LIFE NADAPTA

THE CLIMA PROJECT

The LIFE-IP NAdapta-CC project has received funding from the LIFE Programme of the European Union

Annex A.C.2.7.b:

ESTUDIO DE EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DERIVADOS DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO BASADOS EN LOS MODELOS DEL IPPC (AR5). MODELOS CAMBIO CLIMATICO AR5

Action C.2.7

Grant Agreement nº. LIFE 16 IPC/ES/000001

Towards an integrated, coherent and inclusive implementation of Climate Change Adaptation policy in a region: Navarre

(LIFE-IP NAdapta-CC)

LIFE 2016 INTEGRATED PROJECTS CLIMATE ACTIONS

Project start date: 2017-10-02 Project end date: 2025-12-31

DISSEMINATION LEVEL		
PU	Public	☒
PP	Restricted to other programme participants (including the Commission Services)	☐
RE	Restricted to a group specified by the consortium (including Commission Services)	☐
CC	Confidential, only for members of the consortium (including Commission Services)	☐

Autoría:

- Gestión Ambiental de Navarra - Nafarroako Ingurumen Kudeaketa (GAN-NIK S.A.) con la asistencia técnica de INCLAM

Referencia recomendada a efectos bibliográficos:

Gestión Ambiental de Navarra - Nafarroako Ingurumen Kudeaketa (GAN-NIK S.A.) INCLAM. (2021). Estudio de evaluación de los recursos hídricos derivados de escenarios de cambio climático basados en los modelos del IPPC (AR5). Documento b. Modelos Cambio Climático. Acción C.2. del Proyecto LIFE-IP NAdapta-CC (LIFE 16 IPC/ES/000001) de la Unión Europea. Pamplona. INCLAM para Gestión Ambiental de Navarra - Nafarroako Ingurumen Kudeaketa (GAN-NIK SA) y Servicio de Economía Circular y Cambio Climático del Gobierno de Navarra.

Este documento corresponde al Anexo A.C.2.7.b., no previsto inicialmente en el Proyecto LIFE-IP NAdapta-CC.

El Proyecto LIFE-IP NAdapta-CC LIFE 16 IPC/ES/000001 está ejecutado con la contribución financiera del programa LIFE de la Unión Europea

El contenido de este informe no refleja la opinión oficial de la Unión Europea. La responsabilidad de la información y los puntos de vista expresados en esta publicación recaen completamente en su autoría.

www.lifenadapta.eu

Versión 1. Junio de 2021

Table of contents

1 INTRODUCCIÓN 1

2 DATOS DE ESTUDIO 2

2.1 Proyecciones estadísticas 2

2.2 Proyecciones dinámicas 5

3 DATOS CLIMÁTICOS PUNTUALES: ANÁLISIS Y TRATAMIENTO 8

3.1 Precipitación 9

3.2 Temperatura Media 12

3.3 Temperatura Máxima 15

3.4 Temperatura Mínima 19

4 Datos climáticos CORDEX: análisis y tratamiento 22

4.1 Cálculo de la Línea Base y Generación de un Atlas Climático 22

4.2 Análisis Comparativo entre modelos y atlas 26

4.2.1 Análisis comparativo de valores de precipitación 27

4.2.2 Análisis comparativo de valores de temperatura media 30

4.2.3 Análisis comparativo de valores de temperatura máxima 32

4.2.4 Análisis comparativo de valores de temperatura mínima 34

4.3 Selección de los modelos CORDEX 36

5 Valoración del sesgo 38

5.1 Precipitación 39

5.2 Temperatura Media 56

6 Síntesis y Conclusiones 70

7 Referencias 74

8 Apendices 76

8.1 Selección de 5 cuencas 76

8.1.1 Bidasoa 77

8.1.2 Arga 83

8.1.3 Iranzu 88

8.1.4 Aragón 93

8.1.5 Alhama 99

8.2 Valoración del Sesgo de la Temperatura Máxima 104

8.3 Valoración del Sesgo de la Temperatura Mínima 109

Tables

Tabla 1.- Modelos puntuales de AEMET de estudio 2

Tabla 2.- Modelos CORDEX de estudio 5

Tabla 3.- Modelos CORDEX después del primer filtro 7

Tabla 4.- Estadísticos para el diagrama de cajas del periodo Histórico de precipitación. 11

Tabla 5.- Estadísticos para el diagrama de cajas del periodo futuro de RCP4.5 de precipitación. 11

Tabla 6.- Estadísticos para el diagrama de cajas del periodo futuro de RCP8.5 de precipitación. 12

Tabla 7.- Estadísticos para el diagrama de cajas del periodo Histórico de temperatura media. 14

Tabla 8.- Estadísticos para el diagrama de cajas del periodo futuro de RCP4.5 de temperatura media. 14

Tabla 9.- Estadísticos para el diagrama de cajas del periodo futuro de RCP8.5 de temperatura media. 15

Tabla 10.- Estadísticos para el diagrama de cajas del periodo Histórico de temperatura máxima. 17

Tabla 11.- Estadísticos para el diagrama de cajas del periodo futuro de RCP4.5 de temperatura máxima. 18

Tabla 12.- Estadísticos para el diagrama de cajas del periodo futuro de RCP8.5 de temperatura máxima. 18

Tabla 13.- Estadísticos para el diagrama de cajas del periodo Histórico de temperatura mínima. 21

Tabla 14.- Estadísticos para el diagrama de cajas del periodo futuro de RCP4.5 de temperatura mínima. 21

Tabla 15.- Estadísticos para el diagrama de cajas del periodo futuro de RCP8.5 de temperatura mínima. 22

Tabla 16.- Resultados comparativos numéricos correspondientes a un determinado modelo 29

Tabla 17.- Resultados comparativos numéricos de precipitación correspondientes al conjunto de modelos 29

Tabla 18.- Resultados comparativos numéricos correspondientes a un determinado modelo 31

Tabla 19.- Resultados comparativos numéricos de temperatura media correspondientes al conjunto de modelos 32

Tabla 20.- Resultados comparativos numéricos de temperatura máxima correspondientes al conjunto de modelos 34

Tabla 21.- Resultados comparativos numéricos de temperatura mínima correspondientes al conjunto de modelos 36

Tabla 22.- Tabla resumen de modelos 36

Tabla 23.- Tabla de estadísticos de las series de precipitación media anual para los datos observados y de los modelos. 39

Tabla 24.- Tabla de valores de precipitación y acumulado anual en el periodo de control. 41

Tabla 25.- Tabla de errores medios relativos para precipitación 41

Tabla 26.- Comparativa de datos de precipitación estacional observados y modelos. 43

Tabla 27.e- Incremento de variabilidad (%) según cada modelo, proyección y periodo. Los colores reflejan la gradación del cambio. 50

Tabla 28.- Unidades de estudio 51

Tabla 29.- Valores de precipitación anual observados y simulados durante el periodo de control. También se indica el error medio relativo. 52

Tabla 30.- Tabla de estadísticos de las series de temperatura media anual para los datos observados y de los modelos. 57

Tabla 31.- Tabla de valores de temperatura media mensual anual en el periodo de control... 58

Tabla 32.- Tabla de errores medios relativos para temperatura media 58

Tabla 33.- Comparativa de datos de temperatura media estacional observados y modelos. . 60

Tabla 34.- Incremento de variabilidad (°C) según cada modelo, proyección y periodo. Los colores reflejan la gradación del cambio. 66

Tabla 35.- Valores de temperatura media anual observados y simulados durante el periodo de control. También se indica el error medio relativo. 68

Tabla 36.- Valores de Precipitación acumulada media en la cuenca Bidasoa. 77

Tabla 37.- Valores de Temperatura Media en la cuenca Bidasoa 78

Tabla 38.- Valores de Temperatura máxima en la cuenca Bidasoa 80

Tabla 39.- Valores de Temperatura mínima en la cuenca Bidasoa 81

Tabla 40.- Valores de Precipitación media para la cuenca Arga 83

Tabla 41.- Valores de Temperatura media para la cuenca Arga 84

Tabla 42.- Valores de Temperatura máxima para la cuenca Arga 85

Tabla 43.- Valores de Temperatura mínima en la cuenca Arga 87

Tabla 44.- Valores de precipitación media para la cuenca Iranzu 88

Tabla 45.- Valores de Temperatura media para la cuenca Iranzu 89

Tabla 46.- Valores de Temperatura máxima para la cuenca Iranzu 90

Tabla 47.- Valores de Temperatura mínima en la cuenca Iranzu 92

Tabla 48.- Valores de Precipitación media para la cuenca Aragón 93

Tabla 49.- Valores de Temperatura media para la cuenca Aragón..... 95

Tabla 50.- Valores de Temperatura Máxima para la cuenca Aragón..... 96

Tabla 51.- Valores de Temperatura mínima en la cuenca Aragón..... 97

Tabla 52.- Valores de Precipitación media para la cuenca Alhama..... 99

Tabla 53.- Valores de Temperatura media para la cuenca Alhama..... 100

Tabla 54.- Valores de Temperatura máxima para la cuenca Alhama 101

Tabla 55.- Valores de Temperatura mínima en la cuenca Alhama 102

Tabla 56.- Tabla de valores de temperatura máxima mensual anual en el periodo de control. 105

Tabla 57.- Tabla de errores medios relativos para temperatura máxima 105

Tabla 58.- Tabla de estadísticos de cada serie de temperatura máxima para el periodo histórico..... 106

Tabla 59.- Incremento de variabilidad (°C) según cada modelo, proyección y periodo. Los colores reflejan la gradación del cambio. 107

Tabla 60.- Tabla de valores de temperatura mínima mensual anual en el periodo de control. 110

Tabla 61.- Tabla de errores medios relativos para temperatura mínima 110

Tabla 62.- Tabla de estadísticos de cada serie de temperatura mínima para el periodo histórico. 111

Tabla 63.- Incremento de variabilidad (°C) según cada modelo, proyección y periodo. Los colores reflejan la gradación del cambio. 112

Figures

Figura 1.- Fichero puntual de AEMET 4

Figura 2.- Dominio EURO-CORDEX y distribución espacial de los puntos de la rejilla regular de 0.125° utilizada 6

Figura 3.- Cabecera de fichero con la información geográfica 7

Figura 4.- Distribución de las estaciones de AEMET (punto) y las interpoladas (estrella) para los modelos puntuales. 8

Figura 5.- Evolución de la precipitación mensual para Navarra para el periodo de control según los datos observados (BDH) y los modelos puntuales del CEDEX..... 9

Figura 6.- Diagramas de cajas de los seis modelos puntuales para su parte histórica y futura de RCP4.5 Y RCP8.5..... 10

Figura 7.- Evolución de la temperatura media mensual para Navarra para el periodo de control según los datos observados (BDH) y los modelos puntuales del CEDEX. 13

Figura 8.- Diagramas de cajas de los seis modelos puntuales para su parte histórica y futura de RCP4.5 Y RCP8.5..... 13

Figura 9.- Evolución de la temperatura máxima mensual para Navarra para el periodo de control según los datos observados (BDH) y los modelos puntuales del CEDEX..... 16

Figura 10.- Diagramas de cajas de los seis modelos puntuales para su parte histórica y futura de RCP4.5 Y RCP8.5..... 17

Figura 11.- Evolución de la temperatura mínima mensual para Navarra para el periodo de control según los datos observados (BDH) y los modelos puntuales del CEDEX..... 19

Figura 12.- Diagramas de cajas de los seis modelos puntuales para su parte histórica y futura de RCP4.5 Y RCP8.5..... 20

Figura 13.- Mapa de clases de 0,012º de resolución conteniendo la descripción topológica de la superficie de la región 23

Figura 14.- Método de los vecinos naturales: cálculo de los diferentes coeficientes de intervención..... 24

Figura 15.- Precipitación media desde 1970 a 2000 por Método de Los Vecinos Naturales 26

Figura 16.- Resultados gráficos comparativos de valores de precipitación en una celda de un modelo 27

Figura 17.- Resultados gráficos comparativos de valores de precipitación en Navarra de un modelo 27

Figura 18.- Resultados gráficos comparativos de valores de temperatura media en una celda de un modelo 30

Figura 19.- Resultados gráficos comparativos de valores de temperatura media en Navarra de un modelo 31

Figura 20.- Resultados gráficos comparativos de la temperatura máxima media en una celda de un modelo 33

Figura 21.- Resultados gráficos comparativos de la temperatura máxima media en Navarra de un modelo 33

Figura 22.- Resultados gráficos comparativos de temperatura mínima en una celda de un modelo 35

Figura 23.- Resultados gráficos comparativos de temperatura mínima en Navarra de un modelo 35

Figura 24.- Evolución de la precipitación media anual para el periodo de control de los datos observados y los modelos 39

Figura 25.- Evolución media mensual para Navarra para los datos observados y valores de modelos de cambio climático 40

Figura 26.- Desviación de la precipitación media mensual de los modelos con respecto al valor real. 42

Figura 27.- Mapa con los errores medios relativos (%) del Modelo P01 con respecto de la precipitación anual observada. 44

Figura 28.- Mapa con los errores medios relativos (%) del Modelo P02 con respecto de la precipitación anual observada. 44

Figura 29.- Mapa con los errores medios relativos (%) del Modelo P03 con respecto de la precipitación anual observada. 45

Figura 30.- Mapa con los errores medios relativos (%) del Modelo P04 con respecto de la precipitación anual observada. 45

Figura 31.- Mapa con los errores medios relativos (%) del Modelo P05 con respecto de la precipitación anual observada. 46

Figura 32.- Mapa con los errores medios relativos (%) del Modelo P06 con respecto de la precipitación anual observada. 46

Figura 33.- Mapa con los errores medios relativos (%) del Modelo C01 con respecto de la precipitación anual observada. 47

Figura 34.- Mapa con los errores medios relativos (%) del Modelo CO2 con respecto de la precipitación anual observada. 47

Figura 35.- Mapa con los errores medios relativos (%) del Modelo CO3 con respecto de la precipitación anual observada. 48

Figura 36.- Incremento de tendencia (%) de precipitación del año 2010 al 2099 para los RCP4.5 (arriba) y 8.5 (abajo). La banda gris indica el rango de resultados de los modelos, la línea gruesa roja su promedio y la recta delgada su pendiente. 49

Figura 37.- Incremento de variabilidad (%) de precipitación anual en cada periodo. Estimación de cambio (%) de precipitación anual media para Navarra en los tres periodos futuros con respecto a 1970-2000. 51

Figura 38.- Evolución de precipitación media mensual para los puntos de control para los datos observados y valores de modelos de cambio climático. 56

Figura 39.- Evolución de la temperatura media anual para el periodo de control de los datos observados y los modelos 56

Figura 40.- Evolución de temperatura media mensual para Navarra para los datos observados y valores de modelos de cambio climático 57

Figura 41.- Desviación de la temperatura media de los modelos con respecto al valor real ... 59

Figura 42.- Mapa con las diferencias del Modelo PO1 entre la temperatura media anual de los modelos y de los datos observados. 61

Figura 43.- Mapa con las diferencias del Modelo PO2 entre la temperatura media anual de los modelos y de los datos observados. 61

Figura 44.- Mapa con las diferencias del Modelo PO3 entre la temperatura media anual de los modelos y de los datos observados. 62

Figura 45.- Mapa con las diferencias del Modelo PO4 entre la temperatura media anual de los modelos y de los datos observados. 62

Figura 46.- Mapa con las diferencias del Modelo PO5 entre la temperatura media anual de los modelos y de los datos observados. 63

Figura 47.- Mapa con las diferencias del Modelo PO6 entre la temperatura media anual de los modelos y de los datos observados. 63

Figura 48.- Mapa con las diferencias del Modelo CO1 entre la temperatura media anual de los modelos y de los datos observados. 64

Figura 49.- Mapa con las diferencias del Modelo CO2 entre la temperatura media anual de los modelos y de los datos observados. 64

Figura 50.- Mapa con las diferencias del Modelo CO3 entre la temperatura media anual de los modelos y de los datos observados. 65

Figura 51.- Incremento de tendencia (°C) de temperatura media del año 2010 al 2099 para los RCP4.5 (arriba) y 8.5 (abajo). La banda gris indica el rango de resultados de los modelos, la línea gruesa roja su promedio y la recta delgada su pendiente. 66

Figura 52.- Incremento de variabilidad (°C) de temperatura media anual en cada periodo. ... 67

Figura 53.- Evolución temperatura media mensual para los puntos de control para los datos observados y valores de modelos de cambio climático. 70

Figura 54.- Distribución de subcuencas para su estudio 76

Figura 55.- Precipitación 1970-2000 cuenca Bidasoa 77

Figura 56.- Temperatura media 1970-2000 cuenca Bidasoa 78

Figura 57.- Temperatura máxima 1970-2000 cuenca Bidasoa 79

Figura 58.- Temperatura mínima 1970-2000 cuenca Bidasoa 81

Figura 59.- Precipitación 1970-2000 cuenca Arga 83

Figura 60.- Temperatura media 1970-2000 cuenca Arga 84

Figura 61.- Temperatura máxima 1970-2000 cuenca Arga 85

Figura 62.- Temperatura mínima 1970-2000 cuenca Arga 86

Figura 63.- Precipitación 1970-2000 cuenca Iranzu 88

Figura 64.- Temperatura media 1970-2000 cuenca Iranzu 89

Figura 65.- Temperatura máxima 1970-2000 cuenca Iranzu 90

Figura 66.- Temperatura mínima 1970-2000 cuenca Iranzu 92

Figura 67.- Precipitación 1970-2000 cuenca Aragón 93

Figura 68.- Temperatura media 1970-2000 cuenca Aragón 94

Figura 69.- Temperatura máxima 1970-2000 cuenca Aragón 96

Figura 70.- Temperatura mínima 1970-2000 cuenca Aragón 97

Figura 71.- Precipitación 1970-2000 cuenca Alhama 99

Figura 72.- Temperatura media 1970-2000 cuenca Alhama 100

Figura 73.- Temperatura máxima 1970-2000 cuenca Alhama 101

Figura 74.- Temperatura mínima 1970-2000 cuenca Alhama 102

Figura 75.- Evolución temperatura máxima mensual para Navarra para los datos observados y valores de modelos de cambio climático. 104

Figura 76.- Desviación de la temperatura máxima de los modelos con respecto al valor real. 107

Figura 77.- Incremento de variabilidad (°C) de temperatura máxima anual en cada periodo. 108

Figura 78.- Evolución de la media de la temperatura mínima mensual para Navarra para los datos observados y valores de modelos de cambio climático. 109

Figura 79.- Desviación de la temperatura mínima de los modelos con respecto al valor real. 111

Figura 80.- Incremento de variabilidad (°C) de temperatura mínima anual en cada periodo. 112

1 INTRODUCCIÓN

En la primera fase del trabajo se ha desarrollado un análisis de las variables climáticas registradas en el BDH para el período histórico comprendido entre los años 1940 y 2015. Como resultado de esa fase se ha obtenido una base comparativa fiable que se ha utilizado en esta segunda fase.

El objetivo de esta fase del estudio consiste en la selección y evaluación del conjunto de proyecciones climáticas a emplear en el estudio de evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos en las cuencas hidrográficas de la Comunidad Foral de Navarra.

Para la realización del estudio se ha utilizado un subconjunto de proyecciones regionalizadas a partir de los modelos climáticos utilizados en el 5º Informe de Evaluación tanto por métodos estadísticos –proyecciones puntuales- como dinámicos –proyecciones en rejilla- y para los escenarios de emisión RCP4.5 y RCP8.5. Para las proyecciones en punto se dispone del periodo de control 1961-2000 y periodo futuro 2010-2100, mientras que para las proyecciones en rejilla el periodo de control abarca desde el 1971 al 2000 y el periodo futuro es de 2010-2100.

La delimitación del ámbito objeto de este trabajo corresponde con el del estudio de recursos hídricos realizado en 2017 (Gobierno de Navarra, 2017) y abarca la práctica totalidad de la provincia de Navarra – aproximadamente 9.000 km^2- y más de 4.000 km^2 de superficie comprendida en las provincias limítrofes de Huesca, Zaragoza, La Rioja, Soria, Álava y Guipúzcoa.

El documento se ha dividido en varias partes:

1. La primera de todas ha consistido en la obtención de todos los datos de los modelos, tanto puntuales como de rejilla, con periodicidad diaria para la realización del estudio. Se ha explicado la heterogeneidad de formatos y como se ha realizado la homogenización para los estudios posteriores.
2. La segunda ha constado del estudio de los modelos puntuales. Aunque se han tomado los modelos que recomienda AEMET en su estudio CEDEX (2017), se ha realizado un pequeño estudio para corroborar los resultados en el territorio de Navarra.
3. La tercera parte es el estudio, análisis y tratamiento de los modelos de rejilla CORDEX. Dado que el número de modelos climáticos de partida es elevado, se ha realizado una selección previa de modelos a emplear para el estudio. Se han seleccionado los modelos que proporcionen un mayor ajuste a los valores de precipitación, temperatura media, máxima y mínima a los valores observados en el periodo de control.
4. En la cuarta parte, se ha tomado el conjunto de modelos reducido que se ha seleccionado en partes anteriores, se ha realizado la caracterización del sesgo entre

modelos climáticos y series observadas, se ha realizado un análisis de tendencias de las series de precipitación y temperatura, comparativas gráficas y numéricas de diferentes estadísticos, mapas con la distribución espacial de los errores relativos medios.

Se terminará con las conclusiones que se desprenden de este estudio y una serie de apéndices para completar ciertas partes del documento.

De los resultados de esta fase, concretamente, de los modelos seleccionados que más se aproximen al clima observado, se ha realizado una tercera fase con título "Evolución de las aportaciones en base a los modelos de Cambio Climático" donde se ha realizado un análisis de la evolución de las principales variables climáticas, una modelización hidrológica, la evaluación de los efectos del cambio climático sobre los recursos hídricos y el estudio de la evolución de los eventos extremos derivados del cambio climático.

2 DATOS DE ESTUDIO

En este apartado se han descrito los datos climáticos necesarios para la realización del trabajo. Se han descargado datos de las proyecciones climáticas estadísticas y dinámicas de distintos portales web según el método de regionalización.

Una vez que se ha dispuesto de los datos se han realizado los siguientes tratamientos:

- Lectura y adaptación de los formatos de las proyecciones a formatos adecuados para su empleo en el estudio del presente contrato.
- Detección de anomalías e inconsistencias en las series diarias de las proyecciones climáticas así como su depuración.
- Conversión de series diarias a mensuales (periodicidad con la que se realizará el estudio de impacto).

2.1 Proyecciones estadísticas

Se han descargado las series diarias de precipitación, temperatura máxima y mínima tanto del periodo de control (1961-2000) como del periodo futuro (2006-2100) para los escenarios de emisión RCP 4.5 y RCP 8.5 de las proyecciones en punto procedentes del AR5 que aparecen en la siguiente tabla, del Portal Web habilitado por AEMET para tal fin:

http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio_climat/datos_diarios

Tabla 1.- Modelos puntuales de AEMET de estudio

Proyecciones que se proponen en el Pliego		
ID.	Modelo	Institución
P01	Bcc.csm1.1	Beijing Climate Center, China
P02	CNRM.CM5	Centre National de Recherches
P03	Inmcm4	Institute of Numerical Mathematics, Rusia
P04	MIROC.ESM	EORI NIES JAMSTEC, Japón
P05	MPI.ESM.MR	Max-Planck-Institut (MPI) for Meteorology
P06	MRI.CGCM3	Meteorological Research Institute, Japón

Todos los modelos MCG –modelo climático global- de la Tabla 1 son del CMIP5 y han sido utilizados para la elaboración del AR5, se han tomado estos 6 modelos porque son los recomendados por AEMET en el estudio del CEDEX (2017) y obtenidos mediante el método de análogos, son los siguientes:

- El MCG bcc-csm1-1 –Beijing Climate Center-Climate System Model version 1.1- es un modelo del sistema climático que acopla la atmósfera, el océano, la superficie terrestre y el hielo marino e incorpora el ciclo global del carbono y la cubierta vegetal.
- El MCG CNRM-CM5 –Centre National de Recherches Meteorologiques Copled Model 5- es un modelo del sistema terrestre diseñado por el Centro Nacional de Investigaciones Meteorológicas de Meteo France, de Francia. El modelo consiste en varios modelos existentes diseñados independientemente que se acoplan mediante el software OASIS. Los modelos que acopla son: atmosfera (ARPEGE), océano (NEMO), hielo marino (GELATO), superficie terrestre (SURFEX) y escorrentía (TRIP).
- El MCG inmcm4 –Institute of Numerical Mathematics Climate Model Version 4- es un modelo acoplado atmósfera-océano desarrollado por el Instituto de Matemáticas Numéricas de Moscú. El modelo consiste en dos modelos principales: el modelo atmosférico y el modelo oceánico, usado para proyectar la sensibilidad climática a incrementos de CO_2.
- El MCG MIROC.ESM –Model for Interdisciplinary Research on Climate Institute Earth System Model, es un modelo que acopla la atmósfera, el océano y la superficie terrestre, mediante el intercambio de energía, momento, agua y el CO_2. Ha sido desarrollado por la Universidad de Tokio, el Instituto Nacional de Estudios Medioambientales de Japón y la Agencia de Ciencia Marina y Terrestre y de Tecnología de Japón.
- El MCG MPI-ESM-MR –Max Planck Institute Earth System Model, Medium Resolution- es un modelo que acopla la atmósfera, el océano y la superficie terrestre, mediante el intercambio de energía, momento, agua y el CO_2. Ha sido desarrollado por el Instituto

Max Planck de Meteorología de Hamburgo (Alemania). Es la evolución mejorada de los MCG ECHAM, las principales mejoras consisten en la incorporación del ciclo del carbono, la mejor representación del albedo, de aerosoles, de la transferencia radiativa de onda corta, de la atmósfera media y de la dinámica de la vegetación.

- El MCG MRI.CGCM3 –Meteorological Research Institute, Coupled General Circulation Model version 3, es un modelo acoplado atmósfera-océano, mediante el intercambio de energía entre ambos. Ha sido desarrollado por el Instituto de Investigación Meteorológica de Japón.

Se han descargado un total de 55.272 ficheros con formato ".dat" que ocupan 4,82 GB. Cada fichero corresponde a una variable, estación de AEMET, modelo y escenario –histórico, rcp45 o rcp85- y su distribución interior es la siguiente (como se puede ver en la Figura 1):

- Primera fila: variable-modelo-escenario-método-unidad-tipo
- Segunda fila: estación-latitud-longitud-altitud-coordenadas-año inicial-año final-EQC
- Tercera fila: estación-año-mes-datos(31)

Los valores para EQC serán 0, 1, 2, 3 e informan de las características de las series climatológicas. Con los valores 0 y 1 se identifican las estaciones que han pasado los test de homogeneidad asignándose el valor 0 cuando no existen lagunas en la serie anual del periodo utilizado y el valor 1 cuando existen lagunas. Los valores 2 y 3 se reservan a estaciones que no han pasado los test de homogeneidad, reservando el valor 2 para cuando existen lagunas en la serie utilizada y el valor 3 cuando existen algunas lagunas en la misma.

Los datos incluyen 31 valores de cada variable como números enteros. Cuando correspondan a meses con 28, 29 o 30 días los últimos valores serán "-999". Igualmente la ausencia de dato se marcará con "-999" o "-99". Las proyecciones de la mayoría de los modelos corresponden a años con meses de 30 días, en cuyo caso la última posición -31- tendrá siempre el valor de no dato "-999" o "-99".

```
1  precip bcc-csml-1 RCP4.5 ANALOGOS decimas-mm 1
2  0001 40.875 0.711 142 geo 1961 2000 0
3  0001 2006 1 9 4 0 1 1 4 2 0 0 2 2 1 10 0 6 11 3 14 19 2 9 0 5 0 2 1 3 10 11 3 11
4  0001 2006 2 4 6 0 2 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 2 0 0 0 0 0 0 0 1 -999 -999 -999
5  0001 2006 3 1 0 4 14 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 13 2 0 2 0 2 22 14 30 0 9 0 0 4 0
6  0001 2006 4 0 3 0 29 23 2 13 0 1 13 2 0 0 0 9 2 1 2 6 0 6 12 11 0 2 1 0 3 5 13 -999
7  0001 2006 5 6 3 4 2 0 0 1 0 0 0 3 1 0 1 3 0 0 54 7 6 1 19 25 1 14 22 2 38 37 21 2
8  0001 2006 6 1 2 0 0 0 0 1 0 0 4 1 2 7 12 1 6 4 41 1 2 0 2 19 0 2 0 3 1 5 8 -999
```

Figura 1.- Fichero puntual de AEMET

Se han realizado una serie de scripts y programas para la importación de estos datos a formatos adecuados para almacenar en la base de datos del BDH y poder realizar el análisis y tratamiento de estos datos.

2.2 Proyecciones dinámicas

Se han descargado los datos mensuales y diarios de precipitación, temperatura máxima, mínima y media de las proyecciones regionalizadas CORDEX correspondientes al dominio europeo –Euro-CORDEX- a lo largo del periodo de control (1970-2005) y el periodo futuro (2006-2100) y para los escenarios de emisión RCP 4.5 y RCP 8.5 puestas a disposición pública en el portal de ESFG (Earth System Grid Federation) para su descarga: https://www.euro-cordex.net/. Se han utilizado para el estudio las proyecciones siguientes:

Tabla 2.- Modelos CORDEX de estudio

Proyecciones que se proponen en el Pliego		
GCM	RCM	Institución
CNRM-CM5_r1i1p1	CCLM4-8-17_v1	CLMcom
CNRM-CM5_r1i1p1	ALADIN53_v1	CNRM
CNRM-CM5_r1i1p1	RCA4_v1	SMHI
EC-EARTH_r12i1p1	CCLM4-8-17_v1	CLMcom
EC-EARTH_r12i1p1	RCA4_v1	SMHI
EC-EARTH_r1i1p1	RACMO22E_v1	KNMI
EC-EARTH_r3i1p1	HIRHAM5_v1	DMI
CM5A-MR_r1i1p1	WRF33F_V1	IPSL-INERIS
CM5A-MR_r1i1p1	RCA4_v1	SMHI
HadGEM2-ES_r1i1p1	CCLM4-8-17_v1	CLMcom
HadGEM2-ES_r1i1p1	RACMO22E_v1	KNMI
HadGEM2-ES_r1i1p1	RCA4_v1	SMHI
MPI-ESM-LR_r1i1p1	CCLM4-8-17_v1	CLMcom
MPI-ESM-LR_r1i1p1	RCA4_v1	SMHI

Proyecciones que se proponen en el Pliego		
GCM	RCM	Institución
MPI-ESM-LR_r1i1p1	REMO2009	MPI
NorESM1-M	HIRHAM5_v1	DMI

En la figura siguiente se puede ver en el lado izquierdo el dominio europeo establecido para estos modelos, estos datos se facilitan en una rejilla regular, latitud/longitud, de una resolución de 0,11° -aproximadamente 12.5km- como se puede ver en la parte derecha.

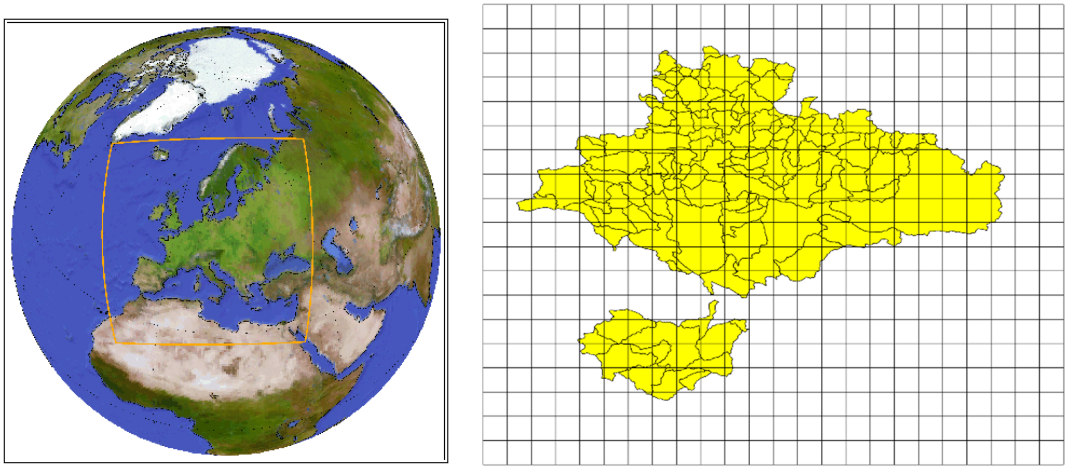


Figura 2.- Dominio EURO-CORDEX y distribución espacial de los puntos de la rejilla regular de 0.125° utilizada

Se han descargado un total de 4.106 ficheros con formato ".nc" que ocupan 1,68 TB. Cada fichero corresponde a una variable, modelo, escenario –histórico, rcp45 o rcp85-, mensual o diaria y la fecha inicial hasta la final.

A continuación, se ha extraído la información y se han generado unos ficheros en formato SIG en el que la información se ha almacenado de forma desagregada, con un fichero para cada mes y año – o días, mes y año, según corresponda. Uno de los formatos más utilizados es "ASCII grid ARCGIS" que puede importarse fácilmente desde la mayoría de los SIG. Todos ellos constan de una cabecera con la información geográfica de la rejilla regular –ver ejemplo en la imagen siguiente- seguida por la matriz de datos correspondiente. Siendo xllcorner/yllcorner la longitud/latitud del punto de rejilla situado en el extremo suroeste.

```
1  ncols 186
2  nrows 135
3  xllcorner -2,645
4  yllcorner 41,739
5  cellsize ,012
6  nodata_value -9999
```

Figura 3.- Cabecera de fichero con la información geográfica

Cada fichero ASCIIgrid antes descrito ocupa 108MB y 128MB para los datos mensuales y diarios respectivamente. Con un análisis previo se ha visto que para los 16 modelos de la Tabla 2, para las 4 variables –precipitación, temperatura media, temperatura máxima y temperatura mínima- los 3 escenarios –histórico, rcp45 y rcp85- se tendrían 173.760 ficheros mensuales (18,76 TB) y 5.746.560 ficheros diarios (712,6 TB).

Se ha realizado un filtrado previo apoyándose en el Deliverable 6.2.1: Estudio de Variabilidad Climática. Informe sobre las áreas climáticas de Navarra y las condiciones generales del clima previsto en Navarra incluido en el proyecto LIFE NADAPTA. En dicho documento llegan a la conclusión de que los mejores modelos CORDEX que mejor se adaptan a Navarra son los siguientes:

Tabla 3.- Modelos CORDEX después del primer filtro

Proyecciones previas de estudio			
ID.	GCM	RCM	Institución
C01	HadGEM2-ES_r1i1p1	RCA4_v1	SMHI
C02	CM5A-MR_r1i1p1	RCA4_v1	SMHI
C03	HadGEM2-ES_r1i1p1	RACMO22E_v1	KNMI
C04	MPI-ESM-LR_r1i1p1	CCLM4-8-17_v1	CLMcom
C05	HadGEM2-ES_r1i1p1	CCLM4-8-17_v1	CLMcom
C06	EC-EARTH_r12i1p1	CCLM4-8-17_v1	CLMcom

De esta forma se han reducido el número de ficheros para estudiar, siendo 65.160 ficheros mensuales (7 TB) y 2.154.960 ficheros diarios (267,2 TB). Además, en lugar de exportar los ficheros en el formato ASCIIGrid se han exportado a ficheros GeoTIFF comprimidos, formato popular y fácilmente utilizable en cualquier SIG, la diferencia es que se ha pasado de ficheros con tamaño 108MB y 128MB a ficheros de 1MB lo que produce una reducción en el tamaño de almacenaje hasta los 0,065 TB (65GB) para el caso de los mensuales y 2.15 TB para el caso de los diarios.

3 DATOS CLIMÁTICOS PUNTUALES: ANÁLISIS Y TRATAMIENTO

Los datos de partida que caracterizan los datos climáticos puntuales se han descrito en el Apartado 2.1. Los valores de precipitación están expresados en décimas de mm/día y los de temperatura máxima y mínima en décimas de °C. En el documento CEDEX (2017) se hace un análisis de estos datos en los cuales se basará este estudio.

Los datos están en 2323 estaciones, de las cuales se han filtrado a las estaciones incluidas en el ámbito de estudio definido en el apartado anterior con lo que se tienen 58 estaciones. Utilizando la interpolación de residuos basado en patrones mensuales de precipitación y temperaturas que utilizan en el estudio del CEDEX (2017) desarrollado por Álvarez-Rodríguez (2011) se obtienen los valores en el resto de estaciones incluidas en el BDH con datos MOS (150 estaciones), por lo tanto, se tienen datos de modelos puntuales en las estaciones rellenas en el BDH. Se puede ver la distribución de las estaciones en la siguiente figura:

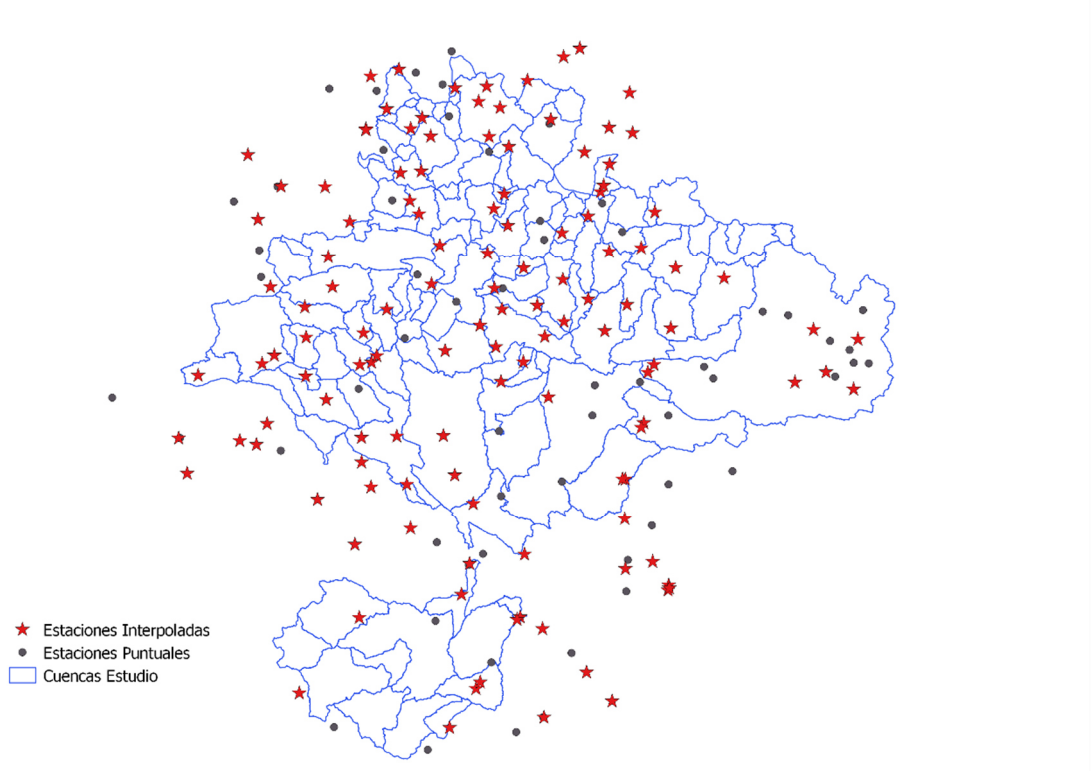


Figura 4.- Distribución de las estaciones de AEMET (punto) y las interpoladas (estrella) para los modelos puntuales.

Con objeto de encontrar anomalías en las series de partida se han elaborado varios tipos de estudios para las proyecciones, tanto para el periodo de control como para el período futuro en

ambos forzamientos radiativos, para el forzamiento RCP 4.5 y el forzamiento RCP 8.5 respectivamente.

