



Universidad de Valladolid
Facultad de Ciencias

TRABAJO FIN DE GRADO

Grado en Estadística

Título del Trabajo:

Implementación de un método estadístico para la obtención de una serie de temperatura a escala diaria y local, en escenarios de cambio climático. Comparación con el método Quantile-mapping

Autor:

D. María Escorihuela Sahún

Tutor/es:

D. María Cruz Valsero Blanco.

D. Jesús Asín Lafuente.

Implementación de un método estadístico para la obtención de una serie de temperatura a escala diaria y local, en escenarios de cambio climático. Comparación con el método Quantile-mapping

Resumen

El objetivo de este trabajo es aplicar un procedimiento de downscaling estadístico en escenarios de cambio climático para generar las series de temperatura máxima y mínima diarias de 4 observatorios de la Península Ibérica. El procedimiento se basa en el reescalado que corrige el sesgo en la media y en la desviación típica de cada día del año. Se analizarán los cambios previstos respecto al clima presente.

El primer paso del procedimiento de downscaling es seleccionar las trayectorias válidas de la temperatura diaria proporcionadas por los modelos de circulación general. Esta selección se realiza a partir del análisis de la calidad con que dichas trayectorias reproducen la climatología observada de los lugares en el periodo 1971-2000, tanto respecto a la distribución global como respecto a la parte central y las colas de la distribución.

Se compara este método con el procedimiento Quantile-mapping (Piani et al. 2010), un método más complicado en su aplicación, con el objetivo de poner en valor el procedimiento de reescalado propuesto.

Con las trayectorias seleccionadas se obtienen las proyecciones de los valores medios de las series de temperatura para 2031-60 en los escenarios A1B, A2 y B1 (en cada uno de ellos con distintas hipótesis alternarivas sobre las futuras emisiones de GEI). Finalmente, para obtener una única proyección mensual que resuma de forma robusta el cambio previsto para cada observatorio y escenario, se calcula una media ponderada en cada mes del haz de proyecciones correspondiente a las trayectorias obtenidas en cada caso.

Los resultados permiten proyectar un aumento del valor medio de las temperaturas para el periodo 2031-2060, en todas las regiones.

Abstract

This work objective is applying a statistical downscaling procedure to obtain daily maximum and minimum temperature series on 4 observatories of the Iberian Peninsula under three climate change scenarios. The method is based on bias rescaling corrections and standard deviation for each day in the year. We also analyze the corresponding expected changes regarding to the current climate.

First step of the procedure is selecting the valid temperature trajectories provided by general circulation models. This selection is based on the quality of the trajectories for reproducing the observed climatology in the period 1971-2000. The selection is valid also for global distribution as well as tails and its central part.

We compare this method with the Quantile-mapping one (Piani et al. 2010), a more complicated method in its implementation with the objective of valuating the proposed rescaling procedure.

Using the selected trajectories, we obtain the medium values projections for the period 2031-60 temperature's series for settings A1B, A2 and B1 (each of them with different alternative hypotheses about the future GHG emissions). Finally, to obtain a single projection which summarizes robustly the predicted change for each observatory and scenario, a weighted mean is calculated for each month of the beam, corresponding to the obtained trajectories in each case.

The results show an increase in the average value of the temperatures for the period 2031-2060, in all regions.

Índice general

1. Introducción	10
2. Presentación de los datos	13
3. Metodología	16
3.1. Metodología propuesta para el procedimiento de corrección de media y desviación típica	16
3.1.1. Selección de trayectorias	16
3.1.2. Proyección de los valores medios mensuales de Tmax y Tmin para 2031-60	18
3.1.3. Cálculo de la media ponderada de las proyecciones	18
3.2. Reescalados usando el método Quantile-mapping	19
3.2.1. Procedimiento Quantile-mapping	19
3.2.2. Implementación del método Quantile-mapping	20
3.3. Metodología para la comparación de ambos métodos de reescalado	20
4. Resultados	22
4.1. Resultados para el método de corrección de media y desviación típica	22
4.1.1. Análisis del grado de reproducción de la distribución en los GCM	22
4.1.2. Análisis de la reproducción de la climatología local que logran las trayectorias GCM-20c3M una vez reescaladas	24
4.1.3. Análisis de la reproducción de los datos extremos para Tmax y Tmin	26
4.1.4. Trayectorias seleccionadas	27
4.2. Comparación de los dos métodos de reescalado para los datos del siglo XX	28
4.3. Proyección de los valores medios mensuales de Tmax y Tmin en 2031-60 en tres escenarios de cambio climático	29

4.3.1. Obtención de las proyecciones para Zaragoza	29
4.3.2. Obtención de las proyecciones para el valor medio en los observatorios peninsulares	31
5. Conclusiones	33
Bibliografía	35

Índice de figuras

2.1.	Observatorios en estudio en la Península Ibérica	13
2.2.	Situación, sobre la malla de cada uno de los GCM, de los 4 observatorios	15
4.1.	Sup. Sesgo en la mediana y en el IQR en cada mes y suavizados del valor medio diario de la serie de Tmax observada en Zaragoza y de la generada por CGCM3.1 en su nodo más próximo. Inf. Diagrama de caja, por meses, de los datos de Tmax observados y de los generados por el GCM.	23
4.2.	Sup. Diagramas de caja, por meses, de Tmax diaria en Zaragoza, izda., y de la trayectoria CGCM3.1 reescalada, dcha. Inf. Comparación de los percentiles 5, 50 y 95 mensuales en las dos distribuciones y diagrama de los sesgos cometidos, por meses.	24
4.3.	Perfil anual de los valores medios mensuales de Tmax en Zaragoza, 1971-2000 (línea continua) y valores medios proyectados 2031-60 en el escenario A1B por las distintas trayectorias GCM. La línea de puntos indica el perfil anual de los valores medios ponderados 2031-60, sin incluir la proyección de MIROC.	29

Índice de tablas

2.1. Percentiles 25 (Q1) y 75 (Q3) y valor medio de las series diarias de temperatura máxima de los observatorios estudiados. Para la submuestra de veranos (JJA) e invierno (DEF) se indican los valores máximo, medio y mínimo	14
2.2. Análisis descriptivo de las series diarias de temperatura mínima observada de los observatorios estudiados	14
4.1. Estadísticos de los datos de Tmax en Zaragoza y en la trayectoria CGCM3.1 en su nodo más próximo. p-valores del test KS de comparación de distribuciones en las series observada y simulada, en las series de anomalías y en las de anomalías estandarizadas.	23
4.2. Estadísticos de los datos de Tmax en Zaragoza, y de los de la trayectoria CGCM3.1 reescalada y sesgos correspondientes	25
4.3. Resultados de la comparación, para Tmax en Zaragoza, de las distribuciones de las colas definidas por los percentiles p_5 , p_{10} , p_{90} y p_{95} , en las muestras procedentes de las trayectorias 20c3M reescaladas y de la serie observada, partiendo de las anomalías y de las anomalías tipificadas. Para las trayectorias seleccionadas se muestra el número de meses de cada estación que presentan un p-valor en el test KS no inferior a 0.10, 0.05 y 0.01.	26
4.4. Número de combinaciones observatorio–variable–estación–trayectoria con un p-valor no inferior a 0.01 en los tests KS de comparación de las distribuciones más allá de los percentiles p_{10} y p_5 , simultáneamente y para cada mes de la estación (número a la izquierda del símbolo ”/”), y para los tests KS aplicados a las colas definidas por p_{90} y p_{95} (número a la derecha del símbolo ”/”).	27
4.5. Número de trayectorias (de 7) que superan los filtros de la fase de selección y sean útiles para proyectar los valores medios mensuales de Tmax y Tmin.	27

4.6. Número de combinaciones mes-trayectoria útiles, para cada variable, así como el número de p-valores de al menos 0.01 en el test KS que compara la distribución observada y la downscalada para el método Quantile-mapping, para la distribución global y la distribución de submuestras definidas por distintos percentiles, en el periodo de validación de los 10 años más cálidos y los cambios en media.	28
4.7. La tabla muestra los resultados obtenidos cuando se aplica el método de corrección de media y desviación típica. Se desglosan los resultados de acuerdo con el cambio en el valor medio mensual en el periodo de validación respecto al de calibración	28
4.8. Valores medios mensuales observados para Tmax en Zaragoza en el periodo 1971–2000, valor medio ponderado proyectados 2031–2060 y cambio asociado en el escenario A1B, según los GCM útiles para ese observatorio y variable.	30
4.9. Cambio proyectado en Zaragoza, en el escenario A1B, para la media recortada al 25% (midmean), los cuartiles Q1 y Q3, y el rango intercuartílico de las variables Tmax y Tmin	30
4.10. Cambio proyectado, por estaciones, en el valor medio de Tmax para los 4 observatorios.	31
4.11. Cambio proyectado, por estaciones, en el valor medio de Tmin para los 4 observatorios.	31

Capítulo 1

Introducción

El objetivo de este trabajo es aplicar el procedimiento de downscaling estadístico propuesto por Aburrea et al. (2012) en varias localidades de la Península Ibérica. Este procedimiento permite obtener proyecciones verosímiles de la temperatura máxima y mínima diaria en escenarios de cambio climático para hacer una evaluación del cambio esperado en la temperatura.

