

CORRECCIÓN DEL SESGO DE LA TEMPERATURA DIARIA CON LA INTRODUCCIÓN DE LAS ESTACIONES AUTOMÁTICAS

José Antonio LÓPEZ DÍAZ ¹, Enrique AGUILAR ANFRONS ², María Yolanda LUNA RICO ¹, Marc PROHOM DURAN ², Alba GILABERT GALLART ²

¹Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)

²Center for Climate Change, C3, Universitat Rovira i Virgili

³Sevei Meteorològic de Catalunya (SMC)

jlopezd@aemet.es, enric.aguilar@urv.cat, mlunar@aemet.es, mprohom@meteo.cat,
alba.gilabert@urv.cat

RESUMEN

El cambio de estaciones de observación convencionales a automáticas se ha llevado a cabo o lo está haciendo en muchas partes del mundo, y todo indica que aumentará en el futuro. Este cambio de tipo de sensor, que en ocasiones conlleva un cambio adicional de garita meteorológica, puede producir inhomogeneidades de similares características en toda una red de series climatológicas. La investigación de métodos que permitan la corrección de inhomogeneidades de dato diario es un tema de activa investigación en la actualidad. En este trabajo se describen resultados preliminares obtenidos con la aplicación del método QM “quantile-matching” de B. Trewin (2012).

En primer lugar se describirá la red de estaciones de la Península y Baleares usadas en el estudio, que comprende 47 estaciones provenientes de AEMET y del SMC con 134.000 observaciones simultáneas convencional-automática. Tras un control de calidad se han retenido 30 estaciones con 30.000 pares de observaciones.

Se analizan los sesgos debidos a la introducción de las estaciones automáticas en este dataset a escala mensual y anual. También se presenta un estudio más detallado del efecto de la automatización en la estación de Barcelona-Observatorio Fabra para la que se dispone de buenos metadatos.

En la última parte se investiga la capacidad del método QM de Trewin (2012) para corregir estos sesgos del dato diario de temperatura por medio de la comparación con dos métodos alternativos más sencillos. Por último se discuten los resultados y perspectivas para trabajos posteriores.

Palabras clave: temperatura diaria, estaciones automáticas, estaciones convencionales, homogeneidad, corrección temperatura diaria, algoritmo de ajuste de cuantiles.

ABSTRACT

The change from conventional stations to automatic ones has been or is being done in many parts of the world, and is expected to increase in the future. The change of sensor, which can be accompanied by a change of instrument shelter, can lead to inhomogeneities of similar characteristics across a whole network. The search for methods to correct these inhomogeneities is an active research topic at the moment. In this work we show some preliminary results obtained by applying the quantile-matching algorithm of Trewin (2012).

Firstly we describe the station network over the Peninsula and the Balearic Islands used in this study. It comprises 47 stations coming from AEMET and SMC with 134000 conventional-automatic simultaneous observations. After performing a quality control 30 stations and 30000 paired observations have been kept.

The biases coming from the introduction of the automatic stations are analysed at the monthly and annual scale. We also present a more detailed study of the effect of the automatization in the Barcelona-Observatorio Fabra station, for which we have good metadata.

In the last part of the paper we explore the ability of the QM Trewin method to correct the biases in daily temperature through a comparison with two simpler alternative procedures. Finally we discuss these results and perspectives for future work.

Key words: daily temperature, automatic stations, conventional stations, homogeneity, daily temperature adjustment, quantile matching algorithm.

1. INTRODUCCIÓN

Durante la primera mitad del siglo XX (Wood, 1946) se iniciaron los esfuerzos para conseguir la automatización de las observaciones meteorológicas. Sin duda alguna, la posibilidad de obtener registros más frecuentes y situar puntos de observación en lugares remotos supuso un estímulo para el desarrollo de tales instrumentos. Bien entrado el último cuarto de la pasada centuria, la tecnología permitió generalizar progresivamente su empleo y aumentar la densidad espacial y la resolución temporal de las redes observacionales. Sirva de ejemplo el proyecto pionero de la Universidad de Madison-Wisconsin (USA) que inició a principios de los años 1980s (Sterns *et al.*, 1980) con la instalación y explotación de estaciones automáticas (EMA en lo sucesivo) en la Antártida.

