

Control de la calidad y la homogenización de series climáticas para el cálculo de indicadores climáticos extremos en Cuba

Sinaí Barcia Sardiñas¹, Idelmis T. González García², Dunia Hernández González²

¹Centro Meteorológico de Cienfuegos, Instituto de Meteorología, Cienfuegos, Cuba.

²Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba.

Autor para correspondencia: Sinaí Barcia Sardiñas, sinaibs@gmail.com

(Recibido: 24-05-2021. Publicado: 24-06-2021.)

Resumen

El cálculo de los indicadores propuestos por el Grupo de Expertos en Detección de Cambio Climático e Indicadores incluye un minucioso proceso de control de la calidad de las series diarias de lluvia, temperatura máxima y temperatura mínima. Una vez concluido este proceso, los datos deben ser sujetos a una prueba de homogeneidad, dejando para el análisis sólo las series de datos que contienen información únicamente debida a las variaciones del clima y están libres de alteraciones en las mediciones debidas a otras causas. El presente trabajo tiene como objetivo realizar el control de la calidad y la homogenización de las series climáticas que se utilizarán en el cálculo de los indicadores extremos de cambio climático en Cuba en el período 1980-2017. El análisis se realizó para un total de 33 estaciones meteorológicas y utilizó los softwares RClindex-ExtraQC y HOMER para el control de la calidad y homogenización respectivamente. Los resultados demuestran ampliamente la utilidad de estas herramientas en el procesamiento de series climáticas de lluvia y temperaturas extremas.

Palabras clave: *Indicadores de extremos climáticos, control de calidad, homogeneidad.*

Abstract

The calculation of the indicators proposed by the Group of Experts in Detection and indicators of Climate Change includes a meticulous process of quality control of the daily series of rainfall, maximum temperature and minimum temperature. Once this process is completed, the data should be subjected to a test of homogeneity, leaving for the analysis only the data series that contain information only due to climate variations and are free from alterations in the measurements due to other causes. The objective of this work is to control the quality and homogenization of the climatic series that will be used in the calculation of extreme indicators of climate change in Cuba in the period 1980-2017. The analysis was carried out for a total of 33 meteorological stations and used the RClindex-ExtraQC and HOMER software for quality control and homogenization respectively. The results amply show the usefulness of these tools in the processing of climatic series of rainfall and extreme temperatures.

Keywords: *Climatic extreme indicators, quality control, homogenization.*

1. Introducción

El cálculo de índices climáticos es una herramienta útil para caracterizar el clima, presentar los patrones climáticos históricos y detectar sus cambios. En este sentido los indicadores propuestos por el Grupo de Expertos en Detección de Cambio Climático e Indicadores (ETCCDI, por sus siglas en inglés) permiten analizar situaciones climáticas extremas aplicando una metodología común y garantizando que los resultados puedan ser analizados globalmente. El procedimiento para el cálculo de los indicadores climáticos extremos propuestos por ETCCDI incluye un exhaustivo control de la calidad (QC) producto a su sensibilidad a cambios que se relacionan con la ubicación de la estación meteorológica, equipamiento y práctica del observador (Haylock et al., 2006). Es por ello que las series diarias de lluvia, temperatura máxima y temperatura mínima se someten a test estadísticos simples y a la inspección visual mediante gráficos específicos de manera que permita eliminar errores no sistemáticos frecuentemente relacionados con errores de anotación, digitalización o manipulación de la base de datos (Aguilar, 2013). La revisión y validación de las observaciones meteorológicas constituye una de las tareas vitales de los servicios meteorológicos. En el mundo hoy en día se realizan cientos de miles de observaciones simultáneas que son efectuadas por las estaciones meteorológicas de superficie, marinas y de radio sondas o aire superior. En países en vías de desarrollo, como el caso de Cuba, el sistema de realización de las observaciones meteorológicas está controlado por los observadores, y la calidad técnica del trabajo desplegado por ellos, depende mucho de la experiencia acumulada durante años en el servicio.

Una vez que los datos han pasado el proceso de control de calidad, éstos deben ser sujetos a una prueba y análisis de homogeneidad, dejando para el estudio sólo las series de datos que contienen información únicamente debida a las variaciones del clima y están libres de alteraciones en las mediciones producto a otras causas. Para ello, se ha desarrollado un número importante de técnicas de relleno de lagunas y homogeneización, cuya aplicación depende, entre otras cosas, del uso que vaya a darse a los datos, de las escalas espacio-temporales de las series disponibles (regional, local, anual, mensual, estacional, diaria, etc.), así como de la variable climática a tratar (Hernández et al., 2012). Además, es posible acometer la tarea de identificar estas inhomogeneidades a partir de diferentes test (Martín Vide, 2003). Estos diversos test, con diferentes niveles de exigencia, provocan que no en todas las ocasiones los resultados obtenidos sean los mismos, es decir, una misma serie climática puede ser contemplada simultáneamente como homogénea por un test e heterogénea por otro. Pese a la obtención de resultados favorables tras la aplicación de los diversos test, pueden quedar dudas sobre la homogeneidad de la serie, y esto es debido a la propia variabilidad natural del clima. Los test de homogeneidad no siempre coinciden en sus resultados, y entre ellos destacan dos grupos fundamentales: los de homogeneización absoluta y los de homogeneización relativa. Los primeros solo examinan mediante algún método estadístico la serie estudiada basándose en su aleatoriedad. Por el contrario, los segundos comparan la serie en cuestión con otra u otras series homogéneas vecinas o cercanas, que comparten la misma señal climática regional y están bien correlacionadas (Martín Vide, 2003; Aguilar, 2013).

