

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

Por Manola Brunet*, Manolo Bañón¹, Francisco García², Enric Aguilar*, Oscar Saladié*, Javier Sigró*, Jesús Asín³ y Diego López*

*** Grupo de Investigación del Cambio Climático, Unidad de Geografía, Universidad Rovira i Virgili, Pza. Imperial Tarraco, 1, 43071 - Tarragona**

¹ Instituto Nacional de Meteorología, Centro Meteorológico Territorial de Murcia, Avda. de la Libertad, 11, Guadalupe, 30071 - Murcia

² Instituto Nacional de Meteorología, Centro Meteorológico Territorial de Galicia, C/ Gregorio Hernández, 4, 15011 A Coruña

³ Dep. de Métodos Estadísticos, Universidad de Zaragoza, CPS, 50018 Zaragoza

Resumen:

Con la finalidad de estimar la magnitud y signo del sesgo artificial introducido en las series termométricas más largas de las variantes climáticas semi-árida y sub-húmeda del clima mediterráneo, asociado a la utilización de diferentes tipos de abrigo meteorológico en el pasado, se han reproducido e instalado en los jardines meteorológicos de Murcia y de A Coruña sendas réplicas del abrigo abierto denominado “Montsouris”. 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, a la vez que proporcionar unos primeros resultados de la magnitud y signo que este sesgo introduce en la temperatura del aire durante los meses de primavera y verano en ambas localizaciones de condiciones climáticas tan dispares.

Abstract:

In order to estimate and minimise the magnitude and sign of the “screen bias”, which contaminated the longest Spanish temperature time-series, an experimental replica of the ancient temperature exposure has been started. The experiment consists in the installation of a Montsouris screen in the meteorological gardens of Murcia and A Coruña. The experiment's goal is to produce parallel time-series of air temperature, which will be instrumental in the identification of the magnitude and sign of the remaining bias in the longest records of the Mediterranean sub-humid (La Coruña) and sub-arid (Murcia) climate types. With these time-series, and those obtained for the meteorologically related variables, the most accurate correction factors derived from reliable transfer functions will be estimated. The goal of this paper is first to describe exposure conditions of both replicas and, second, to provide some preliminary results of the magnitude and sign of the screen bias during spring and summer months in both locations.

Key words: Screen bias, temperature time-series, experimental replica of ancient thermometric exposures, daily maximum (minimum) temperature overestimation (underestimation)

1. INTRODUCCIÓN

Con anterioridad al uso generalizado de las garitas meteorológicas tipo “Stevenson”, la exposición de los termómetros en el pasado varió de país a país, utilizándose diversos tipos de abrigos para protegerlos. Ello ha determinado que los registros termométricos más largos se hallen contaminados por el sesgo asociado a las condiciones de la exposición termométrica. El impacto de este sesgo artificial, dependiente de la latitud del lugar, de la época del año y del momento del día, de las condiciones meteorológicas reinantes en el momento de la observación, así como del parámetro térmico inspeccionado, no es despreciable (PARKER, 1994). Por ello, cualquier estudio que pretenda analizar el cambio climático a largo plazo basado en el uso de registros instrumentales largos requiere, como paso imprescindible para validar los resultados obtenidos, una cuidadosa compensación de este sesgo remanente en las series temporales usadas.

España no constituyó una excepción a esta práctica observacional, habiéndose utilizado en el conjunto de su red termométrica diferentes modelos de abrigo. Entre los más comunes figuraban los denominados “abrigos abiertos”, del tipo “Montsouris” o “Glaisher”, que fueron denominados por los meteorólogos decimonónicos españoles como “atril”, “facistol” o “protector so endeble techado”, los cuales consistían de un armazón con techumbre orientable y travesaño del que colgaban los termómetros (RICO SINOBAS, 1857; ICM, 1891; AAOAM, 1992).