En España, el Instituto Nacional de Meteorología emplazó las primeras EMAs a partir de 1983 (Lambás *et al.*, 2004) y en la actualidad cuenta con 544 estaciones climatológicas automáticas y 259 estaciones meteorológicas automáticas en toda España, mientras que el Servei Meteorològic de Catalunya, tras su reinstauración en 1996, completó la monitorización de su territorio mediante el despliegue de una notable red, actualmente constituida por 173 EMAs (Anuari de dades meteorològiques, 2013).

Adicionalmente, en las últimas décadas, numerosas EMAs han reemplazado en observatorios preexistentes a la observación convencional manual (EMC en lo sucesivo). Dichas sustituciones, a pesar de tener como impacto positivo la obtención de mediciones prácticamente continuas, pueden introducir un sesgo a la hora de derivar series temporales de largo recorrido para el estudio de la variabilidad y el cambio climático. La Organización Meteorológica Mundial recomienda para estudiar el efecto de la automatización – y, en general, para evaluar cualquier cambio importante en la instrumentación, exposición o entorno de las estaciones meteorológicas - efectuar un mínimo de dos años de observaciones paralelas simultaneando las condiciones nuevas y antiguas (Plummer *et al.*, 2003). Dicho documento también alerta de las necesidades de mantenimiento de los sistemas automatizados para su correcto funcionamiento y permitir una relación constante en las diferencias EMA - EMC.

Por lo que se refiere a la variable temperatura, diversos autores han analizado el sesgo introducido por la automatización. En Rumanía, Boroneant *et al.* (2006) estudian un conjunto de 15 estaciones, con un año de datos emparejados. Entre las mismas, las medias mensuales

de la temperatura mínima son habitualmente más frías en la EMA, mientras las diferencias presentan signos más variantes entre estaciones durante el día. En Estados Unidos, Sun *et al.* (2004) evalúan las diferencias entre el U.S. Climate Reference Network (USCRN) y el Automated Surface Observing System (ASOS), encontrando diferencias sistemáticas del orden de 0.1 °C, diferencias que se magnifican en determinadas condiciones meteorológicas. En el mismo país, Wu *et al.* (2004), comparan las estaciones del programa Cooperative Weather Stations Network (COOP) con los datos automatizados procedentes de la Automatic Weather Data Network (AWDN) en el estado de Nebraska para alertar de notables discrepancias entre ambos sistemas. Finalmente, Holder *et al.* (2005), centrándose en el estado de North Carolina, comparan datos manuales del National Weather Service's Cooperative Observer Program (COOP) con las observaciones automatizadas del programa North Carolina Collocated Automated Network (NCECONet). Sus conclusiones indican que la red manual registra sistemáticamente temperaturas máximas mayores y mínimas inferiores.

Es evidente que el estudio de las medidas emparejadas debe servir tanto para establecer la necesidad de ajustar las series temporales, como para explorar las mejores técnicas disponibles. Cabe también mencionar que conocer la magnitud y forma de esta inhomogeneidad, presenta el valor añadido de permitir su reproducción en los procesos avanzados de benchmarking que, en la actualidad, suponen la mejor herramienta disponible para la validación y mejora de los métodos de homogeneización.

En este trabajo se presenta y estudia una red de datos emparejados de temperatura, facilitados por la Agencia Estatal de Meteorología y el Servei Meteorològic de Catalunya. En la próxima sección, se realiza la descripción de la red y se presenta la aproximación metodológica para su estudio y corrección inicial; a continuación se describe el sesgo introducido, tanto a nivel de red como a en distintas estaciones; finalmente, se evalúan distintas opciones de corrección.

2. DATOS Y MÉTODOS

Los datos utilizados en este estudio han sido proporcionados por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) y por el Servei Meteorològic de Catalunya (SMC). El dataset inicial contiene alrededor de 134.000 observaciones emparejadas de temperatura máxima y mínima diaria procedentes de 47 estaciones diferentes distribuidas por toda España y se ha sometido a un control de calidad para eliminar las observaciones anómalas. El control de calidad ha consistido, en un primer estadio, en marcar aquellas parejas de observaciones para las cuales:

- La temperatura máxima diaria es menor o igual que la mínima diaria tanto en EMA como en EMC.
- alguna de las dos observaciones está fuera del rango [-40°C, 40°C] o bien la diferencia EMA – EMC es mayor que 2°C.
- alguna de las observaciones EMA o EMC es un valor aberrante, definido como una diferencia EMA – EMC fuera de los límites definidos por el percentil 75/25 +/- 4 veces el rango intercuartílico calculado con ventana de 5 días centrada en el día objetivo.