Los Modelos de Circulación General (GCM) son modelos físico -matemáticos basados en la resolución numérica de las ecuaciones diferenciales que describen la dinámica de los procesos e interacciones que tienen lugar en los subsistemas del sistema climático, la atmósfera, el océano y la superficie terrestre, lo que permite simular la evolución del clima, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el cambio climático IPCC (2007). Los GCM permiten también obtener proyecciones a medio y largo plazo de la evolución de variables como la temperatura o la precipitación, en una rejilla de puntos que cubre el globo terráqueo. Estas proyecciones se ven afectadas por el comportamiento humano, en particular por las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), que son el resultado del crecimiento demográfico, el desarrollo socio-económico o el cambio tecnológico. Por este motivo los GCM proporcionan proyecciones sobre la evolución del clima, suponiendo diferentes modos de evolución de los GEI, son los llamados escenarios de cambio climático.

El IPCC ha desarrollado varios escenarios de emisiones a largo plazo. Estos escenarios son hipótesis alternativas sobre lo que puede acontecer con las emisiones futuras de GEI. En este trabajo se proyectan los datos en los escenarios:

1. A1B, que describe un mundo futuro con un rápido crecimiento económico y una rápida introducción de las nuevas tecnologías, así como una convergencia entre las diferentes regiones y una población mundial que alcanza su valor máximo a mitad

de siglo XXI.

2. A2, que describe un mundo muy heterogéneo en cuanto al desarrollo, con una población mundial en continuo crecimiento.
3. B1, que describe un mundo con un desarrollo convergente, con una evolución de la población mundial como en el escenario A1B y con rápidos cambios en las estructuras económicas orientados a una introducción de las tecnologías limpias con un aprovechamiento eficaz de los recursos.

Los GCM son una herramienta esencial para realizar proyecciones climáticas, pero tienen algunas limitaciones, entre otras, su escasa resolución espacial. Sus proyecciones proporcionan valores medios que suponen una buena aproximación para áreas bastante extensas pero que resultan inadecuados para ser utilizados a escala regional o local, áreas de interés para el estudio de los impactos del cambio climático, Errasti et al. (2011).

Existen varios procedimientos para mejorar la resolución espacial de los GCM, adaptando las proyecciones a las características regionales. Uno de los procedimientos que proporcionan mejores resultados son los modelos estadísticos de downscaling o reducción de escala, Brands et al. (2011), Fowler et al. (2007), Piani et al. (2010), Haerter et al. (2011), Themeßl et al. (2012).

En este trabajo se aplica un procedimiento estadístico de downscaling para las variables temperatura máxima y mínima diaria (Tmax y Tmin) a escala local. El método se basa en corregir, con respecto a los valores de temperatura observados en el punto de interés, los sesgos en el nivel medio y en la variabilidad de la trayectoria generada, en las condiciones siglo XX (escenario 20c3M) por un modelo de circulación global en el nodo más próximo de su rejilla.

Con objeto de valorar las prestaciones del procedimiento de reescalado, se compararán los sesgos obtenidos en la reproducción de las características observadas con los correspondientes a la aplicación del reescalado mediante Quantile-mapping (Piani et al. 2010) adaptado para recoger la estacionalidad de las variables, que se fundamenta en definir una función de reescalados definida por la transformación integral entre las funciones de distribución empíricas de la muestra observada y la muestra de la trayectoria 20c3M del GCM.

La memoria está estructurada en 5 capítulos. El capítulo 2 presenta los datos observados y procedentes de GCM. El capítulo 3 se dedica a establecer la metodología de selección y validación de las trayectorias útiles y el procedimiento para obtener proyecciones de

escenarios, así como la del método Quantile-mapping y la comparación de ambos. Los resultados respecto al cambio proyectado en temperatura se presentan en el capítulo 4. Por último, el capítulo 5 recoge las principales conclusiones.

Capítulo 2

Presentación de los datos

Se han considerado 4 localidades españolas. Las series diarias de temperatura se han tomado de la base de datos de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET); comprenden el periodo 1971-2000.

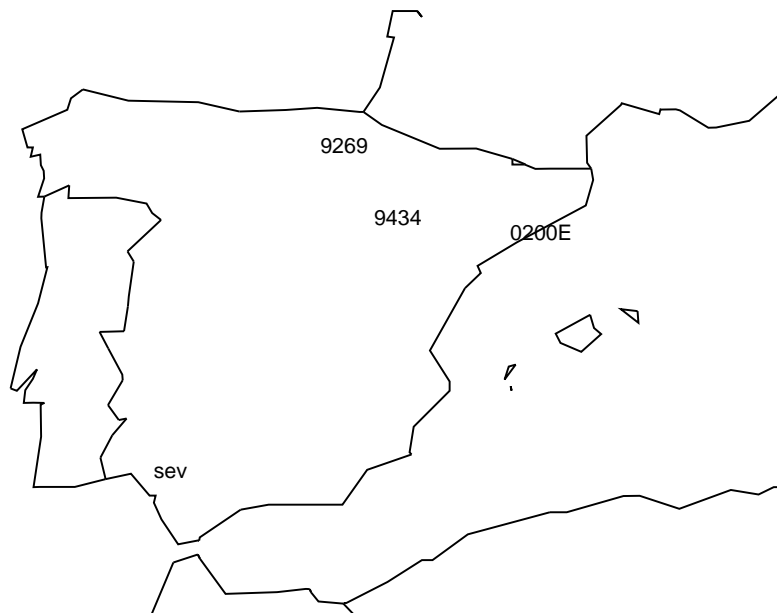


Figura 2.1: Observatorios en estudio en la Península Ibérica

En la figura 2.1 pueden verse, sobre la Península Ibérica, las posiciones de los 4 ob-

servatorios tomadas como referencia, que representan distintos climas peninsulares: con características atlánticas (Alsasua), características mediterráneas (Barcelona, Sevilla) y de características mediterráneo-continental (Zaragoza).

Tmax					JJA			DEF		
IND	Nombre	Q1	Media	Q3	Min	Media	Max	Min	Media	Max
9269	Alsasua	10.0	16.1	22.0	8	23.8	40	-5	8.8	22
0200E	Barcelona	13.2	18.0	24	12.8	26.9	39.8	-1.8	11.6	21.2
sev	Sevilla	18.5	24.9	31.2	17.4	33.8	46.6	4.2	16.7	27.6
9434	Zaragoza	13.8	20.2	27.1	14	30.1	42.6	-1.4	11.4	22.5

Tabla 2.1: Percentiles 25 (Q1) y 75 (Q3) y valor medio de las series diarias de temperatura máxima de los observatorios estudiados. Para la submuestra de veranos (JJA) e invierno (DEF) se indican los valores máximo, medio y mínimo

En la tabla 2.1 se muestran los resultados de un análisis descriptivo de temperatura máxima diaria. Tanto para el conjunto del año, como los meses de verano e invierno, los valores medios más reducidos corresponden a Alsasua, mientras que los más cálidos los encontramos en Sevilla.

Tmin					JJA			DEF		
IND	Nombre	Q1	Media	Q3	Min	Media	Max	Min	Media	Max
9269	Alsasua	2	6.6	11	0.0	12.2	25	-16.5	1.7	15
0200E	Barcelona	6.8	10.6	15.8	1.6	17.8	27.2	-7.2	5.8	15
sev	Sevilla	8	12.2	17	8.4	18.5	27	-4.8	6.2	17
9434	Zaragoza	4.8	9.5	14.8	5.2	16.8	24.3	-10.4	3.1	17.2

Tabla 2.2: Análisis descriptivo de las series diarias de temperatura mínima observada de los observatorios estudiados

En la tabla 2.2 se muestran, de modo análogo, los resultados de los datos de la Tmin. Al igual que ocurría en la temperatura máxima, para todo el año y para el conjunto de los meses más fríos y los más cálidos, los valores medios más bajos corresponden a Alsasua, mientras que los más cálidos corresponden a Sevilla.