Pese a que durante el siglo XIX se llevaron a cabo experimentos de campo tendentes a establecer los efectos del diferente tipo de abrigo sobre las medidas de la temperatura del aire, pocos servicios meteorológicos realizaron y mantuvieron en su momento medidas pareadas de la temperatura del aire en las antiguas y nuevas condiciones de exposición. Por ello todavía hoy se requiere información factual sobre el signo y magnitud de dicho sesgo, así como la estimación de los factores de corrección más fiables del mismo a través de diferentes estrategias. En este sentido, la OMM recomienda en la elaborada recientemente Guía sobre Metadatos y Homogeneización (AGUILAR, et al, en prensa) dos aproximaciones tendentes a la minimización de dicho efecto:

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.

Como parte del proyecto SCREEN*, se han reproducido e instalado en los jardines meteorológicos de Murcia y de A Coruña sendas réplicas del abrigo denominado “Montsouris”. En ellas se han colocado sensores térmicos, idénticos a los instalados bajo la protección de las garitas adyacentes tipo “Stevenson”. Tras la observación dual de la temperatura del aire en ambos abrigos (Stevenson versus Montsouris), se pretende tanto estimar la magnitud y signo del sesgo que los abrigos de tipo abierto introdujeron en los registros mas largos de las variantes climáticas semi-árida y sub-húmeda del clima mediterráneo, como obtener los factores más robustos de corrección/minimización de dicho sesgo a través de las funciones de transferencia entre las series diferencia producidas y las variables meteorológicas que las determinan.

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, proporcionar una primera

* 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, nº de referencia: REN2002-0091/CLI y coordinado por M. Brunet.

valoración sobre el ciclo térmico diario incrementado artificialmente durante la primavera y el verano en las exposiciones abiertas reproducidas en dos localidades de características climáticas tan contrastadas como Murcia y A Coruña.

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.

Comparaciones experimentales entre diferentes abrigos fueron llevadas a cabo 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 (i.e. WILD, 1879; MARRIOTT, 1879; GILL, 1882; WHIPPLE, 1883; MAWLEY, 1884). La preocupación por comprender la influencia de la exposición y protección de los termómetros sobre las medidas de la temperatura del aire en diferentes climas llevó también a la elaboración 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., 1996, 1997). 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, aunque en pocos de ellos se aborda una estrategia coherente de minimización de dicho efecto.

Los abrigos de tipo abierto, como el francés denominado Montsouris, fue utilizado durante la segunda mitad del s. XIX y en algunos observatorios hasta bien entrado el siglo XX en la mayor parte de las estaciones que componían la red meteorológica española (un seguimiento del tipo de garita usado en España puede realizarse a través de las introducciones al “Resumen de las observaciones meteorológicas efectuadas en la península y algunas de sus islas adyacentes”, que fue publicado anualmente por el Observatorio de Madrid y el Instituto Central Meteorológico).

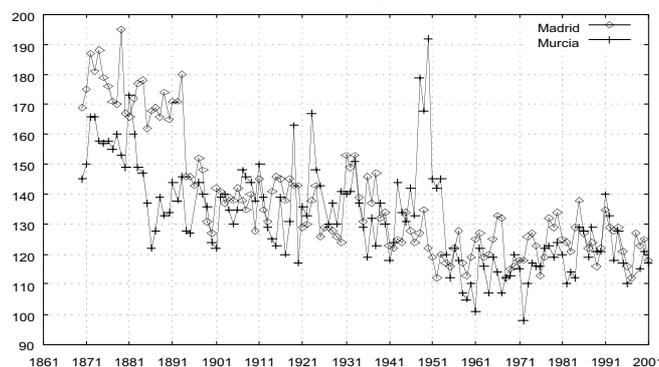
De acuerdo con la descripción proporcionada por A. Angot (1903), el abrigo abierto “Montsouris” está compuesto de un doble techo de planchas de madera de un metro cuadrado de superficie (separado una de otra por un espacio abierto de 15 cm) y apoyado sobre 4 patas también de madera, iguales en altura 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, aspecto que en su momento fue considerado vital para asegurar una correcta medida de la temperatura del aire. Además, la inclinación del tejadillo y su orientación hacia el sur proporciona protección de la radiación solar directa, a la vez que las viseras laterales ejercen un similar efecto en los momentos del día adyacentes al orto y al ocaso. No obstante, este tipo de abrigo no protege a los termómetros de la radiación solar reflejada ni de la radiación terrestre de onda larga, lo que indujo una sobrestimación de las temperaturas registradas durante el día, especialmente acusado en la temperatura máxima absoluta diaria, a la vez que una subestimación de las temperaturas nocturnas, particularmente apreciable en las mínimas absolutas diarias.