En un segundo estadio se han eliminado del posterior análisis, los años incompletos siguiendo estos pasos:

- a) Selección de los días para los que tanto la EMA como la EMC tienen observación válida para máxima y mínima.
- b) Cálculo de las medias mensuales para los meses con al menos 15 valores. Este criterio es mucho más permisivo que el de OMM (que solo permite 5 lagunas en total en el mes como máximo, o 3 si son seguidas), pero se ha considerado que 15 valores son suficientes para estimar una media para nuestro propósito de describir las diferencias entre la automática y la convencional.
- c) Se han conservado los años para los que todas las medias mensuales se han podido calcular.

El dataset final para el análisis contiene 35.536 pares y 102 años completos, de una total de 30 estaciones.

3. DESCRIPCIÓN DEL SESGO

En primer lugar hemos analizado el sesgo debido a la introducción de las estaciones automáticas de forma global. Para ello se han estudiado las diferencias EMA – EMC juntando las provenientes de todas las estaciones del dataset. En la tabla 1 se presentan estadísticos correspondientes a la temperatura máxima diaria (TX), y en la tabla 2 los correspondientes a las mínimas (TN). El sesgo medio anual en TX es 0.1°C y en TN -0.2°C , de modo que en conjunto la automática es algo más cálida durante el día y algo más fría durante la noche que la convencional. Para TX el 48.4 % de las observaciones corresponden a EMA más caliente y el 43.5 % a EMA más fría (el 8.1 % sin diferencia). Para TN los valores correspondientes son 40.0%, 53.8% y 6.2%, respectivamente. Tanto para temperatura diurna como nocturna alrededor de la mitad de las observaciones muestran diferencias menores o iguales a 0.5°C en valor absoluto. Para un tope de 0.1°C encontramos poco más de un 10% de las observaciones.

Las distribuciones mensuales de las diferencias diarias EMA – EMC son bastante parejas a la anual (ver tablas 1 y 2). Para TX las mayores diferencias se encuentran en enero y febrero (0.2°C y 0.2°C), mientras que el resto de los meses se mueven entre 0.1°C y 0.0°C ; para TN todos los meses presentan sesgos negativos entre -0.1°C y -0.2°C . Todas las distribuciones mensuales son leptocúrticas y la mayoría asimétricas, con colas pesadas y valores extremos grandes. Los mejores resultados (según el criterio de Akaike) tras el ajuste a la familia de Pearson, con ayuda del paquete de T PearsonDS, se obtienen con la distribución de Pearson de tipo IV.

Aunque la distribución geográfica de las estaciones puede tener un impacto en el signo, magnitud y distribución del sesgo, los factores más importantes que influyen en estas características están relacionados con el tipo de instrumentación, la calibración y la exposición. Aunque desgraciadamente los buenos metadatos son escasos podemos ilustrar lo anterior con algún caso en que el historial de la estación está disponible. Este es el caso de la estación de Barcelona-Observatorio Fabra, cuyos metadatos se muestran en la tabla 3.

Mes	Media	Sd	Sesgo	Ex. kurt.	Max EM A cál. dif.	Max EM A fría dif.	% abs. dif. <0.5	% abs. dif. <0.1	% EM A fría	% EM A cál.	Num. obs.
Jan	0.2	1.1	1.0	9.6	9.4	-7.6	53.5	14.0	39.2	54.4	2434
Feb	0.3	1.2	1.1	14.0	10.4	-7.7	55.6	16.5	37.2	55.5	2244
Mar	0.1	1.1	1.3	10.2	9	-5.5	59.8	15.4	42.9	47.9	2457
Apr	0.1	1.1	0.6	8.7	9.6	-6.0	57.7	13.0	45.7	46.1	2401
May	0.1	1.1	0.4	8.5	7.4	-7.9	57.2	12.5	44.3	46.7	2445
Jun	0.1	1.1	0.4	6.5	9.2	-6.3	55.4	11.9	44.5	46.9	2392
Jul	0.1	1.1	0.7	4.7	7.3	-5.8	55.3	10.3	46.4	45.4	2472
Aug	0.1	1.1	0.0	2.9	5.7	-6.1	53.5	9.9	44.8	48.0	2449
Sep	0.0	1.0	0.0	5.2	6.0	-6.2	58.2	12.5	45.8	45.2	2371
Oct	0.1	1.1	0.3	7.2	8.3	-6.9	57.9	11.9	43.7	48.6	2455
Nov	0.0	1.1	0.3	11.2	10.3	-6.5	59.5	15.9	45.2	46.8	2374
Dec	0.1	1.1	0.8	12.7	10.5	-7.0	57.2	16.7	42.6	49.3	2416
Year	0.1	1.1	0.6	8.8	10.5	-7.9	56.7	13.3	43.5	48.4	28910