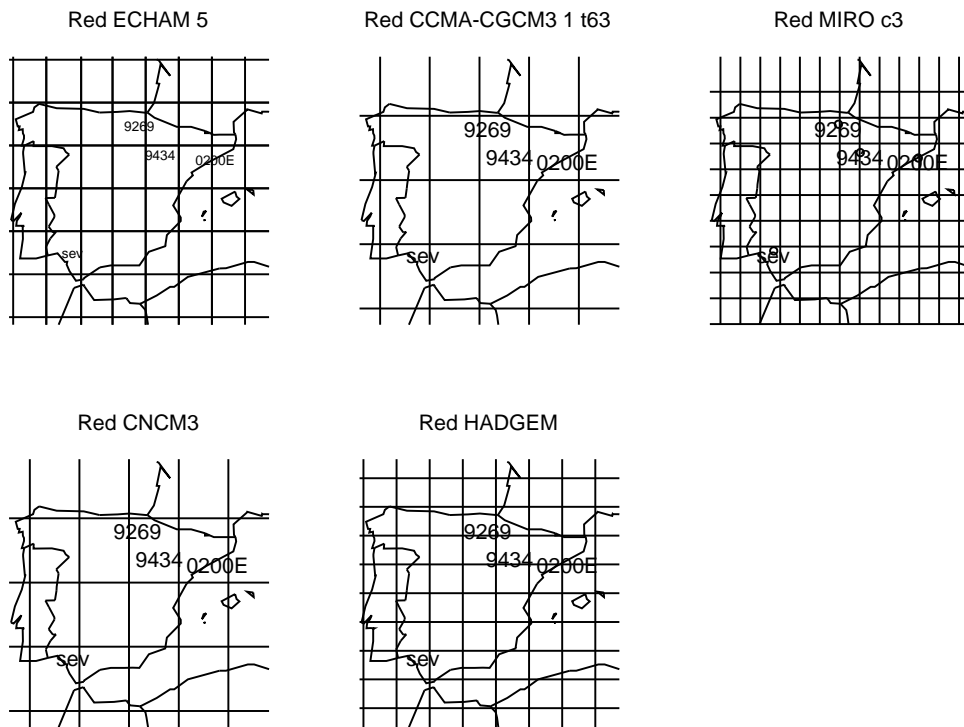


Figura 2.2: Situación, sobre la malla de cada uno de los GCM, de los 4 observatorios

Los modelos de circulación general (GCM) utilizados de soporte han sido: ECHAM5 del que usados sus trayectorias r1, r3 y r4, su resolución es de 1.875° , CGCM3.1 2.8° , MIROc3.2 hires 1.125° , HADGEM longitud 1.875° y latitud 1.25° , CNM3 2.8° .

En la figura 2.2 podemos ver, sobre la Península Ibérica, las mallas de los 5 GCM utilizados en este trabajo.

Capítulo 3

Metodología

En este capítulo en primer lugar se analiza el método propuesto que consiste en la corrección de la media y la desviación típica, en segundo lugar se analiza el método Quantile-mapping, y por último se comparan los dos métodos

3.1. Metodología propuesta para el procedimiento de corrección de media y desviación típica

El método de downscaling aplicado en este trabajo, véase Abaurrea et al. (2012), consta de tres fases. Primero se seleccionan las trayectorias 20c3M de los GCM que reproducen adecuadamente la climatología observada en cada estación y en cada mes. En segundo lugar, con las trayectorias de los GCM seleccionadas, se estima la expresión del reescalado adecuado a partir de la trayectoria observada y de la trayectoria GCM-20c3M para los datos del siglo XX, se calculan las proyecciones de la temperatura máxima (T_{max}) y la temperatura mínima (T_{min}) para el periodo 2030-60 y se estiman los cambios proyectados en las señales de temperatura. En tercer lugar, y con el fin de obtener estimaciones más fiables de estos cambios, se calcula una media ponderada de las diferentes proyecciones obtenidas para cada estación y señal de temperatura. Se describen estos pasos en las siguientes subsecciones.

3.1.1. Selección de trayectorias

Para evaluar la capacidad de las trayectorias GCM para reproducir la climatología de T_{max} y T_{min} en cada observatorio, se compara, en cada mes, los datos observados y los generados en el nodo más cercano al observatorio, en el periodo 1971-2000. Se comparan tres señales, las variables originales, sus anomalías (desviaciones a la media) y sus ano-

malías estandarizadas, al objeto de comprobar si, una vez descontados los posibles sesgos del GCM al reproducir el valor medio y la variabilidad, la distribución de estas muestras es similar a la observada.

Para que una trayectoria de un GCM, para un mes y una señal dada sea considerada verosímil y por lo tanto seleccionada debe verificar tres requisitos.

1.- Un análisis global de igualdad de distribuciones basado en un test Kolmogorov-Smirnov (KS) con un nivel de significación $\alpha = 0.01$.

2.- Un análisis de igualdad de distribuciones en las colas definidas por los percentiles 5, 10, 90 y 95, también basado en un test KS con un nivel de significación $\alpha = 0.01$.

Las trayectorias que se rechazan en el paso 2 no son válidas para hacer proyecciones verosímiles de los valores diarios pero sí se pueden utilizar para obtener proyecciones de valores medios de temperatura si verifican el tercer control.

3.- En el siguiente paso se realiza un análisis de los sesgos en la reproducción del centro de la distribución. Se construye a partir de la anomalía estandarizada (st.an.Tr), con la expresión,

$$\begin{aligned} \text{scaled.Tr}(t) &= m.\text{Ob}(t) + \text{sd.Ob}(t) \times \text{st.an.Tr}(t) = \\ &= m.\text{obs}(t) - \text{sd.obs}(t) \text{variable} + \text{Tr}(t) - \text{sd.obs}(t) / \text{sd.obs}(t) \end{aligned}$$

Donde m y sd expresan la media y la desviación típica en el correspondiente día del año. En la fórmula anterior $m.\text{obs}$, $sd.\text{obs}$, $sd.\text{obs}$, $sd.\text{obs}$ se obtiene con las regresión frente a la desviación correspondiente en cada día del año.

Una trayectoria se considera válida, en un mes, si el valor absoluto del sesgo no excede 0.4°C en la media y 0.8°C en los percentiles 25 (Q1) y 75 (Q3).

Si para una localidad, variable y estación del año, más de una señal entre la variable original, la anomalía y la anomalía estandarizada verifica los criterios anteriores, se utiliza aquélla que minimiza la distancia:

$$\text{Distancia} = |\text{bias.p25} - \text{bias.mean}| + 2|\text{bias.mean}| + |\text{bias.p75} - \text{bias.mean}| \quad (1)$$

donde bias.mean , bias.p25 y bias.p75 son los sesgos en la media y en los percentiles 25 y 75 respectivamente.

3.1.2. Proyección de los valores medios mensuales de Tmax y Tmin para 2031-60

Si una trayectoria GCM es considerada válida (es decir si ha pasado los controles anteriores correspondientes, los pasos del 1 al 3 o bien 1 y 3), el primer paso es escalar la correspondiente serie 2031-60 con la transformación que le corresponda (anomalía o anomalía estandarizada) utilizando el valor medio y la desviación típica diaria del periodo 1971-2000 en la trayectoria 20c3M del GCM. A continuación, dicha serie de anomalías se reescala usando los valores medios y las desviaciones típicas diarios del periodo 1971-2000 en la serie observada. De esta forma, se obtiene la trayectoria siglo XXI escalada al observatorio de interés. Finalmente, los valores medios mensuales proyectados para el periodo 2031-60 se calculan como la media recortada al 25 % de la serie anterior.

