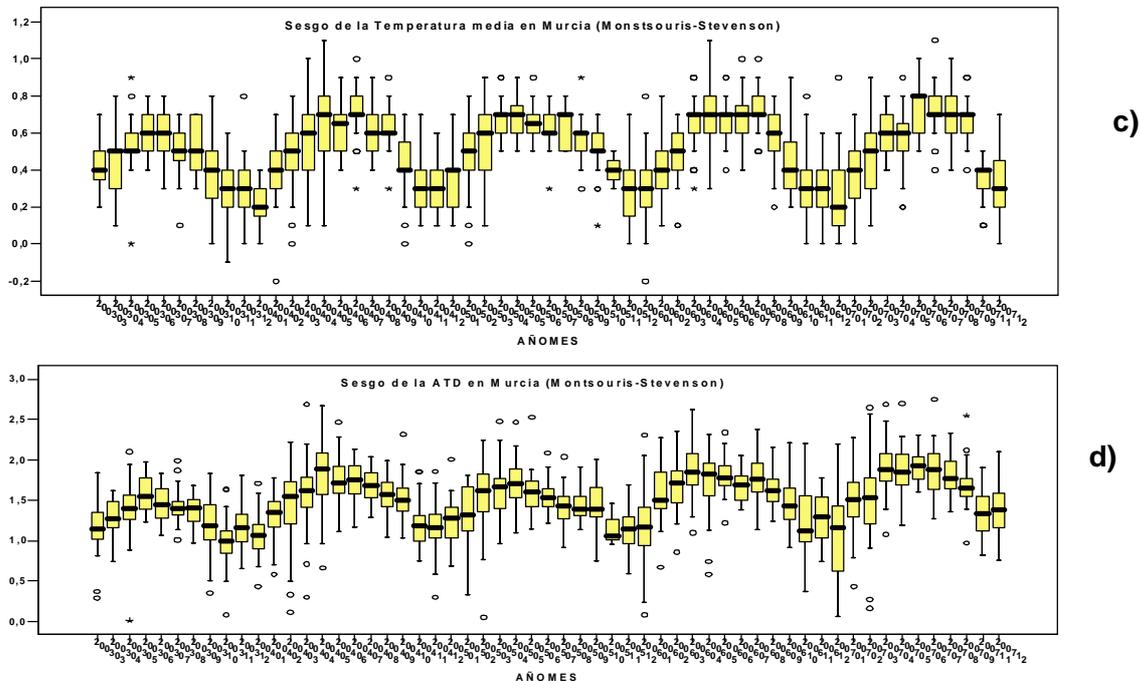


Fig 4 : Diagrama de cajas del sesgo de las temperaturas máximas, a), mínimas,b), TMD, c), y ATD, d), de las series distribuidas por meses en Murcia

b. Garita Stevenson versus abrigo Montsouris: Diferencias existentes en Coruña

La comparación de las temperaturas diarias registradas en ambos abrigos desde marzo de 2003 a diciembre de 2007 en el CMT en Coruña se halla representada por la figura 5a y 5b, mientras que la Tabla 2 recoge los estadísticos descriptivos del conjunto de series diferencias analizadas. El efecto del tipo de abrigo usado tampoco es despreciable, su signo y magnitud difiere para los distintos parámetros térmicos analizados en el mismo sentido que en el caso de Murcia, aunque excepto en el caso del sesgo de las temperaturas mínimas cuando el valor es similar, en el resto de los estadísticos tiene un valor inferior. Es resaltable que las desviaciones estándar para este lugar en el sesgo de las Temperaturas máximas, TMD y ATD son

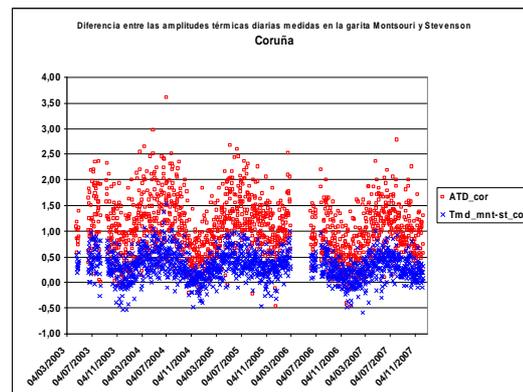


Fig 5b : Sesgo de la ATD y TMD en A Coruña (Mont-Stev)