Tabla 1: ESTADÍSTICOS GLOBALES PARA TEMP. MÁX. DIARIA DE LAS DIFERENCIAS EMA – EMC

Mes	Media	Sd	Sesgo	Ex. kurt.	Max EM A cál. dif.	Max EM A fría dif.	% abs. dif. <0.5	% abs. dif. <0.1	% EM A fría	% EM A cál.	Num. obs.
Jan	-0.1	1.3	0.1	4.6	7.9	-7.5	48.8	10.6	51.7	42.9	2434
Feb	-0.1	1.3	0.0	5.1	7.4	-6.7	51.3	11.9	50.5	43.4	2244
Mar	-0.2	1.2	0.0	4.1	7.0	-6.3	50.3	11.4	53.4	40.9	2457
Apr	-0.2	1.1	-0.3	3.9	6.7	-6.5	51.6	15.0	53.0	40.3	2401
May	-0.2	1.2	0.2	5.1	6.7	-7.7	52.4	17.8	51.9	39.3	2445
Jun	-0.2	1.2	0.2	3.7	6.2	-6.3	49.9	13.3	53.0	40.1	2392
Jul	-0.2	1.2	0.1	3.6	5.2	-6.7	49.8	11.0	55.7	38.4	2472
Aug	-0.2	1.2	0.3	4.4	6.6	-6.6	48.2	11.9	54.1	38.8	2449
Sep	-0.1	1.2	0.0	5.1	5.9	-7.3	47.0	10.9	54.8	39.3	2371
Oct	-0.2	1.2	-0.2	3.7	5.9	-6.7	46.6	11.9	55.9	39.0	2455
Nov	-0.2	1.3	-0.1	3.4	6.8	-6.8	45.2	9.9	58.5	37.2	2374
Dec	-0.2	1.4	-0.3	4.2	8.2	-8.2	48.2	11.3	53.4	40.5	2416
Year	-0.2	1.2	0.0	4.4	8.2	-8.2	49.1	12.2	53.8	40.0	28910

Tabla 2: ESTADÍSTICOS GLOBALES PARA TEMP. MÍN. DIARIA DE LAS DIFERENCIAS EMA – EMC

En la figura 1 se muestra la evolución de los promedios de las diferencias EMA – EMC para cada uno de los 9 años en Fabra. Está claro el impacto de los cambios conocidos de instrumentación en los años 2003 y 2004, pero especialmente llamativo es el impacto del cambio de julio de 2007, con la introducción de la garita Stevenson en lugar de una pequeña pantalla ventilada. Este último cambio ha reducido dramáticamente las diferencias tanto en TX como en TN.

FECHA	ELEMENTO	Actuación
01/01/1996	Data-logger	<i>Instalación del data-logger MCV EM300</i>
01/01/1996	Sensor de temperatura	<i>Instalación del sensor MCV STA-01</i>
01/01/1996	Abrigo meteorológico	<i>Instalación del abrigo de platillos ventilado MCV</i>
29/01/2003	Sensor de temperatura	<i>Substitución por el sensor MCV STA-02P</i>
26/10/2004	Sensor de temperatura	<i>Substitución por nuevo sensor MCV STA-02P</i>
31/07/2007	Data-logger	<i>Substitución por CAMPBELL CR1000</i>
31/07/2007	Sensor combinado de Temperatura/Humedad Relativa	<i>Substitución por el nuevo sensor VAISALA HMP45AL</i>
<i>31/07/2007</i>	<i>Abrigo</i>	<i>Instalación del nuevo sensor de Temperatura/Humedad Relativa en el interior del abrigo Stevenson (juntamente con los termómetros convencionales)</i>