3.1 Precipitación

En la Figura 5 se puede ver el resultado de comparar la precipitación durante el periodo de control. Hay que tener en cuenta que los valores de la figura se han obtenido promediando los valores de precipitación simulados y observados en 150 estaciones donde se ha realizado el contraste.

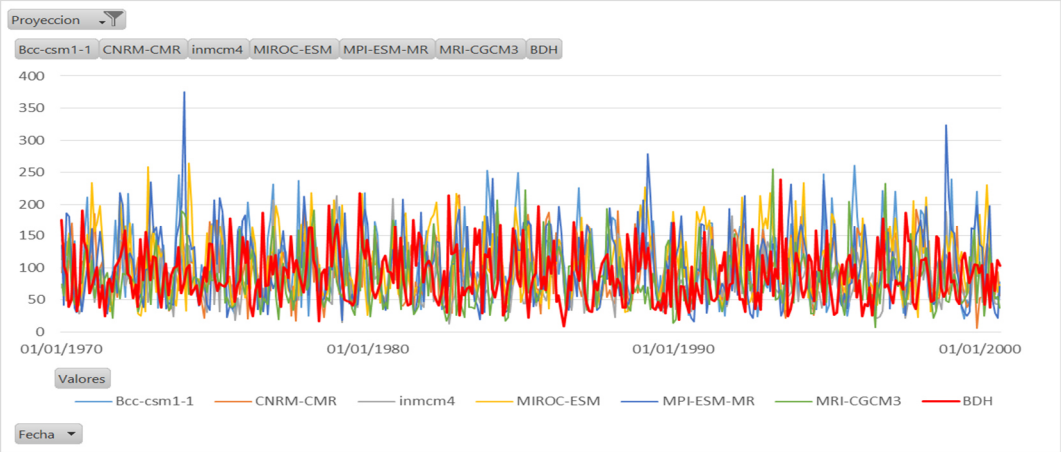


Figura 5.- Evolución de la precipitación mensual para Navarra para el periodo de control según los datos observados (BDH) y los modelos puntuales del CEDEX.

A continuación, en la Figura 6 se pueden ver los diagramas de cajas, en este tipo de diagramas se representan de forma gráfica la distribución de los valores para cada variable, modelo y forzamiento radiativo. Es una forma de describir los valores y su distribución de forma visual. Además, señala los valores atípicos o casos extremos de la variable. Junto con las imágenes se ha incluido una tabla, Tabla 4, con los siguientes estadísticos descriptivos:

- Mediana: Es la línea que está dentro de la caja. Es el valor central de la serie, después de haber ordenado todos sus valores de menor a mayor, separa la mitad superior de los datos de la mitad inferior.
- Cuartiles: El 1º Cuartil (Q1) y el 3º Cuartil (Q3) delimitan los límites inferior (Q1) y superior (Q3) de la caja. El 1º Cuartil, el 25% de los valores son menores o iguales a este valor. El 3º Cuartil, el 75% de los valores son menores o iguales a este valor. La caja representa el rango intercuartil, o lo que es lo mismo, representa el 50% intermedio de los datos. Muestra la distancia entre el primer cuartil y el tercer cuartil.
- Bigotes: Los bigotes se extienden de cualquier lado de la caja. Representan los rangos del 25% de valores de datos de la parte inferior y el 25% de la parte superior excluyendo los valores atípicos.

- Los valores atípicos –outilers- son aquellos que muestran una gran distancia a la media del resto de valores de la serie.

En el diagrama de cajas de precipitación se puede observar observar que son distribuciones con asimetría positiva, o lo que es lo mismo, la mayoría de los datos se situan en los valores inferiores de la variable, porque la parte superior de la caja es más grande que la inferior, lo que implica que hay más datos por encima de la mediana y la media suele ser superior. El modelo inmcm4 tiene la caja más pequeña, quiere decir que la muestra de datos es menos dispersa y los datos están más próximos a la muestra. El resto de los modelos está más dispersos de la media. Esto mismo lo muestra la longitud de los bigotes, todos los bigotes superiores son más grandes que los inferiores.

Se puede ver que todos los modelos tiene valores atípicos pero no son excesivamente altos para que puedan ser valores irreales. También, en todos los modelos que se produce una reducción de la precipitación de los forzamiento radiativos RCP4.5 Y RCP8.5 respecto a la parte histórica.

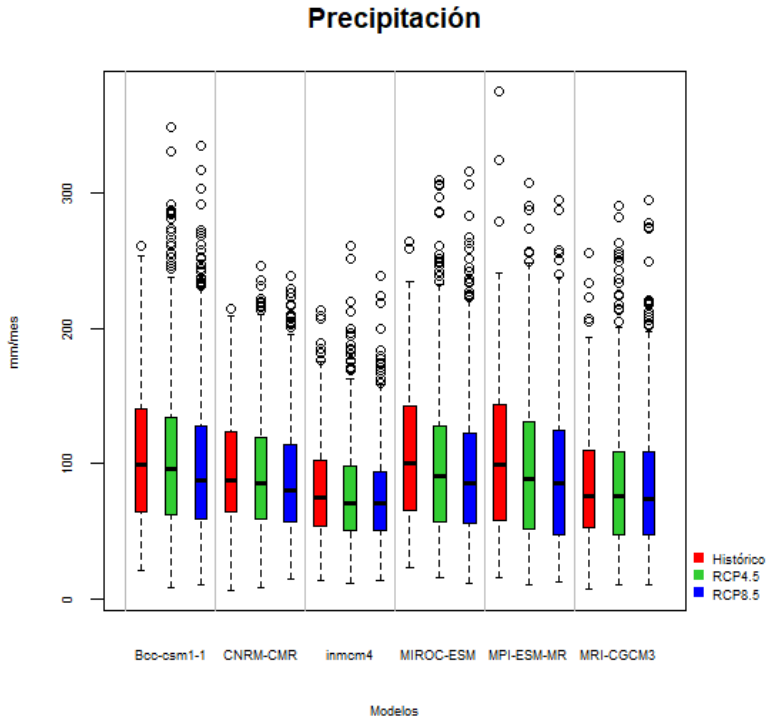


Figura 6.- Diagramas de cajas de los seis modelos puntuales para su parte histórica y futura de RCP4.5 Y RCP8.5.

A continuación, en la Tabla 4, se describen los valores de los modelos para realizar los diagramas de cajas comparando con los datos observados del BDH. Se puede ver que los modelos no se ajustan del todo bien a la precipitación media observada, ya que todos los

modelos menos dos sobrevaloran el valor observado, modelo Bcc-csm1-1 es un 20% superior, CNRM-CMR un 8%, MIROC-ESM un 21%, MPI-ESM-MR un 16%, inmcm4 un 9% inferior y MRI-CGCM3 un 6% inferior. Algo similar ocurre con la desviación y los valores máximos y mínimos, que hay variación en todos sus valores respecto a los datos observados.

Tabla 4.- Estadísticos para el diagrama de cajas del periodo Histórico de precipitación.

	Datos para el periodo histórico						
Estadísticos	BDH	Bcc-csm1-1	CNRM-CMR	Inmcm4	MIROC-ESM	MPI-ESM-MR	MRI-CGCM3
Mínimo	8,55	20,59	6,34	12,98	23,18	15,87	7,53
Q1	57,86	64,38	64,22	54,09	65,22	58,25	53,09
Q2	82,24	99,29	87,86	75,18	99,94	98,64	75,95
Q3	112,58	139,96	123,69	102,58	142	142,9	109,17
Máximo	238,73	260,65	214,33	213,38	263,75	374,85	255,53
Media	88,79	106,59	95,9	81,02	107,08	103,43	83,70
Desv. Stan.	41,33	51,38	41,65	36,69	51,08	56,20	41,74
Asimetría	0,70	9,62	0,49	0,88	0,58	0,81	0,92
Curtosis	0,12	-0,11	-0,37	0,69	-0,45	1,04	0,93

Comparando las tablas siguientes, Tabla 5 y

Tabla 6, con la anterior, Tabla 4, se puede observar lo mismo que se ha representado en la Figura 6, que todos los modelos registran una disminución de la precipitación respecto a su parte histórica, hasta el 9% para el forzamiento radiativo RCP4.5, entre 2% y el 13% para el forzamiento radiativo RCP8.5.

Tabla 5.- Estadísticos para el diagrama de cajas del periodo futuro de RCP4.5 de precipitación.

	Datos para el periodo futuro de RCP4.5					
Estadísticos	Bcc-csm1-1	CNRM-CMR	Inmcm4	MIROC-ESM	MPI-ESM-MR	MRI-CGCM3
Mínimo	8,5	8,35	10,9	15,78	10,37	10,26
Q1	62,09	58,70	50,42	57,1	52,04	47,22

	Datos para el periodo futuro de RCP4.5					
Estadísticos	Bcc-csm1-1	CNRM-CMR	Inmcm4	MIROC-ESM	MPI-ESM-MR	MRI-CGCM3
Q2	95,76	85,07	70,55	90,60	88,06	75,87
Q3	134,5	119,63	97,76	127,14	130,93	109,03
Máximo	348,46	246,37	260,92	309,31	307,51	290,33
Media	103,22	91,87	77,15	97,88	95,77	83,66
Desv. Stan.	52,42	42,65	36	50,39	52,26	45,5
Asimetría	0,92	0,67	0,93	0,89	0,69	0,99
Curtosis	1,03	0,06	1,17	0,77	0,09	1,24

Tabla 6.- Estadísticos para el diagrama de cajas del periodo futuro de RCP8.5 de precipitación.

	Datos para el periodo futuro de RCP8.5					
Estadísticos	Bcc-csm1-1	CNRM-CMR	Inmcm4	MIROC-ESM	MPI-ESM-MR	MRI-CGCM3
Mínimo	10,8	14,92	13,04	11,63	11,99	9,94
Q1	58,52	57,32	50,93	56,28	47,57	48,92
Q2	87,38	80,27	70,37	85,87	85,63	73,88
Q3	127,62	114,02	93,97	122,35	124,42	108,71
Máximo	334,56	238,38	238,33	315,84	295,19	294,54
Media	98,31	88,41	74,33	93,31	90,13	82,42
Desv. Stan.	51,96	41,16	33,5	46,81	49,5	43,99
Asimetría	1,02	0,81	0,85	0,94	0,64	0,94
Curtosis	1,04	0,31	0,96	1,09	0,03	1,09

3.2 Temperatura Media

En la Figura 7 se puede ver el resultado de comparar la temperatura media durante el periodo de control. Hay que tener en cuenta que los valores de la figura se han obtenido promediando los valores de temperatura media simulados y observados en 150 estaciones donde se ha

realizado el contraste. A primera vista se puede apreciar que la tendencia de todas las series es muy similar.

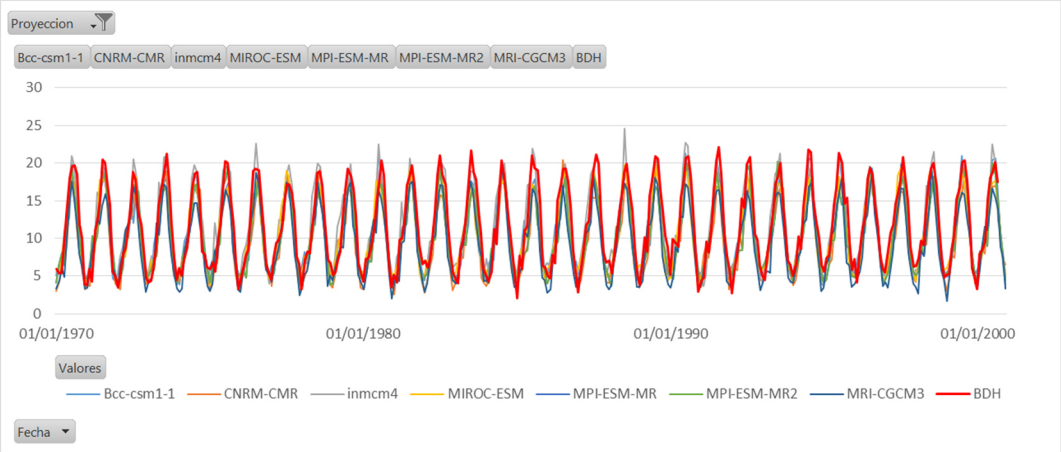


Figura 7.- Evolución de la temperatura media mensual para Navarra para el periodo de control según los datos observados (BDH) y los modelos puntuales del CEDEX.

En el diagrama de cajas de temperatura media, Figura 8, se puede observar que son distribuciones con asimetría positiva, porque la parte superior de la caja es más grande que la inferior, lo que implica que la mayoría de los datos se situan en los valores inferiores de la variable. Se puede observar que todos los modelos aumentan su temperatura media con respecto a sus datos históricos y el aumento es mayor en el forzamiento radiativo RCP8.5.

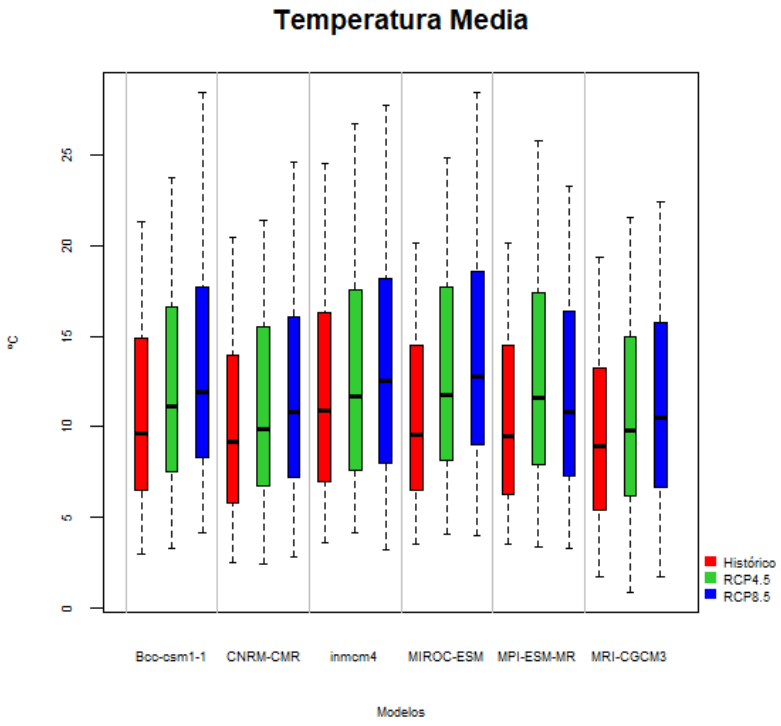


Figura 8.- Diagramas de cajas de los seis modelos puntuales para su parte histórica y futura de RCP4.5 Y RCP8.5

Además, se puede ver que todos los modelos tienen más o menos la misma dispersión con respecto a la media, Tabla 7, que los datos son próximos a una distribución normal. Lo que es lo mismo, el 95% de los datos está comprendido entre los cuartiles y el 99% de los datos entre los bigotes, en este caso el 100% porque no hay valores atípicos.

A continuación, en la Tabla 7 se pueden observar los valores de los modelos para realizar los diagramas de cajas comparando con los datos observados del BDH. Los modelos siguen un mismo comportamiento, no se ajustan del todo bien a la temperatura media observada, ya que todos los modelos infravaloran el valor observado salvo el modelo inmcm4 que es 0,04º superior, el modelo Bcc-csm1-1 es -1º inferior, CNRM-CMR es -1.79º, MIROC-ESM es 1,09º, MPI-ESM-MR es -1,4º y MRI-CGCM3 es -2,14º. Algo similar ocurre con la desviación y los valores máximos, en casi todos los casos los valores son menores en los modelos que en los datos observados, pero para los valores mínimos son todos superiores al observado.

Tabla 7.- Estadísticos para el diagrama de cajas del periodo Histórico de temperatura media.

	Datos para el periodo histórico						
Estadísticos	BDH	Bcc-csm1-1	CNRM-CMR	Inmcm4	MIROC-ESM	MPI-ESM-MR	MRI-CGCM3
Mínimo	2,02	3,00	2,56	3,67	3,53	3,53	1,70
Q1	6,95	6,54	5,8	6,96	6,56	6,32	5,44
Q2	10,82	9,67	9,14	10,91	9,54	9,52	8,95
Q3	16,87	14,9	13,89	16,29	14,49	14,46	13,17
Máximo	22,06	21,27	20,41	24,51	20,10	20,14	19,36
Media	11,68	10,68	9,89	11,72	10,59	10,28	9,54
Desv. Stan.	5,42	4,74	4,7	5,26	4,56	4,61	4,62
Asimetría	0,21	0,44	0,37	0,3	0,37	0,4	0,25
Curtosis	-1,30	-0,99	-1,10	-1,16	-1,19	-1,09	-1,16

Comparando las tablas siguientes, Tabla 8 y

Tabla 9, con la tabla anterior, Tabla 7, se aprecia un aumento de la temperatura media con respecto a sus datos históricos, sobre todo para el forzamiento radiativo RCP8.5, entre 0,8º y 2,22º para RCP4.5 y entre 1,47º y 3,23º para RCP8.5.

Tabla 8.- Estadísticos para el diagrama de cajas del periodo futuro de RCP4.5 de temperatura media.

	Datos para el periodo futuro de RCP4.5					
Estadísticos	Bcc-csm1-1	CNRM-CMR	Inmcm4	MIROC-ESM	MPI-ESM-MR	MRI-CGCM3
Mínimo	3,27	2,46	4,15	4,06	3,38	0,91
Q1	7,52	6,71	7,60	8,12	7,91	6,18
Q2	11,15	9,85	11,65	11,78	11,64	9,77
Q3	16,63	15,51	17,53	17,73	17,40	14,98
Máximo	23,69	21,39	26,68	24,82	25,78	21,52
Media	12,13	10,96	12,52	12,81	12,64	10,55
Desv. Stan.	5,04	4,86	5,55	5,23	5,38	4,94
Asimetría	0,42	0,36	0,35	0,32	0,38	0,28
Curtosis	-1,08	-1,16	-1,12	-1,22	-1,07	-1,17

Tabla 9.- Estadísticos para el diagrama de cajas del periodo futuro de RCP8.5 de temperatura media.

	Datos para el periodo futuro de RCP8.5					
Estadísticos	Bcc-csm1-1	CNRM-CMR	Inmcm4	MIROC-ESM	MPI-ESM-MR	MRI-CGCM3
Mínimo	4,17	2,84	3,24	3,98	3,27	1,78
Q1	8,31	7,25	8,03	9,01	7,29	6,65
Q2	11,94	10,80	12,53	12,75	10,82	10,53
Q3	17,69	16,02	18,19	18,53	16,38	15,75
Máximo	28,39	24,58	27,71	28,38	23,24	22,40
Media	13,10	11,64	13,19	13,82	11,82	11,23
Desv. Stan.	5,47	5,07	5,64	5,53	5,05	5,05
Asimetría	0,43	0,34	0,30	0,34	0,37	0,25
Curtosis	-0,97	-1,05	-1,27	-1,02	-1,16	-1,13

3.3 Temperatura Máxima

En la Figura 9 se puede ver el resultado de comparar la temperatura máxima durante el periodo de control. Hay que tener en cuenta que los valores de la figura se han obtenido promediando

los valores de temperatura máxima simulados y observados en 150 estaciones donde se ha realizado el contraste. Al igual que para la temperatura media vemos que la tendencia y el comportamiento de las series es muy similar, aunque todos los modelos son superiores a los datos del BDH.

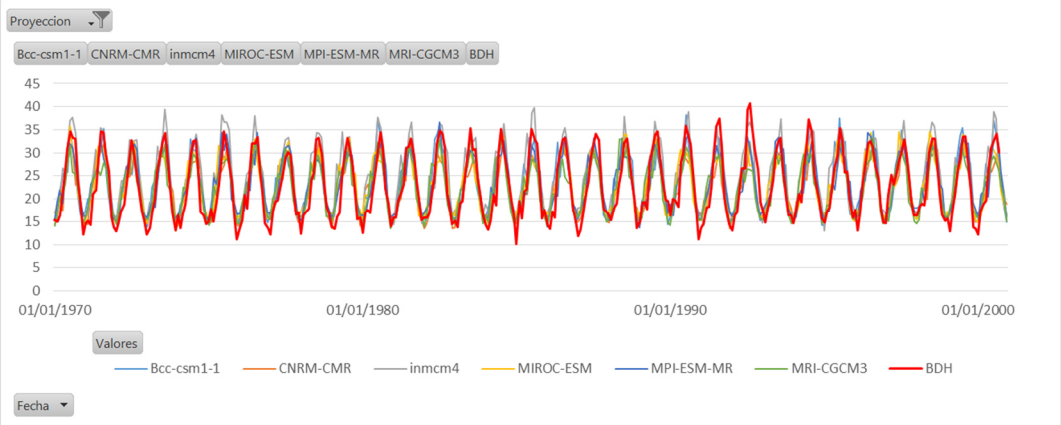


Figura 9.- Evolución de la temperatura máxima mensual para Navarra para el periodo de control según los datos observados (BDH) y los modelos puntuales del CEDEX.

En el diagrama de cajas de temperatura máxima, Figura 10, podemos observar que son distribuciones con asimetría positiva, porque la parte superior de la caja es más grande que la inferior, lo que implica que la mayoría de los datos se situan en los valores inferiores de la variable. Podemos ver que todos los modelos tienen más o menos la misma dispersión con respectoa a la media, que los datos son próximos a una distribución normal. Lo que es lo mismo, el 95% de los datos está comprendido entre los cuartiles y el 99% de los datos entre los bigotes. Para todos los modelos se produce un aumento de la media de la temperatura máxima con respecto sus datos históricos.

A continuación, se pueden ver los valores de los modelos para realizar los diagramas de cajas comparando con los datos observados del BDH. Los modelos no se ajustan del todo bien a la temperatura máxima observada, unos modelos sobrevaloran el valor observado y otros lo infravaloran, el modelo Bcc-csm1-1 es 0,53º superior, al igual que el modelo inmcm4 es 2,15º, MIROC-ESM es 0,06º y MPI-ESM-MR es 0,38º, el modelo CNRM-CMR es 0,4º inferior y MRI-CGCM3 es 0,43º inferior. Para los valores mínimos, todos los modelos son superiores, pero para el máximo son todos inferiores a los datos observados.

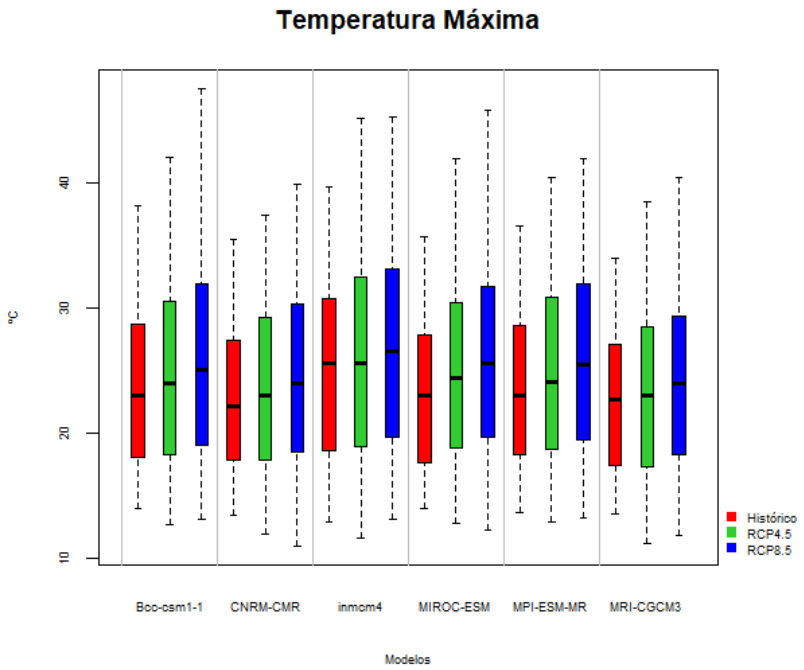


Figura 10.- Diagramas de cajas de los seis modelos puntuales para su parte histórica y futura de RCP4.5 Y RCP8.5.

Tabla 10.- Estadísticos para el diagrama de cajas del periodo Histórico de temperatura máxima.

	Datos para el periodo histórico						
Estadísticos	BDH	Bcc-csm1-1	CNRM-CMR	Inmcm4	MIROC-ESM	MPI-ESM-MR	MRI-CGCM3
Mínimo	10,10	13,92	13,4	12,93	13,98	13,63	13,54
Q1	16,67	18,02	17,81	18,6	17,64	18,28	17,44
Q2	21,40	22,96	22,17	25,6	23,01	22,99	22,68
Q3	29,45	28,66	27,4	30,74	27,76	28,56	33,95
Máximo	40,70	38,12	35,48	39,71	35,71	36,57	46,20
Media	22,99	23,52	22,59	25,14	23,05	23,37	22,56
Desv. Stan.	7,08	6	5,49	6,85	5,54	5,71	5,34
Asimetría	0,3	0,26	0,14	0,14	0,19	0,21	0,06
Curtosis	-1,16	-1,03	-1,18	-1,13	-1,17	-1,22	-1,19

Comparando las tablas siguientes, Tabla 11 y

Tabla 12, con la tabla anterior, Tabla 10, se produce un aumento de la temperatura máxima media con respecto a sus datos históricos, entre 0,72º y 1,8º para el forzamiento radiativo RCP4.5, y entre 1,42º y 2,99º para el forzamiento radiativo RCP8.5.

Tabla 11.- Estadísticos para el diagrama de cajas del periodo futuro de RCP4.5 de temperatura máxima.

	Datos para el periodo futuro de RCP4.5					
Estadísticos	Bcc-csm1-1	CNRM-CMR	Inmcm4	MIROC-ESM	MPI-ESM-MR	MRI-CGCM3
Mínimo	12,64	11,89	11,57	12,76	12,88	11,19
Q1	18,25	17,81	18,93	18,85	18,69	17,3
Q2	23,92	23,05	25,55	24,44	24,05	23,01
Q3	30,57	29,2	32,48	30,39	30,89	28,5
Máximo	42,09	37,43	45,19	41,95	40,44	38,46
Media	24,74	23,55	25,9	24,85	24,82	23,28
Desv. Stan.	7,19	6,32	7,58	6,68	6,73	6,22
Asimetría	0,35	0,18	0,19	0,22	0,22	0,12
Curtosis	-0,99	-1,16	-1,12	-1,09	-1,2	-1,2

Tabla 12.- Estadísticos para el diagrama de cajas del periodo futuro de RCP8.5 de temperatura máxima.

	Datos para el periodo futuro de RCP8.5					
Estadísticos	Bcc-csm1-1	CNRM-CMR	Inmcm4	MIROC-ESM	MPI-ESM-MR	MRI-CGCM3
Mínimo	13,14	10,95	13,14	12,24	13,25	11,84
Q1	19,01	18,51	19,69	19,62	19,45	18,23
Q2	25,04	24,02	26,6	25,6	25,46	24,01
Q3	31,95	30,3	33,12	31,71	31,98	29,33
Máximo	47,53	39,9	45,31	45,8	41,88	40,48
Media	25,46	24,01	26,76	26,04	25,83	23,99
Desv. Stan.	7,6	6,55	7,77	7,11	7,05	6,27
Asimetría	0,31	0,14	0,15	0,23	0,16	0,11
Curtosis	-1,04	-1,13	-1,08	-0,99	-1,19	-1,14

3.4 Temperatura Mínima

En la Figura 11 se puede ver el resultado de comparar la temperatura mínima durante el periodo de control. Hay que tener en cuenta que los valores de la figura se han obtenido promediando los valores de temperatura mínima simulados y observados en 150 estaciones donde se ha realizado el contraste. Se puede observar a simple vista que el comportamiento y la tendencia son similares, pero que la mayor parte de los modelos infravaloran los datos del BDH.

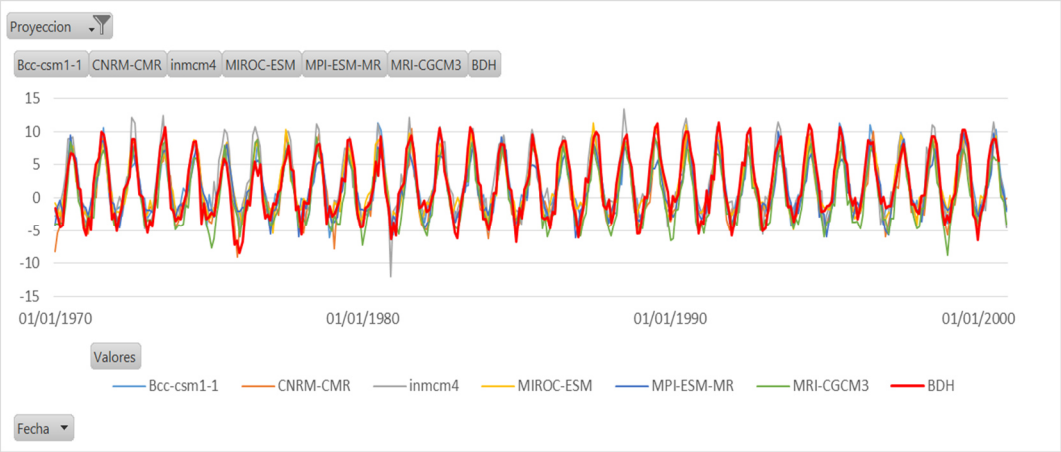


Figura 11.- Evolución de la temperatura mínima mensual para Navarra para el periodo de control según los datos observados (BDH) y los modelos puntuales del CEDEX.

En el diagrama de cajas de temperatura mínima, Figura 12, al igual que para las variables anteriores, los datos tienen distribuciones con asimetría positiva, porque la parte superior de la caja es más grande que la inferior, lo que implica que la mayoría de los datos se situan en los valores inferiores de la variable. Todos los modelos tienen más o menos la misma dispersión con respectoa a la media y que los datos son próximos a una distribución normal. Lo que es lo mismo, el 95% de los datos está comprendido entre los cuartiles y el 99% de los datos entre los bigotes. Se aprecia un par de datos anómalos para el modelo inmcm4.

Al igual que para la temperatura media y la temperatura máxima, también para todos los modelos se produce un aumento de la temperatura mínima con respecto a sus datos históricos.

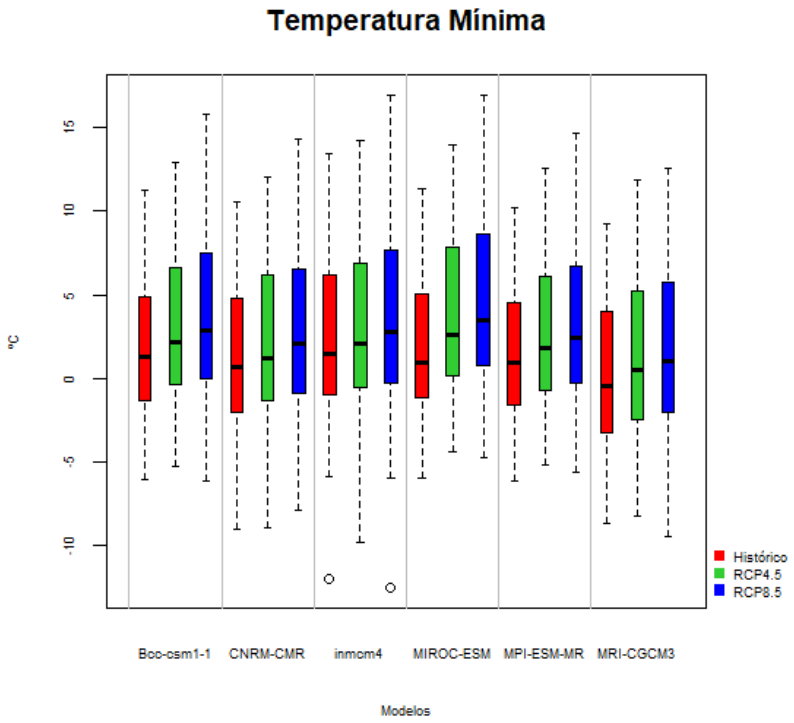


Figura 12.- Diagramas de cajas de los seis modelos puntuales para su parte histórica y futura de RCP4.5 Y RCP8.5.

Junto con la figura anterior se muestran los estadísticos en la Tabla 13, se puede observar que los modelos no se ajustan del todo bien a la temperatura mínima observada, ya que unos modelos infravaloran y otros sobrevaloren el valor observado. Los modelos que infravaloran son: el modelo Bcc-csm1-1 es 0,03° inferior, CNRM-CMR es 0,62°, MPI-ESM-MR es 0,43° y MRI-CGCM3 es 1,45°, y los modelos que sobrevaloran son: el modelo inmcm4 es 0,64° y MIROC-ESM es 0,06° superior. Algo similar ocurre con la desviación y los valores máximos y mínimos, que los valores de los modelos son indistintamente mayores o menores que los datos observados.

Tabla 13.- Estadísticos para el diagrama de cajas del periodo Histórico de temperatura mínima.

	Datos para el periodo histórico						
Estadísticos	BDH	Bcc-csm1-1	CNRM-CMR	Inmcm4	MIROC-ESM	MPI-ESM-MR	MRI-CGCM3
Mínimo	-8,4	-6,08	-9,01	-11,96	-5,94	-6,17	-8,72
Q1	-1,9	-1,31	-2,04	-1,01	-1,13	-1,61	-3,23
Q2	-1,2	1,27	0,67	1,45	0,94	4,53	3,96
Q3	5,9	4,87	4,75	6,18	5,06	4,53	3,96
Máximo	11,4	11,27	10,53	13,4	11,31	10,2	9,21
Media	1,91	1,88	1,29	2,55	1,97	1,48	0,46
Desv. Stan.	4,73	3,94	4,22	4,57	3,88	3,73	4,3
Asimetría	0,17	0,44	0,27	0,36	0,46	0,32	0,34
Curtosis	-1,08	-0,78	-0,88	-0,77	-0,89	-0,82	-1,4

Comparando las tablas siguientes, Tabla 14 y

Tabla 15, con la tabla anterior, Tabla 13, se produce un aumento de la media de la temperatura mínima con respecto a sus datos históricos, entre 0,62° y 1,89° para el forzamiento radiativo RCP4.5, y entre 1,13° y 2,67° para el forzamiento radiativo RCP8.5.

Tabla 14.- Estadísticos para el diagrama de cajas del periodo futuro de RCP4.5 de temperatura mínima.

	Datos para el periodo futuro de RCP4.5					
Estadísticos	Bcc-csm1-1	CNRM-CMR	Inmcm4	MIROC-ESM	MPI-ESM-MR	MRI-CGCM3
Mínimo	-5,24	-8,9	-9,79	-4,38	-5,22	-8,21
Q1	-0,36	-1,33	-0,58	0,14	-0,7	-2,48
Q2	2,14	1,18	2,05	2,61	1,8	0,51
Q3	6,6	6,2	6,9	7,83	6,1	5,23
Máximo	12,88	12,06	14,22	13,99	12,58	11,9
Media	3,04	2,21	3,17	3,86	2,66	1,3
Desv. Stan.	4,24	4,37	4,6	4,51	4,04	4,51
Asimetría	0,39	0,30	0,43	0,45	0,4	0,34
Curtosis	-0,93	-0,94	-0,83	-1,04	-0,92	-1,09

Tabla 15.- Estadísticos para el diagrama de cajas del periodo futuro de RCP8.5 de temperatura mínima.

	Datos para el periodo futuro de RCP8.5					
Estadísticos	Bcc-csm1-1	CNRM-CMR	Inmcm4	MIROC-ESM	MPI-ESM-MR	MRI-CGCM3
Mínimo	-6,11	-7,9	-12,54	-4,76	-5,58	-9,48
Q1	-0,01	-0,9	-0,25	0,78	-0,29	-2,04
Q2	2,87	2,07	2,77	3,48	2,42	1
Q3	7,46	6,52	7,69	8,58	6,71	5,76
Máximo	15,76	14,31	16,96	16,95	14,69	12,57
Media	3,74	2,79	3,68	4,64	3,24	1,91
Desv. Stan.	4,6	4,52	4,77	4,78	4,33	4,62
Asimetría	0,42	0,31	0,4	0,46	0,42	0,32
Curtosis	-0,81	-0,84	-0,81	-0,85	-0,81	-1,03

4 Datos climáticos CORDEX: análisis y tratamiento

Se ha realizado una comparativa para cada modelo con el clima real y se han obtenido diferentes resultados gráficos y numéricos que han permitido estimar de forma adecuada su capacidad de ajuste a dichas condiciones climáticas.

De los seis modelos de la Tabla 3 se han seleccionado 3 para las siguientes partes del estudio y se ha realizado una comparativa con datos reales para hacer la selección.

4.1 Cálculo de la Línea Base y Generación de un Atlas Climático

Al objeto de analizar la calidad de la información facilitada por cada uno de los modelos de cambio climático considerados, se ha trabajado con la información del proyecto previo "Actualización del BDH para el periodo 2007-2015", para las variables de precipitación, temperatura máxima, media y mínima.

Con dicha información real se ha creado un Atlas Climático para la región. Dicho Atlas está compuesto por un conjunto de mapas en los que se representa la evolución media mensual de un conjunto de variables a lo largo de la superficie Navarra, calculada a partir de la información climática registrada en las estaciones disponibles, durante el periodo comprendido entre los años 1970 y 2000.

Una vez establecida la proyección y georeferenciada cada imagen, se procederá a digitalizar los diferentes contornos de cada mapa, obteniéndose el mapa vectorizado correspondiente, dividido por recintos a los que se les asigna el valor de la variable asociada a partir de la escala de valores incluida en el mapa original. A partir de cada uno, se obtendrá su mapa de clases asociado[1], de 0.012º grados terrestres de resolución. Por último, se procederá a exportar cada mapa de clases, al objeto de obtener su fichero ASCII grid asociado.

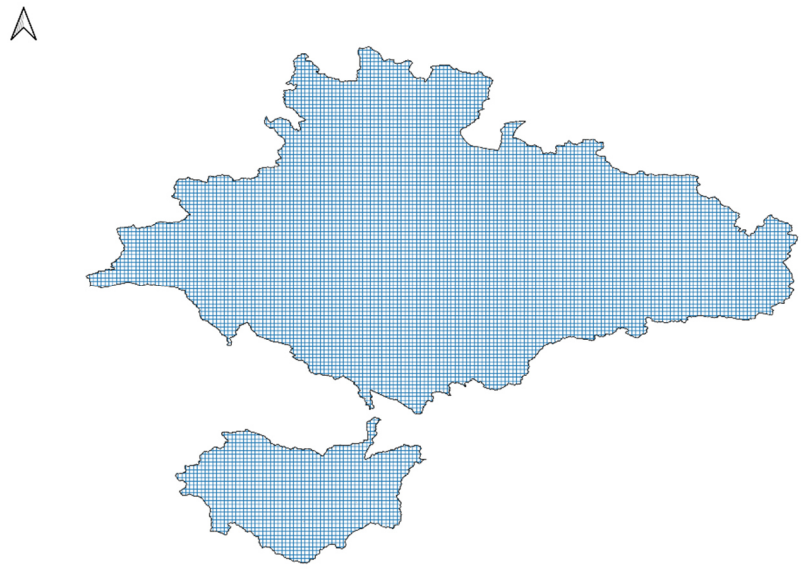


Figura 13.- Mapa de clases de 0,012º de resolución conteniendo la descripción topológica de la superficie de la región

La obtención de cada uno de los mapas mensuales que componen la línea base de las variables se obtienen una vez establecidos, para cada una de las celdas que componen la superficie de la región, los coeficientes de intervención de las diferentes estaciones pluviométricas incluidas en los cálculos. Fijados tales coeficientes en cada celda -en función de la posición de todas las estaciones pluviométricas, así como la del centro de la propia celda (coeficientes que suman un total de 1)-, se obtiene el valor de la variable correspondiente en cada intervalo como un sumando de los valores de la variable del mes en turno de cada estación, afectados todos ellos por su correspondiente coeficiente de intervención.