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 Madrid y Murcia y que se halla representada en la Figura 1. En el caso de Madrid puede apreciarse como la ATD está anormalmente incrementado en el tramo inicial (1869-1893), mientras que para Murcia un efecto similar puede ser establecido entre 1869 y 1884.

Figura 1. Promedios mensuales del ATD de Agosto en Madrid y Murcia (Periodo 1869-2001). Los datos se proporcionan en 0.1 °C. Fuente: Aguilar et al., (2002)



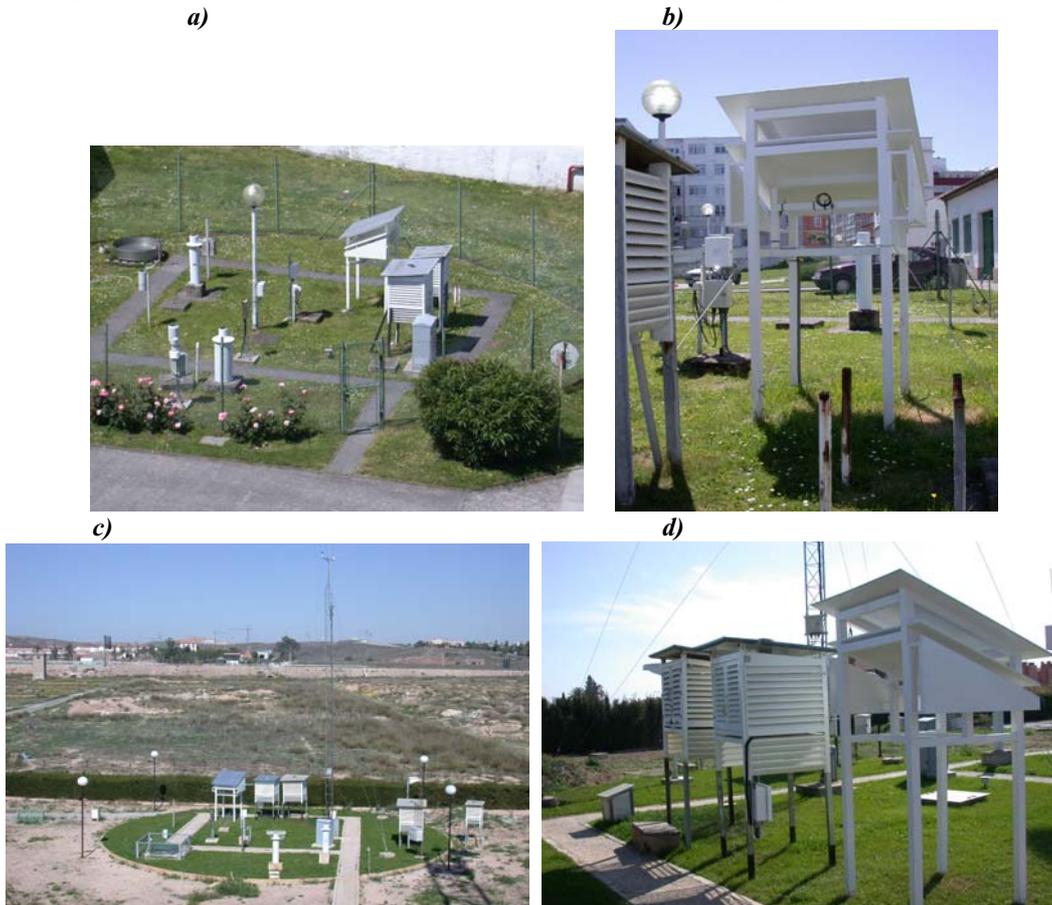
Además, la influencia de este sesgo no sólo afecta al ciclo diario de las temperaturas, sino que también induce un apreciable impacto en el ciclo anual. En el caso del observatorio meteorológico de Adelaida (sur de Australia), en el que entre 1887 y 1948 estuvieron operativos un abrigo tipo Glaisher y otro Stevenson con los que se hicieron medidas paralelas de la temperatura del aire durante 61 años, la comparación entre ambas series (Glaisher menos Stevenson) proporciona luz sobre la magnitud del sesgo, tanto en los dos parámetros térmicos extremos diarios como a lo largo del año (NICHOLLS, et al., 1996).