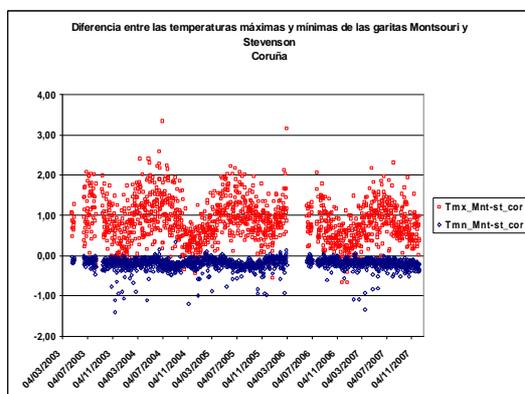


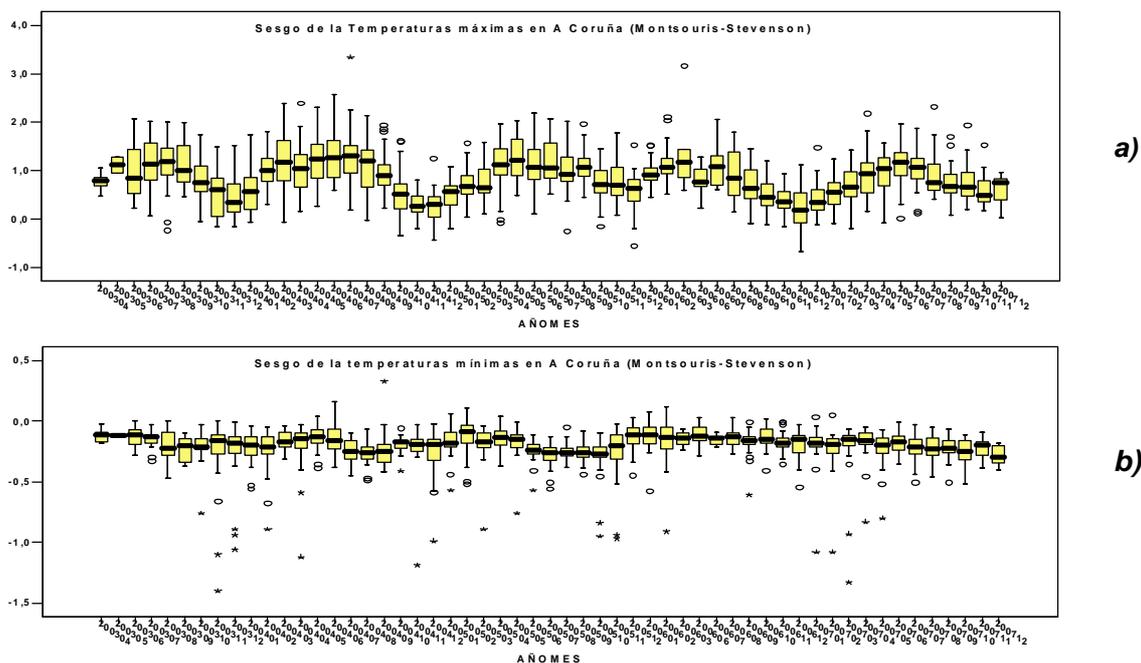
Fig 5a : Sesgo de las temperaturas máximas y mínimas en A Coruña (Mont-Stv)

superiores.

Se observa una sobreestimación en los valores de Temperaturas máximas de la garita Montsouri con carácter estacional, que en el computo anual es de 0,8 °C de media y una infraestimación, de valor absoluto menor, -02 °C, en las temperaturas mínimas, inferior que en Murcia para el caso de las máximas y de igual valor para las mínimas. El resultado final de ambas es la existencia de una ATD mayor en la garita Montsouri, de 1,0 °C en valor medio y que alcanza 3,6 °C en ocasiones, así como una sobrestimación mucho más pequeña en las temperaturas medias diarias, 0,3 °C, debido al sesgo contrario en máximas y mínimas. Tanto en la ATD, como en la TMD las series tienen un carácter estacional forzadas por el sesgo existente en las temperaturas máximas.