Tabla 3: METADATOS DE LA ESTACIÓN AUTOMÁTICA DE FABRA PARA TEMPERATURA

4. COMPARACIÓN DEL MÉTODO DE AJUSTE QM DE TREWIN FRENTE A ALTERNATIVAS SIMPLES

Para corregir la inhomogeneidad producida por el cambio de estación convencional a automática a escala diaria en temperatura se ha propuesto recientemente el método “quantile-matching” (QM) de Trewin (2012). Este método aplica correcciones diferentes a los datos diarios dependiendo de la posición de sus anomalías (respecto a valores promedio suavizados) en la distribución de frecuencias. La intención del método QM es producir data sets que son homogéneos para propiedades estadísticas de alto orden como la varianza y la frecuencia de extremos, además de para los valores medios.

Para valorar la bondad de este método en series de temperatura de España se ha comparado con algunas alternativas más simples. Se ha utilizado un conjunto de 26 estaciones con suficiente número de años completos aproximadamente. En cada estación se han utilizado para computar los estadísticos de errores que se describen luego cada uno de los años con datos de automática y convencional emparejados sucesivamente, utilizando el resto de los años de solape para el ajuste del método QM y los alternativos. Los estadísticos usados para

describir los errores, extraídos de Trewin (2012), son:

- Error absoluto medio *ErAbs*
- Sesgo medio en valor absoluto *SesAbs*
- Número de errores absolutos $> 0.5^{\circ}\text{C}$ *#Abs > 0.5*
- Media de los errores absolutos en extremales de las anomalías de la EMC *ErAbsExt*

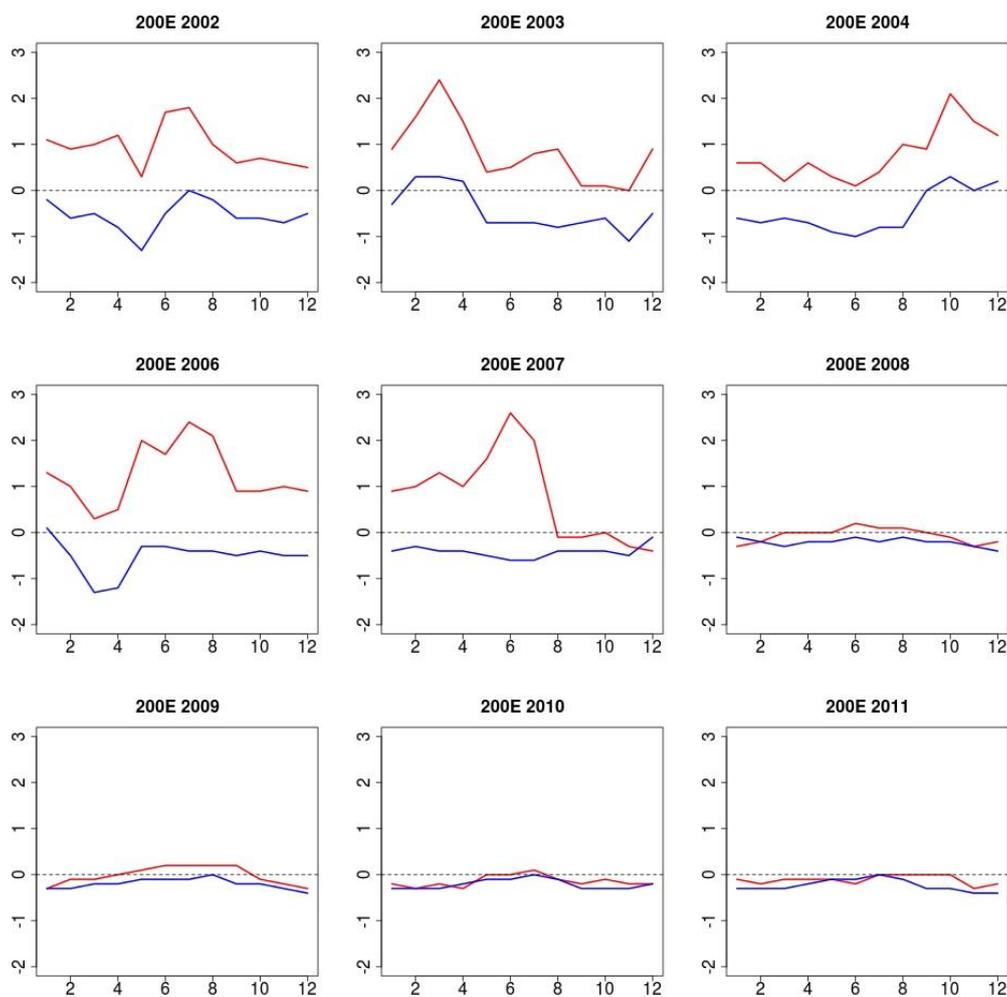


Fig. 1: Promedios mensuales de las diferencias diarias EMA – EMC para TX (rojo) y TN (azul) en la estación de Barcelona-Observatorio Fabra (200E).