La mayoría de los métodos de homogeneización desarrollados hasta la fecha se han aplicado en estudios relacionados con series de temperatura y precipitación de carácter anual, mensual o estacional (Peterson et al., 1998; Ducré-Robitaille et al., 2003). Sin embargo, se requieren más investigaciones para abordar completamente este problema difícil para las series diarias. Una de las estrategias más seguidas para la homogeneización de datos diarios es la de ajustarlos por correcciones calculadas mediante una homogeneización a nivel mensual (Guijarro, 2016). Para ello se forman las series mensuales a partir de las diarias y se pasa a homogeneizar las series

mensuales; posteriormente los datos diarios se ajustan por interpolación de las correcciones mensuales. Los métodos contenidos en los softwares CLIMATOL, ACMANT, Rhtest y HOMER son de los más usados en la actualidad para estos fines. Este trabajo tiene como objetivo realizar el control de la calidad y la homogenización de las series climáticas diarias que se utilizarán en el cálculo de los indicadores climáticos extremos en Cuba en el período 1980-2017, cuyos resultados forman parte de la Tercera Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. El análisis se realizó para un total de 33 estaciones meteorológicas y utilizó los softwares RClimdex-ExtraQC y HOMER para el control de la calidad y homogenización respectivamente.

2. Metodología

El presente trabajo contó con las bases de datos diarios de temperatura máxima (TX), temperatura mínima (TN) y lluvia (RR) en el período 1980-2017 de 33 estaciones meteorológicas pertenecientes a la red de estaciones del Instituto de Meteorología (Figura 1).

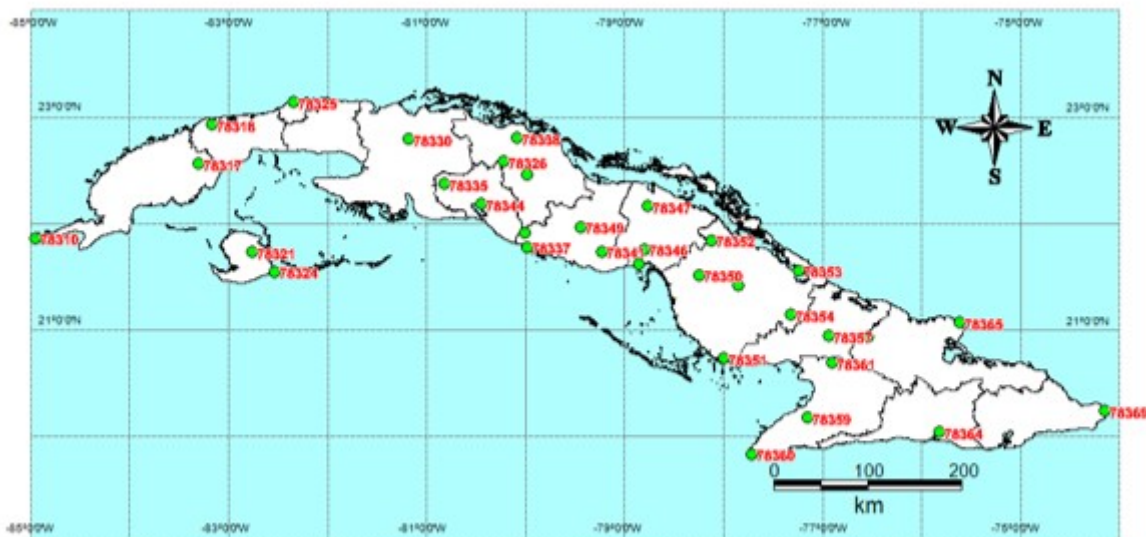


Figura 1: Estaciones meteorológicas utilizadas.

Los datos usados fueron extraídos de la base de datos del INSMET la cual se alimenta de los ficheros de exportación del Sistema Automatizado de Observaciones Meteorológicas (SAROM). El SAROM es el primer intento exitoso de automatizar, en Cuba, la revisión de las observaciones meteorológicas. Este sistema realiza un exhaustivo chequeo de compatibilidad que garantiza en gran medida la calidad del dato climático que se almacena en el Centro Nacional del Clima del INSMET (Núñez & Cubas, 2002). Es por ello que el proceso de control de la calidad a través del Extra-QC no arrojó errores en los siguientes chequeos:

- TN > TX
- Días duplicados

2.1. Control de la Calidad

El QC se realizó como tarea previa al proceso de homogeneización y permitió eliminar errores no sistemáticos. Las principales causas que comprometieron la validez de valores puntuales se relacionaron con errores de anotación o digitalización, o manipulación de las bases de datos. El control de calidad, permitió también avanzarse a problemas de continuidad u homogeneidad que las series pudieron presentar. El control de calidad de las series climáticas en la presente investigación se realizó utilizando la rutina Rclimindex-ExtraQC que corre sobre la plataforma R. Este procedimiento permite determinar un conjunto de datos “sospechosos” o “dudosos” por las siguientes causas:

- Días duplicados.
- Outliers (valores atípicos que se encuentran fuera de un rango particular).
- $TN > TX$.
- 3 o más días consecutivos con valores iguales de temperatura.
- Diferencia de temperatura entre dos días consecutivos superior a 20°C .
- Valores excesivamente elevados (valor absoluto $> 50^{\circ}\text{C}$ para TX y TN, y 200 mm para RR).

Una vez obtenidos estos datos se verificó la veracidad o no de los mismos en cada una de las estaciones, siguiendo la secuencia de pasos de la Figura 2. La comprobación se realizó con los libros de observación; no obstante, hubo datos que se conocían de antemano estaban bien pero el chequeo realizado los declaró como datos dudosos o sospechosos. En este caso se encontraron algunos récords absolutos de temperaturas extremas y acumulados de lluvia en 24 horas. En el caso de no contar con los libros de observación para realizar la verificación se chequeó la consistencia entre los días previos y posteriores, con otras variables o con estaciones vecinas. Para esto fue muy importante contar con las bases de datos de ciclones tropicales, frentes fríos, récords, lluvias intensas, lo cual resultó de gran ayuda para la verificación de los datos sospechosos.