| Coruña ³ | | | | | | | | |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Año | | | | Año | | | | |
| | Tmxstv | Tmxmnt | Tmnst | Tmmnt | Tmx-st_Mt | Tmn_Mnt-st | TMD_mnt-st_ | ATD_Mnt-st_ |
| Media | 18,3 | 19,1 | 12,4 | 12,2 | 0,8 | -0,2 | 0,3 | 1,0 |
| Max | 33,8 | 35,3 | 20,3 | 20,2 | 3,3 | 0,3 | 1,5 | 3,6 |
| Min | 6,5 | 7,2 | 1,2 | 1,3 | -0,7 | -1,4 | -0,6 | -0,5 |
| STD | 4,3 | 4,5 | 3,9 | 3,9 | 0,5 | 0,1 | 0,3 | 0,5 |
| Nº datos | 1505 | 1505 | 1502 | 1502 | 1505 | 1502 | 1502 | 1502 |
| Invierno | | | | Primavera | | | | |
| | Tmx_Mnt-st_ | Tmn_Mnt-st_ | TMD_mnt-st_ | ATD_Mnt-st_ | Tmx_Mnt-st_ | Tmn_Mnt-st_ | TMD_mnt-st_ | ATD_Mnt-st_ |
| Media | 0,7 | -0,2 | 0,3 | 0,9 | 1,1 | -0,2 | 0,4 | 1,2 |
| Max | 3,2 | 0,1 | 1,1 | 2,7 | 2,6 | 0,2 | 1,4 | 3,0 |
| Min | -0,7 | -1,3 | -0,6 | -0,5 | -0,1 | -1,1 | -0,3 | -0,1 |
| STD | 0,5 | 0,2 | 0,3 | 0,5 | 0,5 | 0,1 | 0,2 | 0,5 |
| Nº datos | 346 | 344 | 344 | 344 | 304 | 303 | 303 | 303 |
| Verano | | | | Otoño | | | | |
| | Tmx_Mnt-st_ | Tmn_Mnt-st_ | TMD_mnt-st_ | ATD_Mnt-st_ | Tmx_Mnt-st_ | Tmn_Mnt-st_ | TMD_mnt-st_ | ATD_Mnt-st_ |
| Media | 1,0 | -0,2 | 0,4 | 1,3 | 0,6 | -0,2 | 0,2 | 0,8 |
| Max | 3,3 | 0,3 | 1,5 | 3,6 | 2,0 | 0,0 | 0,9 | 2,3 |
| Min | -0,3 | -0,6 | -0,3 | -0,2 | -0,7 | -1,4 | -0,5 | -0,4 |
| STD | 0,5 | 0,1 | 0,2 | 0,5 | 0,4 | 0,2 | 0,2 | 0,5 |
| Nº datos | 409 | 409 | 409 | 409 | 446 | 446 | 446 | 446 |

Tabla 2: Estadísticos de la serie de datos de Coruña distribuidos para todos los datos existentes y por estaciones



³ Tmx_Mnt-st = Temp. Max. Diaria medida en garita Montsouris - Temp. Max. Diaria medida en garita Stevenson
Tmn_Mnt-st = Temp. Min. Diaria medida en garita Montsouris - Temp. Min. Diaria medida en garita Stevenson
TMD_mnt-st_mur = Diferencia entre la temperatura media diaria [(Tmax+Tmin)/2] medida en la garita Montsouris y Stevenson
ATD_mur = Diferencia entre la amplitud térmica diaria (Tmax-Tmin) medida en la garita Montsouris y Stevenson
Tmxst = Temp. Max. Diaria medida en garita Stevenson
Tmxmnt = Temp. Max. Diaria medida en garita Montsouris
Tmnst = Temp. Min. Diaria medida en garita Stevenson
Tmmnt = Temp. Min. Diaria medida en garita Montsouris