3.1.3. Cálculo de la media ponderada de las proyecciones

Con el procedimiento anterior se obtienen los cambios proyectados en los valores medios de Tmax y Tmin para cada observatorio, mes y escenario en varias trayectorias. Es decir, en cada caso se obtiene un haz de proyecciones formado por tantos valores como trayectorias GCM se hayan considerado válidas en el control anterior. Para calcular un único valor que resuma de forma robusta el cambio previsto, se define un valor medio ponderado, aplicando una estructura de pesos basada en la distancia (1). Estos pesos representan la capacidad de cada GCM para reproducir la climatología de esa señal en el siglo XX. El peso asignado a cada trayectoria en un mes se define en relación con esa distancia, que se corrige para evitar que aparezcan valores demasiado grandes asociados a sesgos reducidos:

$$\text{Numerador}(\text{mes } k, \text{tray.}i) = -\text{Dist}(\text{mes } k, \text{tray.}i) + \min_{j=\text{trayectoria mes } k} \text{Dist}(\text{mes } k, \text{tray.}i) \\ + \max_{j=\text{trayectoria mes } k} \text{Dist}(\text{mes } k, \text{tray.}i)$$

$$\text{Peso}(\text{mes } k, \text{tray.}i) = \text{Numerador}(\text{mes } k, \text{tray.}i) / \sum_{j=\text{tray.utiles mes } k} \text{Numerador}(\text{mes } k, \text{tray.}i)$$

La obtención de una única proyección mensual para cada observatorio bajo un escenario dado facilita la comparación de los resultados esperados bajo los distintos escenarios y el análisis de las diferencias entre los distintos climas (observatorios).

3.2. Reescalados usando el método Quantile-mapping

3.2.1. Procedimiento Quantile-mapping

El procedimiento 'quantile-quantile mapping' o 'quantiles-matching approach' consiste en aplicar técnicas de corrección de error basadas en establecer una función de transferencia que conserve la distribución observada cuando se aplica sobre los datos de modelo en el periodo de calibración (Déque, 2007, Boé et al., 2007, Themeßl et al., 2012).

Requieren de las funciones de distribución de una variable climática en el observatorio de interés, para la serie observada y en la serie generada por un GCM en el periodo de calibración,

$$x_S = T(x_G) = F_S^{-1}(F_{Gh}(x_G))$$

donde F_S y F_{Gh} representan las funciones de distribución de una variable climática en la serie observada en la estación de interés y en la serie generada por un modelo en el periodo de calibración.

A partir de aquí se establece la transformación T para downscalar el valor x_G generado por un modelo proporcionando el valor x_S que corresponde a las condiciones del observatorio.

Existen dos problemas específicos para este tipo de procedimiento. Primero debe adaptarse para su uso sobre valores situados fuera del rango donde se ha calibrado, como ocurriría para la temperatura en un escenario de calentamiento climático (Themeßl et al., 2012). Gudmundsson et al. (2012), Boé et al. (2007) usan para la aplicación fuera de rango la transformación que se ha obtenido para el extremo del rango observado más próximo. Y segundo, la función de transferencia en los cuartiles extremos puede tener un comportamiento poco robusto, debido a que la construcción de la función de distribución empírica en esa zona del rango depende de escasos datos (Themeßl et al., 2012, Thrasher et al., 2012, Lafon et al., 2012). Esto se acentúa cuando se debe considerar un comportamiento estacional en la distribución de la variable (Amengual et al., 2012, Michelangeli et al., 2012). Boé et al. (2007) aplican la corrección estacionalmente, pero no mensualmente para evitar que la muestra de calibración sea demasiado reducida.

3.2.2. Implementación del método Quantile-mapping

Para recoger la estacionalidad del fenómeno, y reflejar su evolución continua, se ha aplicado el método Quantile-mapping considerando ventanas móviles a lo largo del año

El método Quantile-mapping, para cada variable y observatorio, implementa en cada fecha del año una transformación obtenida a partir de la distribución empírica de los datos en el periodo de calibración adaptado a una ventana móvil de 31 días, con 15 días anteriores a la fecha y otros 15 posteriores. Este cálculo se realiza en la serie observada y en la serie del GCM 20c3M. De estas funciones de distribución se obtiene la función de reescalado en esa fecha.

Para cada fecha del año, por ejemplo el día 6 de junio, disponemos de 31 días de cada uno de los 20 años, es decir en cada fecha la muestra observada está considerada por 620 datos. Se ha usado la librería qmap desarrollada en R. Gudmundsson et al. (2012) para calcular la transformación de los datos del conjunto de validación fuera de rango de acuerdo con la propuesta de Boé et al. (2007), que aplica la corrección obtenida para el valor más grande en el conjunto de la calibración.

3.3. Metodología para la comparación de ambos métodos de reescalado

Se comparan los resultados obtenidos con el procedimiento de corrección de media y desviación típica con los obtenidos utilizando el método Quantile-mapping, como procedimiento para obtener trayectorias downscaladas de temperatura máxima y mínima diaria downsaclada en un punto. Dicha comparación entre los dos métodos de downscaling se establece a partir de los sesgos de un conjunto reservado para validación, en la reproducción de ciertos percentiles de la distribución diaria.

Se ha aplicado este análisis comparativo sobre la transformación de las anomalías estandarizadas. Se aplica a los meses útiles, aquellos tales que en el periodo de calibración se cumple que el test KS no rechaza la igualdad de la distribución de las anomalías estandarizadas procedentes de la muestra observada y de la serie GCM. Se le añade la condición de que en el periodo de calibración la serie reescalada debe tener un sesgo del valor medio mensual inferior a $0.4^{\circ}C$ y los correspondientes a Q1 y Q3 deben ser inferiores a $0.8^{\circ}C$. La comparación entre los dos procedimientos se ha restringido a utilizar las combinaciones mes-trayectoria que verifican estas condiciones, trabajando en el test KS con el nivel de significación 0.01.

Con el objetivo de comparar ambos procedimientos en condiciones similares a un posible cambio climático, se ha diseñado un experimento en el que las condiciones de validación corresponden a temperaturas medias más elevadas que en las condiciones de calibración. El periodo reservado para la validación, se ha construido extrayendo de 1971-2000 los 10 años más cálidos (se agrupan los 10 eneros con mayor valor medio, los 10 febreros...), se calcula el sesgo para cada mes en cada uno de los procedimientos en la reproducción del percentil p de la distribución diaria observada, para los percentiles $p=5, 10, 25, 50, 75, 90$ y 95 . Utilizaremos la notación $b_{ppqm,t}$ para designar al sesgo en el percentil p del mes t , calculado a la partir de la serie downscalada mediante Quantile-mapping; denotamos $b_{ppcm}/sd.t$ al sesgo en la serie resultante de aplicar el procedimiento de corrección de media y desviación típica.

El cambio en el nivel medio del periodo de validación respecto del de calibración será distinto en cada una de las trayectorias GCM, incluso con la observada. Por este motivo, se han analizado los sesgos en la reproducción de los percentiles retirando el correspondiente sesgo en el valor medio, en adelante $b_{meanqm,t}$, lo que equivale a descontar una evolución distinta del nivel medio y analizar los sesgos en la reproducción de la forma y variabilidad de la distribución. Para el downscaling aplicando Quantile-mapping se denota ese sesgo retirando el de la media como $br_{ppqm,t} = b_{ppqm,t} - b_{meanqm,t}$. Para el procedimiento de corrección de media y desviación típica este sesgo corregido se denota $br_{ppcm}/sd.t = b_{ppcm}/sd.t - b_{meanqm}/sd.t$.

Capítulo 4

Resultados

En este capítulo se muestran, con algún detalle, los resultados relativos a Zaragoza. De manera más agregada y resumida se indican algunos resultados obtenidos en el resto de observatorios.

4.1. Resultados para el método de corrección de media y desviación típica

4.1.1. Análisis del grado de reproducción de la distribución en los GCM

Como se ha descrito al explicar metodología, el análisis comparativo entre la trayectoria GCM y la serie observada se apoya y puede visualizarse en gráficos como el del perfil del valor medio a lo largo del año, el de los sesgos cometidos al reproducir la mediana y el rango intercuartílico (IQR) y en el análisis comparativo de diagramas de cajas o qqplots.

La figura 4.1 muestra algunos de estos gráficos para la comparación del registro 1971-2000 de Tmax en la estación 9434, Zaragoza Aeropuerto, con la serie correspondiente del modelo CGCM3.1-20c3M en su punto de malla más próximo, 1.9W-42N. Resulta evidente la existencia de sesgos en el valor medio (del orden de 3 °C en primavera) y en la variabilidad (del orden del 20 % en el sesgo del IQR en septiembre y octubre).