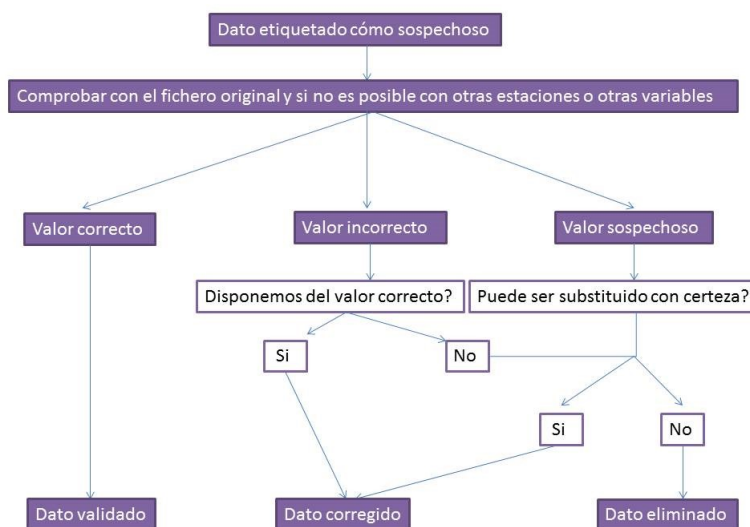


Figura 2: Procedimiento seguido en el control de la calidad. Fuente: Aguilar (2013).

Para validar o no estos datos como datos erróneos se consultaron los récords oficiales de temperatura mínima y los libros de observación pudiendo determinar los casos en que realmente los datos estaban incorrectos. Por ejemplo:

- La TN del día 26 de enero de 1985 en la estación meteorológica de 78321 muestra un valor de 1.2 °C cuando el valor real en el libro de observación es de 10.2 °C.
- En el caso del 5 de diciembre de 1993 en la estación meteorológica de 78324 la mínima muestra un valor de 2 °C cuando en realidad, según el libro de observación, era de 20 °C.

2.2. Homogenización

El proceso de homogenización de las series de temperatura y precipitaciones se realizó a través de HOMER.R (Mestre et al., 2013). La detección de puntos de cambio se realizó normalmente sobre datos anuales o mensuales, que son menos ruidosos que los datos diarios. Es por ello que tras preparar los datos, se procedió a su conversión en promedios mensuales a través de la herramienta “makemonthly.R”. Una vez realizado este proceso, se procedió a utilizar las herramientas de homogenización que ofrece el HOMER.R que combinan detección y corrección, ejecutándose de forma sucesiva e iterativa:

2.2.1. Detección emparejada (Pairwise Detection): Proceso en el que se estimaron los puntos de cambio existentes para la diferencia entre una serie candidata y cada una de sus referencias. Este procedimiento ofreció una salida gráfica para la determinación semi-objetiva de puntos de cambio (BP). En el proceso se estableció que cada estación fuera comparada con otras 6 de referencia (coeficiente de correlación >0.9) por lo que se tomó el criterio de que para identificar un BP este debía aparecer en al menos 3 comparaciones con un año de margen. Estos BPs detectados semi-objetivamente fueron anotados para ser tenidos en cuenta en el siguiente paso.

2.2.2. Detección conjunta (Joint Detection): Mediante la detección simultánea entre todos los pares de estaciones, se determinó para cada una de ellas el número y posición más probable de puntos de cambio. Este proceso se realizó de forma interactiva y mediante el mismo se pudo añadir o eliminar puntos de cambio de acuerdo al propio gráfico (que muestra tanto los resultados de la detección emparejada como de la detección conjunta), la detección semi-objetiva y los metadatos de los que se dispongan. Los puntos de cambio aceptados o añadidos se registraron en un archivo de texto el cual entre otros datos incluyó si el punto de cambio está fijado por metadatos (y) por lo que no debía ser alterado en futuras iteraciones o, si por el contrario (n) no está fijado por metadatos y puede ser alterado en futuras iteraciones.

Este análisis se realizó para cada una de las estaciones estudiadas, aunque en todos los casos no se pudo justificar con los metadatos, los saltos encontrados en la detección emparejada y en la conjunta. En ellos es posible encontrar la fecha de cada relocalización de la estación, pero no siempre está disponible la fecha de cambio de los termómetros, cambios en las correcciones, toma del valor de la temperatura por el de otro instrumento como el higrómetro o una estación automática, cambios en el entorno de la estación entre otros datos interesantes que pudieran ser causa de saltos en las series climáticas. Luego se generó un fichero con todos los puntos de cambio encontrados para cada variable (Figura 3), donde quedó evidenciado si este había sido fijado o no por metadatos.

00783170	BREAK	2003	12	n	Paso_Real_de_San_Diego
00783180	BREAK	1989	11	n	Bahia_Honda
00783180	BREAK	2013	12	n	Bahia_Honda
00783210	BREAK	2000	12	n	La_Fe
00783210	BREAK	2010	3	n	La_Fe
00783240	BREAK	2012	3	n	Punta_del_Este
00783300	BREAK	2014	12	n	Jovellanos
00783350	BREAK	2008	7	n	Aguada_de_Pasajeros
00783370	BREAK	1988	3	y	Trinidad
00783370	BREAK	1991	12	n	Trinidad
00783380	BREAK	2010	12	n	Sagua_la_Grande
00783380	BREAK	2012	10	n	Sagua_la_Grande
00783420	BREAK	1990	5	y	Topes_de_Collante
00783420	BREAK	1991	5	n	Topes_de_Collante
00783420	BREAK	1997	9	n	Topes_de_Collante
00783420	BREAK	2011	12	y	Topes_de_Collante
00783430	BREAK	2000	1	n	Yabu
00783450	BREAK	1982	9	n	Júcaro
00783450	BREAK	1985	6	n	Júcaro
00783460	BREAK	2014	12	n	Venezuela
00783470	BREAK	2014	12	n	Camilo_Cienfuegos
00783490	BREAK	1997	12	n	Sancti_Spiritus
00783490	BREAK	2003	12	n	Sancti_Spiritus
00783490	BREAK	2010	10	n	Sancti_Spiritus
00783530	BREAK	1999	1	n	Nuevitas
00783550	BREAK	2002	5	n	Camaguey
00783590	BREAK	1987	12	n	Manzanillo
00783590	BREAK	1998	10	n	Manzanillo
00783590	BREAK	2013	12	n	Manzanillo
00783620	BREAK	1998	12	n	La_Jiquima

Figura 3: Fichero de detección de puntos de cambio generado para la temperatura máxima.