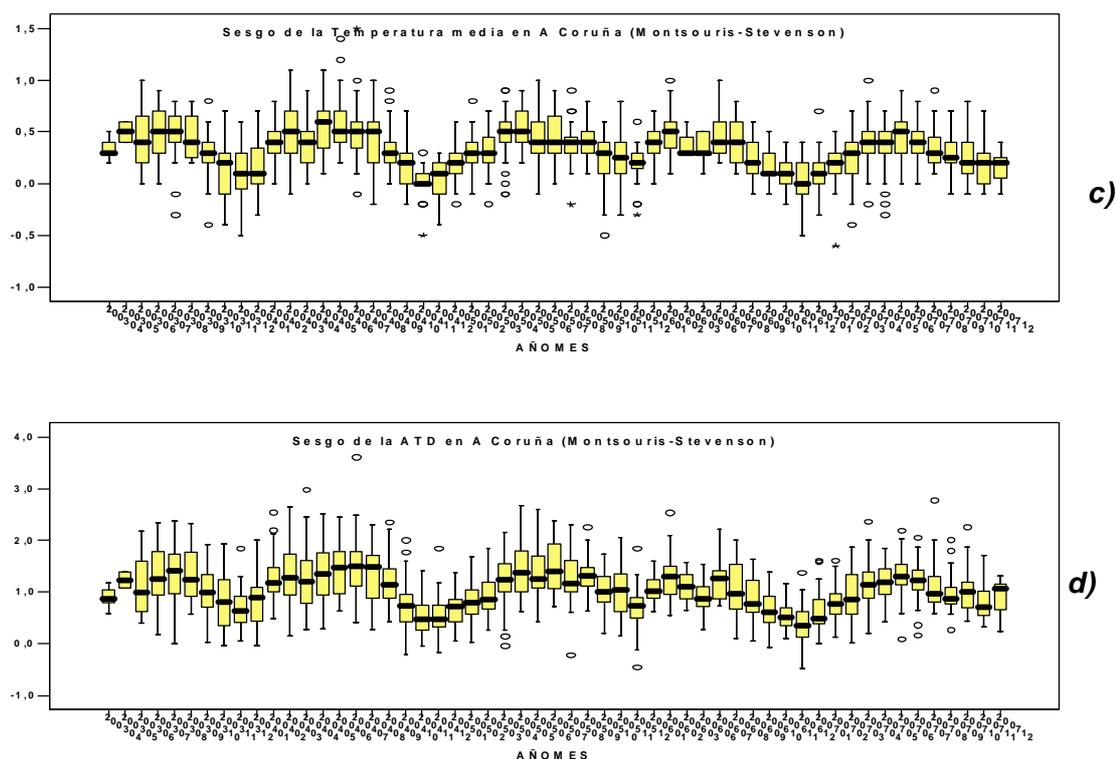


Fig 6: Diagrama de cajas del sesgo de las temperaturas máximas, a), mínimas, b), TMD, c), y ATD, d), de las series distribuidas por meses en A Coruña

En las estaciones de primavera y verano también se disparan los sesgos de las temperaturas máximas, alcanzando valores medios de 1,1 y 1,0 °C, frente al sesgo de 0,7-0,6 °C el resto del año. En la TMD también ocurre que la época cálida del año tiene sesgo de 0,4 °C frente a los 0,3-0,2 °C de la fría. Donde el sesgo es más pronunciado es en la ATD, 1,2-1,3 °C de la primavera y verano, frente a 0,9-0,8 °C durante el resto del tiempo.

Hay que hacer notar la mayor uniformidad en las temperaturas a lo largo del año en este clima y los valores muy inferiores de las temperaturas máximas alcanzadas durante la época cálida en Coruña como elementos para explicar las magnitudes más bajas del sesgo y una desviación estándar de los mismos algo más elevada.

También en este caso se presenta, Figura 6, un diagrama de cajas de la evolución de los datos registrados en Murcia durante estos años y repartidos por meses, para las variables sesgo de la Temperatura máxima, Temperatura mínima, TMD y ATD. En ellos se puede observar con claridad lo expuesto anteriormente.

4. SUMARIO

Los resultados obtenidos tras la comparación dual de la temperatura del aire en las réplicas experimentales de Murcia y A Coruña son concordantes con los descritos por otros autores (PARKER, 1994; NICHOLS, et al., 1996). El efecto del tipo de abrigo afecta con mayor magnitud a las temperaturas máximas diarias en ambas localizaciones españolas, al presentar una remarcable sobreestimación. Por el contrario, las temperaturas mínimas son subestimadas aunque en menor magnitud. El distinto signo del sesgo en una y otra variable conduce a una parcial cancelación del efecto en las temperaturas medias diarias, aunque asociado al elevado sesgo introducido en las temperaturas máximas por el tipo de abrigo, las temperaturas medias diarias se hallan también sobreestimadas, especialmente durante el verano. La ATD se ve artificialmente incrementada, con la consiguiente exacerbación del ciclo diario, cuando ésta es deducida de los registros tomados bajo la protección de los antiguos abrigos abiertos.

Por ello, el resultado final al analizar las series históricas afectadas por el sesgo asociado al abrigo meteorológico, sin minimizarlo previamente en los tramos afectados, conduciría a una estimación

inadecuada de la tasa de cambio de las temperaturas máximas, mínimas, TMD y ATD. En términos, pues, de estimación de tendencias, tanto las temperaturas máximas, como medias diarias y la ATD arrojarían unos coeficientes artificialmente sobreestimados; mientras que las temperaturas mínimas diarias presentarían una ligera subestimación. De ahí la necesidad previa de minimizar este sesgo de las series temporales afectadas con anterioridad a su uso, particularmente sí se pretende una óptima detección de la variabilidad y cambio climático.

Faltaría, para un próximo trabajo, modelizar las antiguas condiciones de exposición haciendo intervenir diferentes parámetros meteorológicos (nubosidad, viento, insolación, etc.) para poder minimizar el efecto de los abrigos meteorológicos en las series largas.