El sesgo es mayor en las temperaturas máximas que en las temperaturas mínimas y su magnitud es estacionalmente dependiente, particularmente en las temperaturas máximas. Para éstas, el mayor efecto se registra durante la mitad cálida del año (de Octubre a Marzo), cercano a 1 °C de diferencia en el promedio mensual, mientras que en la mitad fría del año se reduce notablemente hasta alcanzar su mínima expresión (en torno a 0.2 °C) en el corazón del invierno (Junio y Julio).

Por el contrario, las diferencias promedio mensuales correspondientes a las temperaturas mínimas diarias presentan además de una menor magnitud ($-0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$) 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 cifrado en $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ más alto para las observaciones tomadas bajo la protección del abrigo inglés abierto Glaisher.

Con la finalidad de estimar los factores de corrección/minimización más fiables del sesgo artificial asociado al abrigo y conseguir con ello una mejor estimación de las tendencias y variabilidad a largo plazo de la temperatura del aire a partir del análisis de las series térmicas españolas más largas de las variantes sub-húmeda y semi-árida del clima Mediterráneo, se está llevando a cabo la medición simultánea de la temperatura del aire en condiciones de exposición pasadas y presentes, mediante la réplica experimental del antiguo abrigo denominado “Montsouris”. Para ello, se han instalado en los jardines meteorológicos de A Coruña y Murcia junto a las actuales garitas Stevenson sendas reproducciones del abrigo Montsouris (Figura 2).

Figura 2. 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 panorámica de la instalación en Murcia. d) Vista lateral del abrigo Montsouris en Murcia



En la Figura 2a, se muestra una vista panorámica del jardín meteorológico de A Coruña, en la que puede observarse la ubicación de la garita Montsouris junto al actual abrigo Stevenson. Asimismo, en la Fig. 2b se proporciona una vista frontal de la garita Montsouris, en la que se aprecia colgando del travesaño central la sonda térmica 107, idéntica a la existente en el interior

del abrigo Stevenson, habiendo sido convenientemente calibradas. El *datalogger* utilizado es el modelo Campbell CR510-2M.

La Figura 2c proporciona una visión general de la instalación de la réplica experimental en el jardín meteorológico de Murcia; mientras que, la Figura 2d muestra una vista lateral en detalle de la garita Montsouris en la que es visible una de las viseras laterales descritas con anterioridad. En el caso de la instalación de Murcia, se ha optado por la sonda térmica 108 unidas al mismo modelo de *datalogger*, cuya caja de intemperie es visible en la garita adyacente Stevenson.

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 (Figura 2a y c), 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. Además, para minimizar cualquier efecto que la radiación solar entrante pudiera inducir sobre el cable de la sonda térmica que va desde el *datalogger* hasta la garita Montsouris, se ha pintado éste de blanco, tal y como es apreciable en la Figura 2b.