2.2.3. Corrección preliminar: Una vez se ha realizado la detección emparejada y la conjunta y refinado el fichero de detección, se procedió a realizar la corrección preliminar de los datos. Tras la misma, HOMER realizó automáticamente una detección emparejada sobre los datos corregidos.

2.2.4. Ajuste del mes de cambio: HOMER, sobre los datos corregidos preliminarmente, inspeccionó los datos mensuales desestacionalizados entre dos puntos de cambio para tratar de refinar su detección. Esta podrá variar hasta tres años del punto detectado originalmente. Cuando HOMER no encuentra una solución clara o no tiene suficientes datos entre puntos de cambio para hacer esa estimación, el punto de cambio se mantendrá en el año en que se detectó originalmente y en el mes 12.

2.2.5. Corrección: Tras el ajuste del mes de cambio, se realizó una nueva corrección, la cual se hace siempre sobre los datos originales, nunca sobre correcciones previas. Nuevamente, la corrección dio como resultado una detección emparejada sobre los datos corregidos, que fueron aprovechados en el siguiente paso.

2.2.6. Iteración: Se inspeccionaron los ficheros resultantes de la detección emparejada sobre los datos corregidos siguiendo el mismo criterio establecido con anterioridad. Ello permitió comprobar si quedaron puntos de cambios que no se detectaron previamente o sí, por el contrario, se había logrado “aplanar” las diferencias entre estaciones candidatas y de referencias, y así poder considerar la red como homogénea. En los casos positivos se dió por terminado el proceso, pero durante la aplicación del procedimiento lo más común fue encontrarse en el primer caso por lo que hubo que repetir el proceso desde la detección emparejada (esta vez sobre los datos corregidos).

2.3. Homogenización de los datos diarios

La homogeneización del dato diario fue aún más compleja que la homogeneización del dato mensual, debido tanto a las propias características estadísticas del dato a esa resolución menor, como de la necesidad de abordar la homogeneización no solo de la media, sino también la de la distribución completa de los datos, dada la importancia del trabajo con extremos (Aguilar, 2013). Por ello, existen técnicas “de seguridad” que, en el caso de temperatura, se basan en la interpolación del factor mensual al dato diario, que acercaron los datos diarios hacia un estado más homogéneo, corrigiendo la media y – a través de esa corrección – mejorando levemente la detección de extremos (al menos de extremos moderados como los contenidos en los paquetes de índices del ETCCDI). Este procedimiento se realizó con la función Vincent.R; el mismo asigna el factor mensual de corrección al día 15 e interpola linealmente los factores entre meses para la temperatura. En el caso de la precipitación aplicó el factor de corrección anual a todos los meses. Este procedimiento tuvo en cuenta el overshooting (efecto indeseado de $t_x < t_n$ tras la aplicación de factores de homogeneización) por lo que convirtió los valores afectados a valores perdidos. Después de obtenidas las series mensuales homogeneizadas se le aplicó el factor de corrección mensual y anual a las series de temperatura y lluvia respectivamente obteniendo series climáticas homogeneizadas a resolución diaria y listas para ser usadas en el cálculo de los indicadores climáticos extremos propuestos por el ETCCDI.

2.4. Validación de la corrección

Todo proceso de homogeneización, como en general cualquier procedimiento científico, necesita una validación de resultados. Al homogeneizar, se procuró librar las series climáticas de sesgos artificiales, hacer todas sus observaciones comparables al último dato registrado y - mediante ello - aumentó la coherencia regional de la red. No obstante, se debieron monitorizar diversos factores ya sea con herramientas gráficas o numéricas para evaluar la introducción de outliers tras la aplicación de los factores de corrección, la integridad del ciclo estacional, la relación entre las series mensuales y las series diarias homogeneizadas, entre otros.

3. Resultados y Discusión

3.1. Control de la calidad

El chequeo realizado a través del RClimdex-ExtraQC mostró que la precipitación y la temperatura máxima fueron las variables en las que se identificó mayor cantidad de datos sospechosos después del control de la calidad (Figura 4). El 96% de los datos detectados como sospechosos fueron valores anómalos (outliers) relacionados con las variables precipitación, temperatura máxima, temperatura mínima y oscilación térmica diaria (DTR). Dentro de este grupo la mayor parte de los “errores” detectados estuvieron relacionados con las precipitaciones, seguido por valores de temperatura máxima bajos (Figura 4).

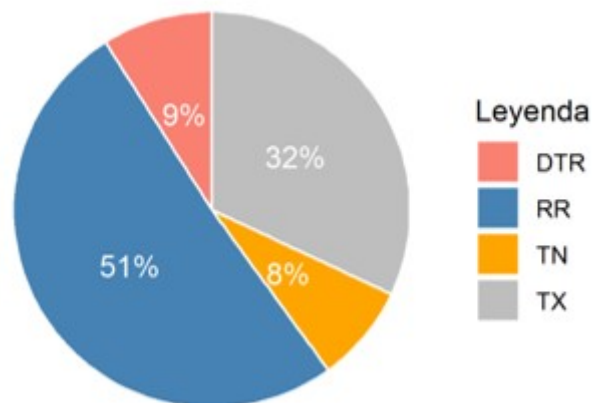


Figura 4: Porcentaje de datos sospechosos por variable detectados en el control de la calidad.

La revisión de los datos de TN detectados como “sospechosos” arrojó errores reales de digitalización fundamentalmente de TN más baja, como los que se muestran en la tabla 1.

Tabla 1: Ejemplos de los resultados del análisis de QC para la temperatura mínima.