[1] Mapa raster o grid, en el que a cada una de las celdas que lo componen se le asigna una determinada clase que, en el caso que nos ocupa, viene deducida a partir del valor del recinto al que corresponde

La obtención de los coeficientes de intervención de cada estación en cada una de las celdas consideradas se ha efectuado por el Método de los vecinos naturales.

Método de los vecinos naturales. Los únicos coeficientes de intervención que tienen peso en el cálculo de la precipitación en una determinada celda son aquellos que corresponden a las estaciones que rodean a la celda en cuestión, dividiendo el territorio mediante polígonos de Voronoi, cuyos contornos corresponden a líneas rectas, perpendiculares a aquellas que unen la celda con cada una de las estaciones adyacentes y pasando por la mediatriz del citado segmento. Los coeficientes de intervención de las distintas estaciones adyacentes se calculan de acuerdo con lo representado en la lámina adjunta (en la que los centros de los círculos verdes representan la posición de las distintas estaciones intervinientes, mientras que el punto situado en el polígono azul el centro de la celda en turno: los coeficientes de intervención de cada estación, reflejados igualmente en la lámina, se calculan en función de la fracción de la superficie total del polígono azul correspondiente a la celda que se encuentra inmersa en cada uno de los polígonos de Voronoi asignados a cada estación –estos últimos reflejados mediante líneas rectas de color negro-).

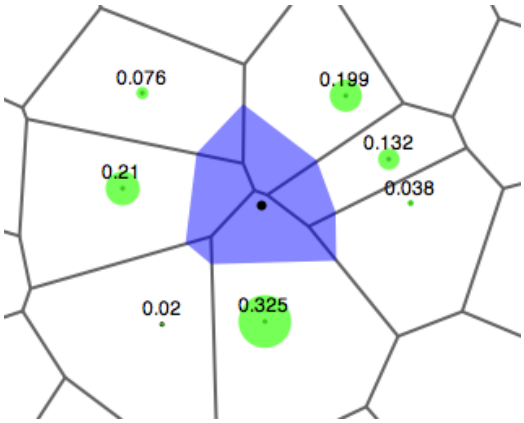


Figura 14.- Método de los vecinos naturales: cálculo de los diferentes coeficientes de intervención

La serie correspondiente se calcula mediante la utilización de las siguientes fórmulas

$$P = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} V_i \cdot \omega_i \cdot p_i}{\sum_{i=1}^{n} \omega_i} \right) \qquad T = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} (t_i + V_i) \cdot \omega_i}{\sum_{i=1}^{n} \omega_i} \right)$$

donde:

P: precipitación estimada en la estación virtual correspondiente a un mes determinado

T: temperatura estimada en la estación virtual correspondiente a un mes determinado

n: número de estaciones reales asociadas

V_i: constante que representa la variación estimada de clima entre la estación virtual y la real (en el caso de precipitación, coeficiente estimado de paso entre la precipitación media anual en la estación virtual y la precipitación media anual en la estación real, que actúa como un factor; en el caso de temperatura, diferencia estimada de temperaturas (en °C) entre el valor medio en la estación virtual y el de la estación real, que actúa como un sumando, positivo o negativo)

$_i$: coeficiente de intervención de cada estación real en el cálculo de la precipitación o temperatura en la estación virtual, establecido en función del peso -o grado de relación- que quiera asignarse a cada una de ellas

p_i: precipitación observada en la estación real asociada correspondiente el mes en turno

t_i: temperatura observada en la estación real asociada correspondiente al mes en turno.

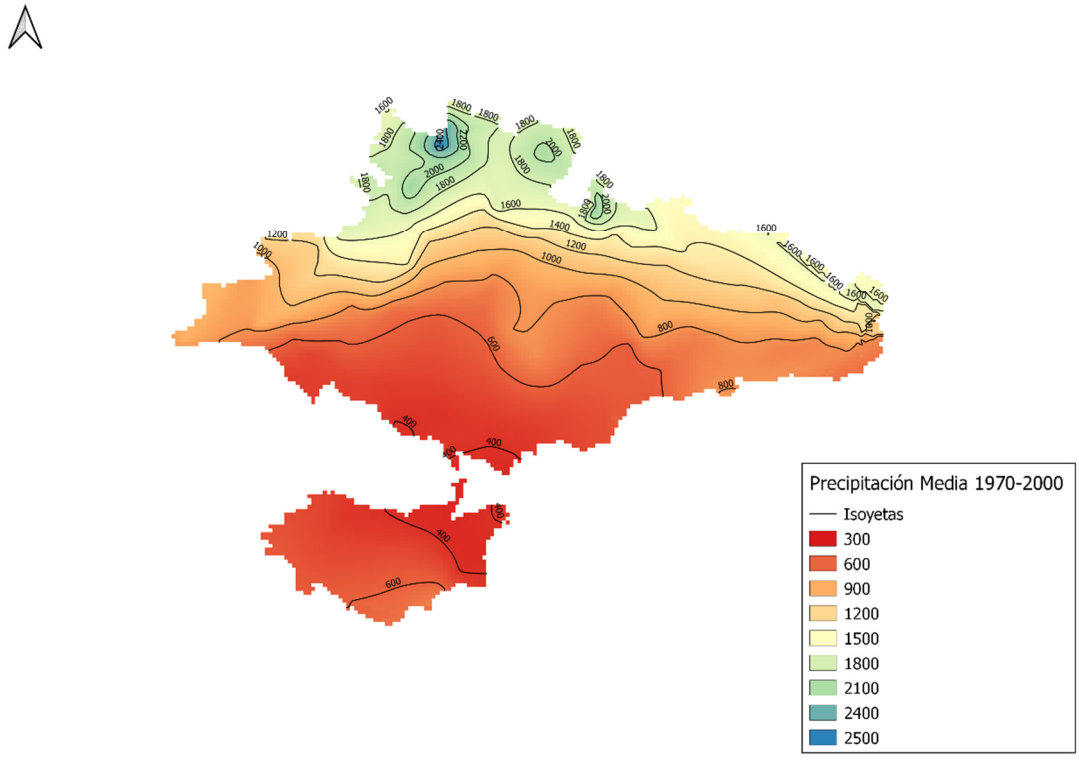


Figura 15.- Precipitación media desde 1970 a 2000 por Método de Los Vecinos Naturales

4.2 Análisis Comparativo entre modelos y atlas

Al objeto de comparar la adecuación de cada modelo global de cambio climático a las condiciones climáticas de Navarra, se han cruzado los diferentes ficheros de clases ASCII grid obtenidos a partir del Atlas con todos los ficheros ASCII grid de cada modelo. Modelo a modelo (6 diferentes), variable a variable (precipitación, temperatura media mensual, temperatura máxima mensual y temperatura mínima mensual), mes a mes (de enero a diciembre), comparará cada fichero obtenido a partir de los mapas del Atlas con cada uno de los ficheros de los diferentes modelos, comprendidos entre los años 1970 y 2000.

Dicha comparativa se ha efectuado asignando cada celda de los ficheros del Atlas (de 0.012° grados de resolución) a la celda correspondiente del modelo de que se trate, cuya resolución para el caso de los CORDEX una resolución de 0.11°. Modelo a modelo, variable a variable, mes a mes y celda a celda de cada uno de dichos modelos, se contabilizarán las celdas correspondientes a cada fichero del Atlas que incorpora cada celda del modelo, promediando el valor medio obtenido en cada una en función del valor de la clase de cada celda del Atlas.

Promediando ponderadamente los resultados de todas las celdas que incorpora cada modelo, se obtendrán igualmente los valores correspondientes a cada modelo en toda la región.

Hay que tener en cuenta que los valores se obtienen por un método de interpolación sobre valores de celda de 0.012° grados terrestres de resolución, son datos promediados y no tienen por qué coincidir con los datos almacenados en la base de datos del BDH.

4.2.1 Análisis comparativo de valores de precipitación

Se han obtenido resultados gráficos comparativos en todas las celdas de cada modelo analizado que se extienden a lo largo de la superficie de Navarra, así como un resultado conjunto para Navarra y en cada modelo, tal y como se refleja en las siguientes figuras:

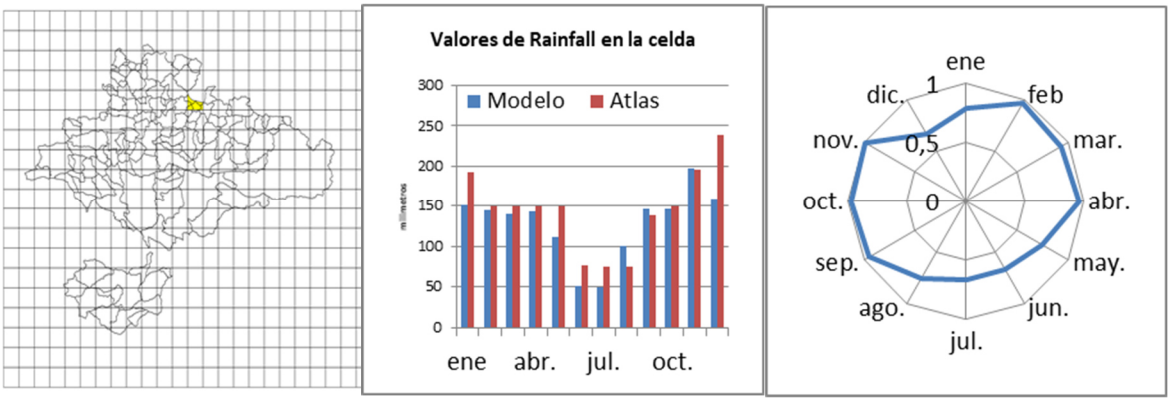


Figura 16.- Resultados gráficos comparativos de valores de precipitación en una celda de un modelo

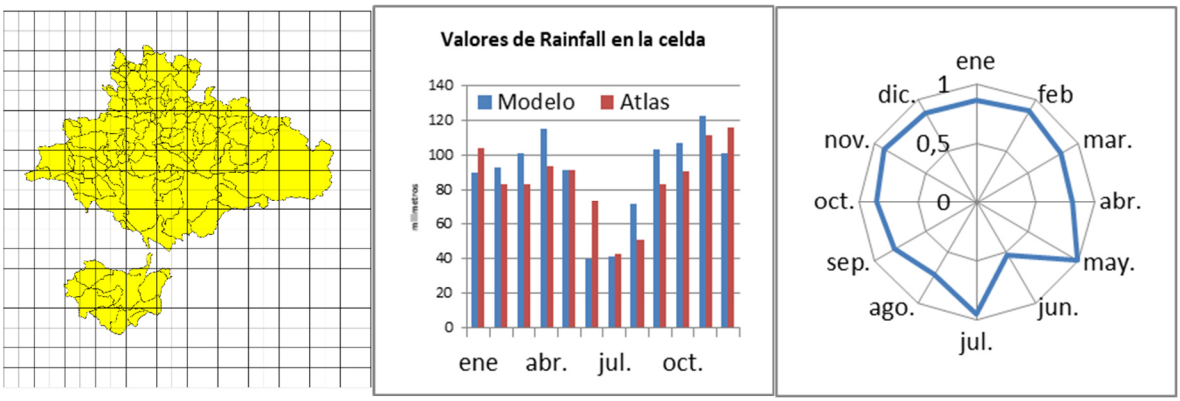


Figura 17.- Resultados gráficos comparativos de valores de precipitación en Navarra de un modelo

Los resultados gráficos, además de incluir un esquema en donde se representa el recinto de que se trate (la intersección de una determinada celda de cada modelo con la superficie de Navarra), comprenden un diagrama de barras el que se representan los valores medios mensuales –de enero a diciembre- calculados tanto a partir del modelo en cuestión como a partir del correspondiente mapa del Atlas (en ambos casos, comprendiendo el periodo comprendido entre los años 1970 y 2000) y un diagrama en araña, igualmente correspondiente a los meses de enero a diciembre, en donde se representan los coeficientes minoradores mensuales, calculados dividiendo cada valor medio mensual -bien obtenido a partir de los datos del modelo, bien a partir del Atlas- (seleccionando siempre el menor valor de ambos), por el mayor de dichos valores. Por tanto, los valores mensuales de dicho diagrama oscilan siempre entre los límites 0 y 1, correspondiendo el valor 1 a una excelente correlación entre los resultados obtenidos con una y otra fuente, y el valor 0 a la peor correlación posible entre ambas.

Igualmente, y para cada modelo, se han calculado una serie de valores numéricos, tal y como los que se incluyen en el cuadro adjunto.

Tabla 16.- Resultados comparativos numéricos correspondientes a un determinado modelo

Precipitación media, según modelo (mm/año)	1076,608
Precipitación media, según Atlas (mm/año)	1023,744
Coeficiente minorador medio mensual conjunto	0,835
Coeficiente de correlación mensual conjunto	0,980
Coeficiente minorador medio mensual ponderado, por celdas	0,730
Coeficiente de correlación mensual ponderado, por celdas	0,952

Dichos valores numéricos comprenden al valor de la precipitación media anual en Navarra, calculada tanto a partir de los datos del correspondiente modelo de cambio climático como a partir de los mapas del Atlas, así como el coeficiente minorador medio mensual calculado tanto para el gráfico total como a partir de los gráficos de las distintas celdas del modelo, ponderando en este caso los resultados en función de la superficie conjunta celda del modelo/superficie. Por último, los coeficientes de correlación obtenidos entre las series mensuales de precipitación entre modelo y Atlas, trabajando únicamente con las series totales, así como a través del conjunto de celdas correspondientes, igualmente en este último caso ponderando las diferentes superficies conjuntas.

Hay que tener en cuenta que los valores se obtienen por un método de interpolación sobre valores de celda de 0.012° grados terrestres de resolución, son datos promediados y no tienen por qué coincidir con los datos almacenados en la base de datos del BDH.

En el cuadro adjunto se resumen los valores numéricos correspondientes a cada modelo.

Tabla 17.- Resultados comparativos numéricos de precipitación correspondientes al conjunto de modelos

Modelo	Precipitación según modelo (mm/año)	Precipitación según Atlas (mm/año)	Coeficiente minorador medio mensual conjunto	Coeficiente de correlación mensual conjunto	Coeficiente minorador medio mensual ponderado, por celdas	Coeficiente de correlación mensual ponderado, por celdas
SMHI-RCA4.MOHC-HadGEM2-ES	1076,608	1023,744	0,835	0,980	0,730	0,952
SMHI-RCA4.IPSL-IPSL-CM5A-MR	951,080	1023,744	0,871	0,986	0,732	0,956
KNMI-RACMO22E.MOHC-HadGEM2-ES	970,838	1023,744	0,850	0,978	0,756	0,953
CLMcom-CCLM4-8-17.MPI-M-MPI-ESM-LR	1216,492	1023,744	0,781	0,974	0,719	0,950
CLMcom-CCLM4-8-17.MOHC-HadGEM2-ES	828,178	1023,744	0,750	0,958	0,688	0,936
CLMcom-CCLM4-8-17.ICHEC-EC-EARTH	834,866	1023,744	0,782	0,965	0,727	0,942

Como se ve en la tabla anterior, salvo dos modelos el resto calculan una precipitación media inferior a la establecida por el Atlas climático generado por los datos reales a partir de datos observados en estaciones. Frente a unos 1023,744 mm/año, deducidos a partir de los mapas del Atlas, los modelos calculan unos valores medios que van desde unos 828,17 mm/año –según modelo HadGEM2-ES de la Institución CLMcom—hasta unos 1216 mm/año –según modelo MPI-ESM-LR de la Institución CLMcom--. Los coeficientes minoradores –la relación entre valores medios mensuales según modelo y según Atlas, utilizando siempre en el numerador el menor de ambos valores y en el denominador el mayor de ellos—arrojan valores oscilando entre unos coeficientes mínimos de 0,75 para el modelo HadGEM2-ES de la Institución CLMcom hasta unos coeficientes máximos de 0,87 para el modelo CM5A-MR de la Institución SMHI. Los coeficientes de correlación oscilan entre unos valores mínimos de 0,95 –en iguales condiciones que los coeficientes minoradores alcanzados en el modelo HadGEM2-ES--, hasta unos valores máximos de 0,98 en el caso del modelo CM5A-MR.

Por lo tanto, los tres modelos para precipitación que tienen la menor diferencia para el valor medio y tienen los coeficientes minoradores y de correlación más elevados son

- CO1. HadGEM2-ES de la Institución SMHI.
- CO2. CM5A-MR de la Institución SMHI.
- CO3. HadGEM2-ES de la Institución KNMI.

4.2.2 Análisis comparativo de valores de temperatura media

Al igual que con los datos de precipitación, se han obtenido resultados gráficos comparativos de temperatura media en todas las celdas de cada modelo analizado, así como un resultado conjunto para todo Navarra y en cada modelo, tal y como se refleja en las láminas adjuntas.

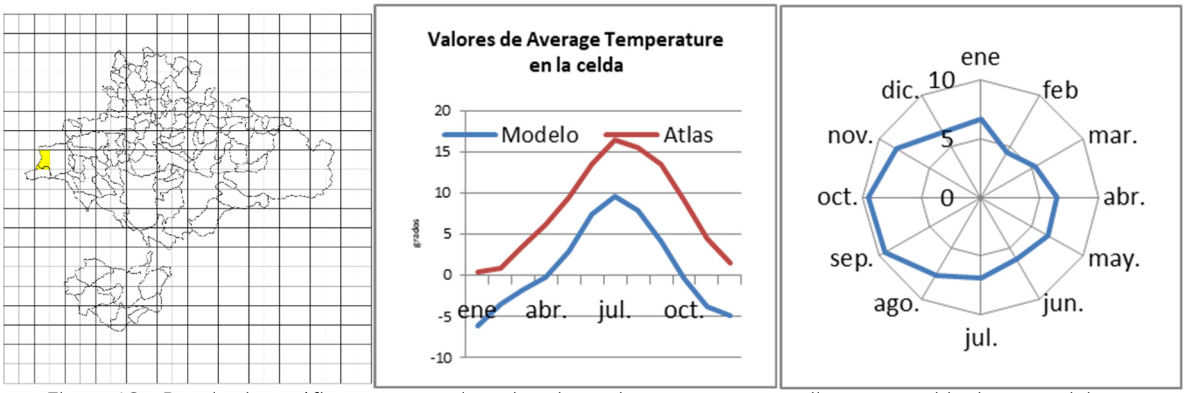


Figura 18.- Resultados gráficos comparativos de valores de temperatura media en una celda de un modelo

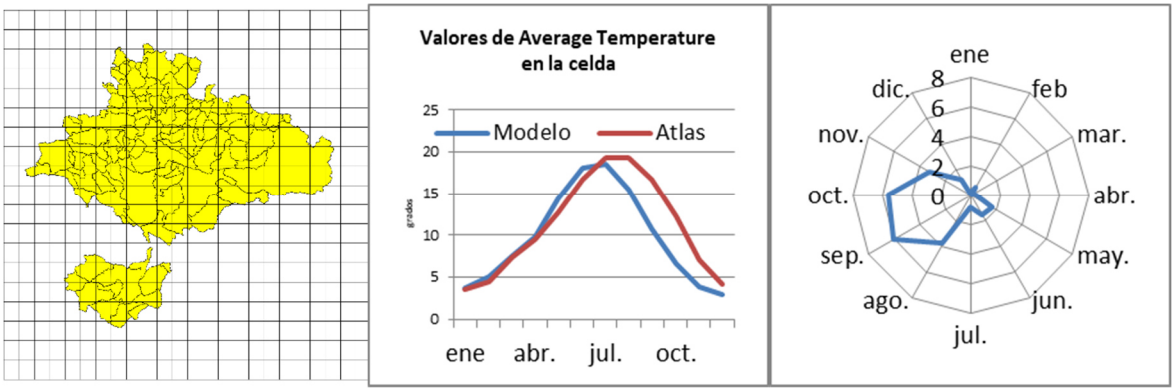


Figura 19.- Resultados gráficos comparativos de valores de temperatura media en Navarra de un modelo

Los resultados gráficos, además de incluir un esquema en donde se representa el recinto de que se trate (la intersección de una determinada celda de cada modelo con la superficie de Navarra), comprenden un gráfico en el que se representan los valores medios mensuales de temperatura –de enero a diciembre- calculados tanto a partir del modelo en cuestión como a partir del correspondiente mapa del Atlas (en ambos casos, comprendiendo el periodo comprendido entre los años 1970 y 2000) y un diagrama en araña, igualmente correspondiente a los meses de enero a diciembre, en donde se representan las diferencias absolutas mensuales entre los valores calculados por el modelo y los obtenidos a partir del Atlas.

Igualmente, y para cada modelo, se han calculado una serie de valores numéricos, tal y como los que se incluyen en el cuadro adjunto.

Tabla 18.- Resultados comparativos numéricos correspondientes a un determinado modelo

Temperatura media, según modelo (°C)	10,177
Temperatura media, según Atlas (°C)	11,104
Diferencia media mensual absoluta conjunta (°C)	2,621
Coeficiente de correlación mensual conjunto	0,961
Diferencia media mensual absoluta ponderada, por celdas (°C)	2,789
Coeficiente de correlación mensual ponderado, por celdas	0,956

Dichos valores numéricos comprenden el valor de la temperatura media, calculada tanto a partir de los datos del correspondiente modelo de cambio climático como a partir de los mapas del Atlas, así como la diferencia media mensual absoluta calculada tanto para el gráfico total de la región como a partir de los gráficos de las distintas celdas del modelo, ponderando en este caso los resultados en función de la superficie conjunta celda del modelo/superficie. Por último, los coeficientes de correlación obtenidos entre las series mensuales de temperatura

entre modelo y Atlas, trabajando únicamente con las series totales, así como a través del conjunto de celdas correspondientes, igualmente en este último caso ponderando las diferentes superficies conjuntas.

En el cuadro adjunto se resumen los valores numéricos correspondientes a cada modelo:

Tabla 19.- Resultados comparativos numéricos de temperatura media correspondientes al conjunto de modelos

Modelo	Temperatura media según modelo (º C)	Temperatura media según Atlas (º C)	Diferencia media mensual absoluta conjunta (º C)	Coeficiente de correlación mensual conjunto	Diferencia media mensual absoluta ponderada, por celdas (º C)	Coeficiente de correlación mensual ponderado, por celdas
SMHI-RCA4.MOHC-HadGEM2-ES	10,177	11,104	2,621	0,961	2,789	0,956
SMHI-RCA4.IPSL-IPSL-CM5A-MR	9,742	11,104	2,089	0,973	2,388	0,967
KNMI-RACMO22E.MOHC-HadGEM2-ES	9,308	11,104	3,029	0,947	3,197	0,941
CLMcom-CCLM4-8-17.MPI-M-MPI-ESM-LR	9,571	11,104	2,372	0,969	2,543	0,966
CLMcom-CCLM4-8-17.MOHC-HadGEM2-ES	9,944	11,104	2,800	0,955	2,911	0,952
CLMcom-CCLM4-8-17.ICHEC-EC-EARTH	8,851	11,104	2,542	0,963	2,777	0,959

Como se deduce de las cifras incluidas en el cuadro anterior, el modelo que estima una temperatura media más parecida a la del Atlas climático es el modelo HadGEM2-ES de la Institución SMHI –10,17°C del modelo, frente a 11,10°C del Atlas-- y el más alejado el modelo EC-EARHT de la Institución CLMcom –8,85°C frente a 11,10°C-. En lo que se refiere a la diferencia media mensual absoluta conjunta, el modelo más ajustado es CM5A-MR de la Institución SMHI, con una diferencia mínima de 2,089°C y el más desajustado HadGEM2-ES, con un valor de 3,029°C. En el caso de la diferencia media mensual absoluta ponderada mediante celdas, el modelo más ajustado resulta ser al igual que en el coeficiente anterior el CM5A-MR de la Institución SMHI, con un valor mínimo de 2,388°C y el más desajustado también resulta HadGEM2-ES de la Institución KNMI, con un valor de 3,197°C. Con respecto a los valores de los coeficientes de correlación mensual, tanto conjunto como ponderado por celdas, todos los modelos presentan valores muy elevados, todos están por encima de 0,94.

Por lo tanto, los tres modelos para temperatura media que tienen la menor diferencia para el valor medio y tienen los coeficientes minoradores y de correlación más elevados son

- CO1.HadGEM2-ES de la Institución SMHI.
- CO2. CM5A-MR de la Institución SMHI.
- CO4. MPI-ESM-LR de la Institución CLMcom.

4.2.3 Análisis comparativo de valores de temperatura máxima

Se han obtenido resultados gráficos comparativos a lo largo de la superficie de Navarra para la temperatura máxima en todas las celdas de cada modelo analizado que se extienden a lo largo de la superficie de Navarra, así como un resultado conjunto para Navarra y en cada modelo, tal y como se refleja en las siguientes figuras:

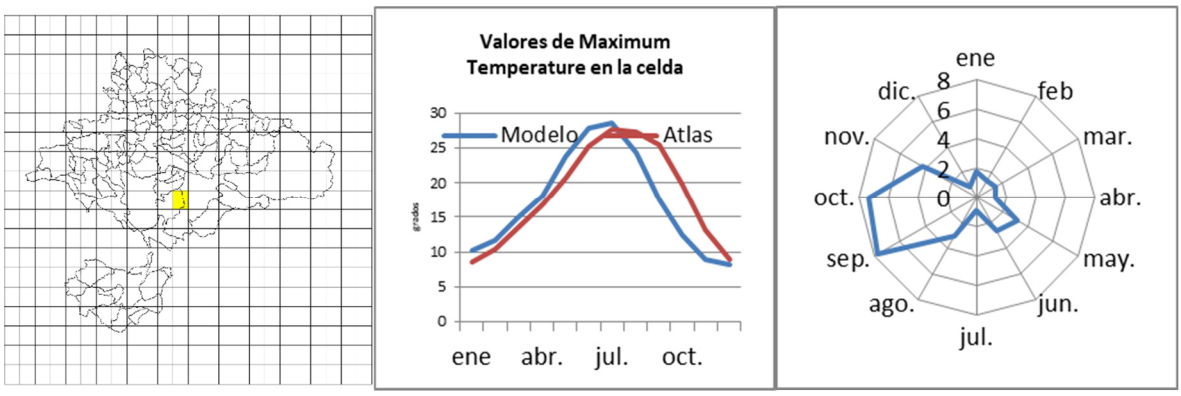


Figura 20.- Resultados gráficos comparativos de la temperatura máxima media en una celda de un modelo

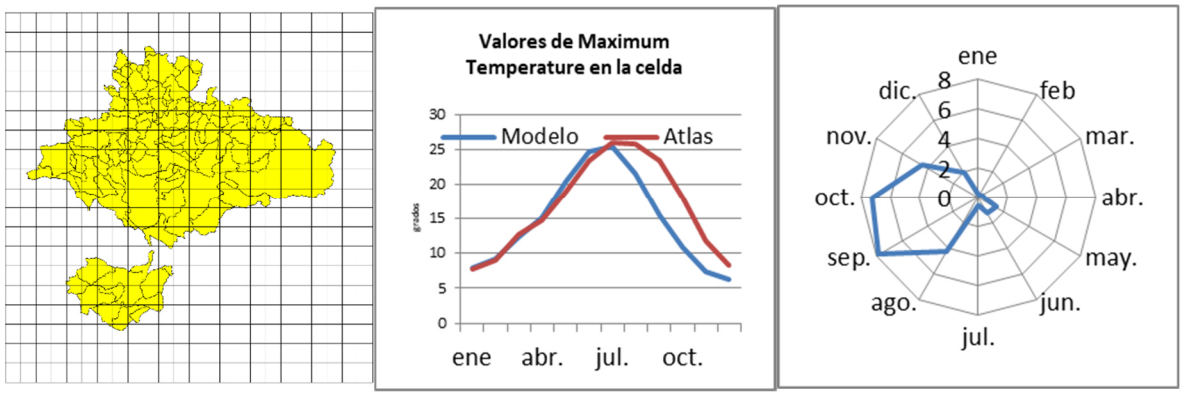


Figura 21.- Resultados gráficos comparativos de la temperatura máxima media en Navarra de un modelo

Dichos valores numéricos comprenden el valor de la temperatura máxima media anual en Navarra, calculada tanto a partir de los datos del correspondiente modelo de cambio climático como a partir de los mapas del Atlas, así como en la diferencia media mensual absoluta calculada tanto para el gráfico total como a partir de los gráficos de las distintas celdas del modelo, ponderando en este caso los resultados en función de la superficie conjunta celda del modelo/superficie. Por último, los coeficientes de correlación obtenidos entre las series mensuales de precipitación entre modelo y Atlas, trabajando únicamente con las series totales,

así como a través del conjunto de celdas correspondientes, igualmente en este último caso ponderando las diferentes superficies conjuntas.

En el cuadro adjunto se resumen los valores numéricos correspondientes a cada modelo

Tabla 20.- Resultados comparativos numéricos de temperatura máxima correspondientes al conjunto de modelos

Modelo	Temperatura máxima media según modelo (º C)	Temperatura máxima media según Atlas (º C)	Diferencia media mensual absoluta conjunta (º C)	Coeficiente de correlación mensual conjunto	Diferencia media mensual absoluta ponderada, por celdas (º C)	Coeficiente de correlación mensual ponderado, por celdas
SMHI-RCA4.MOHC-HadGEM2-ES	15,005	16,642	2,988	0,972	3,381	0,969
SMHI-RCA4.IPSL-IPSL-CM5A-MR	14,709	16,642	2,504	0,980	3,103	0,976
KNMI-RACMO22E.MOHC-HadGEM2-ES	14,543	16,642	3,359	0,967	3,668	0,964
CLMcom-CCLM4-8-17.MPI-M-MPI-ESM-LR	14,109	16,642	4,004	0,954	4,194	0,952
CLMcom-CCLM4-8-17.MOHC-HadGEM2-ES	14,197	16,642	3,452	0,963	3,696	0,961
CLMcom-CCLM4-8-17.ICHEC-EC-EARTH	13,037	16,642	3,640	0,970	3,881	0,967

Como se deduce de la tabla anterior, todos los modelos estiman la temperatura máxima por debajo de los datos observados. El modelo que estima una temperatura máxima parecida a la del Atlas Climático es el modelo HadGEM2-ES de la Institución SMHI –15,005°C del modelo, frente a 16,642°C del Atlas—y el más alejado es el modelo EC-EARTH de la Institución CLMcom –13,037°C--. En lo que se refiere a la diferencia media mensual absoluta conjunta, el modelo más ajustado es CM5A-MR de la Institución SMHI y en el caso de la diferencia media mensual absoluta ponderada por celda es el mismo modelo. Los valores de los coeficientes de correlación mensual tienen valores por encima del 0,95 para todos los valoras y tanto el valor conjunto como el ponderado por celda.

Por lo tanto, los tres modelos para temperatura máxima que tienen la menor diferencia para el valor medio y tienen los coeficientes minoradores y de correlación más elevados son

- CO1. HadGEM2-ES de la Institución SMHI.
- CO2. CM5A-MR de la Institución SMHI.
- CO3. HadGEM2-ES de la Institución KNMI.

4.2.4 Análisis comparativo de valores de temperatura mínima

Al igual que para las variables precedentes (precipitación, temperatura media y temperatura máxima), se han obtenido para la temperatura mínima resultados gráficos comparativos en todas las celdas de cada modelo analizado que se extienden a lo largo de la superficie de

Navarra, así como un resultado conjunto para Navarra y en cada modelo, tal y como se refleja en las siguientes figuras:

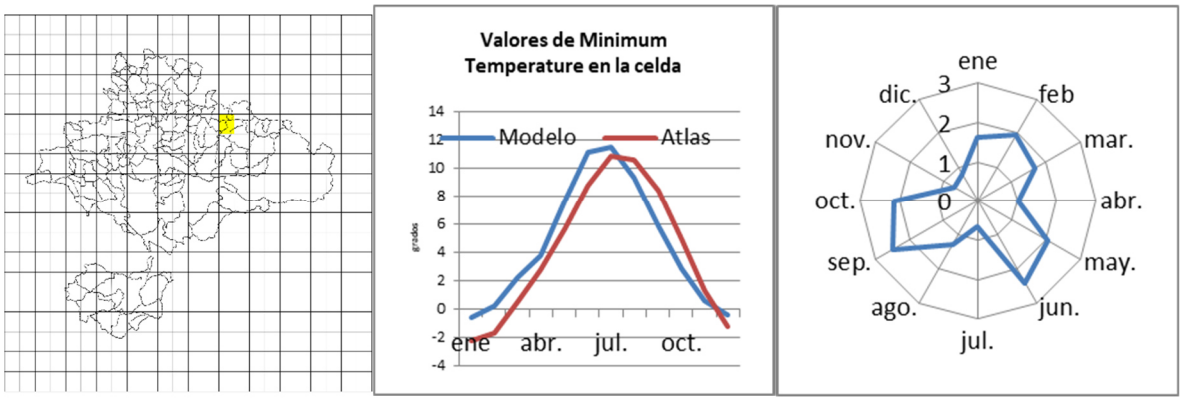


Figura 22.- Resultados gráficos comparativos de temperatura mínima en una celda de un modelo

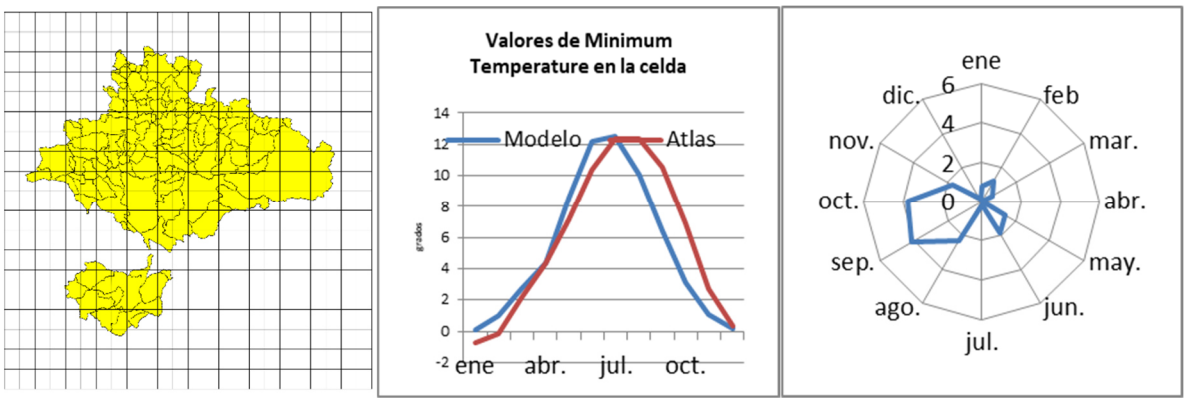


Figura 23.- Resultados gráficos comparativos de temperatura mínima en Navarra de un modelo

En el cuadro adjunto se resumen los valores numéricos correspondientes a cada modelo

Tabla 21.- Resultados comparativos numéricos de temperatura mínima correspondientes al conjunto de modelos

Modelo	Temperatura mínima media según modelo (º C)	Temperatura mínima media según Atlas (º C)	Diferencia media mensual absoluta conjunta (º C)	Coeficiente de correlación mensual conjunto	Diferencia media mensual absoluta ponderada, por celdas (º C)	Coeficiente de correlación mensual ponderado, por celdas
SMHI-RCA4.MOHC-HadGEM2-ES	5,745	5,690	2,119	0,939	2,273	0,930
SMHI-RCA4.IPSL-IPSL-CM5A-MR	5,189	5,690	1,513	0,961	1,794	0,950
KNMI-RACMO22E.MOHC-HadGEM2-ES	4,551	5,690	2,531	0,904	2,711	0,892
CLMcom-CCLM4-8-17.MPI-M-MPI-ESM-LR	6,289	5,690	1,996	0,951	2,088	0,946
CLMcom-CCLM4-8-17.MOHC-HadGEM2-ES	6,357	5,690	2,417	0,933	2,473	0,928
CLMcom-CCLM4-8-17.ICHEC-EC-EARTH	5,278	5,690	1,924	0,950	2,017	0,942

Del cuadro anterior se deduce que el modelo que estima la temperatura mínima más parecida a la del Atlas Climático es el modelo HadGEM2-ES de la Institución SMHI –5,745°C del modelo, frente a 5,690°C del Atlas—y el modelo más alejado es el HadGEM2-ES de la Institución KNMI con un valor de 4,551°. En lo que se refiere a la diferencia media mensual absoluta conjunta, el modelo más ajustado es el CM5A-MR de la Institución SMHI con un valor 1,513°C de diferencia y el más desajustado vuelve a ser el modelo HadGEM2-ES de la Institución KNMI con un valor de 2,531°C.

Por lo tanto, los tres modelos para temperatura mínimo que tienen la menor diferencia para el valor medio y tienen los coeficientes minoradores y de correlación más elevados son

- CO1. HadGEM2-ES de la Institución SMHI.
- CO2. CM5A-MR de la Institución SMHI.
- CO6. EC-EARTH de la Institución CLMcom.

4.3 Selección de los modelos CORDEX

Con el objeto de seleccionar los tres modelos CORDEX que se utilizarán en la siguiente fase, se ha completado el análisis anterior con la comparativa de las series climáticas de los modelos CORDEX y series observadas en 5 cuencas de estudio. Los resultados de dicho análisis de detallan en el Apéndice 8.1. Finalmente, la selección se ha llevado a cabo teniendo en cuenta los resultados del apartado anterior, Apartado 4.2 y del Apéndice 8.1. En la Tabla 22 se muestran los modelos que mejor se adaptan a las condiciones climáticas de Navarra, tanto a nivel de toda la región como a nivel de cuenca completa (en sombreado azul):

Tabla 22.- Tabla resumen de modelos

ID	NAVARRA				CUENCAS																			
					Bidasoa				Iranzu				Arga				Aragón				Alhama			
	PRT	TMD	TMM	TMN	PRT	TMD	TMM	TMN	PRT	TMD	TMM	TMN	PRT	TMD	TMM	TMN	PRT	TMD	TMM	TMN	PRT	TMD	TMM	TMN
C01	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		■	■	■	■	■	■	■
C02	■	■	■	■		■	■		■	■	■	■	■	■	■			■	■			■	■	
C03	■		■		■		■				■		■		■		■		■				■	
C04		■			■			■				■		■		■				■				■
C05						■		■	■	■						■	■	■		■	■	■		■
C06				■													■				■			

Por lo tanto, los modelos que más se adecúan a todos los casos, tanto al territorio completo de Navarra como a la subdivisión en cuencas, y a todas las variables por igual, serían:

- C01. HadGEM2-ES de la Institución SMHI.
- C02. CM5A-MR de la Institución SMHI.
- C03. HadGEM2-ES de la Institución KNMI.

5 Valoración del sesgo

Por ahora lo que se ha realizado es lo siguiente, primero se han descargado los datos de los modelos climáticos puntuales y de rejilla. A continuación, se ha realizado una comparativa entre los modelos puntuales y los datos observados en estaciones para ver si dichos modelos presentaban alguna anomalía o comportamiento extraño para poder descartarlo del estudio. Posteriormente, se ha generado un Atlas Climático con los datos observados del BDH en la misma rejilla de los modelos CORDEX para realizar una comparación de cada modelo con el clima real y poder estimar de forma adecuada la capacidad de ajuste con las condiciones climáticas. De esta forma se han seleccionado tres modelos CORDEX.

Todas estas series numéricas se han incluido en el BDH –los 6 modelos puntuales del CEDEX y los 3 modelos seleccionados CORDEX- con sus respectivos forzamientos radiativos, lo que supone un total de 18 proyecciones. A continuación, se han hecho acumulaciones en las 129 cuencas de estudio para tener todos los datos en el mismo formato y poder continuar con el trabajo.