- Sesgos (absolutos) en extremales de las anomalías de la EMC *SesAbsExt*.
- Errores máximos en extremales de las anomalías de la EMC *ErMax*.
- Errores mínimos (absolutos) en extremales de las anomalías de la EMC *ErMinAbs*.
- Media de los errores absolutos en días de máxima T de cada mes *ErAbsMesExtAlto*.
- Media de los errores absolutos en días de mínima T de cada mes *ErAbsMesExtBajo*.

En cursiva la clave en las tablas que siguen de cada medida de error. En estas tablas se ha

consignado cada tipo de error para TX y TN por separado. Para obtener un valor global sobre todas las estaciones consideradas se ha ponderado en el cómputo final de cada tipo de error cada estación según el número de días usado en la verificación.

Se han considerado dos alternativas más sencillas que QM:

A) Este método es similar al QM de Trewin salvo que no aplica el emparejamiento de cuantiles (truncado por un percentil alto) del QM para estimar la función de transferencia entre anomalías de la EMA y anomalías de la EMC, sino que estima esa función de transferencia por regresión lineal de las anomalías de la EMA respecto a anomalías EMC.

B) La segunda alternativa es todavía más sencilla, ya que ni siquiera trabaja con anomalías. Consiste simplemente en aplicar al dato EMC por meses una corrección aditiva del sesgo medio respecto al dato EMA estimada en el periodo de ajuste.

QM <i>versus</i> A (décimas de °C)	TX			TN		
	QM	QM-A	% DIF	QM	QM-A	% DIF
ErAbs	7,69	0,18	2,3	8,24	0,21	2,5
SesAbs	0,61	-0,01	-2,4	0,37	-0,02	-4,1
# Abs>0.5	811,54	14,51	1,8	974,30	9,96	1,0
ErAbsExt	9,11	0,24	2,7	10,28	0,45	4,3
SesAbsExt	1,13	-0,03	-2,4	2,29	-0,38	-16,7
ErMax	54,37	2,42	4,5	67,15	3,67	5,5
ErMinAbs	62,35	-0,18	-0,3	57,96	1,62	2,8
ErAbsMesExtAlto	7,79	0,04	0,5	10,58	-0,29	-2,7
ErAbsMesExtBajo	10,15	-0,32	-3,1	6,86	-0,67	-9,7

Tabla 4: ESTADÍSTICOS DE ERRORES PARA LOS MÉTODOS QM Y EL MÉTODO ALTERNATIVO A

En las tablas 4 (para el método A) y 5 (para el método B) se han recogido los resultados sumarios de la comparación. Para TX y TN hay tres columnas, la primera recoge el error para QM, la segunda diferencia de errores, la tercera esa diferencia en %. En las columnas de diferencias de errores un valor positivo indica que es mejor el método alternativo al QM.

Para el método A (tabla 4) se aprecia que QM es mejor en sesgo absoluto global (2ª fila numérica, como en lo sucesivo), el sesgo en extremales de anomalías (5ª fila) y en los errores en los días de máxima y mínima de cada mes (dos últimas filas). En cambio es mejor que QM en los errores absolutos incluidos los extremos (filas 1, 3 y 4) y en los errores máximos y mínimos. En conjunto no está clara la ventaja de uno sobre otro.

Para el método más simple B (tabla 5) se aprecia cierta superioridad respecto a QM también en los estadísticos de errores absolutos, pero sin inferioridad en el sesgo global. Con lo cual parece sorprendentemente incluso algo mejor que QM en conjunto, pero desde luego las diferencias son pequeñas.

En suma a la vista de estos resultados, obtenidos para un conjunto amplio de estaciones y una serie de estadísticos de errores también extensa, no parece que el método QM, pese a su

sofisticación teórica, ofrezca claras ventajas para el ajuste de temperatura diaria en nuestras estaciones.