Estación	Año	Mes	Día	Valor Original	Variable	Test
78317	1989	7	23	13.9	TN	outlier TN low
78321	1985	1	26	1.2	TN	outlier TN low
78324	1993	12	5	2	TN	outlier TN low
78330	1997	9	7	28.4	TN	outlier TN up
78347	2012	1	6	0.8	TN	outlier TN low
78362	1990	10	16	2	TN	outlier TN low

Un 4 % de los datos analizados como sospechosos se correspondió con valores de temperaturas extremas que se repetían cuatro y más días consecutivos (Figura 5). Este es un comportamiento que, aunque no se presenta con mucha frecuencia en el clima de Cuba es posible su ocurrencia. En el período estudiado en las 33 estaciones se presentaron 56 casos en que la temperatura mínima se repitió 4 o más días consecutivos, fenómeno que fue más frecuente hacia el occidente y centro del país. Específicamente el 28 % de las veces en que esto sucedió se correspondió con la estación meteorológica que representa la zona montañosa del centro, Topes de Collantes. En la temperatura máxima se contabilizaron 69 casos con valores iguales en 4 o más días consecutivos y en esta ocasión estuvieron representados en la mayor parte de las estaciones analizadas. En todos estos casos se pudo verificar la veracidad de los datos.

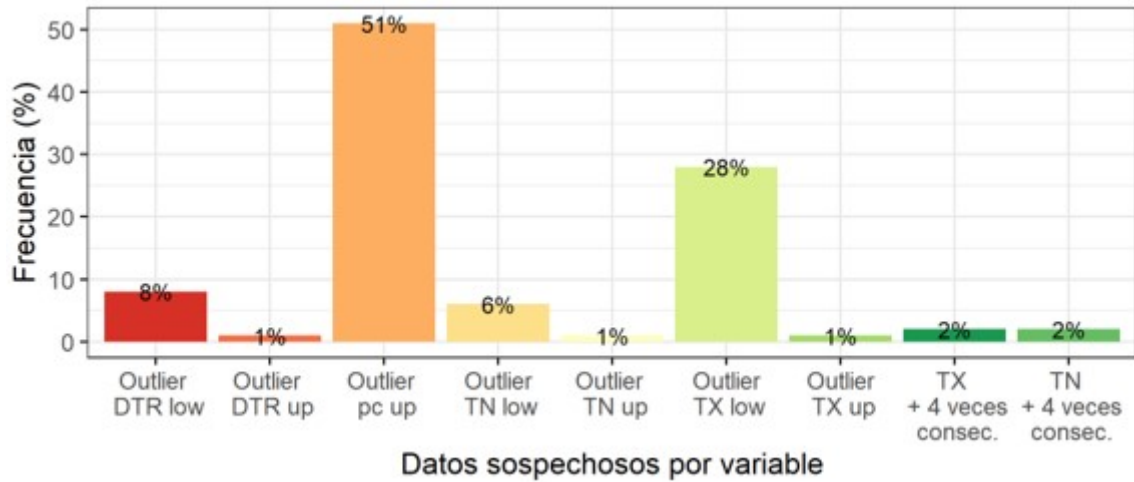


Figura 5: Porcentaje de datos considerados como sospechosos por cada variable.

3.2. Homogenización

Las Figuras 6 y 7 muestran el resultado de la detección emparejada para la temperatura máxima de las estaciones de Cabo de San Antonio y Topes de Collantes. En la primera de ellas el análisis de la detección emparejada no mostró posibles puntos de cambio con las estaciones de referencia con las que fue comparada. Se observa que en el caso de Topes de Collantes en comparación con seis estaciones se detectaron saltos alrededor de los años 1990, 1997 y 2011 (Figura 7). En la consulta realizada a las metadatos de dicha estación se pudo corroborar que el primer salto identificado en la serie estuvo asociado a la relocalización de la misma en el mes de mayo de 1990. En este caso la estación se movió de 771 m snmm a 667 m snmm. En el caso del salto del año 2011 según muestran los metadatos de dicha estación meteorológica pudiera asociarse al hecho de que entre julio de 2010 y agosto de 2011 se cambió el termómetro de máxima en varias ocasiones aplicando con ello nuevas correcciones al mismo.

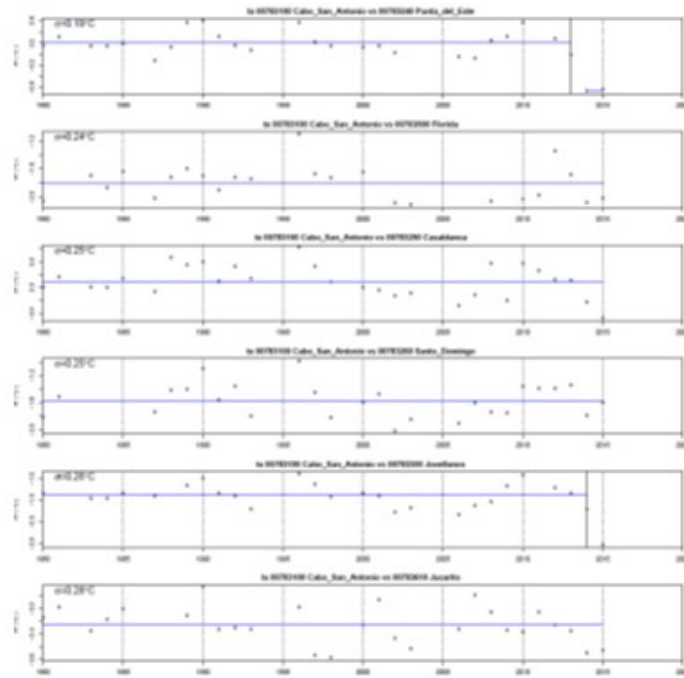


Figura 6: Detección emparejada de la serie de temperatura máxima de la estación meteorológica de Cabo de San Antonio.