Por último, en este apartado, se ha realizado un contraste de las series de las proyecciones de los modelos comparándolas con las series observadas en las mismas cuencas para el periodo de control. Hay que tener presente que los valores del periodo de control son los mismos para el forzamiento radiativo RCP4.5 y RCP8.5, pero para poder diferenciar las series en las gráficas o los datos incluidos en el BDH se ha denominado a la proyección RCP4.5 como B y a la proyección RCP8.5 como C. Se ha generado la notación "CCCC-FMMM" donde "CCCC" es la cuenca, "F" el forzamiento radiativo y "MMM" el modelo -los identificadores de los modelos están en las tablas Tabla 1 y Tabla 3-. Unos ejemplos de esta notación para que resulte más claro son los siguientes:

- 2000A-BC01: es la serie temporal del modelo CORDEX C01, para su forzamiento radiativo RCP4.5 en la cuenca 2000A.
- 4400C-CP02: es la serie temporal del modelo puntual P02, para su forzamiento radiativo RCP8.5 en la cuenca 4400C.

Por la gran cantidad de datos y debido a las limitaciones de almacenaje que supone el uso Access del BDH se han tenido que generar 9 bases distintas, una por modelo, denominadas como "Navarra_07-XXX", donde "XXX" es el identificador del modelo –P01, P02, P03, P04, P05, P06, C01, C02, C03-.

El objetivo de realizar el contraste es analizar el desajuste de las series de los modelos y valorar su repercusión en la incertidumbre de los resultados. En este apartado se ha realizado el estudio para precipitación y temperatura media porque son las series necesarias para la posterior modelización hidrológica que se realiza con el modelo Sacramento. Además se han

incluido dos apéndices, Apéndice 8.2 y Apéndice 8.3, donde también se realiza una valoración del sesgo para la temperatura máxima y la temperatura mínima para valores medios mensuales en el periodo de control de 1970 a 2000.

5.1 Precipitación

En la Figura 24 se muestra el resultado del contraste de precipitación durante el periodo de control. Hay que tener en cuenta que los valores de dicha figura se han obtenido promediando los valores de precipitación de los modelos y observados en las 129 cuencas de estudio. Asimismo, se representa en el gráfico la serie correspondiente al promedio de todas las proyecciones climáticas seleccionadas, que como se puede observar, presenta un mayor ajuste con respecto a la serie observada que el obtenido con las proyecciones individuales.

La proyección climática C01 ajusta perfectamente la precipitación media observada, las proyecciones P01, P02, P04 y P05 sobrevaloran el valor medio en un 21%, 8%, 22% y 18% respectivamente, mientras que P03, P06, C02 y C03 infravaloran el valor medio en un 9%, 5%, 13% y un 7%.

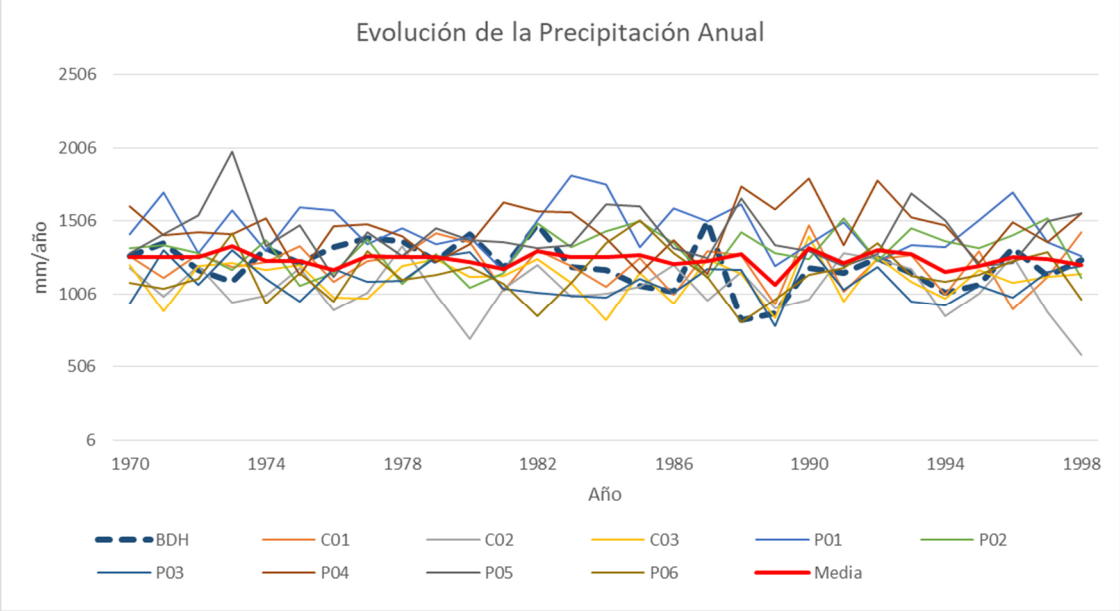


Figura 24.- Evolución de la precipitación media anual para el periodo de control de los datos observados y los modelos

Tabla 23.- Tabla de estadísticos de las series de precipitación media anual para los datos observados y de los modelos.

ID	Media	Desviación Típica	Máximo	Mínimo	p-valor Mann-Kendall
BDH	1200	161,85	1504,68	823,42	0,038
P01	1448,86	170,53	1820,68	1163,34	0,47
P02	1293,97	149,83	1524,18	1041,3	0,41
P03	1091,03	132,24	1326,20	779,82	0,43
P04	1459,41	176,22	1793,77	1139,03	0,52
P05	1416,42	182,31	1982,25	1122,28	0,85
P06	1135,24	161,05	1508,09	810,88	0,66
C01	1204,76	150,74	1480,06	900,17	0,33
C02	1039,71	174,87	1330,98	588,53	0,39
C03	1110,54	137,18	1404,45	826,41	0,28

En relación a la estacionalidad, Figura 25, se pueden observar los valores medios mensuales de precipitación para el periodo histórico entre 1970 a 2000. Se pueden ver los datos observados reales representados por una línea azul discontinua, los modelos puntuales del CEDEX, los modelos de rejilla de CORDEX y la línea roja es la media de los modelos climatológicos.

El modelo P06 reproduce bien el ciclo anual; el resto de modelos puntuales –P01, P02, P03, P04 y P05- dan un exceso de precipitación para todo el año salvo para los meses de verano y los modelos CORDEX –C01, C02 y C03- dan datos inferiores a los datos observados.

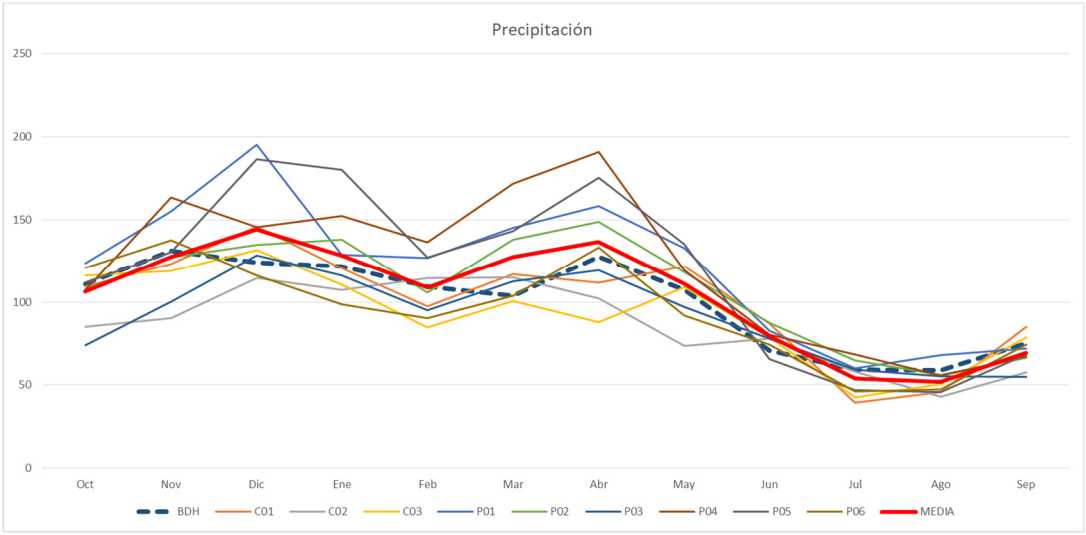


Figura 25.- Evolución media mensual para Navarra para los datos observados y valores de modelos de cambio climático.

Se han promediado los valores de precipitación de todos los modelos para el periodo de control -1970-2000- tanto a nivel mensual como el valor anual, Tabla 24, y se han calculado los errores medios relativos de los valores de los modelos con respecto a los datos observados que están almacenados en el BDH, Tabla 25. Se ve claramente la diferencia de ajuste entre modelos. Se puede observar la gran variación entre el sesgo de la precipitación simulada para cada uno de los modelos.

Tabla 24.- Tabla de valores de precipitación y acumulado anual en el periodo de control.

ID	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
BDH	110,94	131,39	124,04	121,77	109,22	127,64	103,63	107,35	70,78	59,19	59,04	75,32	1200,29
P01	123,89	155,03	195,09	128,91	126,95	158,28	145,25	132,91	82,66	59,91	67,91	72,07	1448,86
P02	107,95	127,27	134,68	138,08	105,67	148,88	138,09	118,02	87,52	64,99	56,31	66,52	1293,97
P03	74,11	100,36	128,50	116,05	95,20	119,40	112,76	97,04	78,04	59,26	55,47	54,85	1091,03
P04	107,55	163,43	145,76	152,51	136,34	190,97	171,95	119,49	80,20	68,33	55,57	67,32	1459,41
P05	111,70	130,44	186,58	180,27	127,11	175,27	143,09	135,19	65,75	46,89	45,88	68,24	1416,42
P06	120,83	137,81	115,97	98,80	90,29	133,30	103,94	92,07	74,21	46,05	47,52	74,44	1135,24
C01	109,53	123,26	145,77	120,65	97,61	111,94	116,78	121,74	87,31	39,35	45,83	84,99	1204,76
C02	85,17	90,43	114,41	107,43	114,60	102,07	115,09	73,62	77,96	58,05	43,13	57,74	1039,71
C03	116,16	119,00	131,67	110,53	84,75	88,04	100,55	108,96	78,97	42,49	50,48	78,95	1110,54

Tabla 25.- Tabla de errores medios relativos para precipitación

ID	Oct.	Nov.	Dic.	Ene	Feb	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Total Año
P01	12%	18%	57%	6%	16%	24%	40%	24%	17%	1%	15%	-4%	21%
P02	-3%	-3%	9%	13%	-3%	17%	33%	10%	24%	10%	-5%	-12%	8%
P03	-33%	-24%	4%	-5%	-13%	-6%	9%	-10%	10%	0%	-6%	-27%	-9%
P04	-3%	24%	18%	25%	25%	50%	66%	11%	13%	15%	-6%	-11%	22%
P05	1%	-1%	50%	48%	16%	37%	38%	26%	-7%	-21%	-22%	-9%	18%
P06	9%	5%	-7%	-19%	-17%	4%	0%	-14%	5%	-22%	-20%	-1%	-5%
C01	-1%	-6%	18%	-1%	-11%	-12%	13%	13%	23%	-34%	-22%	13%	0%
C02	-23%	-31%	-8%	-12%	5%	-20%	11%	-31%	10%	-2%	-27%	-23%	-13%
C03	5%	-9%	6%	-9%	-22%	-31%	-3%	1%	12%	-28%	-15%	5%	-7%

En la siguiente imagen, Figura 26, se puede observar las desviaciones de los modelos con respecto a los datos observados para la precipitación media mensual entre 1970 y 2000, se aprecia la dispersión de los modelos con respecto a los datos observados almacenados en el BDH. Se ven las desviaciones de los modelos respecto a la bisectriz, también se observa que los datos de los modelos CORDEX son inferiores a los datos observados, al contrario que los modelos puntuales que tienen valores superiores.

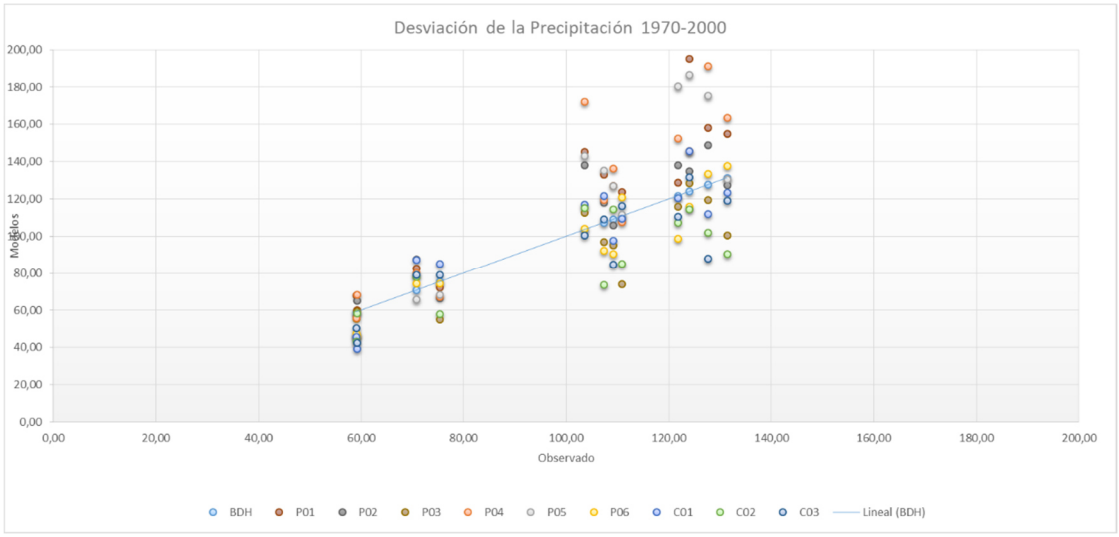


Figura 26.- Desviación de la precipitación media mensual de los modelos con respecto al valor real.

A continuación, en la se muestran los valores trimestrales de medias y desviaciones típicas para los datos observados y los nueve modelos climáticos, así como los porcentajes de errores medios relativos de estas. Considerando el conjunto de modelos, no hay ningún modelo que tenga un comportamiento mejor que otro, corroborando los resultados anteriores.

Tabla 26.- Comparativa de datos de precipitación estacional observados y modelos.

ID	Media (mm)				Desviación Típica (mm)			
	Oct a Dic	Ene a Mar	Abr a Jun	Jul a Sep	Oct a Dic	Ene a Mar	Abr a Jun	Jul a Sep
BDH	122,12	111,54	101,92	64,52	99,75	93,59	73,11	54,29
P01	158,01	133,70	124,61	66,63	117,03	97,97	98,93	40,34
	29%	20%	22%	3%	17%	5%	35%	-26%
P02	123,30	127,28	118,14	62,61	85,09	91,75	86,92	35,83
	1%	14%	16%	-3%	-15%	-2%	19%	-34%
P03	100,99	108,00	98,16	56,53	78,64	77,63	68,40	29,92
	-17%	-3%	-4%	-12%	-21%	-17%	-6%	-45%
P04	138,91	153,60	130,22	63,74	99,52	110,06	109,10	35,36
	14%	38%	28%	-1%	0%	18%	49%	-35%
P05	142,91	150,16	125,40	53,67	108,01	111,33	105,20	36,38
	17%	35%	23%	-17%	8%	19%	44%	-33%
P06	124,87	97,68	99,86	56,00	88,60	76,01	82,01	38,10
	2%	-12%	-2%	-13%	-11%	-19%	12%	-30%
C01	126,19	111,68	107,00	56,72	86,58	100,19	68,90	47,46
	3%	0%	5%	-12%	-13%	7%	-6%	-13%
C02	96,67	112,38	84,55	52,97	71,41	91,47	66,62	38,51
	-21%	1%	-17%	-18%	-28%	-2%	-9%	-29%
C03	122,28	98,74	91,99	57,31	88,58	90,25	61,44	48,65
	0%	-11%	-10%	-11%	-11%	-4%	-16%	-10%

Seguidamente se ha representado el sesgo espacial para los valores anuales de precipitación en las siguientes figuras – desde la Figura 27 a la Figura 35-. Se representa el error medio relativo, o diferencia porcentual de los valores de los modelos con los valores observados. Se ve que los modelos puntuales son más homogéneos en Navarra y que la variación de los errores medios relativos es menor, por el contrario, los datos CORDEX tienen más variaciones espaciales y tienen errores medios superiores al 100% respecto a los datos observados.

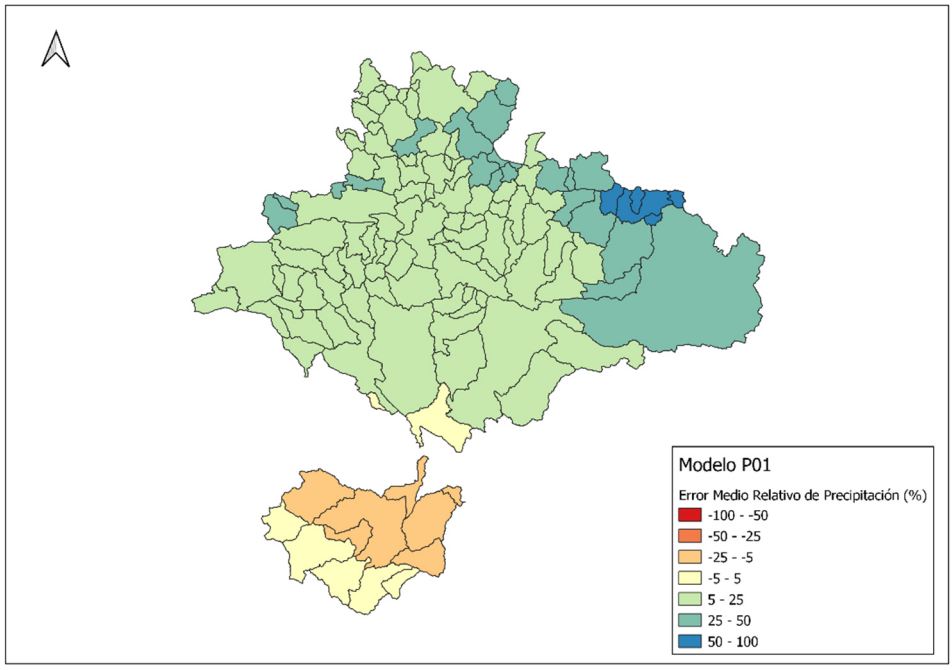


Figura 27.- Mapa con los errores medios relativos (%) del Modelo P01 con respecto de la precipitación anual observada.

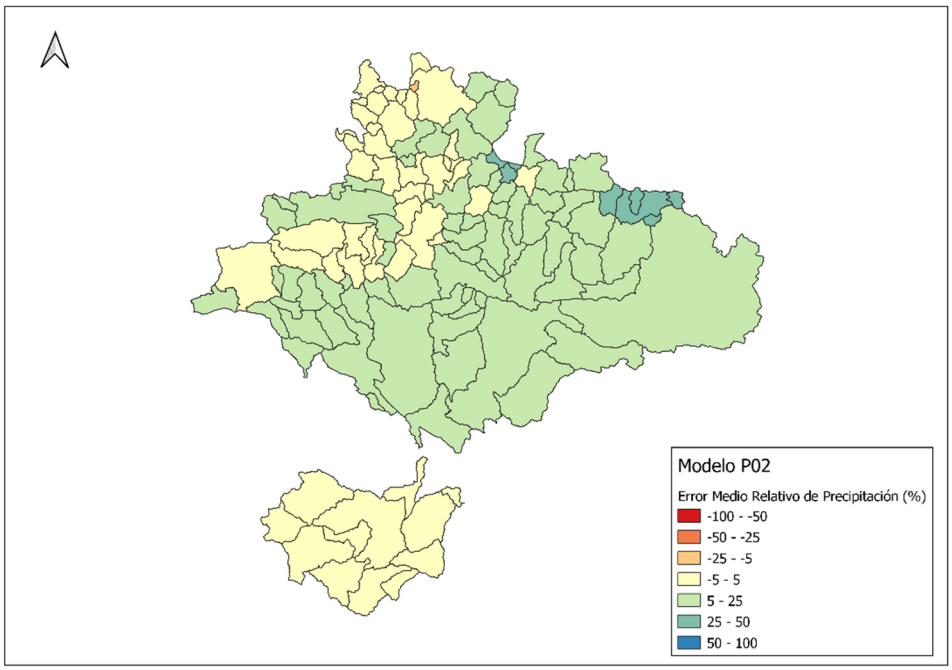


Figura 28.- Mapa con los errores medios relativos (%) del Modelo P02 con respecto de la precipitación anual observada.

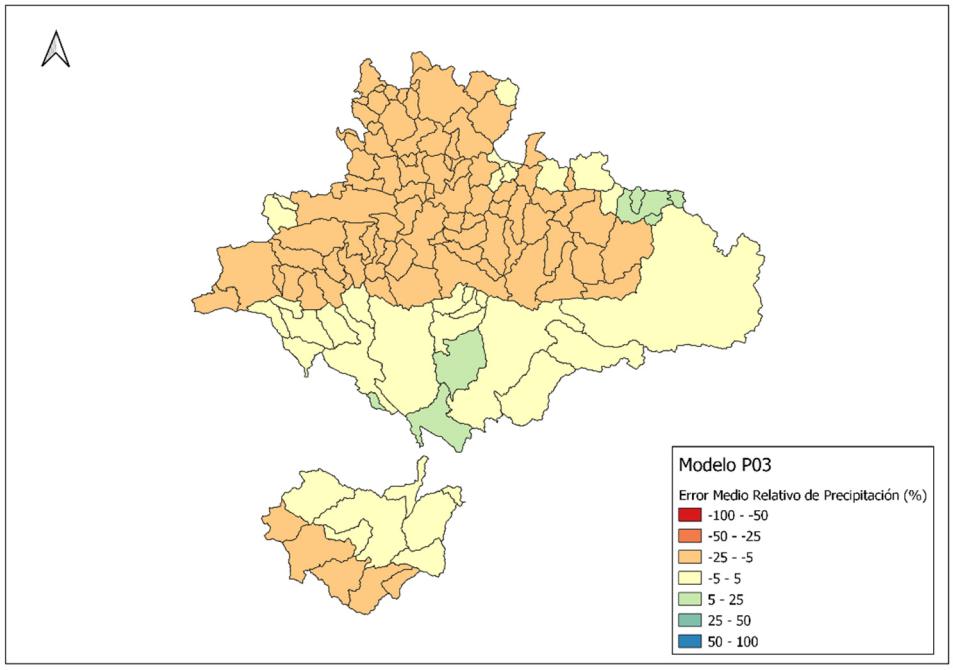


Figura 29.- Mapa con los errores medios relativos (%) del Modelo P03 con respecto de la precipitación anual observada.

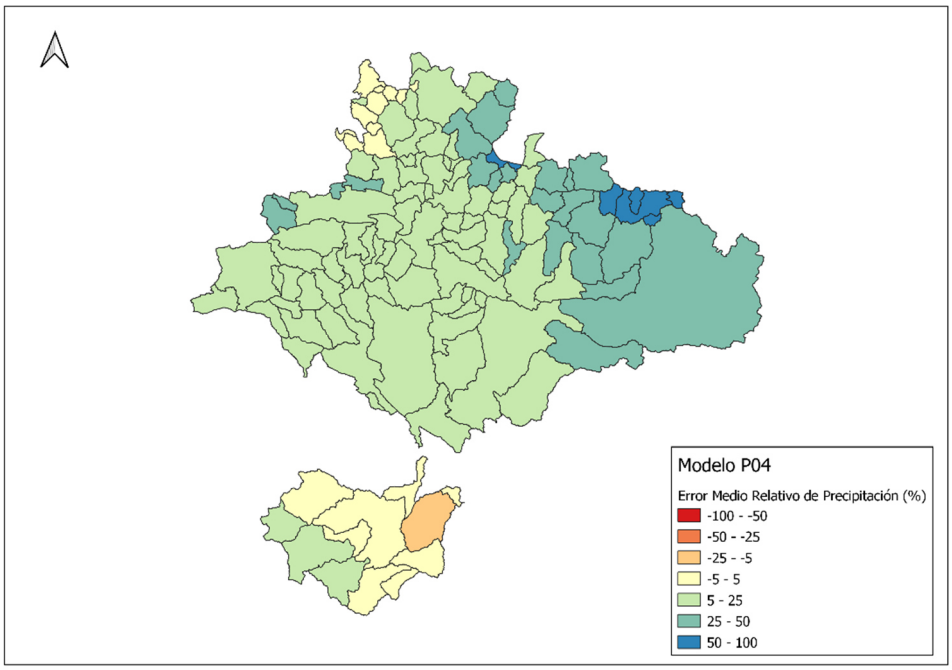


Figura 30.- Mapa con los errores medios relativos (%) del Modelo P04 con respecto de la precipitación anual observada.

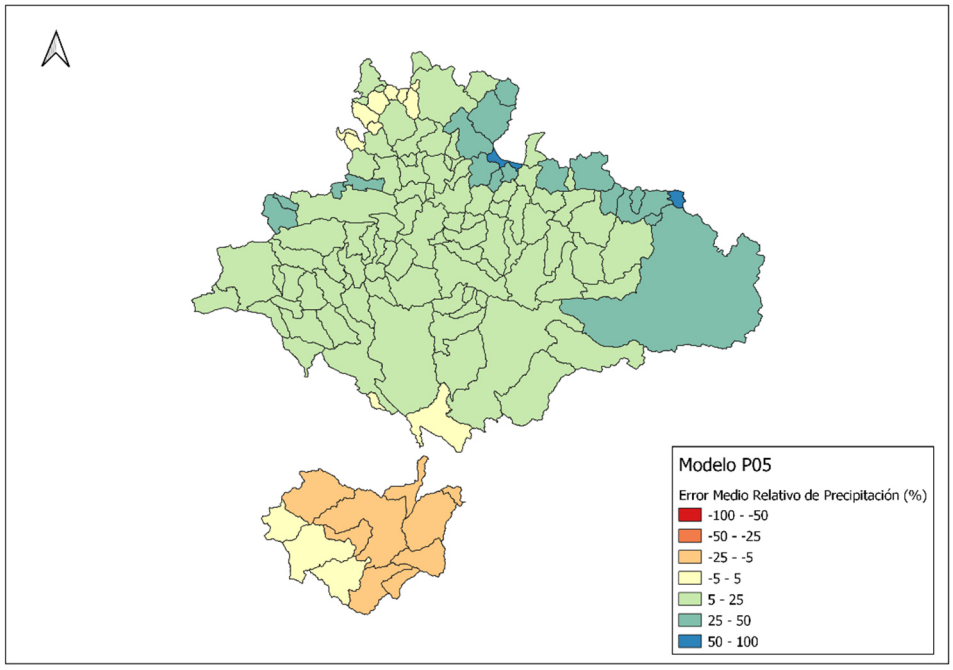


Figura 31.- Mapa con los errores medios relativos (%) del Modelo P05 con respecto de la precipitación anual observada.

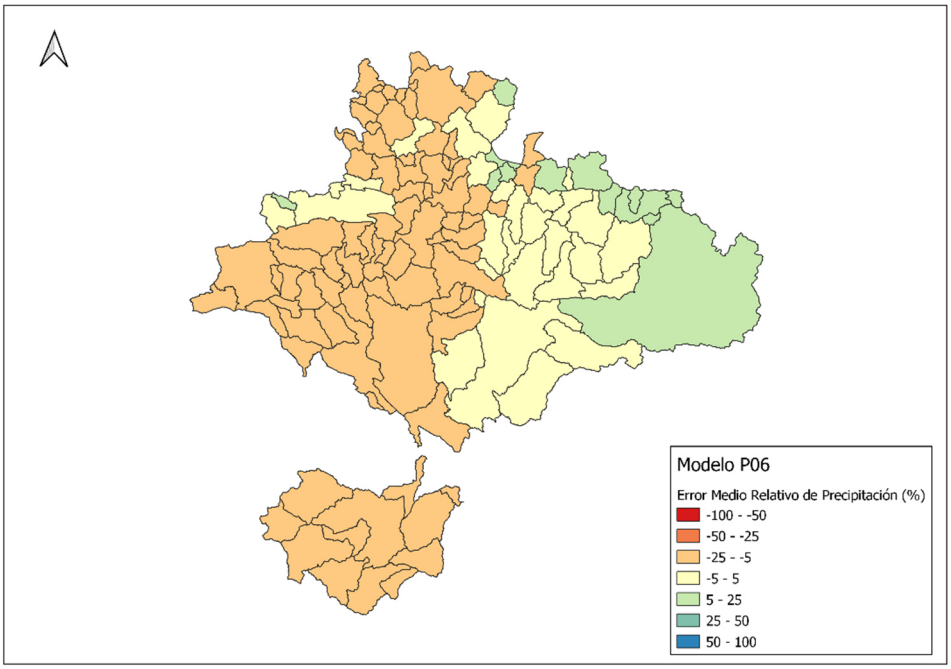


Figura 32.- Mapa con los errores medios relativos (%) del Modelo P06 con respecto de la precipitación anual observada.

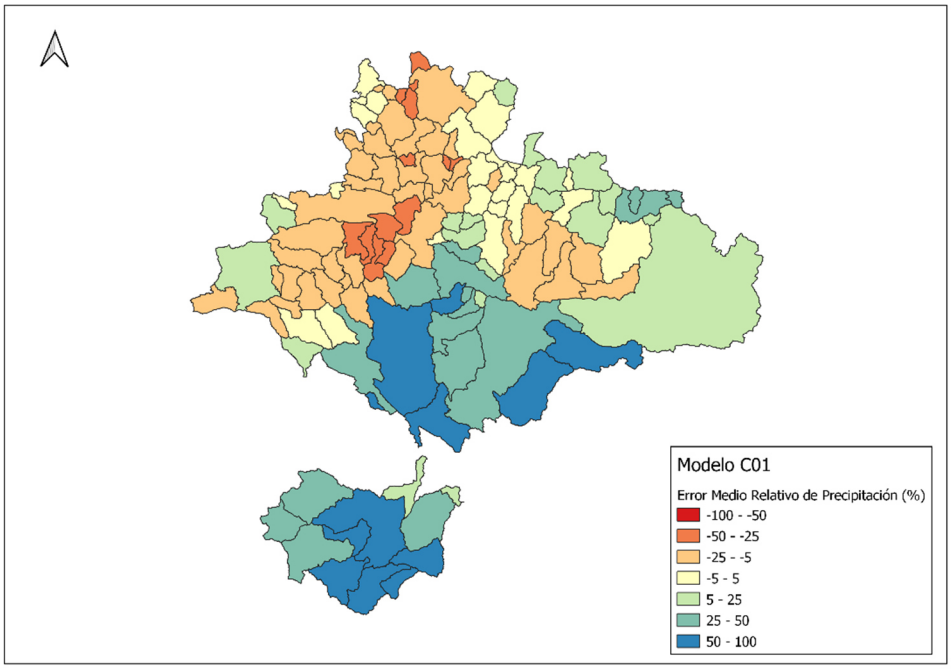


Figura 33.- Mapa con los errores medios relativos (%) del Modelo C01 con respecto de la precipitación anual observada.

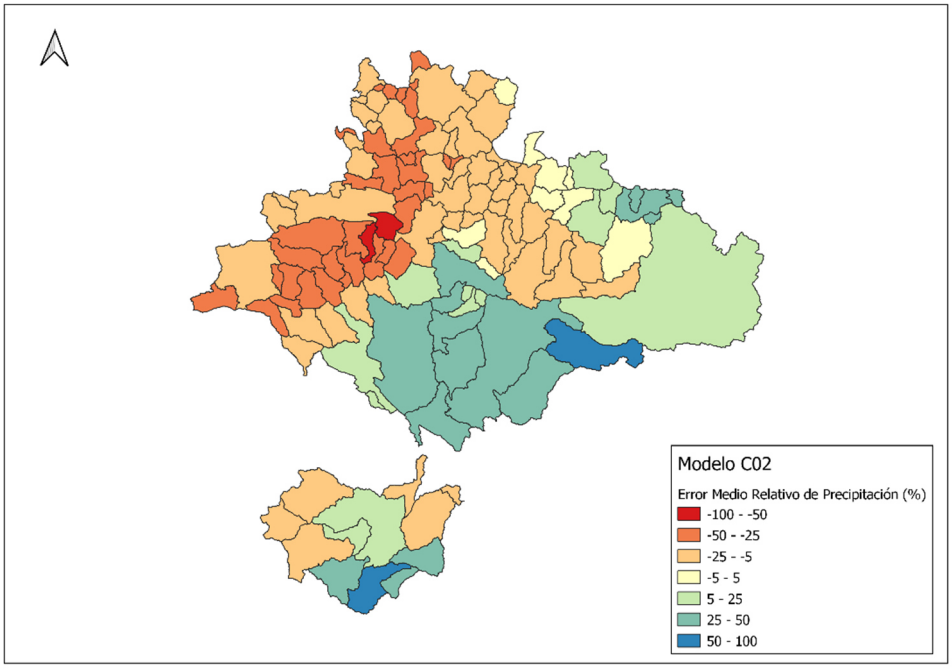


Figura 34.- Mapa con los errores medios relativos (%) del Modelo C02 con respecto de la precipitación anual observada.

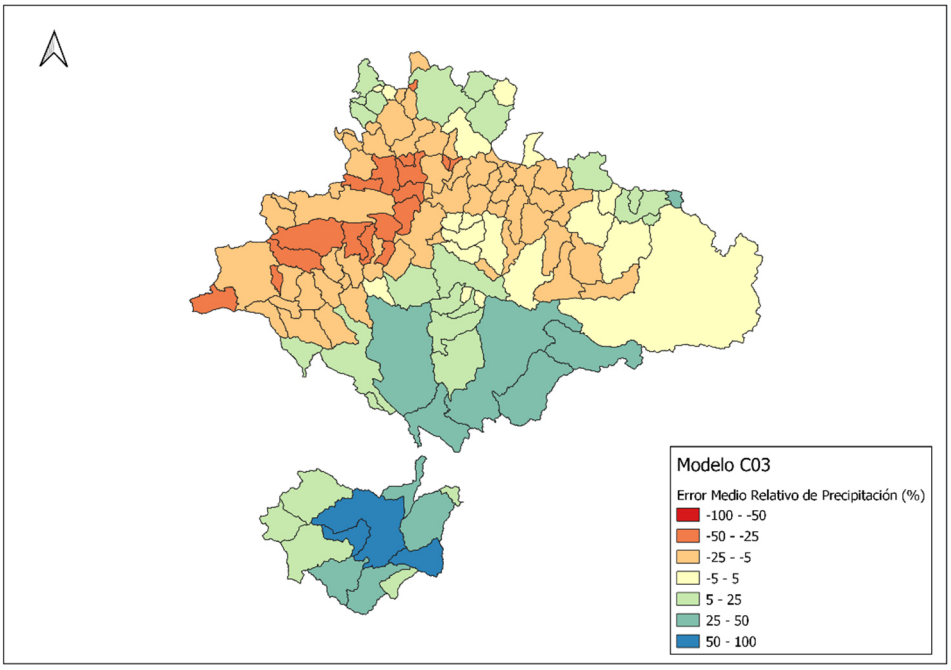


Figura 35.- Mapa con los errores medios relativos (%) del Modelo C03 con respecto de la precipitación anual observada.

Los cambios en la precipitación anual estimada durante el periodo 2010-2100 revelan una tendencia decreciente según el conjunto de los modelos para ambos forzamientos radiativos - -0,0009 para el forzamiento RCP4.5 y -0,0021 para el forzamiento RCP8.5, ver Figura 36. El rango de variabilidad entre modelos, que se muestra en la banda sombreada de gris indica la incertidumbre de los resultados que se hace patente en la anchura de la franja de cambios según los diferentes modelos. El promedio de cambios de los modelos da una tendencia decreciente para ambos forzamientos radiativos, aunque es mayor para el forzamiento RCP8.5 indicando un mayor descenso de precipitación. Estos resultados se verán más ampliados en la tercera fase del estudio, Documento 3 con título "Evolución de las aportaciones en base a los modelos de Cambio Climático".

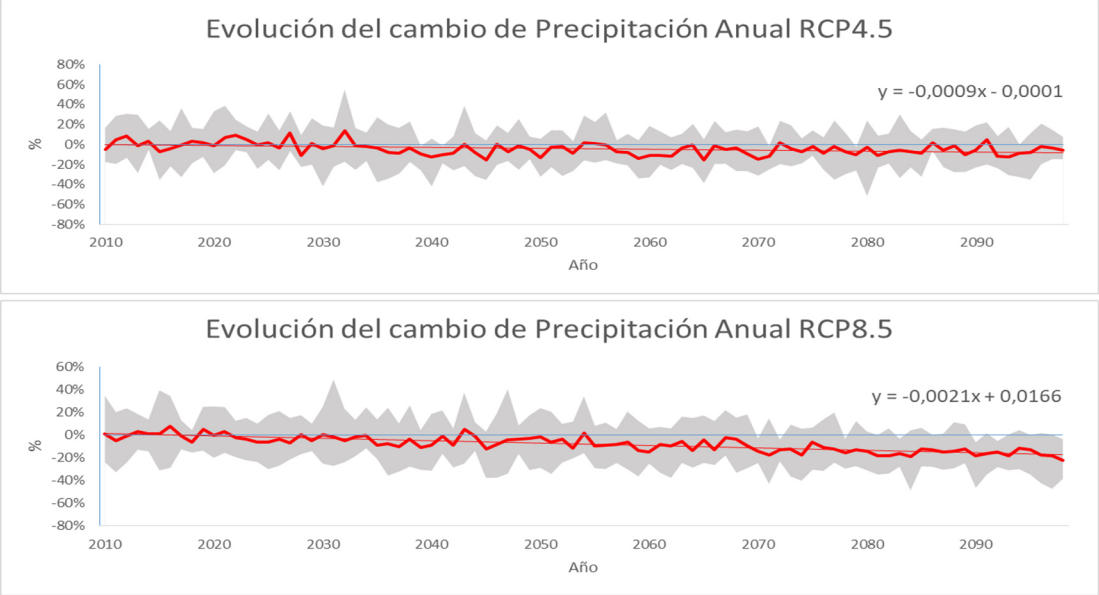


Figura 36.- Incremento de tendencia (%) de precipitación del año 2010 al 2099 para los RCP4.5 (arriba) y 8.5 (abajo). La banda gris indica el rango de resultados de los modelos, la línea gruesa roja su promedio y la recta delgada su pendiente.

Los cambios de precipitación para cada uno de los tres periodos futuros muestran en primer lugar las diferencias en los resultados de cada proyección con sus datos históricos- Tabla 27- . Así, por ejemplo, para el modelo P02 los rangos de cambios van entre 2,34% y 4,84% de disminución para el forzamiento RCP4.5. El modelo con más disminución es el P05 para su forzamiento radiativo RCP8.5 y el periodo 2071-2100 con un 23,46%. Promediando los resultados de los modelos, se estiman siempre descensos de precipitación cuanto más avanza el siglo y superiores en el forzamiento radiativo RCP8.5.

Tabla 27.e- Incremento de variabilidad (%) según cada modelo, proyección y periodo. Los colores reflejan la gradación del cambio.

Modelo	RCP45			RCP85		
	2011-2040	2041-2070	2071-2100	2011-2040	2041-2070	2071-2100
P01	-1,47%	-4,72%	-2,54%	0,19%	-7,17%	-14,96%
P02	-2,34%	-5,94%	-4,84%	-6,52%	-5,29%	-13,64%
P03	-2,37%	-8,26%	-6,63%	-5,74%	-6,90%	-10,45%
P04	-7,04%	-10,14%	-10,82%	-7,28%	-13,21%	-22,21%
P05	-4,96%	-10,47%	-8,37%	-6,73%	-12,24%	-23,46%
P06	4,53%	-4,35%	-3,35%	-0,40%	-1,89%	-6,27%
C01	7,46%	-4,26%	-4,58%	1,78%	-4,49%	-14,88%
C02	-9,76%	-9,44%	-11,30%	-6,72%	-9,94%	-19,82%
C03	10,73%	-1,70%	1,23%	8,55%	0,97%	-9,38%

Los cambios de variabilidad de precipitación anual en Navarra para cada periodo futuro se muestran de forma gráfica en la Figura 37 y se reproducen los descensos representados en la tabla anterior.