3. RESULTADOS PRELIMINARES 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 del 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 mitades de Junio 2003, en el que el problema técnico asociado al aparato de registro quedó solucionado. Por ello, para A Coruña sólo se presentarán los resultados obtenidos tras comparar las lecturas termométricas durante los meses de verano, mientras que en el caso de Murcia éstos están disponibles para los meses de primavera y verano.

El registro automático y continuo de la temperatura del aire permite obtener un alto volumen de datos diarios (144 promedios térmicos diez minutarios 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 diez minutarias 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 3_, 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 valor más alto de la temperatura del aire en los 144 datos diez minutarios producidos; mientras que, la temperatura mínima corresponde al valor 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 para ambos abrigos y emplazamientos, computados como la semisuma de ambas temperaturas extremas, así como se ha calculado la Amplitud Térmica Diaria (ATD).

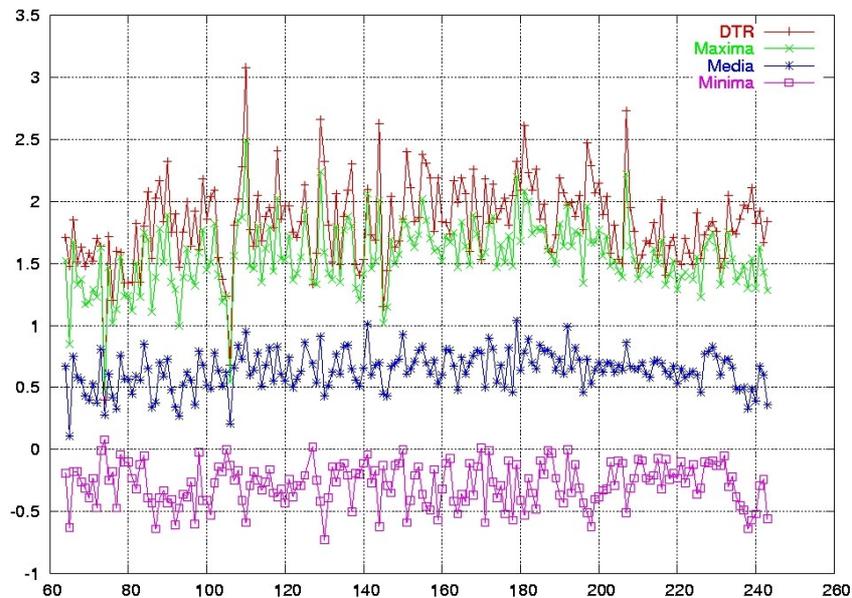
Con las nuevas series generadas de las temperaturas diarias, se ha procedido a su comparación, creando las respectivas series diferencia diaria (Montsouris menos Stevenson) de las temperaturas máximas, mínimas, medias y ATD. Se ha contrastado la significación estadística de todas las diferencias mediante 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.

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.

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

La comparación de las temperaturas diarias registradas en ambos abrigos desde Marzo a Agosto del 2003 en el centro meteorológico de Murcia se halla representada en la Figura 3, mientras que en la Tabla 1 se recogen los estadísticos descriptivos del conjunto de series diferencias analizadas. Como puede apreciarse, el efecto del tipo de abrigo usado en los cuatro parámetros térmicos analizados no es despreciable, aunque su signo y magnitud difiere entre ellos.

Figura 3. Diferencias diarias de la temperatura máxima, mínima, media y oscilación térmica diaria en Murcia medida en las garitas Montsouris y Stevenson (Montsouris menos Stevenson) desde Marzo a Agosto de 2003



La sobreestimación de la temperatura máxima medida en el abrigo Montsouris oscila en el periodo estudiado entre un valor mínimo de 0.5 °C (en el día juliano 106) y otro máximo de 2.5 °C (en el día juliano 110), con una sobreestimación media para el conjunto del periodo de 1.6 °C, siendo su desviación típica de 0.3 °C. Pese a que sólo se dispone para este análisis de los meses de primavera y verano, puede apreciarse como la magnitud mensual promedio del sesgo es mayor en los meses estivales, registrándose el valor más bajo en el primer mes de primavera, indicativo de la posible estacionalidad en la magnitud de este efecto que conduciría a un acrecentamiento artificial del ciclo anual de la temperatura en este clima.