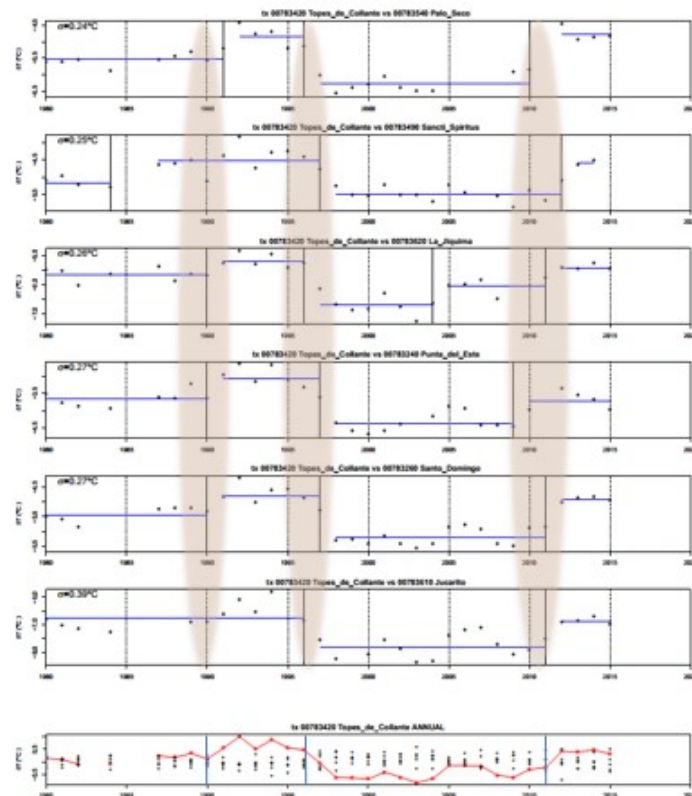


Figura 7: Detección emparejada de la serie de temperatura máxima de la estación meteorológica de Topes de Collantes.

La estación de Trinidad mostró un salto en el año 1988 respondiendo al cambio de posición de la misma en el mes de abril de ese año (Figura 8). Resultados similares obtienen Sherkasova y Skansi (2018) en Argentina quienes también pudieron validar solo algunos de los saltos detectados por HOMER para las temperaturas extremas y en este caso en su mayoría se correspondieron con cambios en la localización de las estaciones y cambios en los instrumentos. De ahí la importancia de mejorar el proceso de recolección y sistematización de metadatos, puesto que al presente es significativa la carencia de documentación específica, lo cual permite solo en parte evaluar la coherencia de los resultados del análisis estadístico-numérico para la homogeneización de las series termo-pluviométricas estudiadas. Los metadatos pueden proporcionar la causa de inhomogeneidades e incluso indicar con gran precisión la fecha en que se produjeron (si se registró), mientras que los métodos estadísticos solo permiten determinar el momento en que se produjo la inhomogeneidad, y con una precisión limitada, por lo general de unos pocos meses a un año (OMM, 2020). También cabe recordar que algunos aspectos de los metadatos están mejor documentado que otros. La experiencia en Cuba demuestra que los cambios en la localización de las estaciones y los cambios de instrumentos están bien documentados, mientras que otras informaciones como los cambios en los alrededores de la estación (urbanización y otros cambios de uso del suelo), cambios en los observadores o métodos de observación están menos documentados.

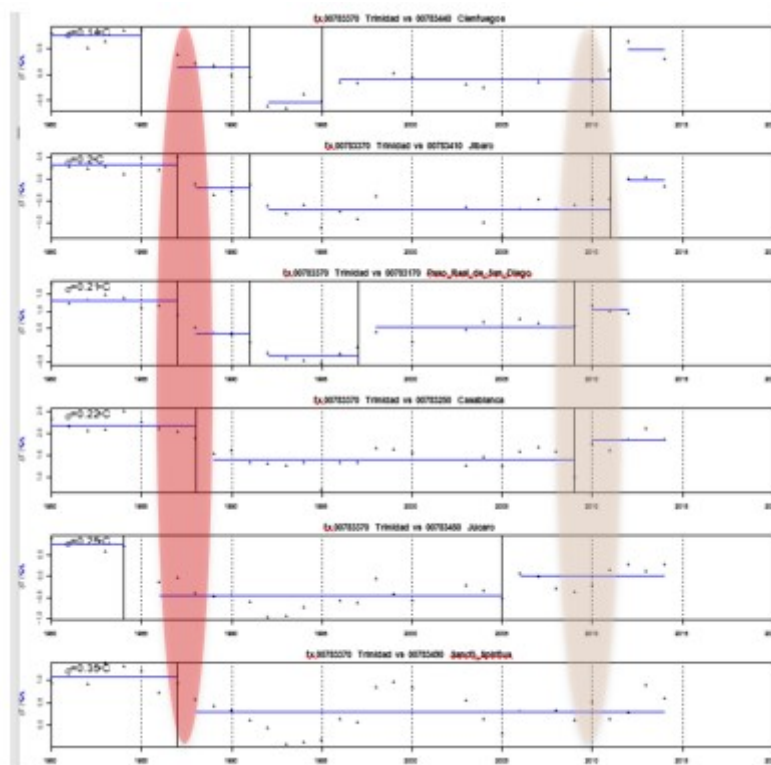


Figura 8: Detección emparejada de la serie de temperatura máxima de la estación meteorológica de Trinidad.

Finalmente, después de todo el proceso, quedaron homogeneizadas las series mensuales de lluvia, temperatura máxima, mínima y oscilación térmica mensual (Figura 9).