El análisis anterior realizado para todo el ámbito de estudio, se completa aplicando la misma metodología a nivel de cuenca, en los puntos estratégicos previamente descritos en el Documento 1 ("Análisis de la evolución de las series hidrometeorológicas observadas")

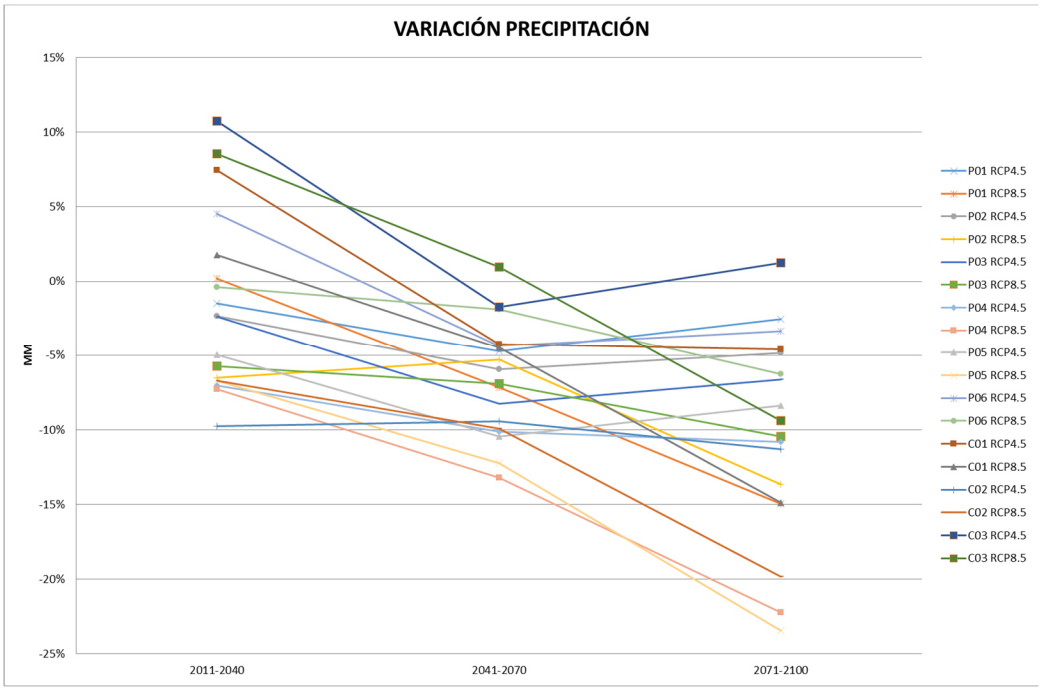


Figura 37.- Incremento de variabilidad (%) de precipitación anual en cada periodo. Estimación de cambio (%) de precipitación anual media para Navarra en los tres periodos futuros con respecto a 1970-2000.

Tabla 28.- Unidades de estudio

Punto	Código	Superficie de cuenca (km²)
Linares	2000A	74,1
Ega en Murieta	3100Q	75,92
Urederra	3200K	48,12
Ega	3300D	15,5
Arga en Eugui	4100H	68,91
Ultzama	4200C	31,36
Araquil en Asiain	4300C	64,34
Salado	4500C	51,21
Arga	4600C	622,3
Aragón en Yesa	5000B	1692,82
Salazar	5200K	137,24
Irati en embalse de Itoiz (con Urrobi)	5300K	91,37
Irati	5300M	202,53
Zidacos	5400E	227,65

Punto	Código	Superficie de cuenca (km²)
Aragón	5500F	734,78
Alhama	6000A	75,37
Queiles	7000B	21,12
Bidasoa en Endarlatza	9400K	237,96
Urumea en embalse de Añarbe	9520D	12,18

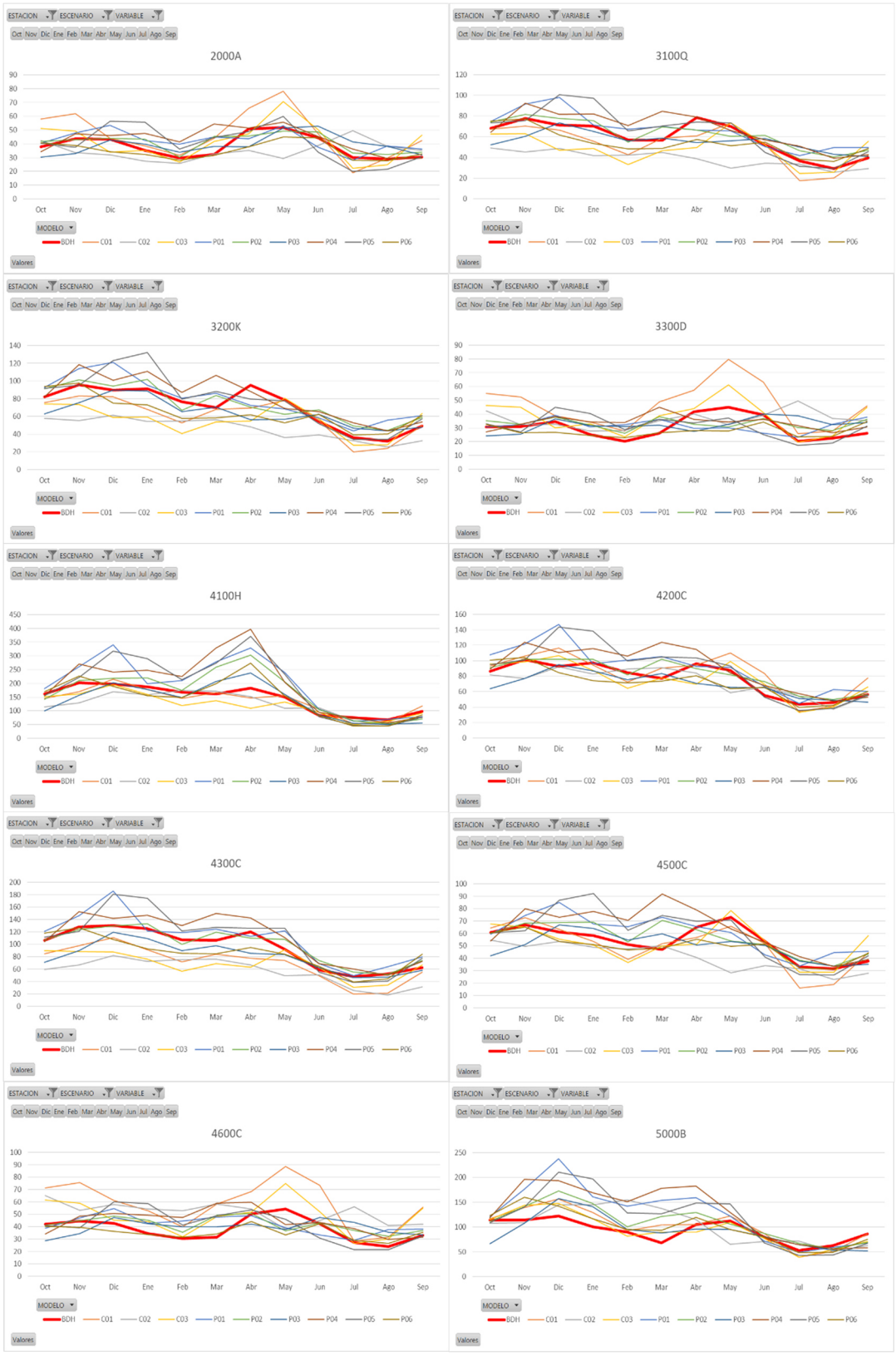
Se han promediado los valores de precipitaciones en varias unidades y se han calculado los errores medios de los valores simulados -Tabla 29 -. Se ve claramente que los modelos CORDEX tienen un mayor error relativo con respecto a los datos del BDH, que el producido por los modelos puntuales. No hay ningún modelo que infravalore o sobrevalores los datos de precipitación en todos los puntos de estudio. Así pues, este comportamiento reconoce la incertidumbre producida por los modelos de cambio climático.

Tabla 29.- Valores de precipitación anual observados y simulados durante el periodo de control. También se indica el error medio relativo.

Punto	Precipitación (mm/año)										Error Medio Relativo (%)								
	BDH	P01	P02	P03	P04	P05	P06	C01	C02	C03	P01	P02	P03	P04	P05	P06	C01	C02	C03
2000A	458,7	505,1	489,9	473,2	518,8	485,6	422,9	547,0	409,9	487,6	10%	7%	3%	13%	6%	-8%	19%	-11%	6%
3100Q	706,8	793,8	754,2	670,9	811,6	780,6	653,5	613,7	452,7	567,9	12%	7%	-5%	15%	10%	-8%	-13%	-36%	-20%
3200K	850,4	946,2	888,4	768,1	979,2	942,6	775,5	710,0	540,5	656,1	11%	4%	-10%	15%	11%	-9%	-17%	-36%	-23%
3300D	362,7	379,5	397,7	387,6	406,4	374,2	332,1	543,1	421,1	440,5	5%	10%	7%	12%	3%	-8%	50%	16%	21%
4100H	1733,1	2343,8	2017,6	1639,7	2365,3	2320,7	1778,6	1617,8	1441,3	1430,8	35%	16%	-5%	36%	34%	3%	-7%	-17%	-17%
4200C	923,7	1091,8	980,4	830,0	1094,3	1060,4	862,9	990,2	847,7	886,9	18%	6%	-10%	18%	15%	-7%	7%	-8%	-4%
4300C	1134,2	1308,0	1179,9	962,0	1330,9	1300,0	1029,4	818,5	658,7	797,1	15%	4%	-15%	17%	15%	-9%	-28%	-42%	-30%
4500C	639,4	715,8	672,2	601,4	755,5	715,5	590,4	585,8	478,6	610,6	12%	5%	-6%	18%	12%	-8%	-8%	-25%	-4%
4600C	457,2	499,4	501,0	473,3	534,5	494,8	427,6	688,5	602,8	566,3	9%	10%	4%	17%	8%	-6%	51%	32%	24%
5000B	1106,9	1517,3	1305,5	1100,8	1576,9	1422,3	1200,9	1203,0	1205,0	1110,0	37%	18%	-1%	42%	28%	8%	9%	9%	0%
5200K	898,0	1072,8	989,6	849,6	1129,5	1044,5	872,7	765,5	682,4	838,8	19%	10%	-5%	26%	16%	-3%	-15%	-24%	-7%
5300K	1194,3	1477,8	1294,0	1060,4	1492,8	1433,9	1155,0	1087,6	1000,5	970,0	24%	8%	-11%	25%	20%	-3%	-9%	-16%	-19%
5300M	783,5	927,4	862,1	742,7	981,9	909,3	755,2	705,3	622,8	786,2	18%	10%	-5%	25%	16%	-4%	-10%	-21%	0%
5400E	491,7	547,2	552,5	522,1	590,3	539,1	473,5	696,8	647,1	570,7	11%	12%	6%	20%	10%	-4%	42%	32%	16%
5500F	553,4	619,6	614,1	556,0	670,6	611,6	532,4	772,5	691,8	688,2	12%	11%	0%	21%	11%	-4%	40%	25%	24%
6000A	359,7	324,4	353,7	359,6	345,5	320,7	295,5	414,4	265,1	477,1	-10%	-2%	0%	-4%	-11%	-18%	15%	-26%	33%
7000B	378,0	350,5	383,2	388,7	375,3	347,7	322,2	450,5	318,7	405,9	-7%	1%	3%	-1%	-8%	-15%	19%	-16%	7%
9400K	1915,5	2208,5	1929,5	1631,7	2138,9	2133,1	1687,2	1669,9	1489,0	1969,1	15%	1%	-15%	12%	11%	-12%	-13%	-22%	3%
9520D	2343,7	2558,9	2237,3	1895,5	2465,8	2429,3	1945,6	1644,4	1446,3	1848,2	9%	-5%	-19%	5%	4%	-17%	-30%	-38%	-21%

Con relación a la estacionalidad, se vio en la Figura 25 que todos los modelos reproducen bien el ciclo anual, aunque dan un exceso de precipitación en los meses de invierno y lo reducen en los meses de verano. En las siguientes figuras se puede ver, igual que en la Figura 25, que

reproducen el ciclo anual sin ajustarlo a la perfección, tampoco se puede afirmar que exista un modelo que ajuste mejor en todos los puntos.


2000A
3100Q
3200K
3300D
4100H
4200C
4300C
4500C
4600C
5000B
ESTACION
ESCENARIO
VARIABLE
MODELO
BDH
C01
C02
C03
P01
P02
P03
P04
P05
P06
Valores

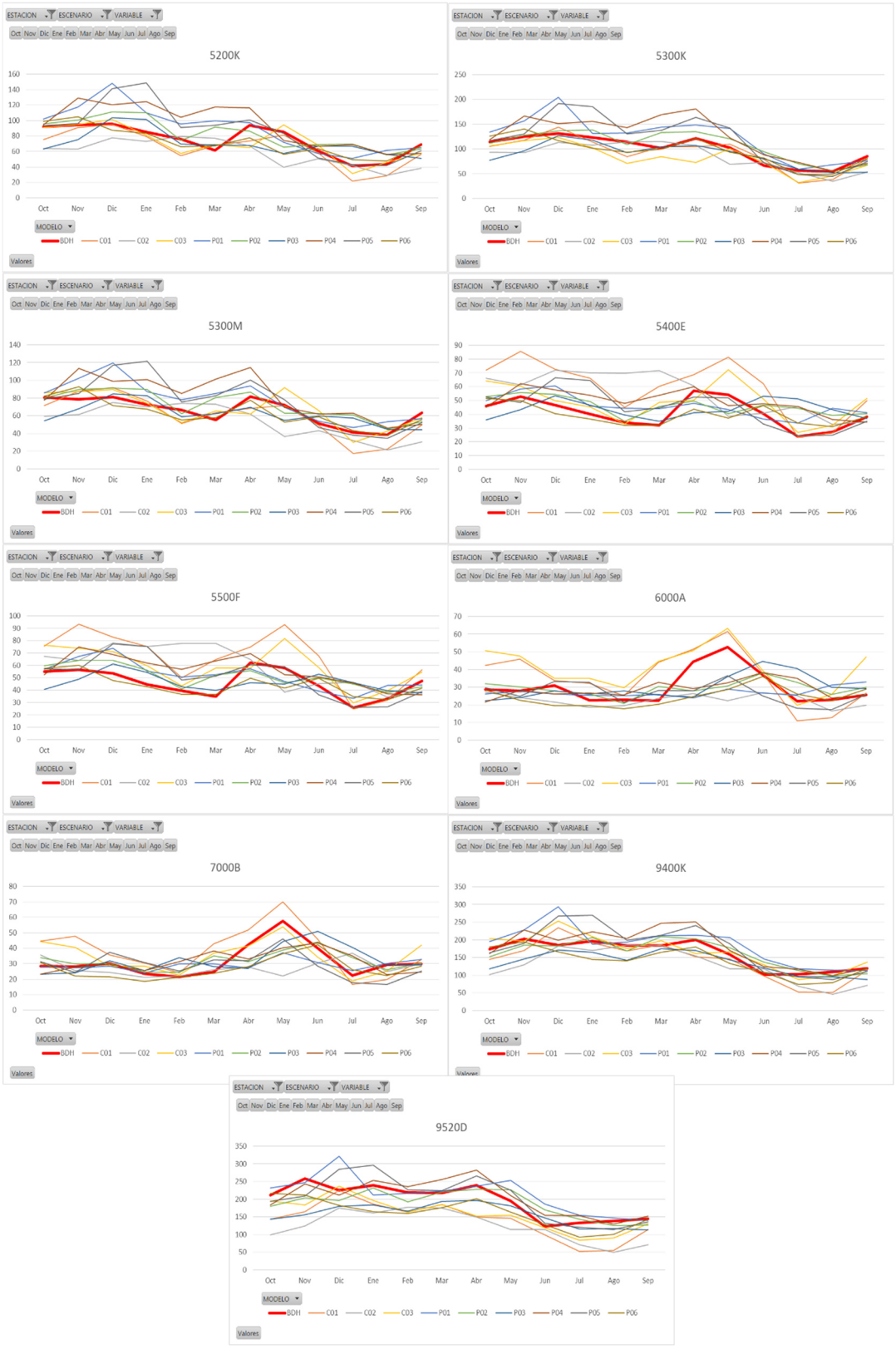

5200K
5300K
5300M
5400E
5500F
6000A
7000B
9400K
9520D
ESTACION
ESCENARIO
VARIABLE
MODELO
BDH
C01
C02
C03
P01
P02
P03
P04
P05
P06
Valores

Figura 38.- Evolución de precipitación media mensual para los puntos de control para los datos observados y valores de modelos de cambio climático.

5.2 Temperatura Media

En la Figura 39 se muestra el resultado del contraste de temperatura media durante el periodo de control, se han obtenido promediando los valores de temperatura media de los modelos y datos observados en las 129 cuencas de estudio. Se puede ver que los modelos infravaloran la temperatura media anual, desde 0,95°C para el modelo P01 a 2,06°C para el modelo P06, y ajustan la variabilidad. Además, todos los modelos salvo P03, P06 y C02 reproducen la tendencia positiva, como se puede observar en el p-valor del test de Mann-Kendall que tienen valores del 91%, 72% y 22% respectivamente.

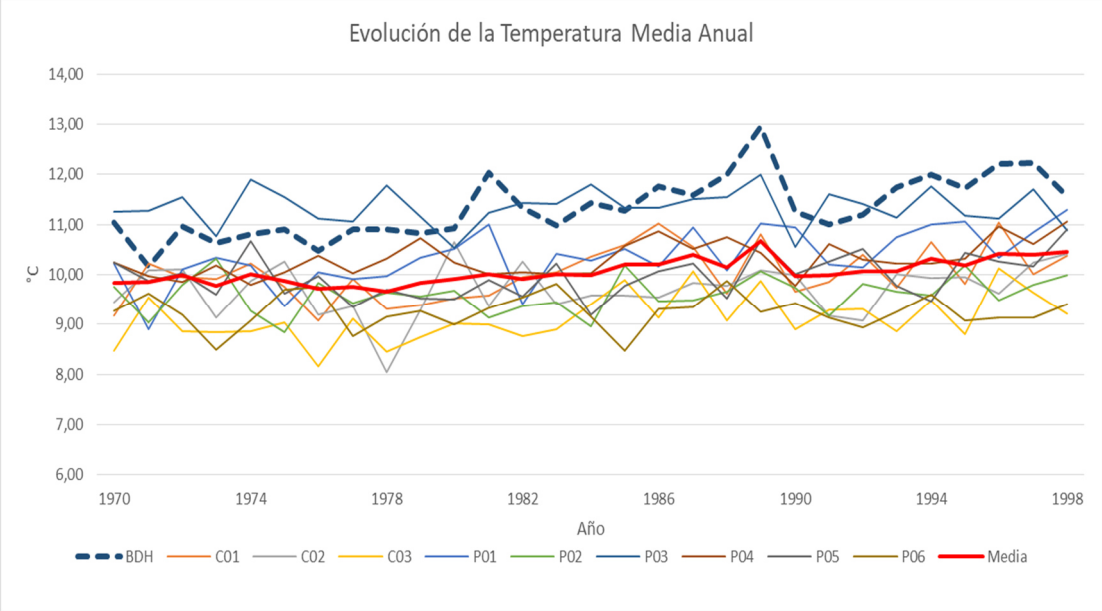


Figura 39.- Evolución de la temperatura media anual para el periodo de control de los datos observados y los modelos

Tabla 30.- Tabla de estadísticos de las series de temperatura media anual para los datos observados y de los modelos.

ID	Media	Desviación Típica	Máximo	Mínimo	p-valor Mann-Kendall
BDH	11,34	0,61	12,95	10,17	0,000024
P01	10,39	0,57	11,30	8,90	0,00027
P02	9,62	0,38	10,31	8,85	0,06
P03	11,34	0,37	11,99	10,54	0,91
P04	10,31	0,34	11,06	9,77	0,015
P05	9,99	0,44	10,91	9,19	0,054
P06	9,28	0,35	9,86	8,46	0,72
C01	10,03	0,29	10,68	9,16	0,07
C02	9,90	0,81	11,03	6,61	0,22
C03	9,70	0,52	10,65	8,04	0,049

En relación a la estacionalidad, Figura 40, los modelos reproducen razonablemente bien el ciclo estacional observado para el conjunto de Navarra en el periodo entre 1970 a 2000. Se representan los datos observados reales por una línea azul discontinua, los modelos puntuales del CEDEX, los modelos de rejilla de CORDEX y la línea roja es la media de los modelos climatológicos. El ajuste es peor en verano ya que todos los modelos tienen una diferencia mayor respecto a los datos observados. El modelo C03 es el que peor ajusta ya que infravalora hasta casi 4º en los meses de Septiembre y Octubre.

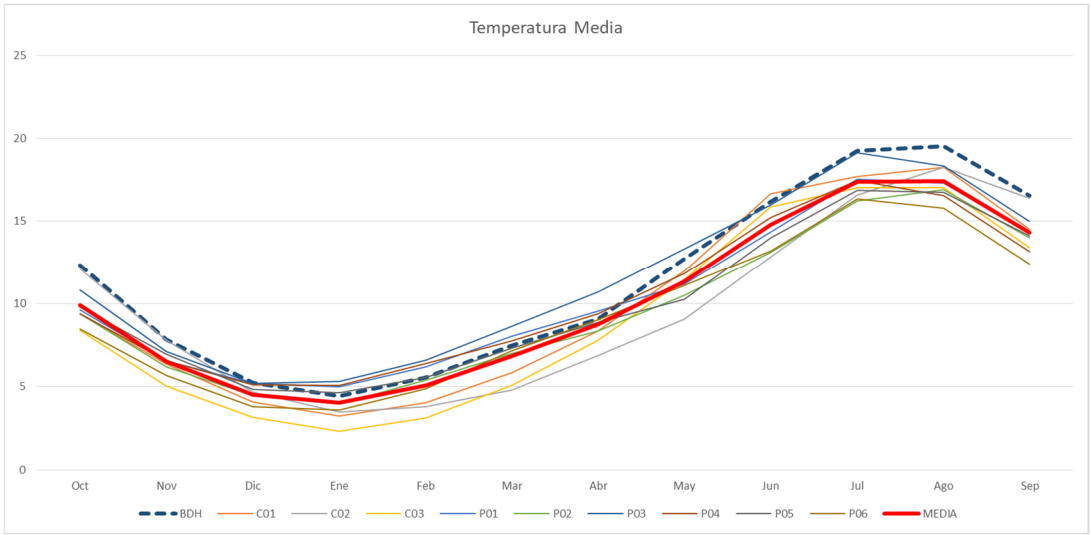


Figura 40.- Evolución de temperatura media mensual para Navarra para los datos observados y valores de modelos de cambio climático.

Se han promediado los valores de temperatura media de todos los modelos para el periodo de control -1970-2000- tanto a nivel mensual como el valor completo, Tabla 31, y se han calculado los errores medios relativos de los valores de los modelos,

Tabla 32. Se ve claramente la diferencia de ajuste entre modelos. Se puede observar la gran variación entre el sesgo de la temperatura media simulada para cada uno de los modelos, por ejemplo el modelo C01 tiene poca diferencia en su valor total pero tiene oscilaciones en los valores mensuales.

Tabla 31.- Tabla de valores de temperatura media mensual anual en el periodo de control.

ID	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Promedio
BDH	12,34	7,81	5,24	4,45	5,53	7,47	9,06	12,72	16,17	19,25	19,52	16,52	11,34
P01	9,59	6,54	5,19	4,98	6,19	8,01	9,54	11,15	14,34	17,53	17,28	14,30	10,39
P02	9,36	6,19	4,48	3,97	5,40	7,00	8,35	10,48	13,12	16,24	16,88	13,97	9,62
P03	10,82	7,10	5,19	5,32	6,58	8,60	10,67	13,30	15,98	19,13	18,32	15,01	11,34
P04	9,38	6,56	5,10	5,08	6,39	7,75	9,37	11,79	15,22	17,44	16,53	13,17	10,31
P05	9,78	6,95	4,84	4,64	5,54	7,32	8,84	10,23	14,00	16,86	16,73	14,11	9,99
P06	8,46	5,67	3,80	3,58	4,89	7,14	9,00	11,07	13,21	16,35	15,77	12,39	9,28
C01	9,37	6,33	4,07	3,23	4,03	5,83	8,32	11,95	16,64	17,69	18,27	14,50	10,02
C02	12,10	7,79	4,69	3,46	3,80	4,80	6,84	9,04	12,85	16,59	18,26	16,36	9,71
C03	8,37	5,04	3,14	2,31	3,11	5,09	7,77	11,42	15,85	17,04	17,02	13,39	9,13

Tabla 32.- Tabla de errores medios relativos para temperatura media

ID	Oct.	Nov.	Dic.	Ene	Feb	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Total
P01	-2,75	-1,27	-0,04	0,53	0,66	0,53	0,48	-1,57	-1,83	-1,71	-2,24	-2,23	-0,95
P02	-2,98	-1,62	-0,76	-0,48	-0,13	-0,48	-0,71	-2,25	-3,06	-3,01	-2,63	-2,55	-1,72
P03	-1,51	-0,71	-0,05	0,87	1,05	1,13	1,61	0,58	-0,19	-0,12	-1,20	-1,52	0,00
P04	-2,96	-1,25	-0,14	0,63	0,86	0,27	0,31	-0,93	-0,96	-1,81	-2,99	-3,36	-1,03
P05	-2,56	-0,86	-0,39	0,19	0,02	-0,16	-0,22	-2,49	-2,17	-2,39	-2,78	-2,41	-1,35
P06	-3,87	-2,14	-1,44	-0,87	-0,64	-0,33	-0,06	-1,66	-2,97	-2,90	-3,75	-4,13	-2,06
C01	-2,96	-1,49	-1,17	-1,22	-1,50	-1,64	-0,74	-0,77	0,47	-1,56	-1,25	-2,02	-1,32
C02	-0,24	-0,02	-0,55	-0,99	-1,73	-2,67	-2,21	-3,68	-3,33	-2,66	-1,26	-0,16	-1,63
C03	-3,97	-2,77	-2,10	-2,14	-2,42	-2,39	-1,29	-1,30	-0,33	-2,21	-2,50	-3,14	-2,21

En la Figura 41, se han representado las desviaciones de los modelos con respecto a los datos observados para la temperatura media mensual entre 1970 y 2000, se puede apreciar la dispersión de dichos datos con respecto a los datos observados y que la dispersión es muy

lineal respecto a los datos reales. Se ven las desviaciones de los modelos con respecto a la bisectriz y que todos los modelos infravaloran los datos observados.

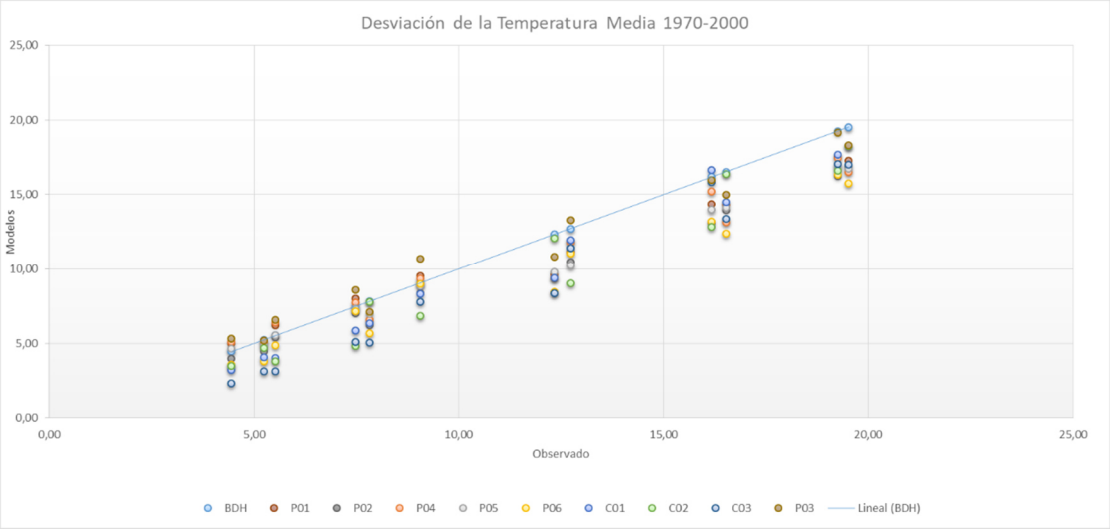


Figura 41.- Desviación de la temperatura media de los modelos con respecto al valor real.

En la Tabla 33 se muestran los valores trimestrales de medias y desviaciones típicas para los datos observados y los nueve modelos climáticos, así como los porcentajes de errores medios relativos de estas. Todos los modelos, salvo para los meses de Enero a Marzo, muestran sesgos negativos.

Tabla 33.- Comparativa de datos de temperatura media estacional observados y modelos.

ID	Media (mm)				Desviación Típica (mm)			
	Oct a Dic	Ene a Mar	Abr a Jun	Jul a Sep	Oct a Dic	Ene a Mar	Abr a Jun	Jul a Sep
BDH	8,46	5,82	12,65	18,43	3,78	2,72	3,71	2,67
P01	7,11	6,39	11,68	16,37	3,19	2,36	2,90	2,88
	-1,35	0,58	-0,97	-2,06	-0,59	-0,36	-0,81	0,21
P02	6,68	5,45	10,65	15,70	3,31	2,35	2,77	2,58
	-1,79	-0,36	-2,00	-2,73	-0,47	-0,38	-0,94	-0,08
P03	7,71	6,83	13,32	17,48	3,49	2,45	3,06	3,06
	-0,76	1,02	0,67	-0,95	-0,29	-0,28	-0,65	0,39
P04	7,01	6,40	12,12	15,71	3,10	2,21	3,08	2,81
	-1,45	0,59	-0,53	-2,72	-0,68	-0,52	-0,63	0,15
P05	7,19	5,83	11,02	15,90	3,24	2,25	2,91	2,67
	-1,27	0,02	-1,63	-2,53	-0,54	-0,47	-0,81	0,00
P06	5,98	5,20	11,09	14,84	3,22	2,46	2,61	2,76
	-2,48	-0,61	-1,56	-3,59	-0,56	-0,26	-1,10	0,10
C01	6,59	4,36	12,30	16,82	2,73	1,98	4,13	2,92
	-1,87	-1,45	-0,35	-1,61	-1,06	-0,74	0,42	0,25
C02	8,19	4,02	9,58	17,07	3,62	1,75	3,52	2,79
	-0,27	-1,80	-3,07	-1,36	-0,16	-0,97	-0,19	0,13
C03	5,49	3,48	11,86	16,15	2,78	2,05	4,19	3,03
	-2,97	-2,34	-0,79	-2,28	-1,01	-0,67	0,48	0,36

A continuación se ha representado el sesgo espacial para los valores anuales de temperatura media – desde la Figura 42 a la Figura 50-. Se representa la diferencia de los valores de los modelos menos los datos observados. Se puede ver que los modelos puntuales son más homogéneos en el territorio de Navarra y que la variación de temperatura es menor, por el contrario, los modelos CORDEX tienen más variaciones espaciales.

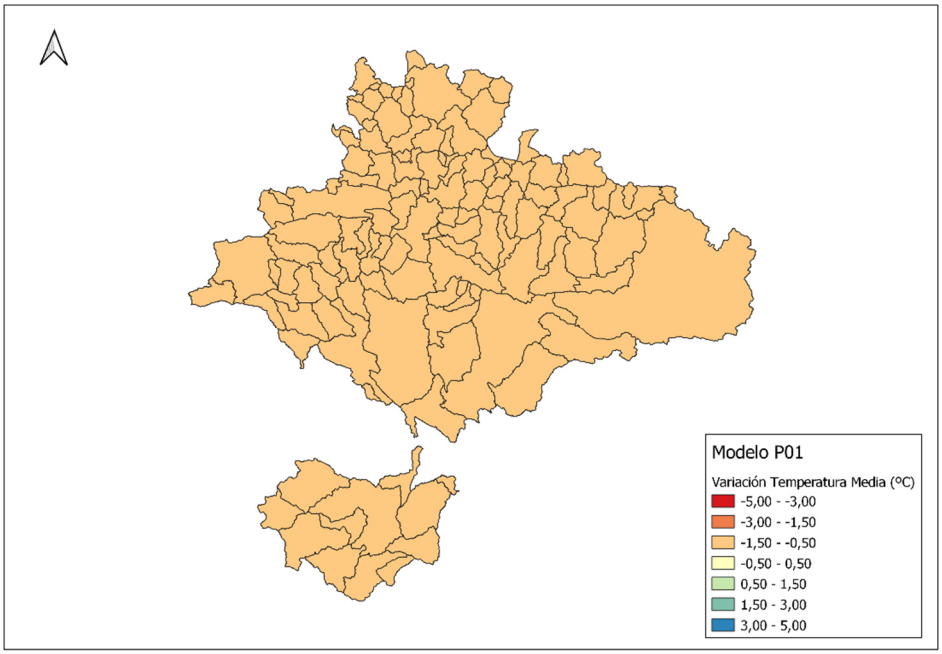


Figura 42.-Mapa: Diferencias del Modelo P01 entre la temperatura media anual de los modelos y de los datos observados.

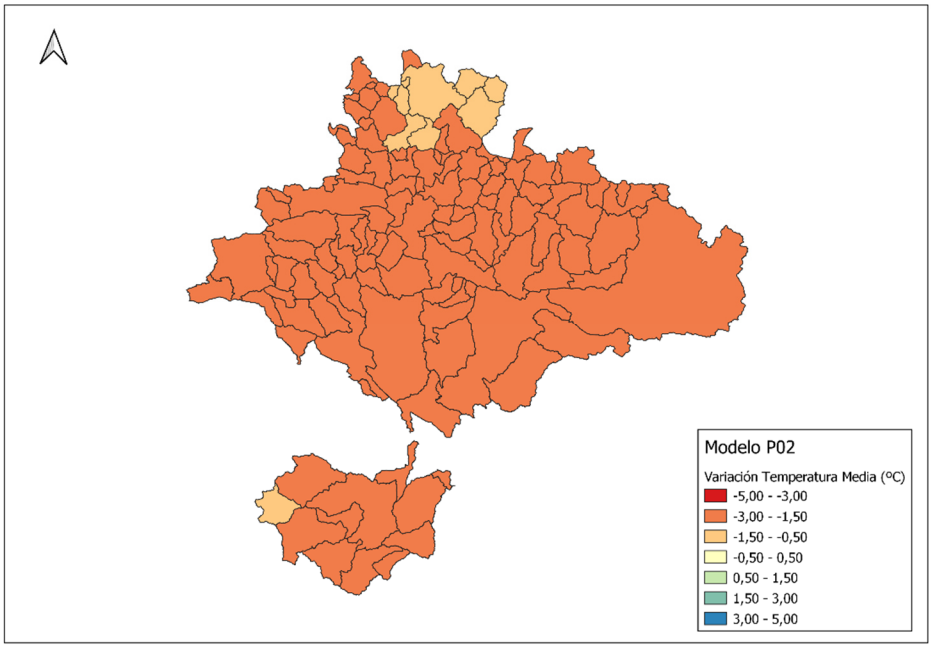


Figura 43.- Mapa con las diferencias del Modelo P02 entre la temperatura media anual de los modelos y de los datos observados.

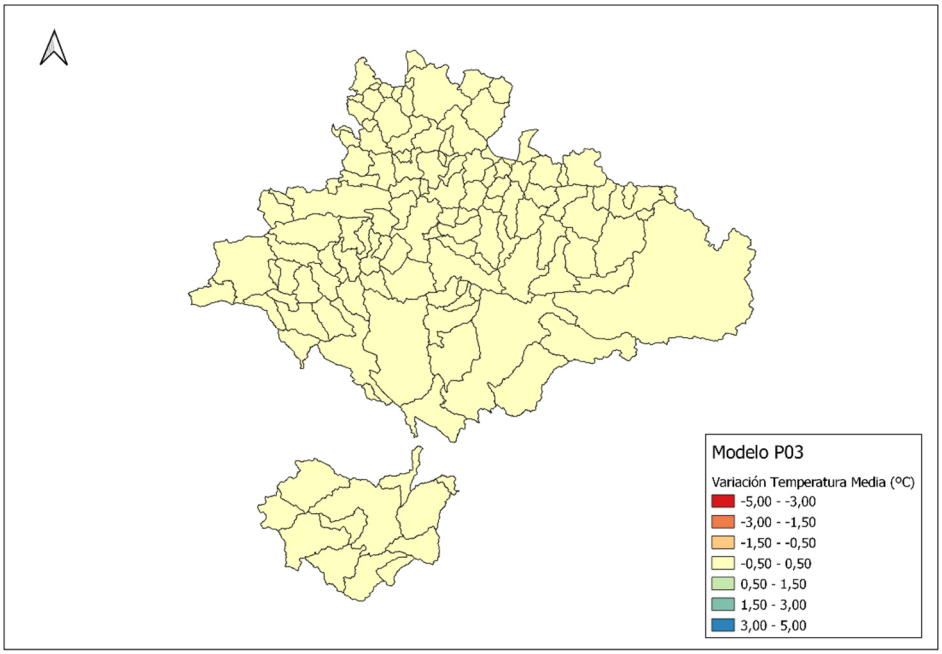


Figura 44.- Mapa con las diferencias del Modelo P03 entre la temperatura media anual de los modelos y de los datos observados.

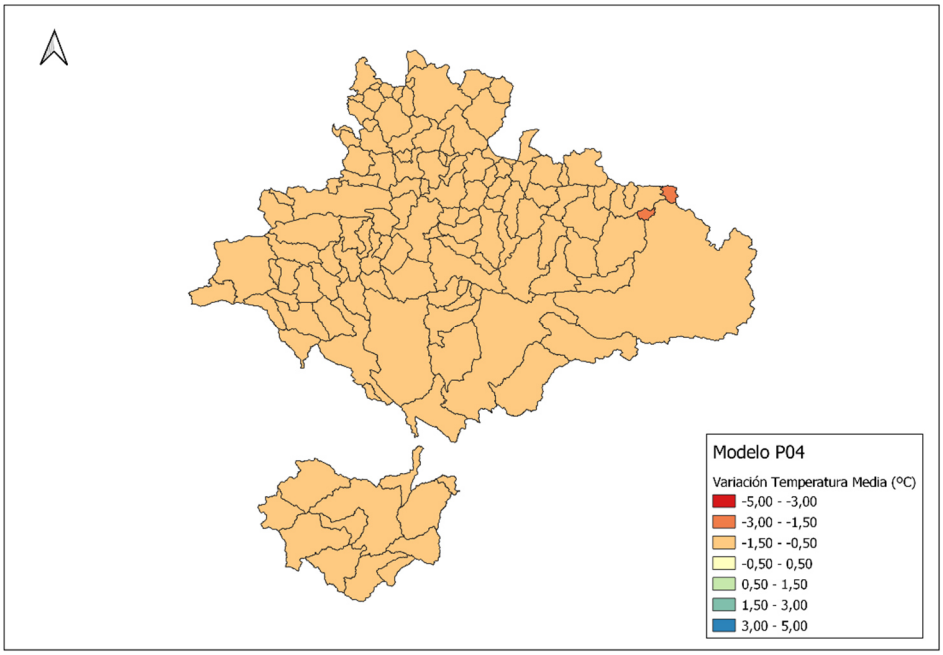


Figura 45.- Mapa con las diferencias del Modelo P04 entre la temperatura media anual de los modelos y de los datos observados.