En el caso de las temperaturas mínimas el signo del sesgo del abrigo es negativo, evidenciando la subestimación de esta variable medida bajo la protección del abrigo Montsouris. Sus diferencias diarias oscilan entre un valor ligeramente positivo (0.1 °C en el día juliano 74) y una

máxima diferencia negativa de 0.7 °C (en el día juliano 130), siendo el promedio del periodo de -0.3 °C con una desviación típica de 0.2 °C. En este parámetro no se aprecia estacionalidad en la magnitud del efecto del abrigo, al presentar los promedios mensuales una subestimación similar.

Tabla 1. Estadísticos descriptivos de las series diferencia mensuales estimadas (Montsouris menos Stevenson) para las temperaturas máximas, mínimas, medias y ATD en Murcia durante Marzo-Agosto de 2003 (en °C)

MESES	Estadísticos	T			
		Tmax	Tmin	media	ATD
MARZO	Media	1.3	-0.3	0.5	1.6
	N	27	27	27	27
	Desv. Típ.	0.3	0.2	0.2	0.4
ABRIL	Media	1.5	-0.3	0.6	1.8
	N	30	30	30	30
	Desv. Típ.	0.3	0.2	0.2	0.4
MAYO	Media	1.6	-0.3	0.7	1.8
	N	30	30	30	30
	Desv. Típ.	0.3	0.2	0.1	0.4
JUNIO	Media	1.7	-0.3	0.7	2.0
	N	30	30	30	30
	Desv. Típ.	0.2	0.2	0.1	0.2
JULIO	Media	1.7	-0.3	0.7	1.9
	N	31	31	31	31
	Desv. Típ.	0.2	0.2	0.1	0.3
AGOSTO	Media	1.5	-0.3	0.6	1.7
	N	31	31	31	31
	Desv. Típ.	0.1	0.2	0.1	0.2
PROMEDIO	Media	1.6	-0.3	0.6	1.8
	N	179	179	179	179
	Desv. Típ.	0.3	0.2	0.2	0.3

El distinto signo del sesgo introducido en ambos parámetros térmicos extremos induce una parcial cancelación de este efecto en el promedio diario de la temperatura del aire, aunque todavía es apreciable la sobreestimación de esta variable. Sus diferencias diarias oscilan entre un valor mínimo de 0.1 °C (en el día juliano 65) y un valor máximo de 1.1 °C (día juliano 179), dando lugar a una sobreestimación media de 0.6 °C con una desviación típica de 0.2 °C para el conjunto del periodo. Como consecuencia del mayor impacto que las temperaturas máximas ejercen en el cómputo de las medias diarias, éstas presentan también una cierta estacionalidad en la magnitud del sesgo promedio, siendo otra vez más los meses centrales del año los que exhiben un mayor sesgo y Marzo el que presenta una menor sobreestimación.