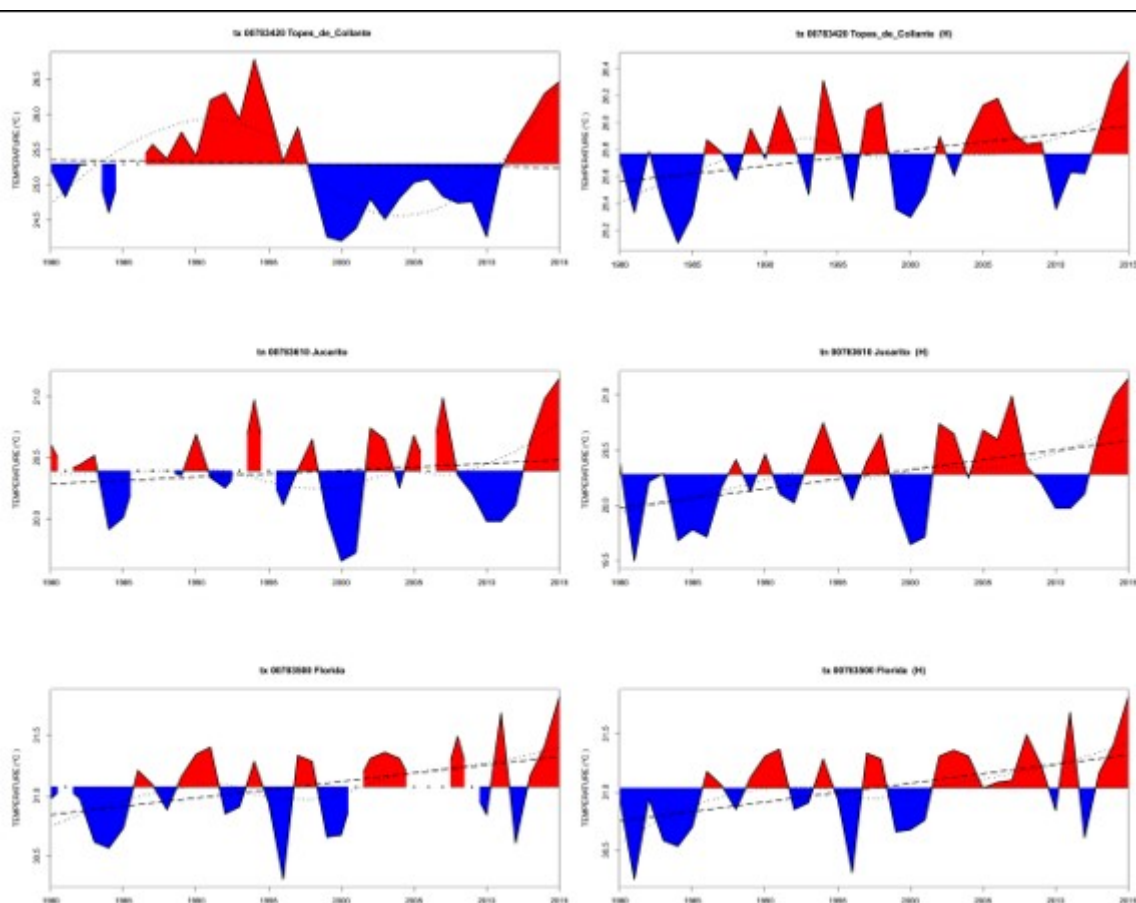


Figura 9: Red original (izquierda) y red homogeneizada (derecha).

3.3. Validación de la corrección

La coherencia entre estaciones es evidente en el segundo caso (Figuras 10-11). El relleno de datos no afecta al proceso de homogeneización, ya que se realiza con posterioridad al mismo (Figura 12). El proceso de control de calidad y homogeneización de los datos diarios para la obtención de los indicadores de extremos climáticos es ampliamente empleado en diversas partes del planeta. En África, la aplicación de dicho proceder con RHtest4 identificó que la mayoría las estaciones presentaban de las inhomogeneidades en sus series, sin embargo, la magnitud de las mismas era relativamente pequeñas. Como consecuencia, se manifestaron pequeños cambios en el posterior análisis de tendencia (Kruger y Xumalo, 2016). En China, inhomogeneidades detectadas en las series diarias conllevaron a una disminución en la consistencia espacial de la tendencia estimada de los indicadores de extremos; sin embargo, el uso de las series homogeneizadas mostró que en entre un 85 y 90% de las estaciones se experimentó incrementos significativos de las noches cálidas y menos frías (Xu et al., 2019). Por su parte, en Israel, mostró que para una de sus estaciones de análisis tres de los cambios ocurridos eran por relocalización de la estación y uno por cambio en el sensor del equipo de medición lo que implicó que la tendencia cambiara de no significativa a un calentamiento estadísticamente significativo (Yosef et al., 2019).

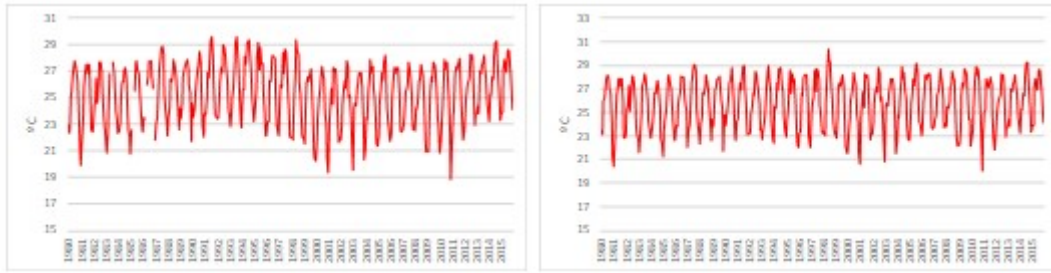


Figura 10: Serie mensual de temperatura máxima sin homogenizar (izquierda) y homogenizada (derecha). Estación meteorológica de Topes de Collantes.

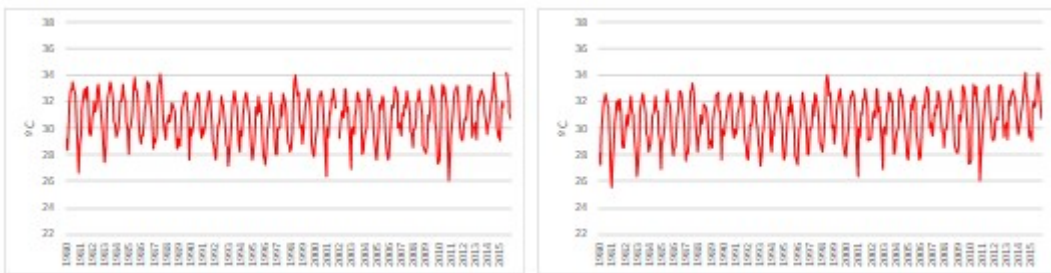


Figura 11: Serie mensual de temperatura máxima sin homogenizar (izquierda) y homogenizada (derecha). Estación meteorológica de Trinidad.