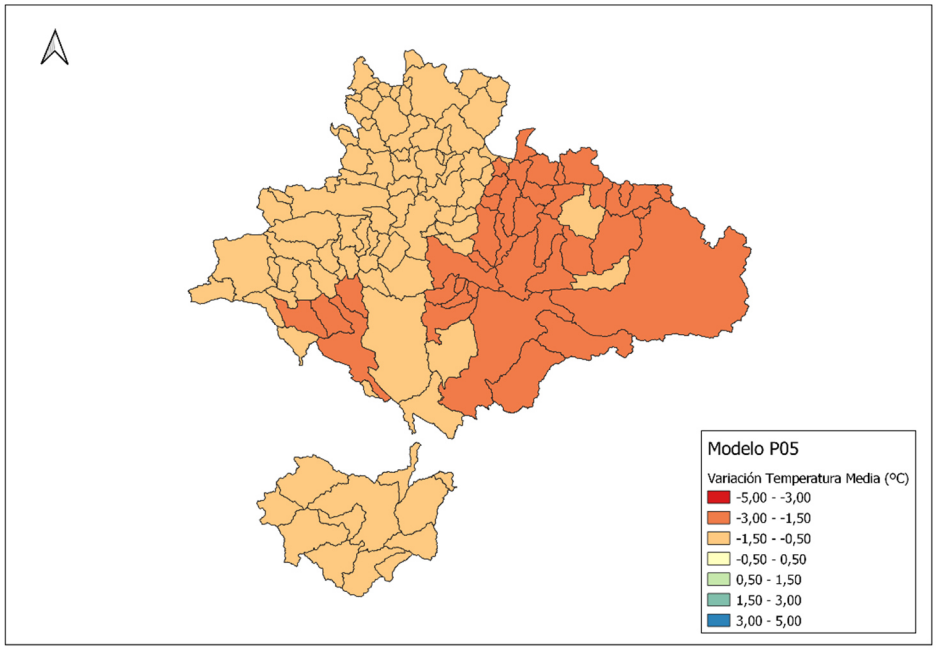


Figura 46.- Mapa con las diferencias del Modelo P05 entre la temperatura media anual de los modelos y de los datos observados.

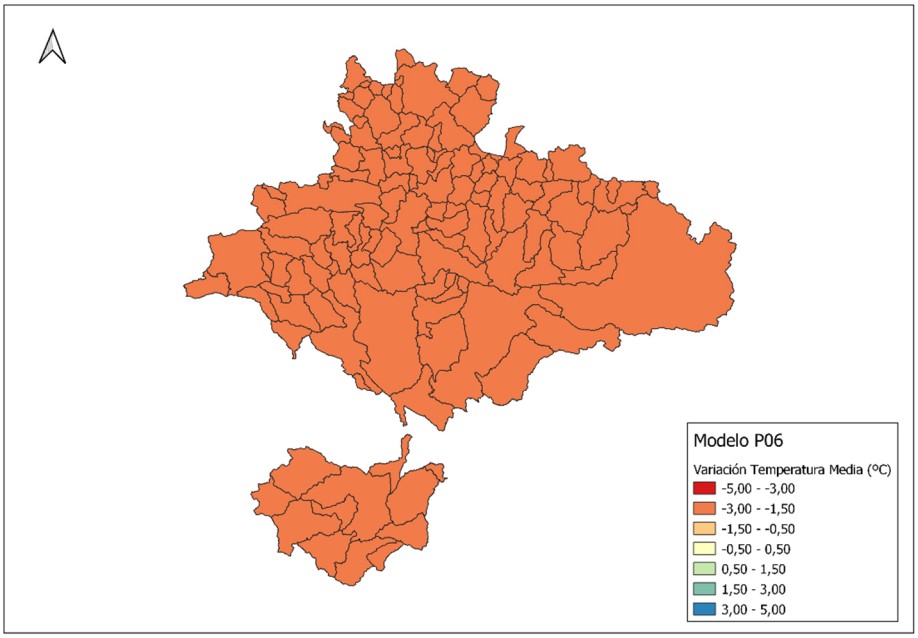


Figura 47.- Mapa con las diferencias del Modelo P06 entre la temperatura media anual de los modelos y de los datos observados.

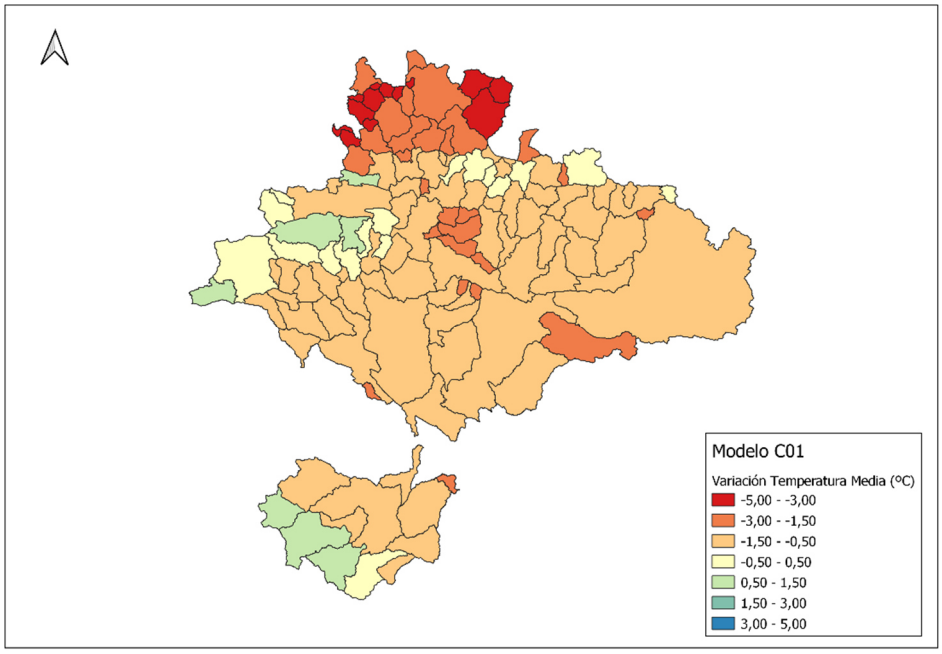


Figura 48.- Mapa con las diferencias del Modelo C01 entre la temperatura media anual de los modelos y de los datos observados.

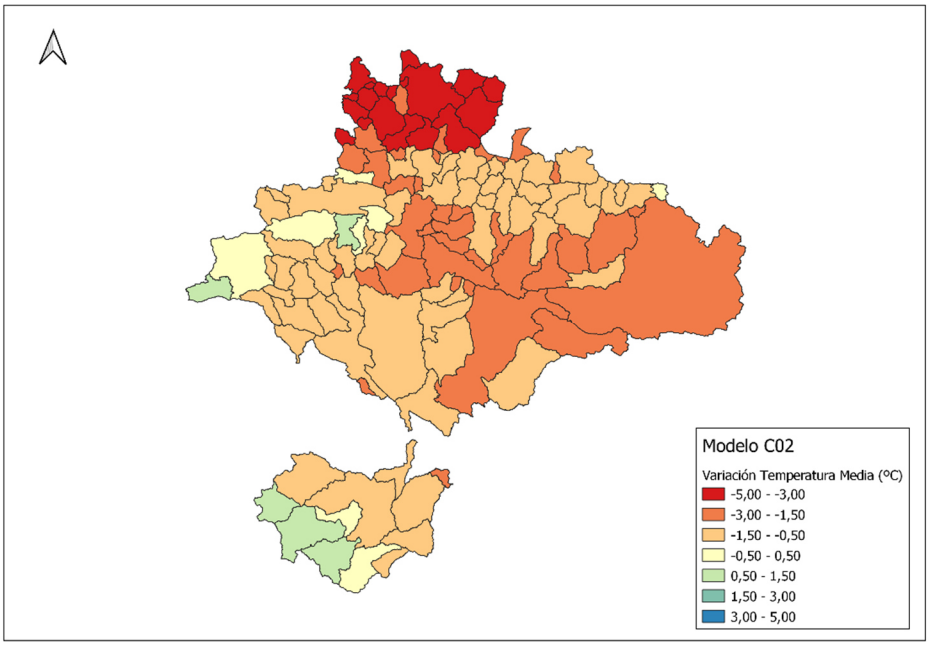


Figura 49.- Mapa con las diferencias del Modelo C02 entre la temperatura media anual de los modelos y de los datos observados.

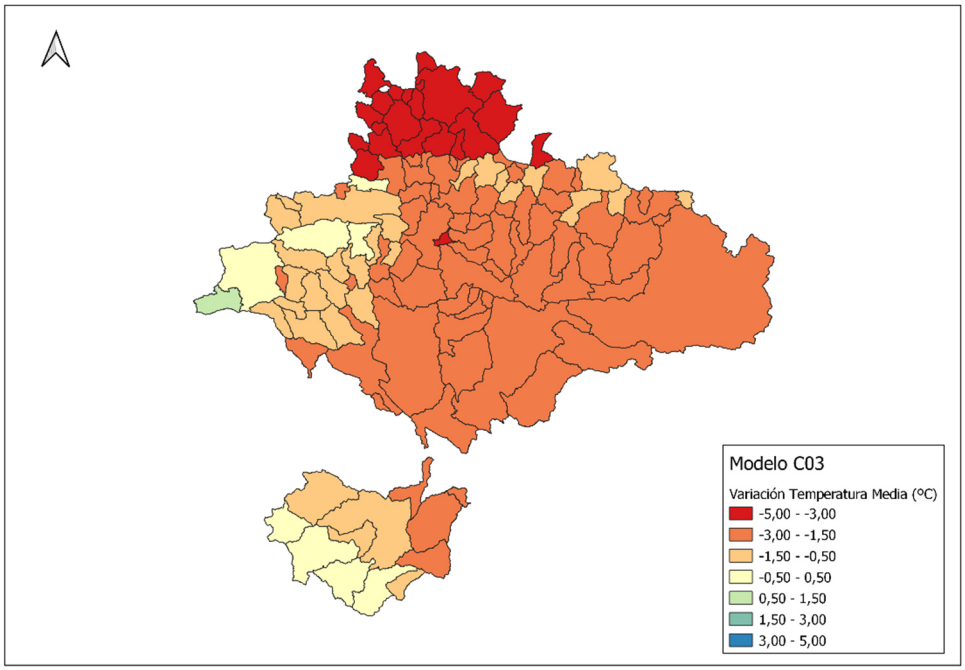


Figura 50.- Mapa con las diferencias del Modelo C03 entre la temperatura media anual de los modelos y de los datos observados.

Los cambios de temperatura media anual durante el periodo 2010-2100 revelan una tendencia creciente según el conjunto de los modelos para ambos forzamientos radiativos – 0,0197 para el forzamiento RCP4.5 y 0,046 para el forzamiento RCP8.5, ver Figura 51-. Se puede ver la incertidumbre de los resultados de los modelos debido a la anchura de la franja de cambios según los diferentes modelos. El promedio de cambios de los modelos da una tendencia creciente para ambos forzamientos radiativos, aunque mayor para el RCP8.5. Estos resultados se verán más ampliados en la tercera fase, Documento 3 con título "Evolución de las aportaciones en base a los modelos de Cambio Climático".

Los cambios de temperatura media para cada uno de los tres periodos futuros en cada modelo muestran las diferencias de los resultados de cada proyección y modelo -

Tabla 34-. Así por ejemplo, para el modelo P06 los rangos de cambios van entre 0,63°C a 2,9°C de aumento para el forzamiento radiativo RCP8.5. El modelo que más aumento tiene es el P04 para su forzamiento radiativo RCP8.5 y el periodo 2071-2100 con un aumento de 5,55°C. Lo que si muestran todos los modelos es que se produce un aumento de la temperatura media para todos los periodos futuros respecto a su periodo de observación -1970-2000.

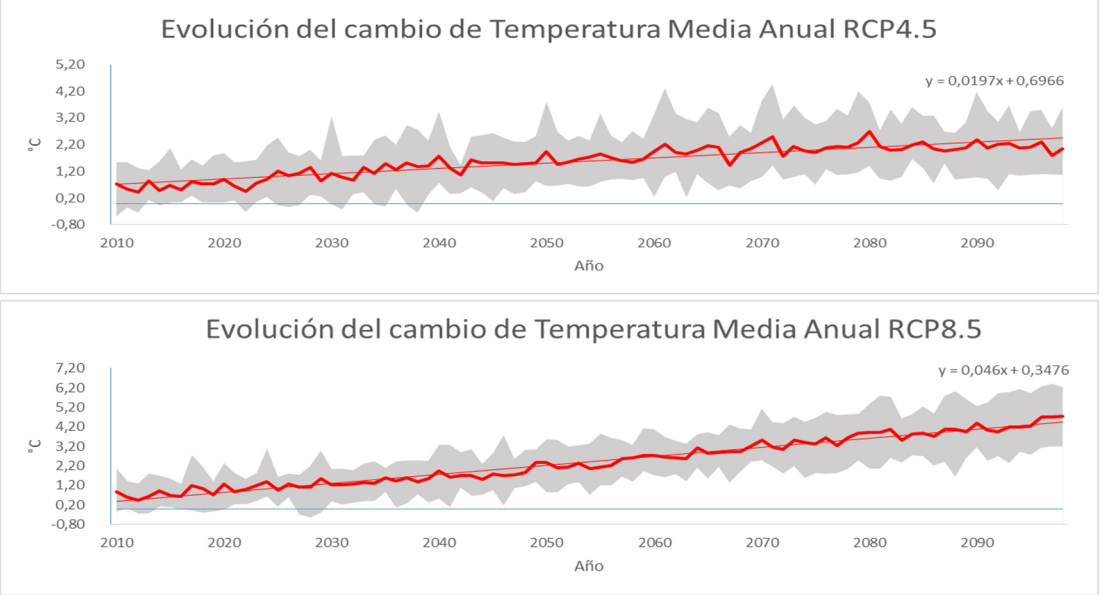


Figura 51.- Incremento de tendencia (°C) de temperatura media del año 2010 al 2099 para los RCP4.5 (arriba) y 8.5 (abajo). La banda gris indica el rango de resultados de los modelos, la línea gruesa roja su promedio y la recta delgada su pendiente.

Tabla 34.- Incremento de variabilidad (°C) según cada modelo, proyección y periodo. Los colores reflejan la gradación del cambio.

Modelo	RCP45			RCP85		
	2011-2040	2041-2070	2071-2100	2011-2040	2041-2070	2071-2100
P01	0,94	1,61	1,76	1,29	2,25	3,73
P02	0,59	1,14	1,48	0,53	1,73	3,09
P03	0,33	0,79	1,33	0,45	1,52	2,46
P04	1,75	2,77	3,31	1,85	3,51	5,55
P05	1,00	1,67	2,00	1,08	2,28	3,83
P06	0,43	1,17	1,51	0,63	1,62	2,90
C01	1,33	2,32	2,88	1,61	2,89	4,75
C02	1,32	2,03	2,45	1,41	2,76	4,25
C03	1,34	2,33	2,79	1,70	2,98	4,72

Los cambios de variabilidad de temperatura media anual en Navarra para cada periodo futuro se muestran de forma gráfica en la Figura 52 y se puede observar los aumentos de temperatura que se muestran en la tabla superior.

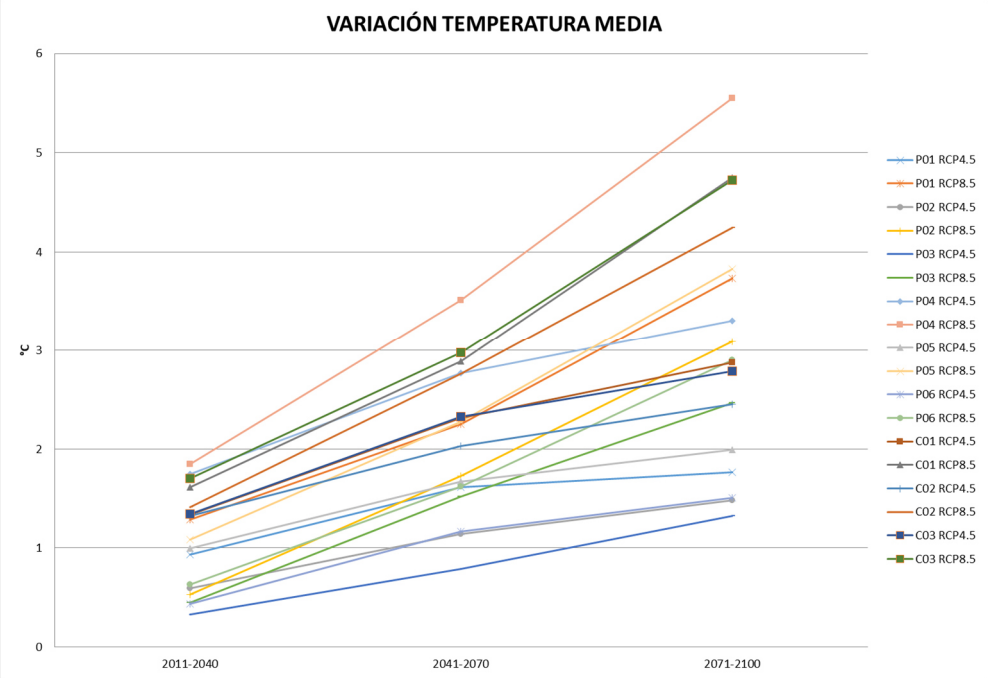


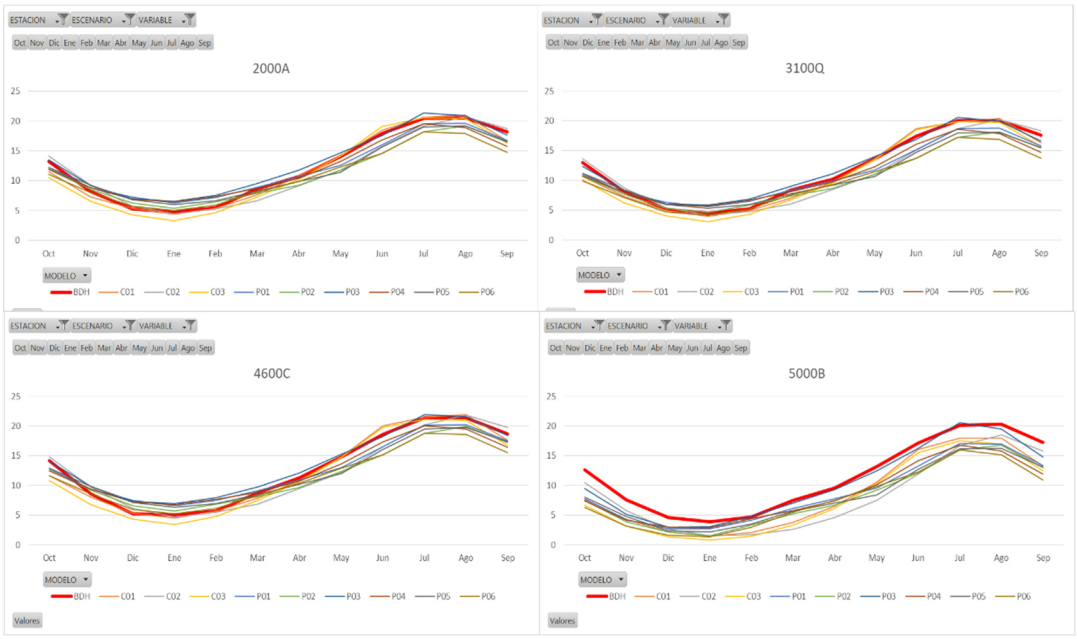
Figura 52.- Incremento de variabilidad (°C) de temperatura media anual en cada periodo.

Se han promediado los valores de temperatura media en varias unidades y se han calculado los errores medios de los valores simulados -Tabla 35-. Se corrobora que todos los modelos infravaloran los datos de temperatura media salvo el P03.

Tabla 35.- Valores de temperatura media anual observados y simulados durante el periodo de control. También se indica el error medio relativo.

Punto	Temperatura Media (°C)										Error Medio Relativo (°C)								
	BDH	P01	P02	P03	P04	P05	P06	C01	C02	C03	P01	P02	P03	P04	P05	P06	C01	C02	C03
2000A	12,2	12,2	11,3	13,1	12,1	11,8	11,0	11,8	11,7	11,3	-0,01	-0,84	0,92	-0,10	-0,42	-1,22	-0,38	-0,47	-0,89
3100Q	11,9	11,3	10,5	12,3	11,2	10,9	10,1	11,4	11,2	10,8	-0,53	-1,37	0,45	-0,65	-0,96	-1,76	-0,51	-0,67	-1,06
3200K	11,1	10,3	9,5	11,3	10,2	9,9	9,1	10,9	10,7	10,3	-0,78	-1,61	0,16	-0,89	-1,20	-1,98	-0,18	-0,40	-0,88
3300D	13,7	12,6	11,8	13,6	12,5	12,2	11,4	11,0	11,1	10,5	-1,10	-1,87	-0,09	-1,19	-1,47	-2,27	-2,65	-2,60	-3,20
4100H	11,9	8,4	7,7	9,2	8,4	8,1	7,4	9,3	8,9	8,3	-3,48	-4,19	-2,68	-3,48	-3,87	-4,53	-2,67	-2,98	-3,60
4200C	11,2	11,2	10,4	12,1	11,2	10,8	10,1	10,0	9,8	9,2	0,03	-0,72	0,91	0,01	-0,38	-1,09	-1,13	-1,38	-1,96
4300C	9,8	10,8	10,0	11,7	10,7	10,4	9,7	10,6	10,3	9,7	0,93	0,18	1,81	0,88	0,57	-0,16	0,72	0,46	-0,18
4500C	12,1	12,1	11,3	13,0	12,0	11,7	11,0	11,5	11,4	10,7	0,01	-0,75	0,94	-0,07	-0,37	-1,13	-0,55	-0,71	-1,39
4600C	12,7	12,6	11,8	13,6	12,5	12,2	11,4	12,3	12,3	11,6	-0,10	-0,86	0,91	-0,18	-0,48	-1,26	-0,35	-0,41	-1,05
5000B	11,5	8,8	8,1	10,5	8,7	8,3	7,7	8,5	8,3	7,8	-2,73	-3,43	-1,09	-2,89	-3,20	-3,83	-3,01	-3,26	-3,73
5200K	11,3	10,8	10,0	12,1	10,6	10,3	9,6	10,4	10,2	9,4	-0,52	-1,27	0,86	-0,64	-0,98	-1,64	-0,88	-1,04	-1,91
5300K	9,5	9,4	8,7	10,5	9,4	9,0	8,4	9,7	9,4	8,8	-0,07	-0,75	1,05	-0,11	-0,47	-1,13	0,18	-0,08	-0,72
5300M	12,0	11,2	10,5	12,5	11,2	10,8	10,1	10,9	10,7	9,7	-0,75	-1,48	0,46	-0,85	-1,18	-1,91	-1,14	-1,30	-2,33
5400E	12,8	12,2	11,5	13,3	12,1	11,8	11,1	12,2	12,2	11,5	-0,63	-1,37	0,49	-0,71	-1,01	-1,76	-0,60	-0,66	-1,31
5500F	10,9	12,0	11,3	13,3	11,9	11,6	10,9	11,7	11,7	10,9	1,09	0,34	2,31	1,00	0,68	-0,06	0,80	0,75	-0,05
6000A	12,6	12,9	12,2	14,0	12,8	12,6	11,8	12,5	12,7	11,8	0,35	-0,41	1,38	0,22	0,00	-0,77	-0,12	0,12	-0,77
7000B	13,9	13,4	12,5	14,3	13,2	13,0	12,2	12,2	12,4	11,6	-0,58	-1,44	0,39	-0,72	-0,91	-1,74	-1,70	-1,51	-2,29
9400K	12,5	12,8	12,0	13,5	12,8	12,4	11,8	10,4	10,0	9,4	0,32	-0,44	0,98	0,29	-0,08	-0,71	-2,05	-2,44	-3,09
9520D	12,5	11,9	11,1	12,6	11,8	11,5	10,8	9,4	9,0	8,4	-0,65	-1,42	0,03	-0,68	-1,06	-1,68	-3,13	-3,51	-4,08

Con relación a la estacionalidad, ya se vio en la Figura 40 que todos los modelos reproducen bien el ciclo anual, aunque dan menor temperatura los modelos para todos los meses del año. En este caso se puede observar que todos los modelos reproducen perfectamente el ciclo anual para todos los puntos de control.



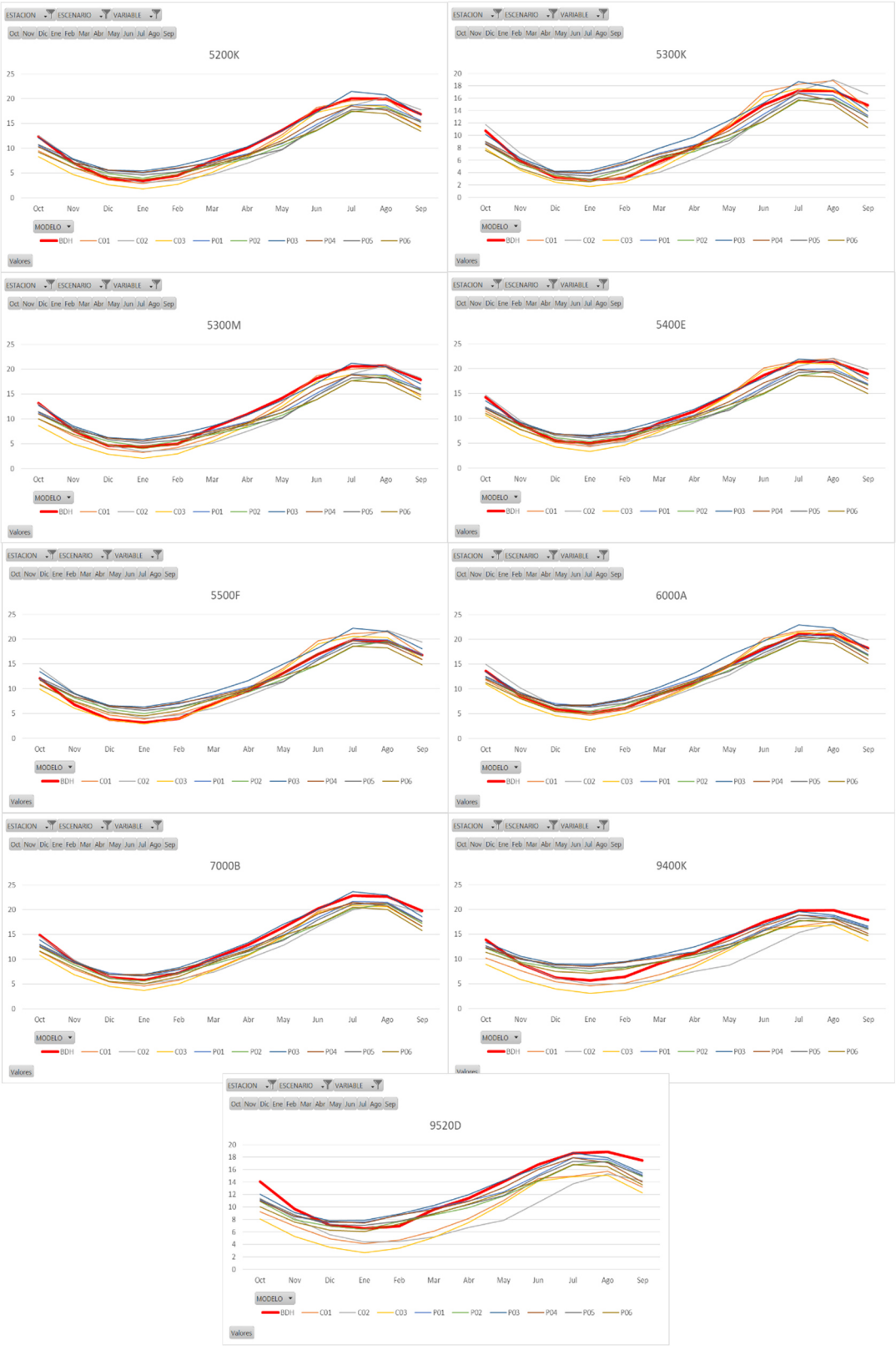

5200K
5300K
5300M
5400E
5500F
6000A
7000B
9400K
9520D
ESTACION
ESCENARIO
VARIABLE
MODELO
Valores
Oct Nov Dic Ene Feb Mar Abr May Jun Jul Ago Sep
BDH C01 C02 C03 P01 P02 P03 P04 P05 P06

Figura 53.- Evolución temperatura media mensual para los puntos de control para los datos observados y valores de modelos de cambio climático.

6 Síntesis y Conclusiones

En el presente trabajo, se ha llevado a cabo la **selección y evaluación del conjunto de proyecciones climáticas** a emplear en el estudio de evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos en las cuencas hidrográficas de la Comunidad Foral de Navarra.

Dicho conjunto o ensemble, está constituido por las proyecciones regionalizadas a partir de los modelos climáticos utilizados en el 5º Informe de Evaluación del IPCC tanto por métodos estadísticos –**proyecciones puntuales**- como dinámicos –**proyecciones en rejilla**- y para los escenarios de emisión RCP 4.5 y RCP 8.5. En total, se han seleccionado 9 proyecciones climáticas (6 en punto y 3 CORDEX), con lo que, teniendo en cuenta los 2 escenarios de emisión, se dispone de 18 escenarios climáticos para su evaluación en fases posteriores del estudio.

Para las proyecciones en punto se dispone del periodo de control 1961-2000 y periodo futuro 2010-2100, mientras que para las proyecciones en rejilla el periodo de control abarca desde el 1971 al 2000 y el periodo futuro es de 2010-2100. Las series disponibles en el periodo de control, han permitido en ambos casos llevar a cabo el contraste con las series observadas registradas en el BDH.

A partir de la información climática de los modelos seleccionados, se ha llevado a cabo en una tercera fase descrita en el Documento 3 ("Evolución de las aportaciones en base a los modelos de Cambio Climático"), la modelización hidrológica y la evaluación de los efectos del cambio climático sobre los recursos hídricos en las cuencas hidrográficas principales.

Se citan a continuación los hitos alcanzados en este estudio así como una síntesis de los trabajos realizados en cada caso:

- **Selección del conjunto** de proyecciones climáticas a estudiar. En primer lugar, se ha llevado a cabo la descarga de dichos modelos de distintos portales web según el método de regionalización. Posteriormente se ha efectuado un tratamiento específico según el tipo de proyección:
    - **Proyecciones climáticas en punto**, se han tomado los 6 modelos recomendados por AEMET en el estudio del CEDEX (2017). Se ha realizado un análisis de la información puntual de los modelos que ha permitido extraer unas primeras conclusiones sobre los cambios esperados a futuro en las principales variables climáticas analizadas.

- **Proyecciones dinámicas**, se ha realizado una preselección de los 16 modelos Euro-CORDEX propuestos inicialmente en el pliego en base al siguiente procedimiento:

    - Realización de un filtrado previo a partir de los resultados alcanzados en el "*Estudio de Variabilidad Climática: Informe sobre las áreas climáticas de Navarra y las condiciones generales del clima previsto en Navarra*" incluido en el proyecto LIFE NADAPTA (*Deliverable* 6.2.1) en el que se seleccionaron los 6 modelos que mejor se adaptan al clima de Navarra.

    - Selección de los 3 modelos CORDEX que proporcionan un mayor ajuste de los valores de precipitación, temperatura media, máxima y mínima a los valores observados en el periodo de control. Como paso previo a este trabajo, se ha realizado un Atlas a partir de los datos climáticos registrados en el BDH con el fin de disponer de los datos en rejilla y poder compararlos con los 6 modelos CORDEX preseleccionados. El contraste se ha realizado para todo el ámbito de estudio y para cada una de las celdas del modelo.

- **Homogeneización de los formatos** de las proyecciones en punto y en rejilla para su almacenamiento en el BDH. Por la gran cantidad de datos generados y debido a las limitaciones de almacenaje que supone el uso de Access del BDH se han tenido que generar 9 bases distintas, una por modelo. Estas series se han almacenado con periodicidad diaria y se han convertido a mensual. Además, se han realizado las **acumulaciones en las 129 subcuencas de estudio** para la posterior modelización hidrológica.

- Análisis de la incertidumbre de los modelos seleccionados mediante la **caracterización del sesgo o desajuste** de las proyecciones climáticas y las series observadas en el territorio de estudio. El análisis se ha realizado a partir de las series de acumulaciones en cuencas que se han calculado en la etapa anterior y se ha llevado a cabo en primer lugar para todo el territorio de estudio y posteriormente en las cuencas hidrográficas principales donde se llevará a cabo el estudio de impacto.

- **Evaluación preliminar de los cambios esperados** a futuro en la precipitación y temperatura media.

A raíz de los trabajos citados se extraen las siguientes conclusiones:

Cambios esperados a lo largo del periodo 2010-2100 con respecto al periodo de control en las variables analizadas:

El análisis de la información **puntual** de los modelos regionalizados de AEMET permite extraer las siguientes conclusiones para las variables analizadas:

- **Precipitación**: se aprecia una disminución de todos los modelos de la media de la precipitación respecto a su parte histórica más acentuada para el forzamiento radiativo RCP 8.5.
- **Temperatura**: Se observa que para el caso de las temperaturas máximas, medias y mínimas se produce un aumento de las mismas en todos los modelos con respecto a sus datos históricos.

Conclusiones similares se obtienen tras el análisis de los cambios esperados a **nivel de cuenca** para el **conjunto de modelos** seleccionado. En el caso de la precipitación, los cambios estimados confirman la tendencia negativa de las proyecciones, mientras que para el caso de la temperatura corroboran su tendencia positiva a lo largo del periodo 2010-2100. Estos resultados se verán ampliados en la tercera fase del estudio, Documento 3 previamente citado.

Evaluación y sesgo de los modelos que se van a emplear en el estudio de recursos:

Del análisis realizado a nivel de cuenca, se extraen las siguientes conclusiones para las variables tratadas:

- **Precipitación:** Se muestra una elevada dispersión en la evolución media **anual** de las series de precipitación de las distintas proyecciones climáticas, lo que refleja la elevada incertidumbre asociada a la aplicación de los modelos. Prácticamente la mitad de los modelos sobrevalora los valores medios observados en valores comprendidos entre el 8 y 22 % y la otra mitad los infravalora en valores que oscilan entre el 5 y el 13 %. No obstante, cabe señalar que, el promedio de las proyecciones climáticas empleadas ajusta mejor a la serie observada que los valores de cada proyección individual. El test de Mann-Kendall para los datos medios anuales indica que los modelos no tienen ningún tipo de tendencia (corroborando los resultados del estudio CEDEX (2017)) a lo largo del periodo de control.

  En relación a la **estacionalidad,** se aprecia nuevamente la incertidumbre en los modelos climáticos seleccionados que se refleja en la dispersión de los valores medios simulados con respecto a los observados a nivel mensual. Sin embargo, al igual que ocurría en el caso anterior, el valor promedio de todos los modelos seleccionados se ajusta aceptablemente a los valores medios mensuales observados. La mayor parte de los modelos puntuales dan un exceso de precipitación para todo el año salvo para los

meses de verano mientras que los modelos CORDEX infravaloran los valores de precipitación media mensual observada a lo largo de todo el ciclo anual.

El **sesgo espacial** para los valores anuales de precipitación, representado por la distribución espacial de los errores medios relativos, indica que **los modelos puntuales son más homogéneos en Navarra y que la variación de los errores medios relativos es menor, por el contrario, los datos CORDEX presentan más variaciones espaciales y poseen errores medios superiores al 100% respecto a los datos observados.** La mayor parte de los modelos puntuales, salvo dos excepciones, tienden a dar mayor precipitación en todo el territorio, con una sobrevaloración de la precipitación en la zona pirenaica. Se observa sin embargo una infravaloración de dicha variable en las cuencas del Alhama y Queiles.

- **Temperatura:** La evolución media **anual** nos muestra que todos los modelos infravaloran la temperatura media anual en valores comprendidos entre aproximadamente 1 °C y 2 °C, pero todos menos tres reproducen la tendencia positiva de la serie observada a lo largo del periodo de control. En relación a la **estacionalidad**, cabe señalar que los modelos reproducen razonablemente bien los valores medios mensuales, así como su distribución estacional, si bien se observa un mayor desajuste o infravaloración de las temperaturas en los meses de verano.

  El **sesgo espacial** muestra, al igual que en el caso de la precipitación, que los modelos CORDEX presentan mayor variación espacial.

A la vista de los resultados obtenidos, se puede concluir que los modelos reproducen razonablemente los valores medios y el ciclo anual de la temperatura. El sesgo es más notable en el caso de la precipitación, si bien, el ajuste de los valores medios y la variabilidad para el conjunto de Navarra es aceptable en líneas generales.

Es habitual encontrar sesgos en las proyecciones climáticas, especialmente en el caso de la precipitación. Esto se debe a que los modelos, como indica el IPCC, simulan bien la temperatura, pero tienen dificultades en simular bien la precipitación. Estos sesgos pueden producir incertidumbres a la hora de alimentar los modelos hidrológicos.

Los sesgos encontrados demuestran la incertidumbre de los resultados, que una proyección climática no se ajuste a los datos observados, en su periodo de control, no implica que esa proyección sea fiable si reprodujera los datos observados.

La corrección del sesgo puede tener una fuerte influencia en la estimación de los cambios hidrológicos, porque modifica la consistencia espacio-temporal de los modelos y no está claro que los métodos de corrección del sesgo sean estacionarios en el tiempo en un marco de cambio de las condiciones climáticas.

Por lo tanto, no se ha realizado ninguna modificación de los valores por métodos de corrección de sesgo. Así, la fase posterior se ha evaluado calculando los cambios entre los resultados de los valores simulados en el período de control con los valores climáticos simulados en los periodos futuros. Este método se ha aplicado en estudios previos (CEDEX 2010, Barranco et al. 2014, Alfieri et al 2015, Milly et al. 2005 y Gardner 2009) y se asume que el sesgo de la proyección climática es similar en todos los periodos –el de control y los futuros-, de ese modo las diferencias en el estudio no serán debidas a las técnicas de corrección del sesgo.

7 Referencias

Alfieri, L.; Feyen, L.; Dottori, F. y Bianchi, A. (2015). Ensemble flood risk assessment in Europe under high end climate scenarios. Global Env. Change, 35: 199-212.

Rodríguez, J. Á., Monreal, D. T. E., & Botija, M. D. C. L. (2011). Estimación de la distribución espacial de la precipitación en zonas montañosas mediante métodos geoestadísticos (Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid).

Barranco, L.M.; Álvarez-Rodríguez, J.; Olivera, F.; Potenciano, Á.; Quintas, L. y Estrada, F. (2014). Assessment of the expected runoff change in Spain using climate simulations. J. Hydrol. Eng., 19 (7), 1481–1490.

Berg, P.; Feldmann, H. y Panitz H.J. (2012). Bias correction of high resolution regional climate model data. J. Hydrol., 448-449: 80-92.

Bozkurt, D. y Sen, O.L. (2013). Climate change impacts in the Euphrates-Tigris Basin based on different model and scenario simulations. J. Hydrol., 480 (0), 149-161.

CEDEX (2010). Evaluación del Impacto del Cambio Climático en los Recursos Hídricos en régimen natural.

CEDEX (2017). Evaluación del Impacto del Cambio Climático en los Recursos Hídricos y Sequías en España.