QM <i>versus</i> B (décimas de °C)	TX			TN		
	QM	QM-B	% DIF	QM	QM-B	% DIF
ErAbs	7,69	0,22	3	8,24	0,07	1
SesAbs	0,61	0,04	7	0,37	-0,03	-7
# Abs>0.5	811,54	23,00	3	974,30	-2,59	0
ErAbsExt	9,11	0,38	4	10,28	0,08	1
SesAbsExt	1,13	0,12	11	2,29	-0,24	-11
ErMax	54,37	1,04	2	67,15	1,24	2
ErMinAbs	62,35	-0,64	-1	57,96	-0,16	0
ErAbsMesExtAlto	7,79	0,34	4	10,58	-0,23	-2
ErAbsMesExtBajo	10,15	-0,20	-2	6,86	0,03	0

Tabla 5: ESTADÍSTICOS DE ERRORES PARA LOS MÉTODOS QM Y EL MÉTODO ALTERNATIVO B

5. DISCUSIÓN

El análisis de los sesgos derivados del paso de estaciones convencionales a automáticas permite apreciar ciertas características globales del mismo, como se ha descrito en la sección 3. Sin embargo cuando se pretende refinar tanto en el espacio, tratando las estaciones individuales, como en el tiempo, tratando los años separadamente, se aprecian importantes variaciones. En esto coincidimos con Boroneant (2006). Si descendemos a escala diaria se aprecia que no faltan días sucesivos en que se alterna el signo de las anomalías. Esto ya da idea de la dificultad que cabe esperar *a priori* a la hora de abordar su corrección.

El método QM de Trewin (2012) es uno de los más prometedores según la bibliografía para esta corrección. Sin embargo, los resultados del estudio descrito en la sección 4 indican que este sofisticado método es incapaz de mostrarse superior con claridad a otros alternativos mucho más simples, cuando se valoran con un amplio conjunto de medidas del error.

Como líneas de trabajo para futuros desarrollos cabe señalar: abordar un estudio por regiones de las anteriores conclusiones provisionales que podría apuntar a climas para los que QM u otros métodos son adecuados; investigar más modelos estadísticos y/o introducir más variables auxiliares que aporten información sobre los sesgos diarios.

Este trabajo se realiza bajo el proyecto CGL2012-32193

REFERENCIAS

- Anuari de dades meteorològiques 2013. Servei Meteorològic de Catalunya. Departament de Territori i Sostenibilitat. Generalitat de Catalunya*
http://www20.gencat.cat/docs/meteocat/Continguts/Climatologia/Anuaris/Estacions%20meteorològiques/static_files/EMAs2013.pdf
- Boroneant, C., Baciú, M., Orzan, A. (2006). “On the statistical parameters calculated for the essential climatological variables during 2-years of parallel observations with automatic and classical stations in Romania”. *The Fifth Seminar on Homogenization and Data Quality Control in the Climatological Databases*, Budapest, May 29 - June 2, 2006, personal communication.
- Holder, C., Boyles, R., Syed, A., Niyogi, D. y Raman, S. (2006). “Comparison of collocated automated (NCECNet) and manual (COOP) climate observations in North Carolina”. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 23:671-82.
- Lambás, M. y Gil, M. (2004): *La observación y la instrumentación meteorológica: un cambio significativo*. Instituto Nacional de Meteorología - Un reto tecnológico, Ministerio de Medio Ambiente.
- Plummer, N., Allsopp, T. y López, J.A. (2003). *Guidelines on Climate Observation Networks and Systems*. WMO-TD-1185, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.
- Stearns, Charles R. and Savage, Michael L.(1981). “Automatic weather stations: 1980-1981”. *Antarctic Journal of the United States*, Volume 16, Issue 5, 1981, pp.190-192.
- Trewin, B.(2012). “A daily homogenized temperature data set for Australia”. *Int. J. Climatol.*, 33: 1510–1529. doi: 10.1002/joc.3530
- Wood, L. (1946). “Automatic Weather Stations”. *Journal of Meteorology*, Vol 3, pp. 115-121.
- Wu, H., Hubbard, K.G., You, J. (2004). “Some Concerns when Using Data from the Cooperative Weather Station Networks: A Nebraska Case Study”. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, vol 22, pp. 592-602.