En la tabla 4.1 se muestran un conjunto de estadísticos para los datos observados en las columnas pares y para los valores simulados en las columnas impares. En las columnas impares, en enero, febrero y marzo, y las tres filas finales, aparecen los p-valores del test KS

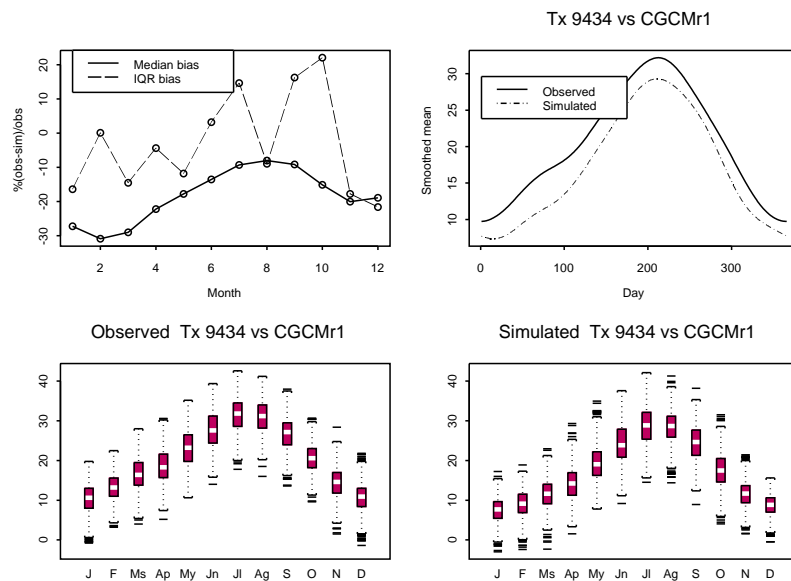


Figura 4.1: Sup. Sesgo en la mediana y en el IQR en cada mes y suavizados del valor medio diario de la serie de Tmax observada en Zaragoza y de la generada por CGCM3.1 en su nodo más próximo. Inf. Diagrama de caja, por meses, de los datos de Tmax observados y de los generados por el GCM.

	Enero		Febrero		Marzo	
	Obs.	GCM	Obs.	GCM	Obs.	GCM
Mean	10.3	7.5	13.3	9.0	16.6	11.6
Min	-0.8	-3.0	3.2	-2.4	4	-2.3
p05	3	2.2	7	3.3	10.4	5.7
p50	10.6	7.7	13.2	9.1	16.4	11.6
p75	13	9.6	15.6	11.5	19.5	14.0
p95	16.4	12.4	19.3	14.4	23.1	17.3
Max	19.8	17.2	22.5	18.9	28	23
KS distr. pv		0		0		0
Anom KS distr. pv		0.063		0.657		0.100
St anom KS distr. pv		0.730		0.621		0.294

Tabla 4.1: Estadísticos de los datos de Tmax en Zaragoza y en la trayectoria CGCM3.1 en su nodo más próximo. p-valores del test KS de comparación de distribuciones en las series observada y simulada, en las series de anomalías y en las de anomalías estandarizadas.

para la comparación de la distribución global, en los datos observados y simulados, en sus anomalías y, por último, en sus anomalías estandarizadas; se comprueba que eliminando el sesgo en media y en desviación típica, la forma de la distribución en ambas anomalías estandarizadas no se distingue.

4.1.2. Análisis de la reproducción de la climatología local que logran las trayectorias GCM-20c3M una vez reescaladas

En la figura 4.2 se muestran los diagramas de caja mensuales de los datos de Tmax en Zaragoza y los correspondientes a la serie reescalada (desde la anomalía estandarizada) de la trayectoria CGCM3.1-20c3M. Al compararlos con los de la figura 4.1 se aprecia la mejora que produce el proceso de reescalado. En la parte inferior de la figura 4.2 se comparan los percentiles 5, 50 y 95, mensuales (izda.) y el tamaño del sesgo cometido en su reproducción (dcha.), apreciándose valores inferiores a 1°C en los percentiles 5 y 95 en todos los meses.

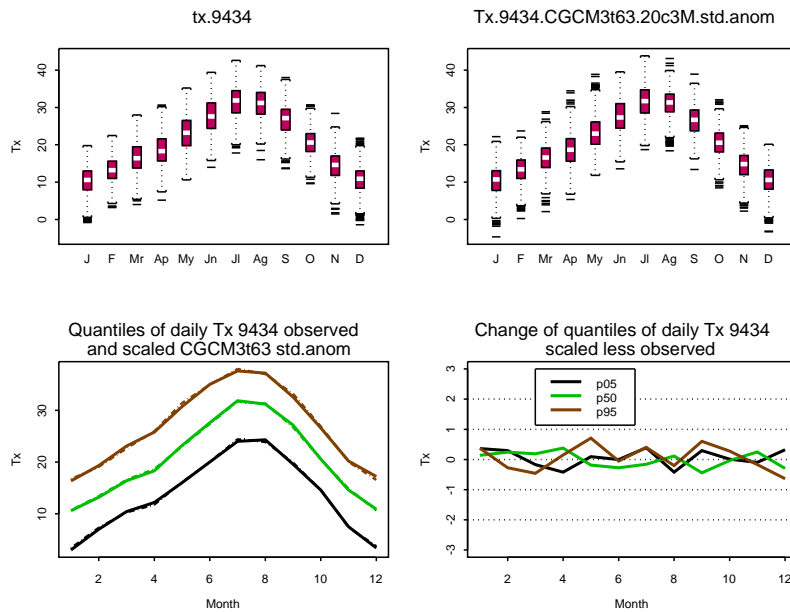


Figura 4.2: Sup. Diagramas de caja, por meses, de Tmax diaria en Zaragoza, izda., y de la trayectoria CGCM3.1 reescalada, dcha. Inf. Comparación de los percentiles 5, 50 y 95 mensuales en las dos distribuciones y diagrama de los sesgos cometidos, por meses.

En el análisis comparativo de la serie de Tmax en Zaragoza y de la trayectoria CGCM3.1 reescalada, vemos que en los meses de enero, febrero y marzo los p-valores del test KS son mayores que 0.05, primera línea de la Tabla 4.2. La misma Tabla compara los valores de

	J	F	Mr
pv KS obs/scaled sim variables	0.574	0.397	0.292
Obser Mean (C)	10.3	13.3	16.6
Escalad CGCM3t63 20c3M	10.4	13.3	16.5
Mean (C) bias	0.1	0	0.1
Obser Stdev	4	3.6	4
Escalad CGCM3t63 20c3M	4.1	3.6	3.9
Stdev bias	0.1	0	-0.1
Observ p05 (C)	3	7	10.4
Escalad CGCM3t63 20c3M	3.4	7.3	10.3
p05 (C) bias	0.4	0.3	-0.2
Obser p10 (C)	4.8	8.3	11.7
Escalad CGCM3t63 20c3M	4.9	8.4	11.5
p10 (C) bias	0.1	0.1	-0.2
Obser p25 (C)	8	11	13.8
Escalad CGCM3t63 20c3M	7.8	11	13.9
p25 (C) bias	-0.2	0	0.1
Obser p75 (C)	13	15.6	19.5
Escalad CGCM3t63 20c3M	13.1	15.9	19.1
p75 (C) bias	0.1	0.3	-0.4
Obser p90 (C)	15	18.2	21.8
Escalad CGCM3t63 20c3M	15.3	17.8	21.4
p90 (C) bias	0.3	-0.4	-0.4
Obser p95 (C)	16.4	19.3	23.1
Escalad CGCM3t63 20c3M	16.7	19.1	22.6
p95 (C) bias	0.3	-0.2	-0.5

Tabla 4.2: Estadísticos de los datos de Tmax en Zaragoza, y de los de la trayectoria CGCM3.1 reescalada y sesgos correspondientes

ocho estadísticos (media, stdev, p5, p10, p25, p75, p90 y p95) en la distribución observada y en la trayectoria reescalada y el sesgo correspondiente, expresado en °C o en % en el caso de la desviación típica. En esos tres meses la reproducción de la distribución es adecuada y se verifica los criterios 1 y 3 señalados para superar el segundo filtro.

4.1.3. Análisis de la reproducción de los datos extremos para Tmax y Tmin

En la tabla 4.3, para cada estación del año(en columnas) y cada trayectoria (por filas), se muestran en la primera terna de números y separados por comas, el número de meses donde el p–valor del test KS que compara la distribución de los datos extremos es, al menos, 0.10, 0.05 y 0.01 en el test aplicado a la cola definida por el percentil 5, p5. Las siguientes ternas corresponden al resultado de los tests para las colas correspondientes a p10, p90 y p95. Los mejores resultados, en el caso de Tmax, los encontramos en los meses de verano pero se está lejos de tener una buena representación de la distribución observada en los valores extremos.