Ehret, U.; Zehe, E.; Wulfmeyer, V.; Warrach-Sagi, K. y Liebert, J. (2012). Should we apply bias correction to global and regional climate model data?. Hydrology and Earth System Sciences, 16(9): 3391-3404.

Elmoujahid, A. (1997). Aplicación del análisis estadístico para la homogeneización climatológica e hidrológica en la cuenca del río Aragón aguas arriba del pantano de Yesa (Pirineo Central). Geographicalia, (35), 57-74.

Garijo, C., & Mediero, L. (2019). Assessment of changes in annual maximum precipitations in the Iberian Peninsula under climate change. Water, 11(11), 2375.

Gardner, L.R. (2009). Assessing the effect of climate change on mean annual runoff. J. Hydrol., 379 (3-4), 351-359.

Koutsoyiannis, D. (2013). Hydrology and change. Hydrological Sciences Journal, 58 (6), 1177-1197.

Lazoglou, G., Anagnostopoulou, C., Skoulikaris, C., & Tolika, K. (2019). Bias correction of climate model's precipitation using the copula method and its application in river basin simulation. Water, 11(3), 600.

Leander, R.; Buishand, A.T.; van den Hurk, B.J.J.M. y de Wit, M.J.M. (2008). Estimated changes in flood quantiles of the river Meuse from resampling of regional climate model output. J. Hydrol., 351 (3-4), 331–343.

Membreño, A. M., & Zavala, A. D. J. R. (2015). Aplicación de técnicas estadísticas y geoestadísticas para elaborar cartografía de precipitaciones. Departamentos del occidente de Nicaragua. Ciencias Espaciales, 8(1), 143-159.

Mendez, M., Maathuis, B., Hein-Griggs, D., & Alvarado-Gamboa, L. F. (2020). Performance Evaluation of Bias Correction Methods for Climate Change Monthly Precipitation Projections over Costa Rica. Water, 12(2), 482.

Milly, P.C.D.; Dunne, K.A. y Vecchia, A.V. (2005). Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. Nature, 438 (7066), 347-350.

Panes, R. A. G., Ramírez, G. R. G., Cohen, I. S., Padilla, G. D., & Moreno, F. B. (2017). Validación espacial de datos climatológicos y pruebas de homogeneidad: caso Veracruz, México. Tecnología y ciencias del agua, 8(5), 157-177.

Pohlert, T. (2016). Non-parametric trend tests and change-point detection. CC BY-ND, 4.

Rodríguez, J. Á., Monreal, D. T. E., & Botija, M. D. C. L. (2011). Estimación de la distribución espacial de la precipitación en zonas montañosas mediante métodos geoestadísticos (Doctoral dissertation, Universidad Politécnica de Madrid).

Saber, M., & Yilmaz, K. K. (2018). Evaluation and bias correction of satellite-based rainfall estimates for modelling flash floods over the Mediterranean region: application to Karpuz River Basin, Turkey. Water, 10(5), 657.

Sperna Weiland, F.C.; van Beek, L.P.H.; Weerts, A.H. y Bierkens, M.F.P. (2012). Extracting information from an ensemble of GCMs to reliably assess future global runoff change. J.Hydrol., 412-413 (0), 66-75.

Teutschbein, C. y Seibert, J. (2012). Bias correction of regional climate model simulations for hydrological climate-change impact studies: Review and evaluation of different methods. Journal of Hydrology, 456: 12-29.

8 Apendices

8.1 Selección de 5 cuencas

Se ha dividido el territorio de Navarra en 5 subcuencas de estudio por sus distintos comportamientos climáticos y a continuación se han sacado las series acumuladas para precipitación, temperatura media, temperatura máxima y temperatura mínima para su estudio. En la figura siguiente se puede ver la distribución de las cuencas.

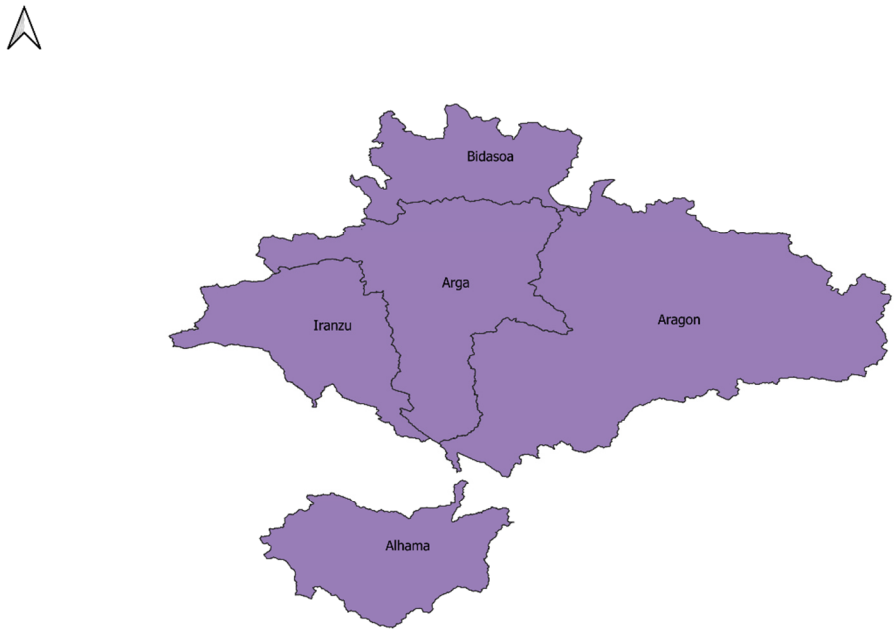


Figura 54.- Distribución de subcuencas para su estudio

8.1.1 Bidasoa

En la siguiente gráfica se puede ver la distribución de la precipitación media mensual para la cuenca, se puede observar que la tendencia es muy parecida a la de los datos observados (línea discontinua azul).

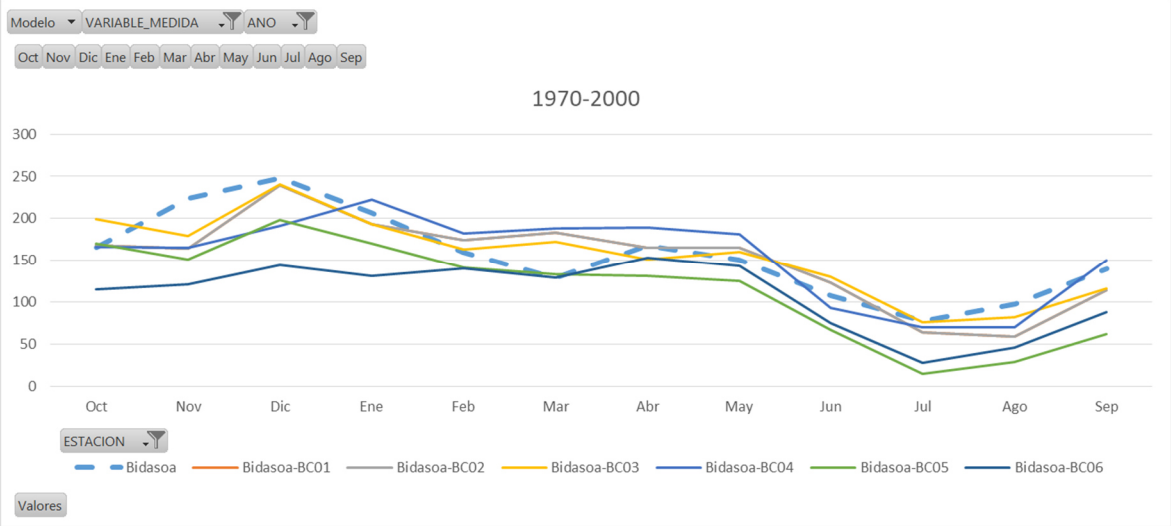


Figura 55.- Precipitación 1970-2000 cuenca Bidasoa

Tabla 36.- Valores de Precipitación acumulada media en la cuenca Bidasoa.

Valores	Bidasoa	Bidasoa-C01	Bidasoa-C02	Bidasoa-C03	Bidasoa-C04	Bidasoa-C05	Bidasoa-C06
ENE	208,31	192,83	191,78	191,67	221,63	169,85	130,81
FEB	160,70	173,76	185,06	161,47	181,24	140,13	139,93
MAR	129,28	182,64	181,98	169,53	187,43	132,63	128,59
ABR	167,76	164,82	156,61	149,29	187,63	130,89	152,63
MAY	151,07	164,68	130,42	159,09	180,57	123,59	142,13
JUN	106,78	123,10	110,30	128,91	92,89	66,01	74,44
JUL	76,66	63,47	77,60	75,03	69,00	14,44	27,47
AGO	96,23	58,25	54,47	80,69	69,24	27,79	44,89
SEP	139,32	112,55	97,63	114,98	148,96	61,40	87,17
OCT	165,04	167,01	124,65	196,96	165,49	168,49	114,47
NOV	224,46	163,23	151,65	177,98	164,94	150,32	120,82

DIC	248,73	238,84	171,84	238,25	190,66	197,24	143,47
TOTAL	1874,32	1805,17	1633,99	1843,84	1859,68	1382,79	1306,81
DIFERENCIA		69,16	240,33	30,48	14,65	491,53	567,51

En la tabla anterior se muestran los valores de la precipitación, analizando los datos se ve que para esta cuenca los modelos que más se asemejan a los datos reales son

- C01. HadGEM2-ES de la Institución SMHI.
- C03. HadGEM2-ES de la Institución KNMI.
- C04. MPI-ESM-LR de la Institución CLMcom

En la siguiente figura podemos ver los datos para la Temperatura media, los modelos siguen la misma distribución que los datos reales pero que sus valores son inferiores.

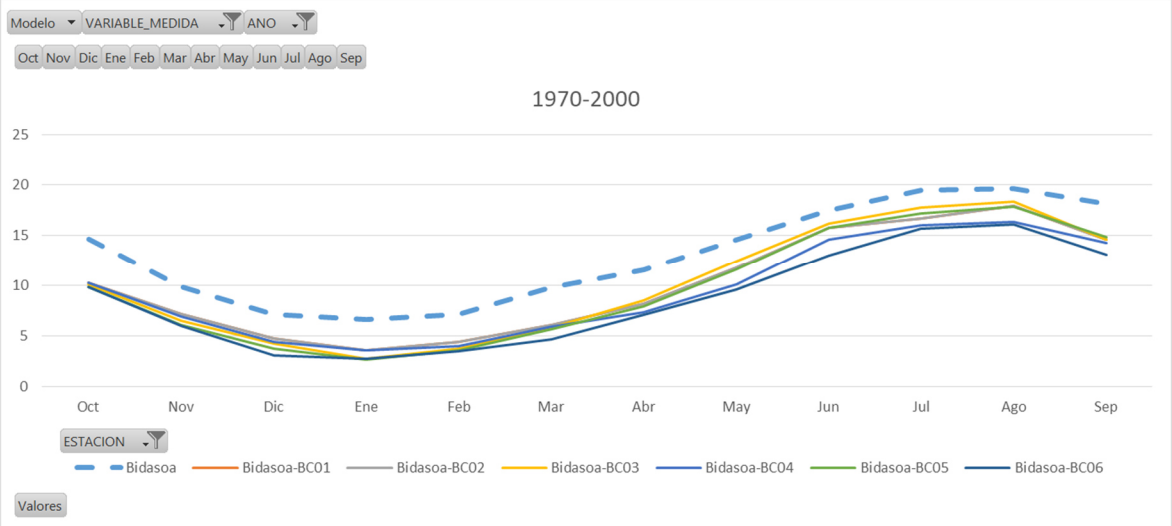


Figura 56.- Temperatura media 1970-2000 cuenca Bidasoa

Tabla 37.- Valores de Temperatura Media en la cuenca Bidasoa

Valores	Bidasoa	Bidasoa-C01	Bidasoa-C02	Bidasoa-C03	Bidasoa-C04	Bidasoa-C05	Bidasoa-C06
ENE	6,56	4,47	3,84	1,85	3,51	2,58	2,64
FEB	7,07	5,36	3,96	2,70	3,88	3,51	3,39
MAR	9,81	7,00	5,34	4,76	5,80	5,61	4,61
ABR	11,56	9,13	7,26	7,42	7,30	7,89	7,04

Valores	Bidasoa	Bidasoa-C01	Bidasoa-C02	Bidasoa-C03	Bidasoa-C04	Bidasoa-C05	Bidasoa-C06
MAY	14,57	12,71	9,10	11,40	9,99	11,51	9,57
JUN	17,52	16,71	12,77	15,15	14,56	15,76	13,01
JUL	19,49	17,72	16,76	16,79	16,00	17,16	15,68
AGO	19,72	18,98	17,29	17,34	16,36	17,82	16,06
SEP	18,15	15,56	14,49	13,58	14,20	14,82	13,07
OCT	14,62	11,20	10,99	9,04	10,20	9,74	9,75
NOV	9,83	8,12	7,13	5,41	6,84	5,97	5,95
DIC	7,11	5,68	4,81	3,24	4,36	3,63	2,95
MEDIA	13,00	11,05	9,48	9,06	9,42	9,67	8,64
DIFERENCIA		1,95	3,52	3,94	3,58	3,33	4,36

La tabla anterior tiene los valores de la Temperatura media, analizando los datos se ve que para esta cuenca los modelos que más se asemejan a los datos reales son

- C01. HadGEM2-ES de la Institución SMHI.
- C02. CM5A-MR de la Institución SMHI.
- C05. HadGEM2-ES de la Institución CLMcom.

En la siguiente gráfica se muestran los datos de la Temperatura Máxima y ocurre lo mismo que para la Temperatura media.

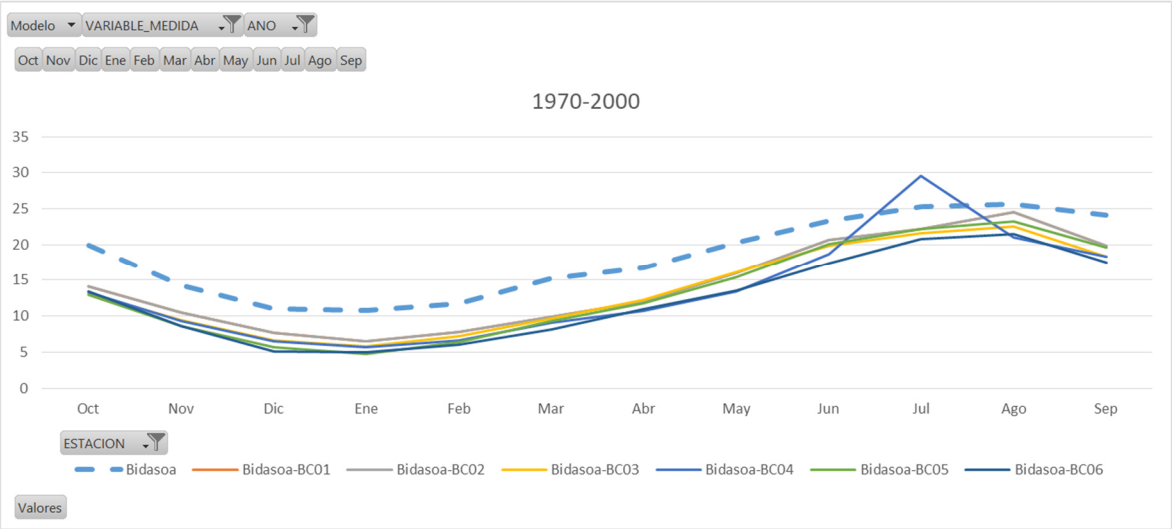


Figura 57.- Temperatura máxima 1970-2000 cuenca Bidasoa

Tabla 38.- Valores de Temperatura máxima en la cuenca Bidasoa

Valores	Bidasoa	Bidasoa-C01	Bidasoa-C02	Bidasoa-C03	Bidasoa-C04	Bidasoa-C05	Bidasoa-C06
ENE	10,72	6,49	6,55	5,68	5,65	4,71	4,86
FEB	11,77	7,78	7,29	7,13	6,53	6,34	5,99
MAR	15,21	9,79	9,11	9,63	8,99	9,20	8,06
ABR	16,77	12,01	11,38	12,16	10,67	11,72	10,85
MAY	20,33	16,00	13,53	16,08	13,36	15,36	13,44
JUN	23,37	20,65	17,48	19,79	18,66	20,09	17,38
JUL	25,40	22,20	22,30	21,56	20,73	22,19	20,81
AGO	25,77	24,54	23,55	22,59	20,98	23,26	21,51
SEP	24,19	19,79	19,87	18,28	18,26	19,53	17,49
OCT	19,92	14,09	15,24	13,04	13,29	12,91	13,34
NOV	14,27	10,48	10,49	9,36	9,22	8,53	8,54
DIC	11,04	7,56	7,75	6,53	6,44	5,67	5,08
MEDIA	18,23	14,28	13,71	13,49	12,73	13,29	12,28
DIFERENCIA		3,95	4,52	4,74	5,50	4,94	5,95

La tabla anterior tiene los valores de la Temperatura máxima, analizando los datos se ve que para esta cuenca los modelos que más se asemejan a los datos reales son

- C01. HadGEM2-ES de la Institución SMHI.
- C02. CM5A-MR de la Institución SMHI.
- C03. HadGEM2-ES de la Institución KNMI.

En la siguiente gráfica se representan los datos de la Temperatura Mínima y ocurre lo mismo que para la Temperatura media y máxima.

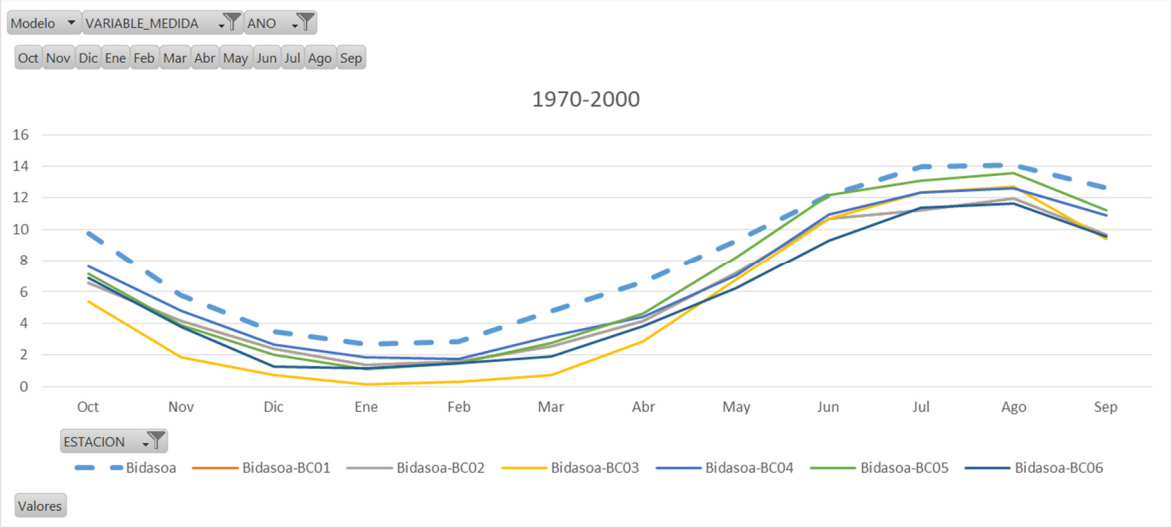


Figura 58.- Temperatura mínima 1970-2000 cuenca Bidasoa

Tabla 39.- Valores de Temperatura mínima en la cuenca Bidasoa

Valores	Bidasoa	Bidasoa-C01	Bidasoa-C02	Bidasoa-C03	Bidasoa-C04	Bidasoa-C05	Bidasoa-C06
ENE	2,68	1,36	1,36	0,11	1,85	1,12	1,13
FEB	2,81	1,58	1,58	0,29	1,73	1,49	1,49
MAR	4,76	2,53	2,53	0,75	3,17	2,75	1,89
ABR	6,65	4,18	4,18	2,85	4,43	4,65	3,85
MAY	9,25	7,21	7,21	6,80	7,04	8,22	6,22
JUN	12,17	10,68	10,68	10,66	10,94	12,17	9,27
JUL	13,99	11,21	11,21	12,37	12,33	13,07	11,35
AGO	14,08	11,95	11,95	12,69	12,59	13,55	11,63
SEP	12,61	9,65	9,65	9,38	10,90	11,20	9,54
OCT	9,72	6,54	6,54	5,38	7,61	7,17	6,89
NOV	5,77	4,15	4,15	1,87	4,78	3,87	3,79
DIC	3,50	2,38	2,38	0,74	2,63	2,00	1,24
MEDIA	8,17	6,12	6,12	5,32	6,66	6,77	5,69
DIFERENCIA		2,05	2,05	2,84	1,50	1,39	2,47

La tabla anterior tiene los valores de la Temperatura mínima, analizando los datos se observa que para esta cuenca los modelos que más se asemejan a los datos reales son

- C01. HadGEM2-ES de la Institución SMHI.

- C04. MPI-ESM-LR de la Institución CLMcom
- C05. HadGEM2-ES de la Institución CLMcom.

8.1.2 Arga

En la siguiente gráfica se tiene la distribución de la precipitación media mensual para la cuenca, se ve que la tendencia es muy parecida a la de los datos observados (línea discontinua azul).

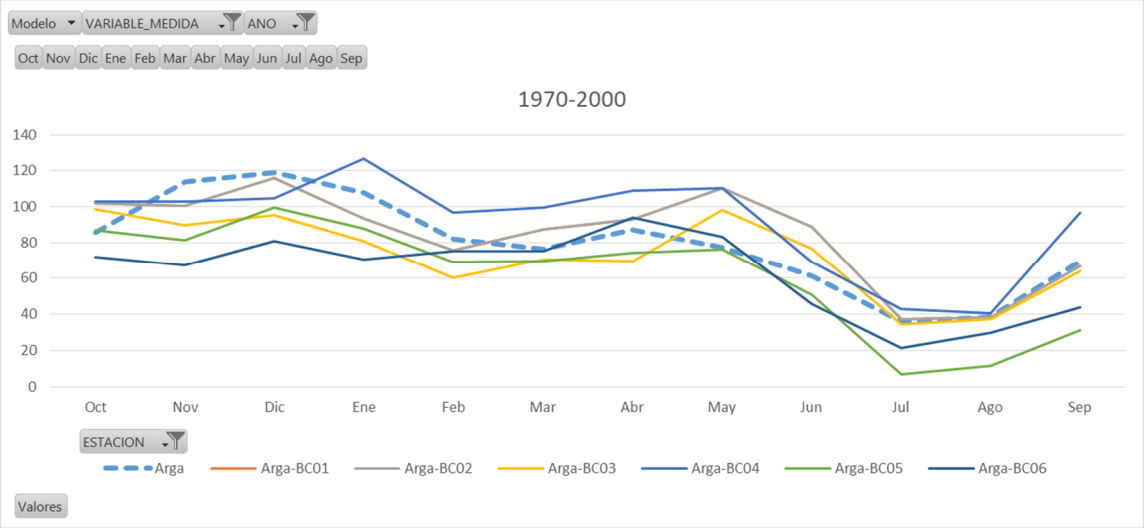


Figura 59.- Precipitación 1970-2000 cuenca Arga

Tabla 40.- Valores de Precipitación media para la cuenca Arga

Valores	Arga	Arga-C01	Arga-C02	Arga-C03	Arga-C04	Arga-C05	Arga-C06
ENE	107,73	93,56	95,98	80,95	126,72	88,04	70,74
FEB	81,87	75,50	81,13	60,10	96,71	68,98	75,41
MAR	76,47	87,31	90,82	70,30	99,46	69,38	75,24
ABR	87,33	92,90	77,70	69,48	108,99	74,09	93,93
MAY	77,34	110,21	59,33	98,31	110,17	76,33	83,24
JUN	61,42	88,67	60,39	76,57	69,11	51,02	45,86
JUL	35,88	37,38	60,59	34,60	42,68	7,01	21,32
AGO	38,47	38,09	36,90	37,26	40,75	11,26	29,87
SEP	69,38	66,95	60,78	64,15	96,65	31,10	43,78
OCT	85,63	102,12	82,07	98,44	102,78	87,03	71,79
NOV	113,95	100,44	81,01	89,57	102,87	81,41	67,43
DIC	118,80	115,90	83,62	95,44	104,66	99,72	80,71
TOTAL	954,28	1009,05	870,31	875,17	1101,56	745,38	759,32
DIFERENCIA		-54,77	83,97	79,10	-147,28	208,90	194,96

La tabla anterior tiene los valores de la precipitación, analizando los datos se aprecia que para esta cuenca los modelos que más se asemejan a los datos reales son

- C01. HadGEM2-ES de la Institución SMHI.
- C02. CM5A-MR de la Institución SMHI.
- C03. HadGEM2-ES de la Institución KNMI.

En la siguiente figura se muestran los datos para la Temperatura media y se aprecia que los modelos siguen la misma distribución que los datos reales pero que sus valores son inferiores.

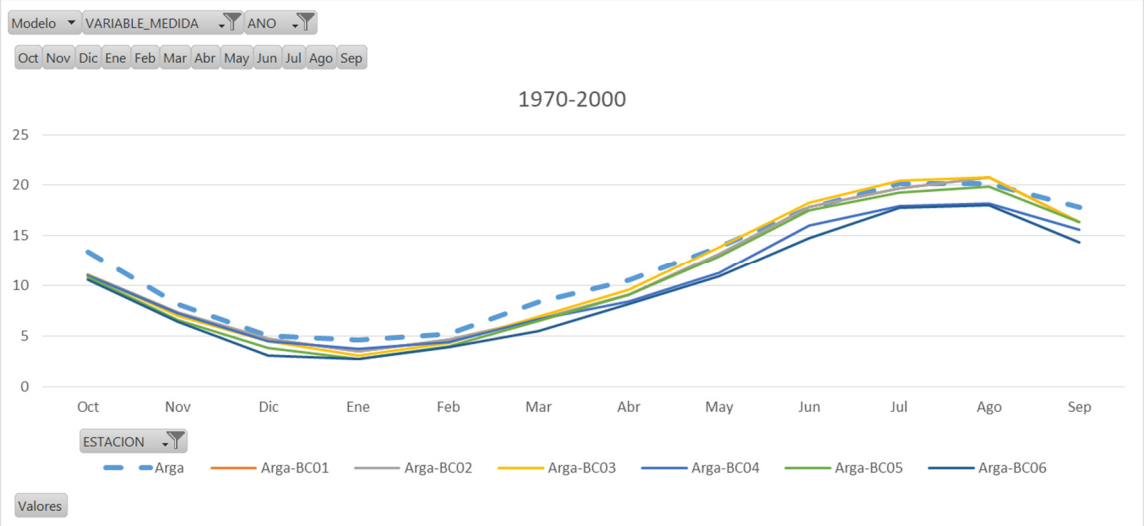


Figura 60.- Temperatura media 1970-2000 cuenca Arga

Tabla 41.- Valores de Temperatura media para la cuenca Arga

Valores	Arga	Arga-C01	Arga-C02	Arga-C03	Arga-C04	Arga-C05	Arga-C06
ENE	4,57	4,50	3,82	2,15	3,73	2,71	2,75
FEB	5,21	5,64	4,31	3,34	4,37	4,01	3,86
MAR	8,33	7,62	6,12	5,88	6,61	6,49	5,46
ABR	10,53	10,08	8,43	8,56	8,39	9,09	8,18
MAY	13,85	14,17	11,19	12,83	11,27	12,91	10,96
JUN	17,70	18,85	15,51	17,25	16,05	17,51	14,73
JUL	20,18	20,68	19,76	19,47	17,94	19,25	17,77
AGO	20,19	21,76	20,15	19,82	18,19	19,86	17,99
SEP	17,81	17,32	16,44	15,36	15,60	16,37	14,36
OCT	13,40	12,06	11,81	10,12	11,04	10,82	10,62
NOV	8,08	8,32	7,22	5,95	7,20	6,53	6,38

DIC	5,06	5,72	4,57	3,51	4,50	3,84	3,03
MEDIA	12,07	12,23	10,78	10,35	10,41	10,78	9,67
DIFERENCIA		-0,15	1,30	1,72	1,67	1,29	2,40

La tabla anterior tiene los valores de la Temperatura media, analizando los datos se ve que para esta cuenca los modelos que más se asemejan a los datos reales son

- C01. HadGEM2-ES de la Institución SMHI.
- C02. CM5A-MR de la Institución SMHI.
- C04. MPI-ESM-LR de la Institución CLMcom

En la siguiente gráfica se observan los datos de la Temperatura Máxima y ocurre lo mismo que para la Temperatura media.

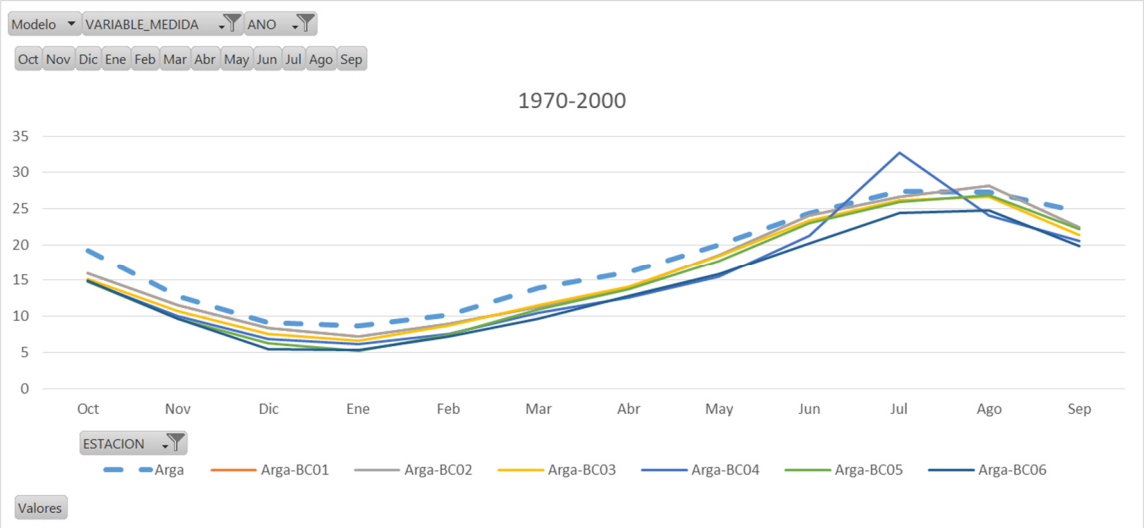


Figura 61.- Temperatura máxima 1970-2000 cuenca Arga

Tabla 42.- Valores de Temperatura máxima para la cuenca Arga

Valores	Arga	Arga-C01	Arga-C02	Arga-C03	Arga-C04	Arga-C05	Arga-C06
ENE	8,72	7,20	7,51	6,67	6,16	5,21	5,32
FEB	10,15	8,98	8,66	8,76	7,56	7,45	7,15
MAR	13,96	11,35	10,96	11,60	10,49	10,92	9,69

ABR	16,16	13,95	13,67	14,12	12,65	13,81	12,83
MAY	20,07	18,54	16,99	18,47	15,53	17,79	15,84
JUN	24,38	24,11	21,87	23,31	21,21	23,06	20,25
JUL	27,36	26,64	26,95	26,13	23,91	25,96	24,36
AGO	27,25	28,19	27,69	26,67	24,11	26,92	24,74
SEP	24,54	22,47	22,85	21,36	20,59	22,23	19,82
OCT	19,21	15,96	17,11	15,14	14,83	14,85	14,95
NOV	12,73	11,58	11,67	10,66	10,03	9,70	9,61
DIC	9,09	8,38	8,46	7,57	6,89	6,27	5,50
MEDIA	17,80	16,45	16,20	15,87	14,50	15,35	14,17
DIFERENCIA		1,36	1,60	1,93	3,31	2,46	3,63

La tabla anterior tiene los valores de la Temperatura máxima, analizando los datos podemos ver que para esta cuenca los modelos que más se asemejan a los datos reales son

- CO1. HadGEM2-ES de la Institución SMHI.
- CO2. CM5A-MR de la Institución SMHI.
- CO3. HadGEM2-ES de la Institución KNMI.

En la siguiente gráfica se representan los datos de la Temperatura Mínima y ocurre lo mismo que para la Temperatura media y máxima.

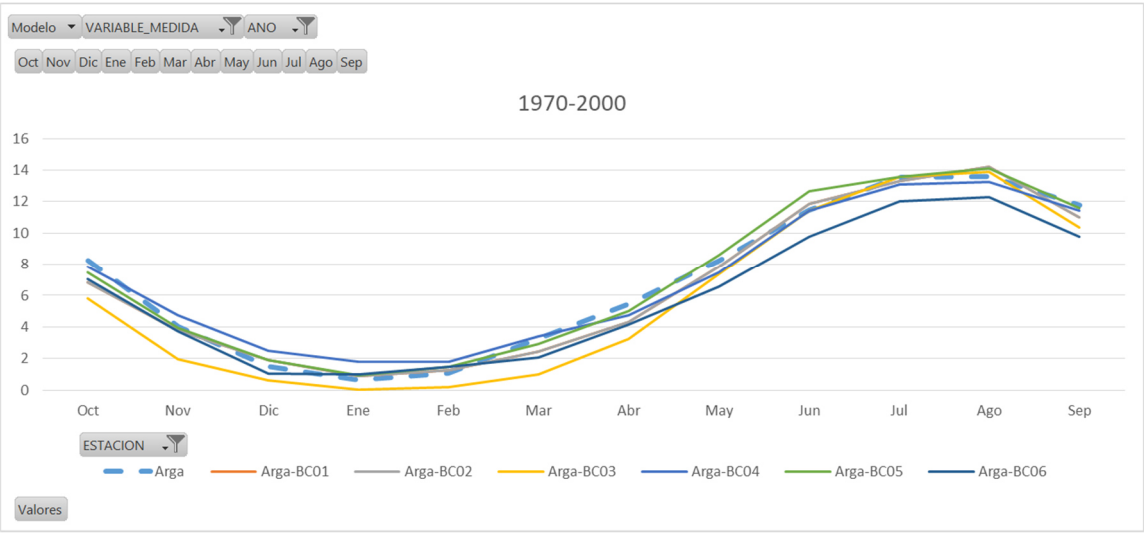


Figura 62.- Temperatura mínima 1970-2000 cuenca Arga

Tabla 43.- Valores de Temperatura mínima en la cuenca Arga

Valores	Arga	Arga-C01	Arga-C02	Arga-C03	Arga-C04	Arga-C05	Arga-C06
ENE	0,65	0,89	0,89	0,05	1,80	0,96	0,99
FEB	1,07	1,28	1,28	0,19	1,78	1,49	1,49
MAR	3,27	2,43	2,43	0,99	3,37	2,91	2,07
ABR	5,48	4,31	4,31	3,21	4,73	5,00	4,17
MAY	8,23	7,85	7,85	7,35	7,45	8,59	6,56
JUN	11,45	11,86	11,86	11,45	11,44	12,68	9,77
JUL	13,55	13,33	13,33	13,55	13,07	13,58	12,04
AGO	13,61	14,23	14,23	13,90	13,25	14,11	12,30
SEP	11,79	10,99	10,99	10,34	11,43	11,60	9,78
OCT	8,25	6,81	6,81	5,82	7,84	7,48	7,03
NOV	4,02	3,75	3,75	1,94	4,74	3,92	3,71
DIC	1,49	1,89	1,89	0,59	2,49	1,90	1,05
MEDIA	6,91	6,63	6,63	5,78	6,95	7,02	5,91
DIFERENCIA		0,27	0,27	1,12	-0,05	-0,11	0,99

La tabla anterior tiene los valores de la Temperatura mínima, analizando los datos se observa que para esta cuenca los modelos que más se asemejan a los datos reales son

- C01. HadGEM2-ES de la Institución SMHI.
- C04. MPI-ESM-LR de la Institución CLMcom
- C05. HadGEM2-ES de la Institución CLMcom.

8.1.3 Iranzu

En la siguiente gráfica se representa la distribución de la precipitación media mensual para la cuenca, se observa que la tendencia es muy parecida a la de los datos observados (línea discontinua azul).

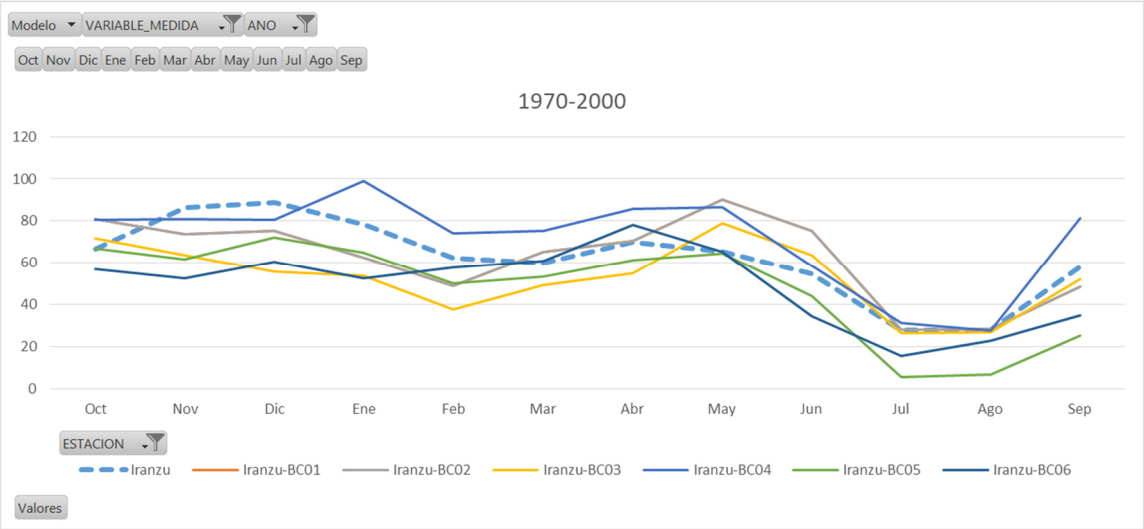


Figura 63.- Precipitación 1970-2000 cuenca Iranzu

Tabla 44.- Valores de precipitación media para la cuenca Iranzu

Valores	Iranzu	Iranzu-C01	Iranzu-C02	Iranzu-C03	Iranzu-C04	Iranzu-C05	Iranzu-C06
ENE	70,66	63,10	63,52	67,71	98,93	55,49	49,92
FEB	57,63	59,86	50,60	46,74	74,21	43,92	49,08
MAR	60,47	74,60	57,67	50,16	75,43	40,31	45,56
ABR	69,15	82,74	53,86	39,98	85,55	54,36	44,40
MAY	82,53	92,78	45,43	25,25	86,64	83,22	77,28
JUN	63,04	59,85	50,70	27,29	58,47	67,19	53,08
JUL	25,99	23,82	60,13	27,62	31,00	15,35	12,24
AGO	28,08	32,43	33,49	17,78	27,67	42,42	23,42
SEP	48,86	50,27	48,48	27,37	81,27	44,12	52,77
OCT	75,45	80,11	41,80	37,71	80,62	70,00	60,64
NOV	78,56	66,91	59,15	50,37	81,07	60,60	72,39
DIC	75,68	68,19	49,32	53,73	80,57	68,33	57,50
TOTAL	736,08	754,66	614,16	471,69	861,44	645,31	598,28
DIFERENCIA		-18,59	121,92	264,38	-125,36	90,77	137,80

La tabla anterior tiene los valores de la precipitación, analizando los datos se observa que para esta cuenca los modelos que más se asemejan a los datos reales son

- C01. HadGEM2-ES de la Institución SMHI.
- C02. CM5A-MR de la Institución SMHI.
- C05. HadGEM2-ES de la Institución CLMcom.

En la siguiente figura se representan los datos para la Temperatura media y se observa que los modelos siguen la misma distribución que los datos reales pero que sus valores son inferiores.