AGRADECIMIENTOS: Los autores agradecen a los directores y empleados de los centros meteorológicos territoriales de A Coruña y Murcia su estrecha y eficiente cooperación tanto en la instalación como en el mantenimiento de la réplica experimental, igualmente a la profesora Ana Justel, Departamento de Matemáticas de la Universidad Autónoma de Madrid. Este trabajo ha sido posible gracias a CICYT, al subvencionar el proyecto de investigación con número de referencia REN2002-0091/CLI, aquí reseñado.

REFERENCIAS

- AGUILAR, E., AUER, I., BRUNET, M., PETERSON, T. y WIERINGA, J., 2003.: Guidelines on climate Metadata and Homogenization, WMO/TD N° 1186, Geneva, 52 pp
- ANDERSSON, T. y MATTISSON, J., 1991: A field test of thermometer screens, SMHI RMK No. 62, Swedish Meteorological Institute, Norrköping, 40 pp.
- ANGOT, A., 1903: Instructions Météorologiques, Gauthier-Villars, Imp-Libraire, Paris, 4ª edición, 49-50.
- BRANDSMA T. AND VAN DER MEULEN J. P., 2008: Thermometer screen intercomparison in De Bilt (The Netherlands), Part II: Description and modelling of mean temperature differences and extremes, *International Journal of Climatology*, 28, 389-400.
- BRUNET M., BAÑÓN M., GARCÍA F., AGUILAR E., SALADIÉ O., SIGRÓ J, ASÍN J.³ Y LÓPEZ D., 2004: Una aproximación experimental tendente a la minimización del sesgo artificial asociado al tipo de garita meteorológica a través de la observación dual de la temperatura del aire, XXVIII Jornadas Científicas de la AME (Badajoz).
- GILL, D. 1882: On the effect of different kinds of thermometer screens, and of different exposures, in estimating the diurnal range of temperature at the Royal Observatory, Cape of Good Hope, *Q. J. R. Meteorological Soc* 8, 238-243.
- HAZEN, H. A., 1885: Thermometer exposure, US Signal Service, Professional Paper No. XVIII, US War Dep. Signal Office, Washington, DC, 32 pp.
- LAING, J., 1977: Maximum summer temperatures recorded in Glaisher stands and Stevenson screens, *Meteorological Magazine*, 106,220-228.
- MARGARY, I. D., 1924: Glaisher stand versus Stevenson screen. A comparison of forty years' observations of maximum and minimum temperature as recorded in both screens at Camden Square, London, *Quarterly Journal of Royal Meteorological Soc.*, **50**, 209-226.
- MARRIOTT, W., 1879: Thermometer exposure -wall versus Stevenson screens, *Q. J. R. Meteorological Soc* 5, 217-221.
- MAWLEY, E., 1897: Shade temperature, *Q. J. R. Meteorological Soc.*, 102,69-87
- NICHOLLS, N., TAPP, R., BURROWS, K. y RICHARDS, D., 1996: Historical thermometer exposures in Australia, *International Journal of Climatology*, 16, 705-710.
- NORDLI, P. O, et al., 1997: The effect of radiation screens on Nordic time series of mean temperature, *International Journal of Climatology*, 17, 1667-1681.
- PARKER, D. E., 1994: Effects of changing exposure of thermometers at land stations, *International Journal of Climatology*, 14, 1-31.
- RICHARDS, D., WILSON, G. SHENG HOW, K., KANG, S., TAN, A. Y CHEUNG, S., 1992: Comparison of temperature measures, Report for Bureau of Meteorology Research Centre, Swinburne Univ. of Technology, 176 pp
- RICHARDS, D., NIND, G., RAMCHAND, K. y KEYHOE, P., 1993: Differences in temperature recordings between the Glaisher stand and Stevenson screen, Report for Bureau of Meteorology Research Centre, Swinburne Univ. of Technology, 123.
- SPARKS, W. R., 1972: The effect of thermometer screen design on the observed temperature, WMO No. 315, Geneva, 106 pp.
- VAN DER MEULEN J. P. AND BRANDSMA T., 2008: Thermometer screen intercomparison in De Bilt (The Netherlands), Part I: Understanding the weather-dependent temperature differences, *International Journal of Climatology*, 28, 371-387.
- WHIPPLE, G. M., 1883: Report on experiments made at the Kew Observatory with thermometer screens of different patterns during 1879, 1880 and 1881, Appendix II to Quarterly Weather Report for 1880, Met Office, London, pp. 13-18.
- WILD, H., 1879: Thermometer installations for the determination of the true air temperature, *Meteorol. Sbornik*, VI (9), 18 pp (Traducción al inglés disponible en Nat. Met. Library of Met Office-UK).