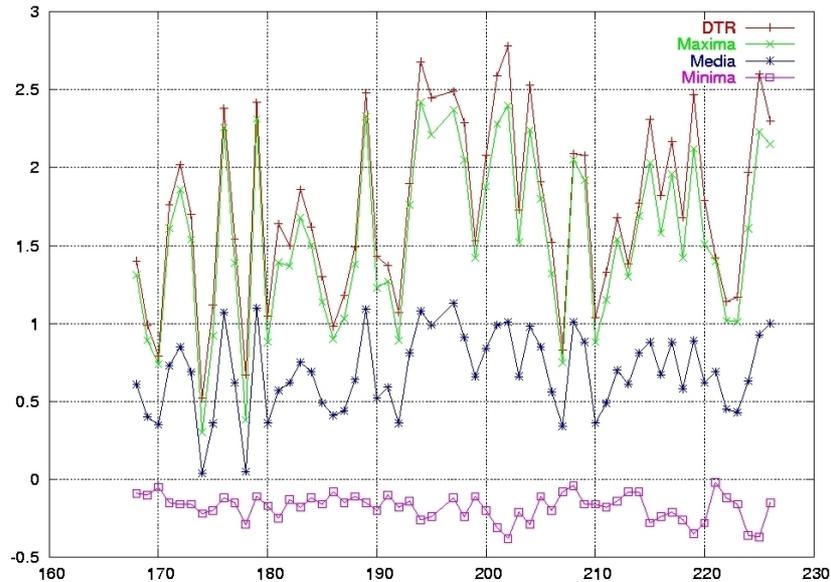
Como resultado de la sobreestimación de las temperaturas máximas y la subestimación de las temperaturas mínimas medidas bajo la protección del abrigo Montsouris, la oscilación térmica diaria presenta un remarcable incremento artificial, que oscila entre un mínimo valor de 0.4 °C (día juliano 106) y uno máximo de 3.1 °C (día juliano 110), siendo artificialmente exagerada la ATD durante el periodo analizado en un promedio de 1.8 °C con una desviación típica de 0.3 °C. La estacionalidad en la magnitud del efecto es también clara en este parámetro, al ser los meses centrales del año los que alcanzan los más altos valores, para reducirse en Marzo.

3.2. Garita Stevenson versus abrigo Montsouris: Diferencias existentes en A Coruña

Para el caso de A Coruña, como ya se ha mencionado, sólo se ha podido contar con un periodo más corto de registros térmicos pareados (desde mitades de Junio hasta finales de Agosto de 2003) con un total de 58 días. Pese a ello, pueden destacarse hechos similares, al detectarse un patrón semejante al descrito para Murcia en las series diferencia diarias creadas.

En la Figura 4 se muestran las series diferencia diaria de las temperaturas máximas, mínimas, medias y ATD; mientras que, en la Tabla 2 se proporcionan los estadísticos mensuales promedio descriptivos de las series inspeccionadas.

Figura 4. Diferencias diarias de la temperatura máxima, mínima, media y oscilación térmica diaria en A Coruña medida en las garitas Montsouris y Stevenson (Montsouris menos Stevenson) desde Junio a Agosto 2003 (en °C)



La temperatura máxima es el parámetro que exhibe el mayor sesgo, con una sobreestimación promedio en el periodo estudiado de 1.5 °C y una desviación típica de 0.5 °C, indicativa de la mayor dispersión de esos valores. La sobreestimación de este parámetro ha oscilado entre 0.3 °C como valor más bajo (en el día juliano 174) y 2.4 °C (en los días 194 y 202) como el más elevado. Dado que sólo han sido analizados los meses del verano no puede establecerse el carácter estacional en la magnitud del sesgo positivo que el tipo de abrigo induce en la variable.

Al igual que lo detectado en Murcia para la temperatura mínima diaria, ésta se halla subestimada en 0.2 °C como promedio para el periodo analizado, con un menor valor en su desviación típica (0.1 °C). Las ligeras diferencias negativas han oscilado entre 0 °C (en el día juliano 221) y -0.4 °C (en los días 202 y 225), siendo inapreciable un cambio de magnitud en las diferencias a lo largo de los tres meses estudiados. Es asimismo destacable la estabilidad y escasa variabilidad que presentan las diferencias de la temperatura mínima registradas en este observatorio, en comparación con la gran variabilidad que presentan las temperaturas máximas. Además y en comparación con los resultados de Murcia, también es remarcable el hecho de que aunque las discrepancias entre las lecturas termométricas pueden ser similares en ambos subtipos climáticos en cuanto a sus valores promedio, no lo son en cuanto a su variabilidad temporal.