Zaragoza	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
E5.run1.Tx.anom	–	1,1,1-2,2,2-1,1,2-1,1,1	–	–
E5.run1.Tx.stdan	0,1,1-1,1,1-1,2,2-2,2,2	1,1,2-2,2,2-2,2,3-2,2,3	1,1,1-1,1,2-2,2,2-0,0,1	–
E5.run3.Tx.anom	–	–	–	–
E5.run3.Tx.stdan	1,1,1-0,0,1-0,0,0-1,1,2	1,2,2-2,2,3-0,1,2-3,3,3	–	0,0,0-0,0,0-0,0,0-1,1,1
E5.run4.Tx.anom	–	0,0,0-1,1,1-2,2,2-0,0,1	–	–
E5.run4.Tx.stdan	1,1,1-1,2,2-2,3,3-1,1,1	0,0,3-2,3,3-2,3,3-3,3,3	1,1,1-1,1,2-2,2,2-0,0,1	0,0,0-1,1,1-1,2,2-1,1,1
CGCM.run1.Tx.anom	1,1,1-2,3,3-0,0,0-0,0,0	0,0,0-1,1,2-0,1,1-0,0,0	1,1,1-0,1,1-0,0,0-0,0,0	0,0,0-0,0,0-0,0,0-0,0,0
CGCM.run1.Tx.stdan	3,3,3-2,2,2-1,1,1-1,2,2	2,2,2-1,2,2-1,1,3-0,0,1	2,2,2-1,1,1-3,3,3-2,2,2	1,3,3-2,3,3-1,1,2-1,1,1
MIROc3.run1.Tx.anom	0,0,0-1,1,3-1,1,3-1,1,2	0,1,1-1,1,1-3,3,3-0,0,2	0,0,0-0,0,0-1,1,1-0,0,0	–
MIROc3.run1.Tx.stdan	0,0,0-1,1,2-2,2,2-1,1,2	0,1,3-2,2,2-2,2,2-0,0,1	1,1,1-2,2,2-0,0,0-2,2,2	1,2,2-2,2,2-0,1,1-1,1,2
CNCM3.run1.Tx.anom	–	–	–	–
CNCM3.run1.Tx.stdan	0,2,2-2,2,2-1,1,1-0,0,0	–	–	1,1,2-1,2,2-1,2,2-0,0,0
HADGEM.run1.Tx.anom	1,2,2-1,1,1-0,1,1-1,1,1	0,0,0-2,2,2-0,1,1-1,1,2	1,1,2-2,2,3-2,2,3-1,1,1	1,1,1-1,1,2-1,2,2-0,1,1
HADGEM.run1.Tx.stdan	1,1,2-1,2,2-1,1,2-3,3,3	0,1,1-2,2,2-1,1,2-0,1,1	2,3,3-1,2,2-1,2,3-1,1,1	0,0,1-2,2,3-1,1,2-2,2,2

Tabla 4.3: Resultados de la comparación, para Tmax en Zaragoza, de las distribuciones de las colas definidas por los percentiles p_5 , p_{10} , p_{90} y p_{95} , en las muestras procedentes de las trayectorias 20c3M reescaladas y de la serie observada, partiendo de las anomalías y de las anomalías tipificadas. Para las trayectorias seleccionadas se muestra el número de meses de cada estación que presentan un p-valor en el test KS no inferior a 0.10, 0.05 y 0.01.

La tabla 4.4 muestra resumidamente los resultados relativos a la reproducción de las distribuciones de los datos extremos en los 4 observatorios analizados. Por ejemplo, en Alsasua para Tmax en primavera no hay ningún p-valor mayor de 0.01 en la distribución más allá de los percentiles p5 y p10, y hay 1 en p90 y p95.

Estos resultados indican la dificultad de los GCM para representar adecuadamente los extremos, por lo que se descarta el procedimiento de reescalado que estamos aplicando

p5+p10/p90+p95	Tmax				Tmin			
	Sp	Su	Au	Wi	Sp	Su	Au	Wi
Alsasua	0/1	0/0	0/0	0/0	0/1	3/1	1/0	0/0
Zaragoza	0/0	1/2	0/0	1/0	3/3	3/2	0/1	0/0
Barcelona	0/1	1/1	0/1	1/0	0/0	1/0	1/1	2/0
Sevilla	0/1	1/0	1/0	1/1	3/3	0/0	4/3	0/0

Tabla 4.4: Número de combinaciones observatorio–variable–estación–trayectoria con un p-valor no inferior a 0.01 en los tests KS de comparación de las distribuciones más allá de los percentiles p_{10} y p_5 , simultáneamente y para cada mes de la estación (número a la izquierda del símbolo "/"), y para los tests KS aplicados a las colas definidas por p_{90} y p_{95} (número a la derecha del símbolo "/").

para el downscaling de este tipo de datos y, por consiguiente, de las series de datos diarios.

4.1.4. Trayectorias seleccionadas

La tabla 4.5 muestra el número de trayectorias útiles para la proyección de características del centro de la distribución en Tmax y Tmin. En el caso de esta última, los meses de invierno resultan los más problemáticos, pero en todos los observatorios se dispone de, al menos, 3 trayectorias en todos los meses, lo que ayuda una buena fiabilidad de la proyección obtenida.

En el caso de Tmax los resultados son algo menos satisfactorios en alguno de los observatorios en el periodo más cálido: en Alsasua se selecciona sólo una trayectoria en junio y dos en mayo y julio. En Sevilla hay meses en los que se seleccionan las 7 trayectorias en Tmax, y 5 meses en Tmin.

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Alsasua	Tmax	4	5	7	7	2	1	2	3	3	3	4	6
Barcelona	Tmax	4	5	6	6	3	5	5	5	5	5	4	5
Sevilla	Tmax	7	7	7	4	6	4	5	2	6	6	7	6
Zaragoza	Tmax	4	5	7	7	6	6	6	6	4	5	5	5
Alsasua	Tmin	6	6	5	6	6	4	6	6	5	5	3	5
Barcelona	Tmin	5	6	7	6	7	6	5	6	6	7	7	6
Sevilla	Tmin	3	6	7	7	7	7	7	6	6	6	6	5
Zaragoza	Tmin	6	6	7	7	6	6	6	6	6	7	7	6

Tabla 4.5: Número de trayectorias (de 7) que superan los filtros de la fase de selección y sean útiles para proyectar los valores medios mensuales de Tmax y Tmin.

4.2. Comparación de los dos métodos de reescalado para los datos del siglo XX

Realizamos una comparación entre los dos métodos downscaling, a partir de sus sesgos en la reproducción de algunos percentiles de la distribución diaria, en los datos de validación. En primer lugar, dados una variable y un observatorio, para cada trayectoria 20c3M se han obtenido las series diarias downscaladas mediante Quantile-mapping y mediante el procedimiento de corrección de media y desviación típica. Se utiliza los 10 años más fríos para la calibración.

Zaragoza	Tx	10 hottest	Useful months	global.KS.pv	p20.p80.KS.pv	p10.KS.pv	p90.KS.pv
Zaragoza	Tx	10 hottest	67	23/27/42	16/21/31	23/30/39	21/24/35
Change in GCM mean value in	-20	0					
Change in GCM mean value in	0	1					
Change in GCM mean value in	1	1.5					
Change in GCM mean value in	1.5	2					
Change in GCM mean value in	2	3	29	14/15/22	8/10/16	14/15/20	15/16/21
Change in GCM mean value in	3	4	32	9/12/19	8/11/15	9/14/18	6/8/13
Change in GCM mean value in	4	5	4	0/0/1	0/0/0	0/1/1	0/0/1
Change in GCM mean value in	5	20	2	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0

Tabla 4.6: Número de combinaciones mes-trayectoria útiles, para cada variable, así como el número de p-valores de al menos 0.01 en el test KS que compara la distribución observada y la downscalada para el método Quantile-mapping, para la distribución global y la distribución de submuestras definidas por distintos percentiles, en el periodo de validación de los 10 años más cálidos y los cambios en media.