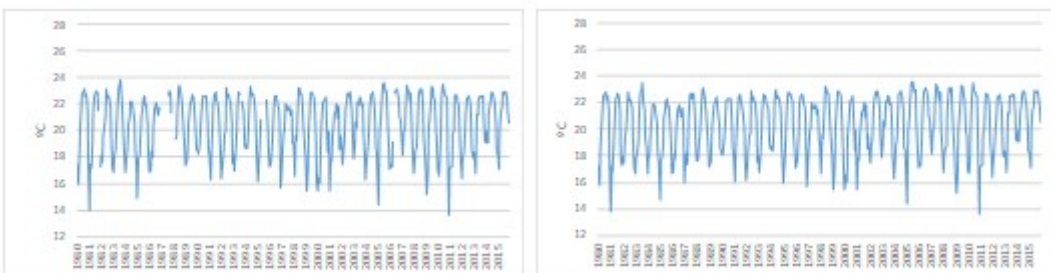


Figura 12: Serie mensual de temperatura mínima sin homogenizar (izquierda) y homogenizada (derecha). Estación meteorológica de Jucarito.

4. Conclusiones

Se confirma el uso del RCLimdex-ExtraQC como herramienta útil para el control de la calidad de series diarias de lluvia y temperaturas extremas. El análisis de estas variables en 33 estaciones meteorológicas de Cuba muestra que los mayores valores sospechosos detectados fueron outliers de lluvia diaria y de temperatura máxima más baja. Los datos sospechosos fueron revisados a partir de las distintas fuentes de comprobación validando o actualizando los mismos. La mayor parte de los saltos detectados en el análisis de la homogenización no pudieron ser validados por los metadatos de las estaciones meteorológicas analizadas. No obstante, el buen desempeño de esta herramienta, es necesario disponer de metadatos más completos para facilitar el proceso de homogenización. Es por ello que se propone realizar una actualización de los metadatos de las estaciones meteorológicas enfatizando en datos como la fecha de cambio de los instrumentos, calibración, cambios en el entorno de la estación, entre otros.

Referencias bibliográficas

Aguilar E (2013): Aproximación a la homogeneización de una red regional de series climáticas a resolución diaria. Reporte Técnico CRC-SAS-2013-003, 25 pp.

Aguilar E, Auer I, Brunet M, Peterson TC, Wieringa J (2003): Guidelines on climate metadata and homogenization. WCDMP No. 53- WMO/TD-No. 1186.

Alexandersson H, Moberg A (1997): Homogenization of Swedish temperature data. Part I: homogeneity test for linear trends. *International Journal of Climatology*, 17:25-34.

Brunet M, Saladié O, Jones P, Sigró J, Aguilar E, Moberg A, Lister D, Walther A, Lopez D, Almarza, C (2006): The development of a new dataset of Spanish daily adjusted temperature series (SDATS) (1850-2003). *International Journal of Climatology*, 26:1777-1802.

Ducré-Robitaille JF, Vincent LA, Boulet G (2003): Comparison of techniques for detection of discontinuities in temperature series. *International Journal of Climatology*, 23: 1087-1101.

Guijarro JA (2016): Automatización de la homogeneización de series climáticas: Nuevas funciones del paquete Climatol 3.0. X Congreso Internacional AEC: Clima, sociedad, riesgos y ordenación del territorio. España, 8 pp. Available:<http://dx.doi.org/10.14198/XCongresoAECAlicante2016-14> [Consulted: septiembre 18, 2017].

Hernández EM, García JA, Palenzuela JE, Belda F (2012): Ejercicio de homogenización y relleno de series diarias de temperatura máxima, mediante el uso de CLIMATOL. pp. 12. Available: http://aeclim.org/wp-content/uploads/2016/02/0039_PU-SA-VIII-2012-EM_HERNANDEZ_GARCIA.pdf [Consulted: mayo 5, 2017].

Kruger AC, Xumalo M (2016): Surface temperature trends from homogenized time series in South Africa: 1931–2015. *International Journal of Climatology*, 37(5): 2364-2377, DOI:10.1002/joc.4851.

Martín Vide J (2003): El tiempo y el Clima. Rubes. Barcelona, España. 127 pp.

Mestre O, Domonkos P, Picard F, Auer I, Robin S, Lebarbier E, Böhm R, Aguilar E, Guijarro J, Vertacnik G, Klancar M, Dubuisson B, Stepanek P (2013): HOMER: Homogenisation software in R- methods and applications. *Időjárás*, 117:47-67.

Núñez E, Cubas DA (2001): Sistema automatizado de revisión de las observaciones meteorológicas (SAROM). Fórum de Ciencia y Técnica, Cienfuegos, 13 pp.

OMM (2020): Directrices sobre homogeneización. OMM-N° 1245, 61 pp.

Peterson TC, Vose R, Schmoyer R, Razuvaev V (1998): Global Historical Climatology Network

(GHCN) quality control of monthly temperature data. *International Journal of Climatology*, 18:1169- 1179.

Sherkasova S, Skansi MM (2018): Homogeneización y validación de puntos de cambio en seis estaciones meteorológicas argentinas. 1er Taller: Gestión para los servicios climáticos, Lima Perú. Available:http://www.meteofrance.fr/documents/10192/64302416/Cherkasova_Sesion2.pdf

Xu W, Li Q, Wang XL, Yang S, Cao L, Feng Y (2013): Homogenization of Chinese daily surface air temperatures and analysis of trends in the extreme temperature indices. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118,(17):9708-9720, DOI:10.1002/jgrd.50791.

Yosef Y, Aguilar E, Alpert P. (2019): Changes in extreme temperature and precipitation indices: Using an innovative daily homogenized database in Israel. *International Journal of Climatology*, 39(13):5022-5045, DOI: 10.1002/joc.6125.