Como consecuencia del comportamiento diferencial observado entre las temperaturas máximas y mínimas, la temperatura media diaria aparece también sobreestimada en A Coruña durante el periodo de estudio, alcanzando un valor promedio de 0.7 °C; mientras que, las diferencias diarias oscilan entre 0 °C y 1.1 °C, registrados respectivamente los días julianos 174 y 179. Aunque es

apreciable una ligera diferencia entre los promedios mensuales de Julio-Agosto y Junio, el breve periodo utilizado imposibilita establecer el efecto de incremento artificial del ciclo anual.

Tabla 2. Estadísticos descriptivos de las series diferencia mensuales estimadas (Montsouris menos Stevenson) para las temperaturas máximas, mínimas, medias y ATD en A Coruña durante Junio-Agosto 2003 (en °C)

MESES	Estadísticos	Tmax	Tmin	Tmedia	ATD
JUNIO	Media	1.3	-0.2	0.6	1.4
	N	14	14	14	14
	Desv. Típ.	0.6	0.1	0.3	0.6
JULIO	Media	1.6	-0.2	0.7	1.8
	N	30	30	30	30
	Desv. Típ.	0.5	0.1	0.2	0.6
AGOSTO	Media	1.6	-0.2	0.7	1.9
	N	14	14	14	14
	Desv. Típ.	0.4	0.1	0.2	0.5
PROMEDIO	Media	1.5	-0.2	0.7	1.7
	N	58	58	58	58
	Desv. Típ.	0.5	0.1	0.3	0.6

Finalmente, el rango térmico diario presenta una clara sobreestimación promedio de 1.7 °C, registrando su más bajo valor medio en Junio y el más alto en Agosto; a la vez que las diferencias absolutas diarias se establecen entre los 0.5 °C estimados para el día juliano 174 y los 2.8 °C registrados durante el día juliano 202.

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. Por último, 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.

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. Este trabajo ha sido posible gracias a CICYT, al subvencionar el proyecto de investigación con número de referencia REN2002-0091/CLI, aquí reseñado.

REFERENCIAS

- AAOAM (ASOCIACIÓN DE AMIGOS DEL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO DE MADRID), 1992: Doscientos años del observatorio astronómico de Madrid, AAOAM, Madrid, 187 pp.
- AGUILAR, E., AUER, I., BRUNET, M., PETERSON, T. y WIERINGA, J.: Guidance on Metadata and Homogenization, WMO, Geneva, (en prensa). [http:// www.ncdc.noaa.gov/oa/wmo/ccl/ guide-to-metadata-homogeneity.doc](http://www.ncdc.noaa.gov/oa/wmo/ccl/guide-to-metadata-homogeneity.doc).

- AGUILAR, E., BRUNET, M., SALADIÉ, Ò., SIGRÓ, J. y LÓPEZ, D., 2002: Hacia una aplicación óptima del Standard Normal Homogeneity Test para la homogenización de Temperatura, en Cuadrat, J.M., Vicente, S.M. y Saz, M.A. (eds.): La información climática como herramienta de gestión ambiental, VII Reunión de Climatología, Zaragoza, 8-21 pp.
- ANDERSSON, T. y MATTISSON, I., 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.
- 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.
- ICM, 1891: Resumen de las observaciones meteorológicas efectuadas en la Península y algunas de sus islas adyacentes, ICM, Madrid, 237 pp.
- LAINING, 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., 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.
- 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.
- RICO SINOBAS, M., 1857: Resumen de los trabajos meteorológicos correspondientes al año 1854, Instituto Central Meteorológico (ICM), Madrid, 148 pp.
- SPARKS, W. R., 1972: *The effect of thermometer screen design on the observed temperature*, WMO No. 315, Geneva, 106 pp.
- 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).