Zaragoza	Tx	10 hottest	Useful months	global.KS.pv	p20.p80.KS.pv	p10.KS.pv	p90.KS.pv
Zaragoza	Tx	10 hottest	67	22/27/44	14/16/29	26/32/41	11/18/23
Change in GCM mean value in	-20	0					
Change in GCM mean value in	0	1					
Change in GCM mean value in	1	1.5					
Change in GCM mean value in	1.5	2					
Change in GCM mean value in	2	3	29	14/15/23	7/7/14	14/17/21	5/9/12
Change in GCM mean value in	3	4	32	8/12/19	7/9/15	11/13/18	6/9/11
Change in GCM mean value in	4	5	4	0/0/2	0/0/0	1/2/2	0/0/0
Change in GCM mean value in	5	20	2	0/0/0	0/0/0	0/0/0	0/0/0

Tabla 4.7: La tabla muestra los resultados obtenidos cuando se aplica el método de corrección de media y desviación típica. Se desglosan los resultados de acuerdo con el cambio en el valor medio mensual en el periodo de validación respecto al de calibración

Comparando las dos tablas anteriores podemos concluir que los resultados obtenidos como aplicación de los dos métodos son similares, tanto para la reproducción del centro de la distribución, como para los valores extremos.

4.3. Proyección de los valores medios mensuales de Tmax y Tmin en 2031-60 en tres escenarios de cambio climático

Hasta este momento se han analizado las 7 trayectorias descritas en el capítulo 2; sin embargo, para obtener el valor medio proyectado, se utilizarán solo 6. La proyección de MIROC3.2 hires no se introduce en el cálculo del valor medio ponderado porque este modelo proyecta unos incrementos de temperatura desproporcionados respecto de los del resto de GCM.

4.3.1. Obtención de las proyecciones para Zaragoza

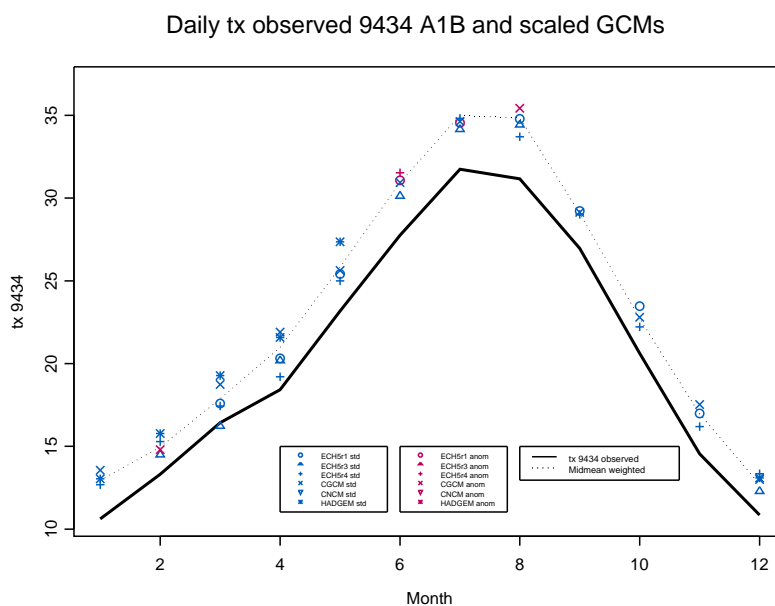


Figura 4.3: Perfil anual de los valores medios mensuales de Tmax en Zaragoza, 1971-2000 (línea continua) y valores medios proyectados 2031-60 en el escenario A1B por las distintas trayectorias GCM. La línea de puntos indica el perfil anual de los valores medios ponderados 2031-60, sin incluir la proyección de MIROC.

El Figura 4.3 muestra las diferentes proyecciones para el valor medio de Tmax en Zaragoza en el escenario A1B. Como se indicó en el capítulo anterior, utilizando un esquema de pesos se ha calculado un único valor mensual proyectado, que aparece en la gráfica

con una línea de puntos.

Tmax Zaragoza	J	F	Mr	Ap	My	Jn	Jl	Ag	S	O	N	D
Observed Tx 9434	10.6	13.3	16.4	18.4	23.2	27.8	31.7	31.2	27	20.6	14.5	10.9
Midmean weighted Tx 9434	12.9	15	17.9	21	25.8	30.9	35	34.8	29.1	22.7	17	12.7
A1B E5r1 anom						31.07	34.55					
Mean change (C)						3.32	2.81					
A1B E5r1 std.anom			17.59	20.32	25.42			34.78	29.22	23.47	16.99	
Mean change (C)			1.16	1.9	2.24			3.62	2.26	2.85	2.44	
A1B E5r3 std.anom		14.52	16.25	20.2		30.14	34.17	34.45				12.3
Mean change (C)		1.21	-0.19	1.78		2.39	2.43	3.29				1.45
A1B E5r4 anom						31.53						
Mean change (C)						3.78						
A1B E5r4 std.anom	12.68	15.29	17.44	19.2	24.99		34.81	33.71	29.01	22.22	16.19	13.34
Mean change (C)	2.07	1.98	1	0.78	1.82		3.07	2.54	2.05	1.59	1.64	2.49
A1B CGCM3t63 anom		14.8						35.42				
Mean change (C)		1.49						4.26				
A1B CGCM3t63 std.anom	13.56		18.74	21.91	25.63	30.94	34.62		29.13	22.8	17.52	13
Mean change (C)	2.94		2.31	3.49	2.45	3.19	2.88		2.18	2.18	2.97	2.14
A1B CNM3 std.anom	13.03	15.77	19.28	21.58	27.36							13.09
Mean change (C)	2.42	2.46	2.85	3.16	4.18							2.24
A1B HADGEM anom	12.52			20.57				36.88	36.6			11.94
Mean change (C)	1.9			2.15				5.14	5.44			1.09
A1B HADGEM std.anom			17.49		26.33	30.33				22.93	17.01	
Mean change (C)			1.05		3.16	2.58				2.31	2.47	

Tabla 4.8: Valores medios mensuales observados para Tmax en Zaragoza en el periodo 1971–2000, valor medio ponderado proyectados 2031–2060 y cambio asociado en el escenario A1B, según los GCM útiles para ese observatorio y variable.

En la tabla 4.8 se comparan los valores medios mensuales de Tmax observados en el periodo 1971–2000 en Zaragoza, primera fila con resúmenes numéricos, los valores proyectados por los GCM útiles y el valor medio obtenido al ponderar esas proyecciones (segunda fila). La celda que aparece en blanco es porque esa combinación mes-trayectoria no es útil.

A1B	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Tmax 9434 Q1 change	2.6	1.6	1.3	2.1	2.4	2.9	3.3	3.7	2.1	1.8	2.3	1.7
Tmax Midmean change	2.3	1.6	1.4	2.6	2.6	3.2	3.2	3.7	2.1	2.1	2.4	1.9
Tmax Q3 change	2.3	2	1.3	2.7	2.7	3.1	3.2	3.5	2.3	2.5	2.5	2.3
Tmax IQR change	-0.3	0.4	0	0.5	0.3	0.2	-0.2	-0.2	0.1	0.7	0.2	0.7
Tmin 9434 Q1 change	1.8	1.4	1.2	1.1	1.6	1.8	1.9	2.2	1.5	1.6	1.9	1.5
Tmin Midmean change	1.7	1.5	1.1	1.3	1.7	2.1	2.1	2.3	1.7	1.6	1.9	1.6
Tmin Q3 change	1.4	1.4	1.2	1.5	1.8	2.1	2.1	2.3	1.7	1.5	1.8	1.6
Tmin IQR change	-0.4	0	0	0.4	0.2	0.3	0.2	0.1	0.1	-0.1	-0.1	0.1

Tabla 4.9: Cambio proyectado en Zaragoza, en el escenario A1B, para la media recortada al 25 % (midmean), los cuartiles Q1 y Q3, y el rango intercuartílico de las variables Tmax y Tmin

En la tabla 4.9 vemos para cada mes en Zaragoza el cambio esperado en los percentiles p25, p75, en la media recortada al 25 % y en el IQR de Tmax y Tmin en el escenario A1B, en el periodo 2031-2060. El mayor incremento se aprecia en el mes de agosto, que para el valor medio de Tmax llega a ser de 3.7°C y para Tmin 2.3°C. El incremento menor lo encontramos en el mes de febrero para Tmax con 1.6°C y en marzo 1.1° para Tmin.

4.3.2. Obtención de las proyecciones para el valor medio en los observatorios peninsulares

	Sp	Su	Au	Wi
Alsasua.	2.47 *	– *	2.78 *	1.8
Barcelona	2.45	3.29	2.38	2.11
Sevilla	2.34	2.97 *	2.37	1.75
Zaragoza	2.21	3.36	2.21	1.94

Tabla 4.10: Cambio proyectado, por estaciones, en el valor medio de Tmax para los 4 observatorios.

	Sp	Su	Au	Wi
Alsasua	1.87	2.49	2.61	1.89
Barcelona	2.15	3.17	2.55	2.03
Sevilla	1.59	2.41	1.95	1.38 *
Zaragoza	1.36	2.18	1.71	1.63

Tabla 4.11: Cambio proyectado, por estaciones, en el valor medio de Tmin para los 4 observatorios.

En la tabla 4.10 se muestran los cambios en el valor medio de Tmax, y en la tabla 4.11 los de Tmin, proyectados para el periodo 2031-2060, en el escenario A1B en todos los observatorios, en cada estación del año. Aparece el valor del cambio acompañado de * en aquellos observatorios que tienen menos de tres trayectorias para proyectar en una estación. Destaca el observatorio de Alsasua (9269) que no se ha proyectado en verano, ya que ninguna trayectoria resultó utilizable para Tmax.

El incremento en Tmax en °C mayor se proyecta en Zaragoza en los meses de verano, y un aumento más suave de las temperaturas, en los meses de primavera sólo se aumenta un 2.21°C, en media y 1.94°C en invierno.

En cuanto a los valores para Tmin la primavera tiene cambios menores que en verano.

Podemos destacar que en Barcelona el aumento de temperatura en primavera, verano e invierno es el mayor de todos los observatorios.

De forma global, para T_{max} se observa un aumento de al menos $1.8^{\circ}C$ y hasta de $3.36^{\circ}C$. Y para T_{min} el aumento es de al menos $1.38^{\circ}C$ y hasta $3.17^{\circ}C$.

Es este trabajo se muestran los resultados de Zaragoza en el escenario A1B, se han realizado también el estudio completo de los 4 observatorios, en los escenarios A2 y B1, pero no se muestran.

Capítulo 5

Conclusiones

El objetivo de este estudio ha sido aplicar un procedimiento de corrección de sesgos como técnica de reducción de escala para los datos diarios de temperatura generados por un GCM.

Este procedimiento consiste en la corrección del valor medio y la variabilidad, si es necesario, de las series generadas por el GCM. Inicialmente se compara la igualdad de las distribuciones de forma global y específicamente las de sus valores extremos, entre los datos observados y las trayectorias GCM 20c3M. En segundo lugar, se valoran las desviaciones que presentan los estadísticos de la serie GCM-20c3M reescalada, tras corregir el sesgo en la media y en la desviación típica. Estos dos pasos permiten seleccionar las trayectorias GCM útiles para obtener proyecciones de los valores medios mensuales de Tmax y Tmin en los escenarios A1B, A2 y B1 definidos por el IPCC.

Este procedimiento de reducción de escala se ha aplicado a 4 observatorios con diferentes climas en la Península Ibérica para las series de temperatura Tmax y Tmin, utilizando siete trayectorias de cinco GCM diferentes.

La reproducción de las colas extremas se analiza a fondo, para concluir que el método de corrección del sesgo no se puede utilizar para generar series de temperatura diaria verosímiles. El estudio del efecto del cambio climático sobre los extremos requiere de un método de reducción de escala más complejo, que considere infomación de variables atmosféricas.

El procedimiento ha permitido que las trayectorias seleccionadas se puedan utilizar para obtener las proyecciones en el periodo 2031-2060 de los valores medios mensuales de

Tmax y Tmin.

Con respecto al análisis comparativo con el método Quantile-mapping, se obtienen resultados iguales o peores que en la corrección de media y desviación típica en cuanto a los sesgos en la reproducción del centro de la distribución, definido por los tres cuartiles, y en los extremos. En la aplicación de ambos métodos se obtiene sesgos importantes en los percentiles extremos, por eso las series diarias de temperatura obtenidas mediante un downscaling basado en quantile-mapping deberían usarse con mucho cuidado. Por otra parte el procedimiento de corrección de media y desviación típica es de implementación extramadamente sencilla.

Bibliografía

- Abaurrea, J., Alvarez, E., Asín, J., Cebrián, A. C. (2012). Evaluating a simple statistical downscaling method for maximum and minimum daily temperature in a mountainous area. En revisión en *Climate Dynamics*.
- Abaurrea, J., Asín, J., Cebrián, A. C., Escorihuela, M. (2012). Incremento esperado en los valores medios mensuales de las temperaturas máxima y mínima diaria 2031-60 en diferentes regiones de la Península Ibérica. Presentación oral en el 8º Congreso de la Asociación Española de Climatología, Cambio climático, Extremos e impactos, celebrado en Salamanca.
- Boé, J, Terray, L, Habets, F, Martin, E (2007). Statistical and dynamical downscaling of the Seine basin climate for hydro-meteorological studies. *International Journal of Climatology* 27: 1643-1655. DOI: 10.1002/joc.1602.
- Brands, S., Taboada, J.J., Cofiño, A.S., Sauter, T., Schneider, C. (2011). Statistical downscaling of daily temperatures in the northwestern Iberian Peninsula from general circulation models: validation and future scenarios. *International Journal of Climatology* 48:163/176. doi: 10.3354/cr00906
- Dequé, M. (2007). Frequency of precipitation and temperatura extremes over France in an anthropogenic scenario: Model results and statistical correction according to observed values. *Global and Planetary Change* 57: 16-26. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2006.11.030.
- Errasti I, Ezcurra A, Sáenz J, Ibarra-Berastegi G (2011). Validation of IPCC AR4 models over the Iberian Peninsula. *Theor Appl Climatol* 103:61-79. doi: 10.1007/s00704-010-0282-y
- Fowler, HJ, Blenkinsop, S, Tebaldi, C (2007). Linking climate change modelling to impact studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modelling. *International Journal of Climatology* 27:1547-1578. doi: 10.1002/joc.1556
- Gudmundsson, L., Bremnes, Jb., Haugen, J.E., Engen-Skaugen, T. (2012). Technical Note: Downscaling RCM precipitation to the station scale using statistical transformations

-
- a comparison of methods. *Hydrology and Earth System Sciences* 16: 3383-3390. DOI: 10.5194/hess-16-3383-2012.
- Haerter JO, Hagemann S, Moseley C, Piani C (2011). Climate model bias correction and the role of timescales. *Hydrology and Earth System Sciences* 15:1065-1079. doi:10.5194/hess-15-1065-2011
- Hundecha Y, Bárdossy A (2008). Statistical downscaling of extremes of daily precipitation and temperature and construction of their future scenarios. *Int J Climatol* 28:589-610. doi: 10.1002/joc.1563
- IPCC (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, Miller HL (ed).
- Cambridge University Press, Cambridge, UK Jeong DI, St-Hilaire A, Ouarda T, Gachon P (2011) CGCM3 predictors used for daily temperature and precipitation downscaling in Southern Québec, Canada. *Theor Appl Climatol* 107:389-406. doi: 10.1007/s00704-011-0490-0
- Knutti R, Abramowitz G, Collins M, Eyring V, Gleckler PJ, Hewitson B, Mearns L (2010a). Good Practice Guidance Paper on Assessing and Combining Multi Model Climate Projections. In: Stocker TF et al (ed), Meeting Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Expert Meeting on Assessing and Combining Multi Model Climate Projections. IPCC Working Group I Technical Support Unit, Univ. of Bern, Switzerland
- Challenges in combining projections from multiple models. *J Climate* 23:2739-2758. doi: 10.1175/2009JCLI3361.1
- Piani C, Weedon GP, Best M, Gomes SM, Viterbo P, Hagemann S, Haerter JO (2010). Statistical bias correction of global simulated daily precipitation and temperature for the application of hydrological models. *J Hydrol* 395:199-215. doi:10.1016/j.jhydrol.2010.10.024
- Räisänen J, Ruokolainen L, Ylhäisi J (2010). Weighting of model results for improving best estimates of climate change. *Clim Dyn* 35:407-422. doi: 10.1007/s00382-009-0659-8
- Semenov MA, Stratonovitch P (2010). Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts. *Clim Res* 41:1-14. doi: 10.3354/cr00836

Thiemeβl MJ, Gobiet A, Heinrich G (2012). Empirical-statistical downscaling and error correction of regional climate models and its impact on the climate change signal. *Clim Change* 112:449-468. doi:10.1007/s10584-011-0224-4