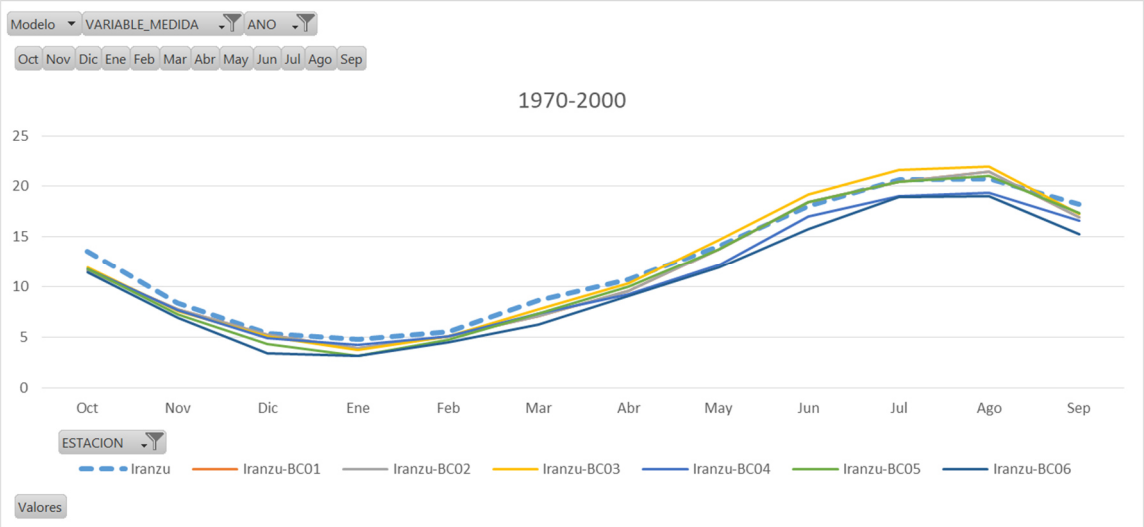


Figura 64.- Temperatura media 1970-2000 cuenca Iranzu

Tabla 45.- Valores de Temperatura media para la cuenca Iranzu

Valores	Iranzu	Iranzu-C01	Iranzu-C02	Iranzu-C03	Iranzu-C04	Iranzu-C05	Iranzu-C06
ENE	4,75	4,92	4,27	2,75	4,22	3,15	3,16
FEB	5,52	6,07	4,85	4,11	5,02	4,69	4,46
MAR	8,66	8,09	6,85	6,73	7,36	7,33	6,23
ABR	10,71	10,61	9,25	9,36	9,26	9,98	9,07
MAY	14,07	14,75	12,19	13,70	12,18	13,79	11,93
JUN	18,08	19,45	16,35	18,18	17,01	18,46	15,76
JUL	20,67	21,47	20,41	20,60	19,07	20,42	18,94
AGO	20,73	22,45	20,77	20,93	19,33	21,02	19,07

Valores	Iranzu	Iranzu-C01	Iranzu-C02	Iranzu-C03	Iranzu-C04	Iranzu-C05	Iranzu-C06
SEP	18,25	17,93	17,09	16,29	16,57	17,38	15,28
OCT	13,51	12,58	12,34	10,94	11,79	11,73	11,38
NOV	8,36	8,71	7,59	6,59	7,67	7,22	6,93
DIC	5,36	6,22	4,88	4,11	4,92	4,34	3,41
MEDIA	12,39	12,77	11,40	11,19	11,20	11,63	10,47
DIFERENCIA		-0,38	0,98	1,20	1,19	0,76	1,92

La tabla anterior tiene los valores de la Temperatura media, analizando los datos se observa que para esta cuenca los modelos que más se asemejan a los datos reales son:

- C01. HadGEM2-ES de la Institución SMHI.
- C02. CM5A-MR de la Institución SMHI.
- C05. HadGEM2-ES de la Institución CLMcom.

En la siguiente gráfica se representan los datos de la Temperatura Máxima y ocurre lo mismo que para la Temperatura media.

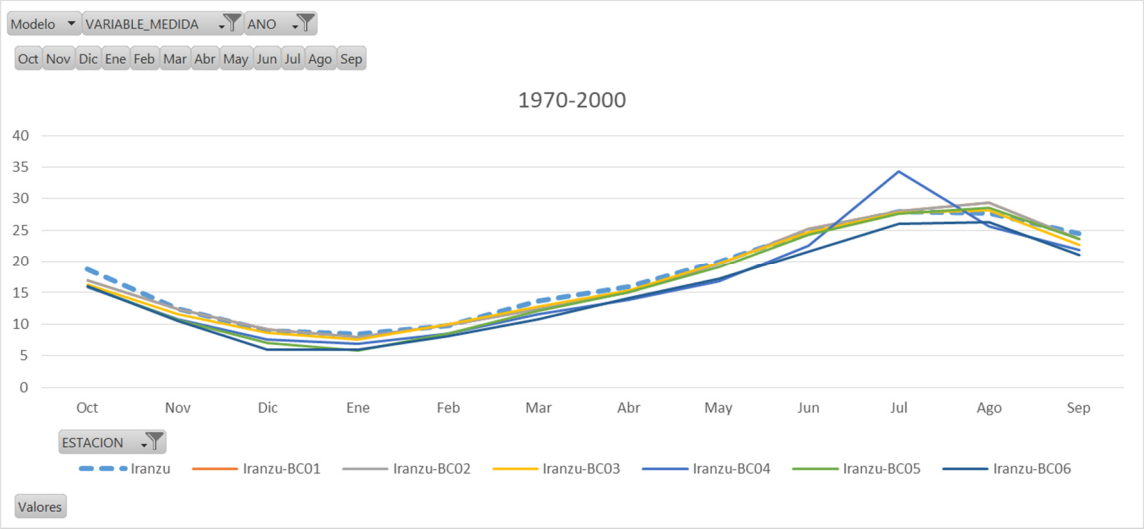


Figura 65.- Temperatura máxima 1970-2000 cuenca Iranzu

Tabla 46.- Valores de Temperatura máxima para la cuenca Iranzu

Valores	Iranzu	Iranzu-C01	Iranzu-C02	Iranzu-C03	Iranzu-C04	Iranzu-C05	Iranzu-C06

ENE	8,45	7,99	8,62	7,63	6,89	5,88	5,95
FEB	9,77	9,88	9,86	9,94	8,49	8,45	8,08
MAR	13,72	12,36	12,41	12,84	11,58	12,11	10,79
ABR	15,95	15,02	15,22	15,31	13,91	15,03	14,08
MAY	20,00	19,64	18,74	19,72	16,84	19,05	17,18
JUN	24,76	25,23	23,44	24,63	22,52	24,35	21,66
JUL	27,93	28,08	28,29	27,78	25,43	27,65	26,01
AGO	27,69	29,44	28,98	28,19	25,68	28,60	26,28
SEP	24,52	23,60	24,07	22,62	21,87	23,61	21,08
OCT	18,75	16,98	18,31	16,29	15,87	16,05	15,94
NOV	12,41	12,40	12,72	11,64	10,76	10,65	10,45
DIC	9,00	9,21	9,34	8,59	7,50	7,03	6,02
MEDIA	17,74	17,49	17,50	17,10	15,61	16,54	15,29
DIFERENCIA		0,26	0,25	0,64	2,13	1,21	2,45

La tabla anterior tiene los valores de la Temperatura máxima, analizando los datos se ve que para esta cuenca los modelos que más se asemejan a los datos reales son:

- CO1. HadGEM2-ES de la Institución SMHI.
- CO2. CM5A-MR de la Institución SMHI.
- CO3. HadGEM2-ES de la Institución KNMI.

En la siguiente gráfica se muestran los datos de la Temperatura Mínima y ocurre lo mismo que para la Temperatura media y máxima.

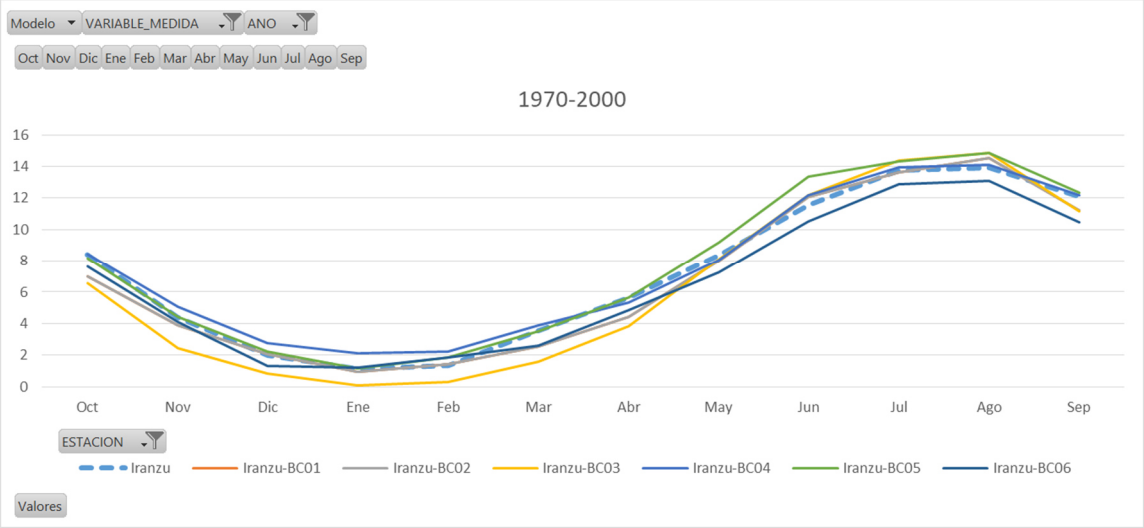


Figura 66.- Temperatura mínima 1970-2000 cuenca Iranzu

Valores	Iranzu	Iranzu-C01	Iranzu-C02	Iranzu-C03	Iranzu-C04	Iranzu-C05	Iranzu-C06
ENE	1,13	0,95	0,95	0,07	2,11	1,16	1,20
FEB	1,35	1,41	1,41	0,32	2,24	1,85	1,84
MAR	3,54	2,55	2,55	1,56	3,89	3,48	2,60
ABR	5,62	4,40	4,40	3,82	5,33	5,65	4,82
MAY	8,33	7,99	7,99	8,09	8,06	9,19	7,24
JUN	11,56	12,07	12,07	12,16	12,19	13,35	10,50
JUL	13,75	13,62	13,62	14,35	13,95	14,33	12,90
AGO	13,95	14,53	14,53	14,84	14,09	14,86	13,08
SEP	12,10	11,22	11,22	11,19	12,17	12,34	10,45
OCT	8,43	6,99	6,99	6,58	8,41	8,16	7,62
NOV	4,39	3,88	3,88	2,45	5,08	4,44	4,09
DIC	1,96	2,07	2,07	0,86	2,78	2,24	1,29
MEDIA	7,17	6,81	6,81	6,36	7,53	7,59	6,47
DIFERENCIA		0,37	0,37	0,82	-0,35	-0,41	0,70

Tabla 47.- Valores de Temperatura mínima en la cuenca Iranzu

La tabla anterior tiene los valores de la Temperatura mínima, analizando los datos podemos ver que para esta cuenca los modelos que más se asemejan a los datos reales son

- C01. HadGEM2-ES de la Institución SMHI.
- C02. CM5A-MR de la Institución SMHI.
- C04. MPI-ESM-LR de la Institución CLMcom

8.1.4 Aragón

En la siguiente gráfica se representa la distribución de la precipitación media mensual para la cuenca, se ve que la tendencia es muy parecida a la de los datos observados (línea discontinua azul).

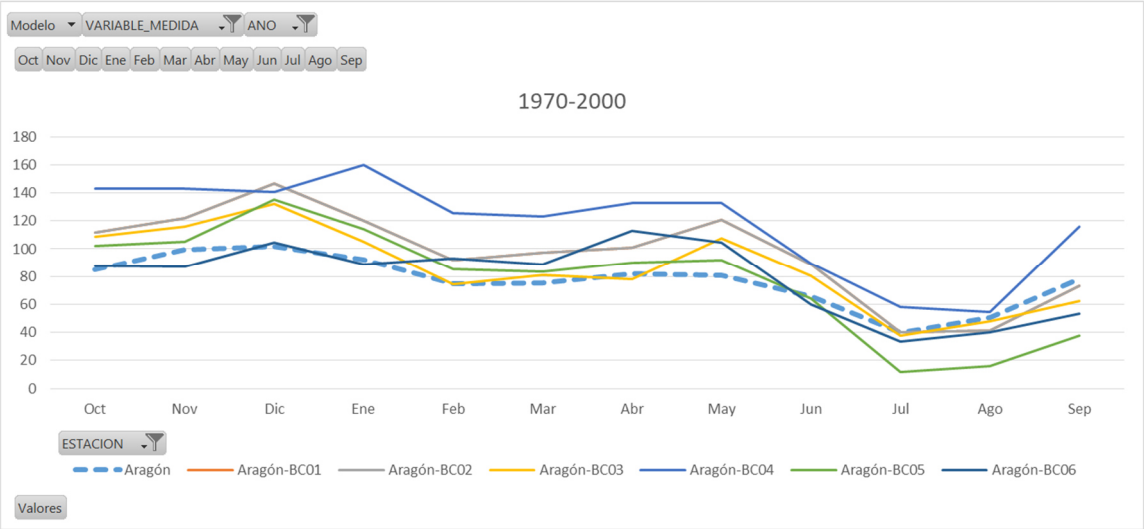


Figura 67.- Precipitación 1970-2000 cuenca Aragón

Tabla 48.- Valores de Precipitación media para la cuenca Aragón

Valores	Aragón	Aragón-C01	Aragón-C02	Aragón-C03	Aragón-C04	Aragón-C05	Aragón-C06
ENE	92,11	120,08	144,82	105,40	160,17	114,12	88,67
FEB	74,43	91,75	115,80	74,58	125,84	85,38	93,16
MAR	75,13	97,06	126,74	81,18	123,32	83,22	88,67
ABR	82,16	100,84	95,50	78,29	132,67	89,98	112,85
MAY	80,74	120,51	64,53	107,22	132,79	91,95	104,66
JUN	65,91	88,63	65,90	80,40	89,74	64,27	59,94
JUL	39,55	39,81	65,94	37,94	57,89	11,64	33,56
AGO	50,46	41,44	40,79	47,67	54,68	16,15	39,93
SEP	78,52	73,02	66,67	62,58	116,24	37,56	53,56
OCT	84,80	111,99	100,84	108,78	143,01	102,27	87,52
NOV	99,22	122,17	103,64	115,79	142,80	105,18	87,01
DIC	101,66	146,51	123,74	132,42	140,67	134,95	104,24
TOTAL	924,69	1153,81	1114,92	1032,26	1419,83	936,69	953,76
DIFERENCIA		-229,12	-190,24	-107,57	-495,14	-12,00	-29,07

La tabla anterior tiene los valores de la precipitación, analizando los datos se observa que para esta cuenca los modelos que más se asemejan a los datos reales son

- C03. HadGEM2-ES de la Institución KNMI.
- C05. HadGEM2-ES de la Institución CLMcom.
- C06. EC-EARTH de la Institución CLMcom.

En la siguiente figura se representan los datos para la Temperatura media y se observa que los modelos siguen la misma distribución que los datos reales pero que sus valores son inferiores.

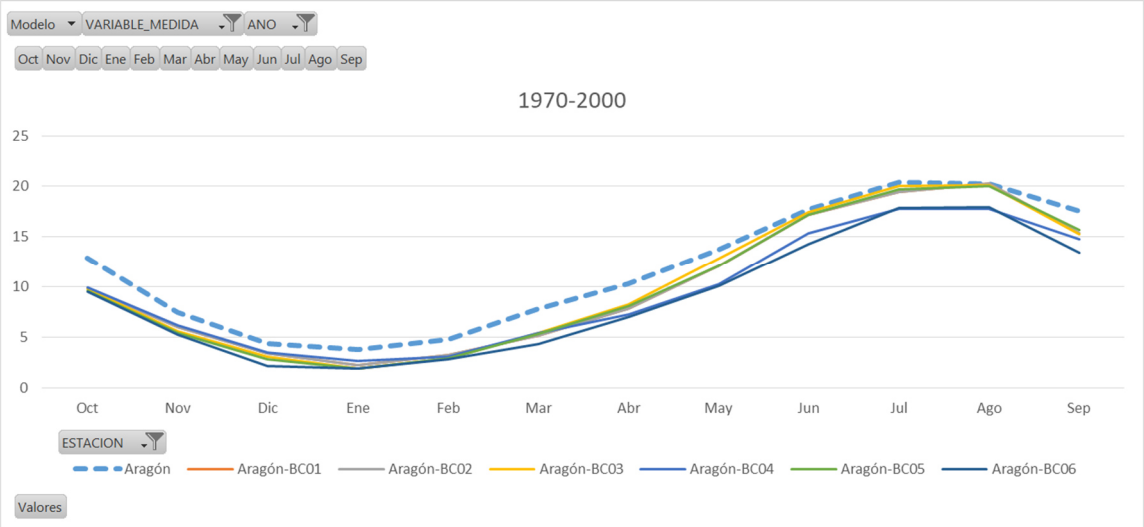


Figura 68.- Temperatura media 1970-2000 cuenca Aragón

Tabla 49.- Valores de Temperatura media para la cuenca Aragón

Valores	Aragón	Aragón-C01	Aragón-C02	Aragón-C03	Aragón-C04	Aragón-C05	Aragón-C06
ENE	3,80	3,05	2,41	1,23	2,65	1,91	1,90
FEB	4,75	4,08	2,90	2,15	3,05	2,93	2,83
MAR	7,81	6,10	4,44	4,45	5,36	5,33	4,29
ABR	10,26	8,79	6,93	7,28	7,22	8,04	7,02
MAY	13,74	13,12	10,14	11,82	10,24	12,11	10,08
JUN	17,74	18,18	15,09	16,47	15,39	17,19	14,26
JUL	20,42	20,49	19,67	19,03	17,78	19,68	17,88
AGO	20,25	21,31	19,99	19,16	17,76	20,06	17,90
SEP	17,56	16,31	15,60	14,31	14,73	15,65	13,44
OCT	12,91	10,81	10,55	8,74	9,91	9,59	9,47
NOV	7,46	7,01	5,87	4,58	6,14	5,38	5,24
DIC	4,39	4,28	3,16	2,24	3,51	2,77	2,15
MEDIA	11,76	11,13	9,73	9,29	9,48	10,05	8,87
DIFERENCIA		0,63	2,03	2,47	2,28	1,70	2,89

La tabla anterior tiene los valores de la Temperatura media, analizando los datos se ve que para esta cuenca los modelos que más se asemejan a los datos reales son

- C01. HadGEM2-ES de la Institución SMHI.
- C02. CM5A-MR de la Institución SMHI.
- C05. HadGEM2-ES de la Institución CLMcom.

En la siguiente gráfica se muestran los datos de la Temperatura Máxima y ocurre lo mismo que para la Temperatura media.

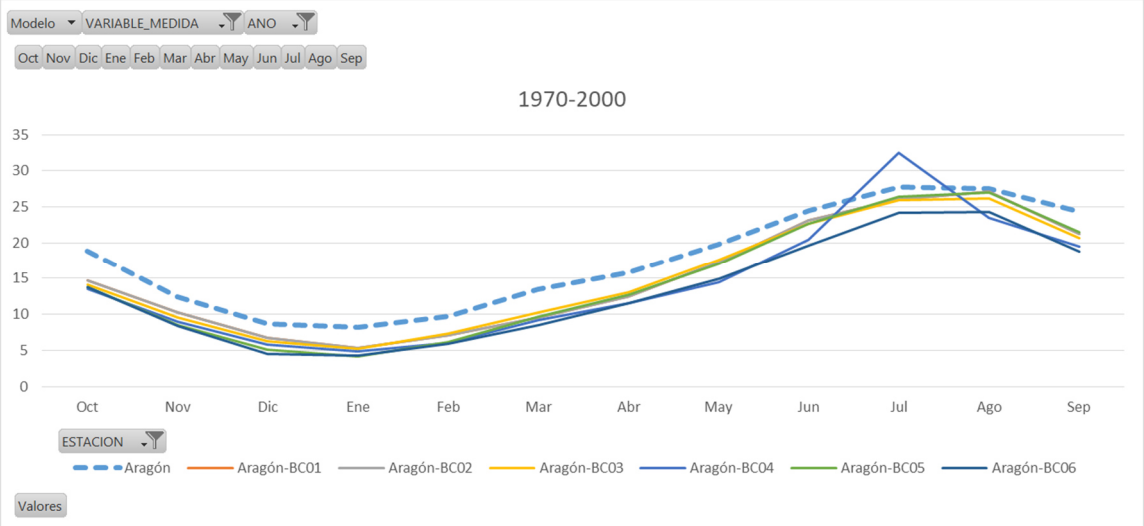


Figura 69.- Temperatura máxima 1970-2000 cuenca Aragón

Tabla 50.- Valores de Temperatura Máxima para la cuenca Aragón

Valores	Aragón	Aragón-C01	Aragón-C02	Aragón-C03	Aragón-C04	Aragón-C05	Aragón-C06
ENE	8,20	5,39	5,44	5,27	4,89	4,11	4,26
FEB	9,75	7,10	6,55	7,36	6,02	6,15	5,89
MAR	13,43	9,60	8,64	10,30	9,17	9,70	8,44
ABR	15,78	12,50	11,71	13,09	11,49	12,72	11,55
MAY	19,83	17,30	15,61	17,67	14,51	17,02	14,94
JUN	24,48	23,15	21,13	22,70	20,44	22,66	19,67
JUL	27,81	26,11	26,33	25,96	23,62	26,47	24,23
AGO	27,56	27,13	26,89	26,12	23,45	26,96	24,30
SEP	24,32	21,26	21,70	20,70	19,53	21,43	18,78
OCT	18,88	14,73	15,58	14,16	13,58	13,71	13,71
NOV	12,36	10,20	10,09	9,54	8,92	8,51	8,41
DIC	8,67	6,73	6,65	6,22	5,80	5,04	4,46
MEDIA	17,59	15,10	14,69	14,92	13,45	14,54	13,22
DIFERENCIA		2,49	2,90	2,67	4,14	3,05	4,37

La tabla anterior tiene los valores de la Temperatura máxima, analizando los datos se llega a la conclusión que para esta cuenca los modelos que más se asemejan a los datos reales son

- C01. HadGEM2-ES de la Institución SMHI.
- C02. CM5A-MR de la Institución SMHI.

- C03. HadGEM2-ES de la Institución KNMI.

En la siguiente gráfica se representan los datos de la Temperatura Mínima y ocurre lo mismo que para la Temperatura media y máxima.

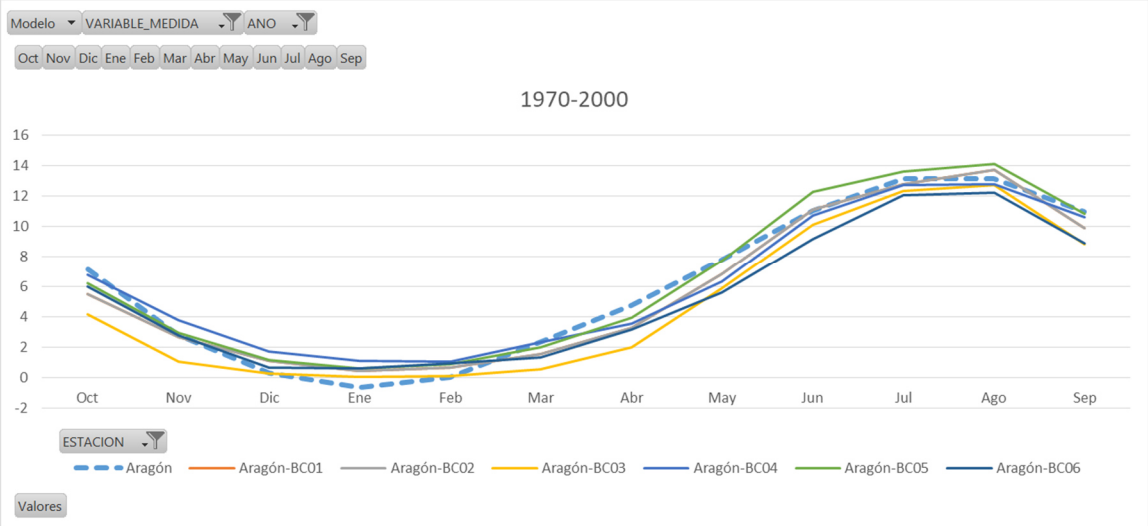


Figura 70.- Temperatura mínima 1970-2000 cuenca Aragón

Tabla 51.- Valores de Temperatura mínima en la cuenca Aragón

Valores	Aragón	Aragón-C01	Aragón-C02	Aragón-C03	Aragón-C04	Aragón-C05	Aragón-C06
ENE	0,65	0,89	0,89	0,05	1,80	0,96	0,99
FEB	1,07	1,28	1,28	0,19	1,78	1,49	1,49
MAR	3,27	2,43	2,43	0,99	3,37	2,91	2,07
ABR	5,48	4,31	4,31	3,21	4,73	5,00	4,17
MAY	8,23	7,85	7,85	7,35	7,45	8,59	6,56
JUN	11,45	11,86	11,86	11,45	11,44	12,68	9,77
JUL	13,55	13,33	13,33	13,55	13,07	13,58	12,04
AGO	13,61	14,23	14,23	13,90	13,25	14,11	12,30
SEP	11,79	10,99	10,99	10,34	11,43	11,60	9,78
OCT	8,25	6,81	6,81	5,82	7,84	7,48	7,03
NOV	4,02	3,75	3,75	1,94	4,74	3,92	3,71
DIC	1,49	1,89	1,89	0,59	2,49	1,90	1,05
MEDIA	6,91	6,63	6,63	5,78	6,95	7,02	5,91
DIFERENCIA		0,27	0,27	1,12	-0,05	-0,11	0,99

La tabla anterior tiene los valores de la Temperatura mínima, analizando los datos se ve que para esta cuenca los modelos que más se asemejan a los datos reales son

- C01. HadGEM2-ES de la Institución SMHI.
- C04. MPI-ESM-LR de la Institución CLMcom
- C05. HadGEM2-ES de la Institución CLMcom.

8.1.5 Alhama

En la siguiente gráfica se muestra la distribución de la precipitación media mensual para la cuenca, se observa que la tendencia es muy parecida a la de los datos observados (línea discontinua azul).

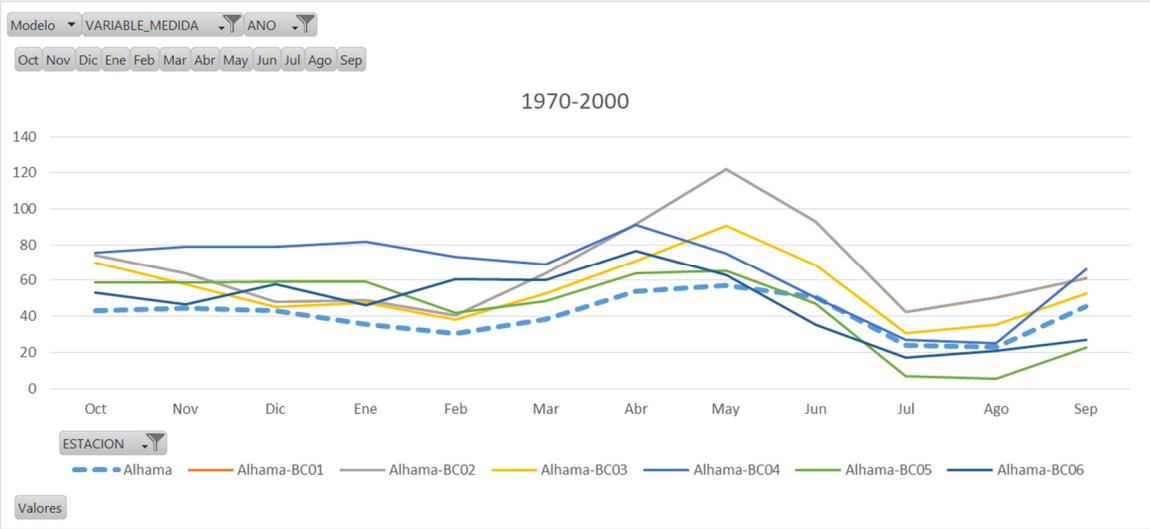


Figura 71.- Precipitación 1970-2000 cuenca Alhama

Tabla 52.- Valores de Precipitación media para la cuenca Alhama.

Valores	Alhama	Alhama-C01	Alhama-C02	Alhama-C03	Alhama-C04	Alhama-C05	Alhama-C06
ENE	35,80	49,11	35,38	47,37	81,79	59,26	46,32
FEB	30,31	40,40	32,29	38,32	73,50	41,74	60,56
MAR	38,38	64,04	38,50	52,67	69,16	48,61	60,25
ABR	53,73	91,70	45,96	71,19	91,21	63,83	76,80
MAY	57,03	121,99	41,74	90,46	75,42	65,36	62,80
JUN	50,38	93,11	57,00	68,49	50,45	47,21	35,31
JUL	23,81	42,24	73,39	30,88	26,96	6,97	17,26
AGO	22,84	50,14	43,03	35,15	24,98	5,54	21,05
SEP	45,36	61,09	55,56	52,78	66,16	22,59	27,16
OCT	42,97	74,26	47,91	69,83	75,59	59,00	53,00
NOV	44,74	64,08	35,78	57,96	79,16	58,92	46,40
DIC	43,21	48,12	27,87	45,21	79,16	59,08	57,68
TOTAL	488,55	800,27	534,42	660,33	793,54	538,11	564,60
DIFERENCIA		-311,73	-45,87	-171,78	-304,99	-49,57	-76,05

La tabla anterior tiene los valores de la precipitación, analizando los datos se ve que para esta cuenca los modelos que más se asemejan a los datos reales son

- CO2. CM5A-MR de la Institución SMHI.
- CO5. HadGEM2-ES de la Institución CLMcom.
- CO6. EC-EARTH de la Institución CLMcom.

En la siguiente figura se representan los datos para la Temperatura media y se observa que los modelos siguen la misma distribución que los datos reales pero que sus valores son inferiores.

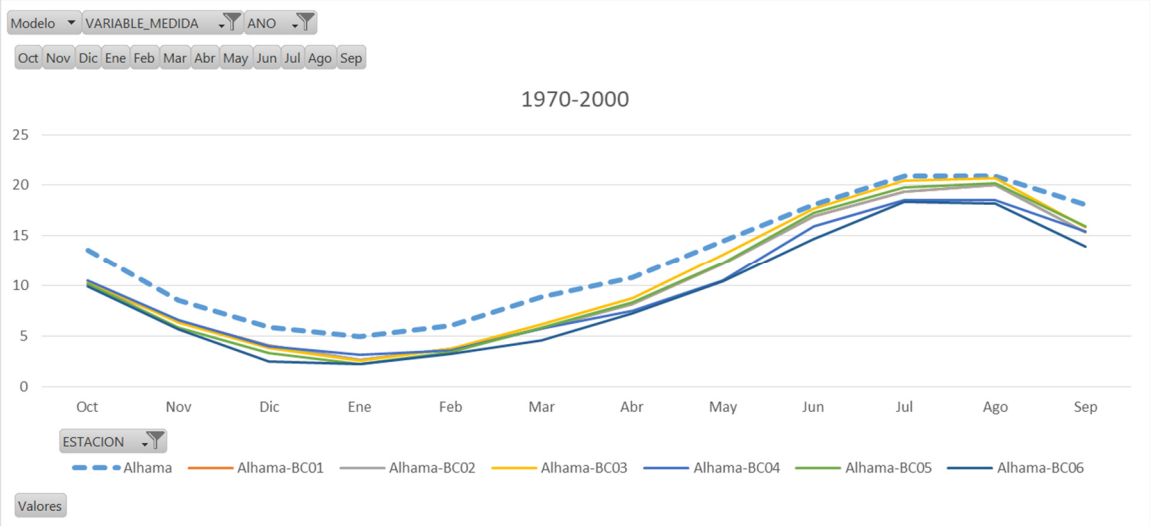


Figura 72.- Temperatura media 1970-2000 cuenca Alhama

Tabla 53.- Valores de Temperatura media para la cuenca Alhama

Valores	Alhama	Alhama-CO1	Alhama-CO2	Alhama-CO3	Alhama-CO4	Alhama-CO5	Alhama-CO6
ENE	4,94	3,60	3,40	1,79	3,12	2,25	2,26
FEB	6,05	4,72	3,82	2,83	3,56	3,37	3,19
MAR	8,84	6,72	5,81	5,15	5,75	5,82	4,54
ABR	10,83	9,19	8,22	7,76	7,51	8,29	7,27
MAY	14,48	13,14	11,24	12,07	10,50	12,22	10,40
JUN	18,05	17,94	15,47	16,66	15,90	17,30	14,65
JUL	20,92	20,39	19,55	19,49	18,51	19,75	18,34
AGO	20,89	21,04	19,91	19,71	18,56	20,17	18,24
SEP	18,09	16,32	15,78	14,81	15,40	15,94	13,93
OCT	13,52	11,12	11,14	9,40	10,48	10,16	9,93

Valores	Alhama	Alhama-CO1	Alhama-CO2	Alhama-CO3	Alhama-CO4	Alhama-CO5	Alhama-CO6
NOV	8,51	7,48	6,65	5,33	6,53	5,85	5,68
DIC	5,84	5,01	4,11	2,91	3,96	3,28	2,44
MEDIA	12,58	11,39	10,42	9,83	9,98	10,37	9,24
DIFERENCIA		1,19	2,15	2,75	2,60	2,21	3,34

La tabla anterior tiene los valores de la Temperatura media, analizando los datos se observa que para esta cuenca los modelos que más se asemejan a los datos reales son

- CO1. HadGEM2-ES de la Institución SMHI.
- CO2. CM5A-MR de la Institución SMHI.
- CO5. HadGEM2-ES de la Institución CLMcom.

En la siguiente gráfica se representan los datos de la Temperatura Máxima y ocurre lo mismo que para la Temperatura media.

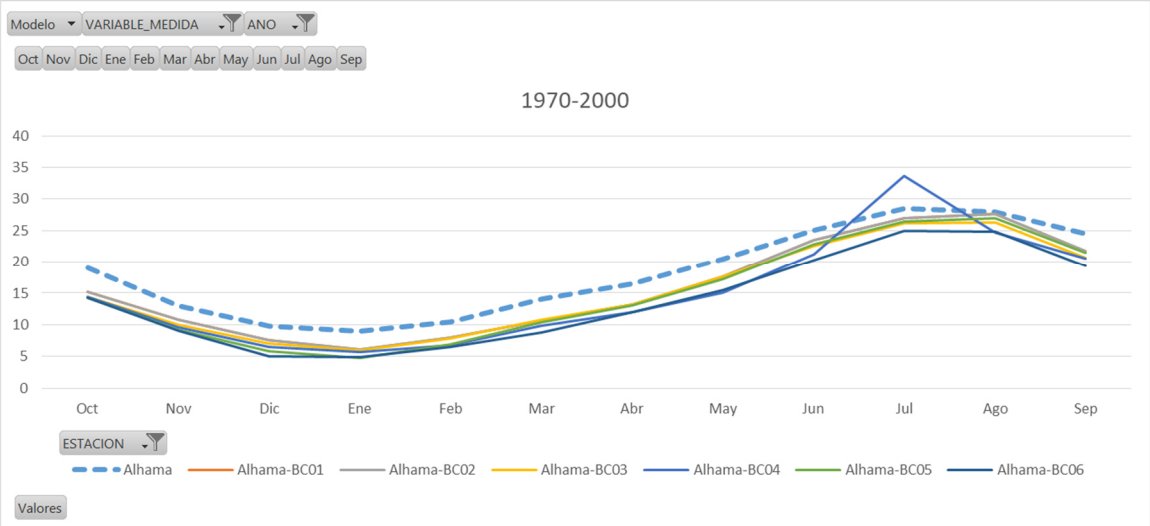


Figura 73.- Temperatura máxima 1970-2000 cuenca Alhama

Tabla 54.- Valores de Temperatura máxima para la cuenca Alhama

Valores	Alhama	Alhama-CO1	Alhama-CO2	Alhama-CO3	Alhama-CO4	Alhama-CO5	Alhama-CO6
ENE	9,03	6,12	6,95	5,93	5,63	4,73	4,86
FEB	10,47	7,97	8,19	7,81	6,80	6,88	6,49
MAR	14,07	10,58	10,75	10,72	9,79	10,42	8,81
ABR	16,45	13,22	13,76	13,24	11,92	13,09	11,98
MAY	20,49	17,66	17,64	17,61	15,06	17,24	15,50

JUN	25,09	23,45	22,47	22,53	21,22	22,83	20,34
JUL	28,46	26,92	27,21	26,22	24,81	26,42	24,94
AGO	28,00	27,66	27,84	26,36	24,65	26,92	24,82
SEP	24,48	21,70	22,56	20,69	20,49	21,53	19,41
OCT	18,97	15,16	16,69	14,39	14,41	14,27	14,27
NOV	13,01	10,75	11,37	9,96	9,54	9,14	9,01
DIC	9,77	7,59	8,00	6,99	6,44	5,84	4,97
MEDIA	18,19	15,73	16,12	15,20	14,23	14,94	13,78
DIFERENCIA		2,46	2,07	2,99	3,96	3,25	4,41

La tabla anterior tiene los valores de la Temperatura máxima, analizando los datos se ve que para esta cuenca los modelos que más se asemejan a los datos reales son

- CO1. HadGEM2-ES de la Institución SMHI.
- CO2. CM5A-MR de la Institución SMHI.
- CO3. HadGEM2-ES de la Institución KNMI.

En la siguiente gráfica se muestran los datos de la Temperatura Mínima y ocurre lo mismo que para la Temperatura media y máxima.

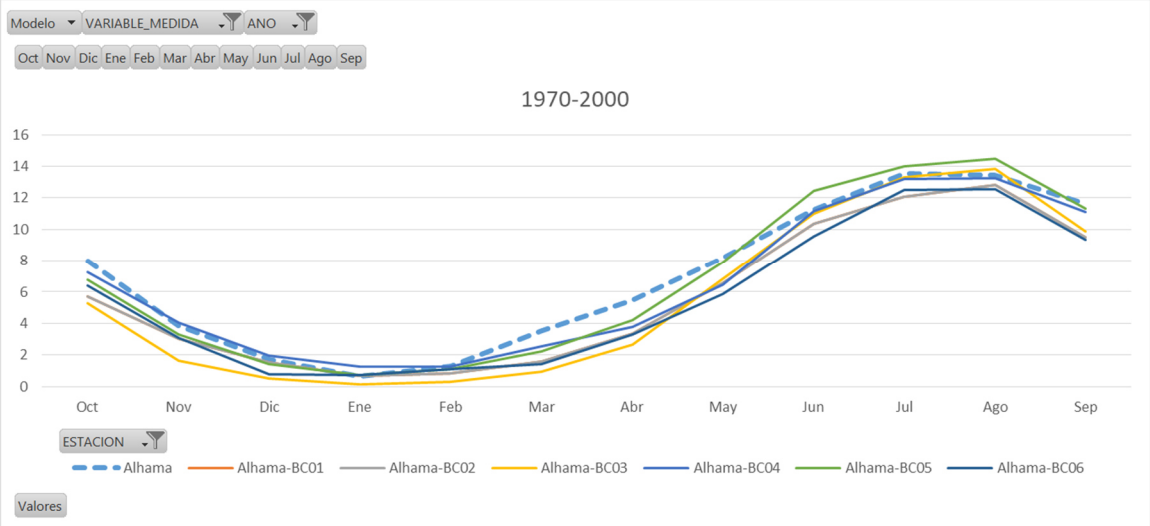


Figura 74.- Temperatura mínima 1970-2000 cuenca Alhama

Tabla 55.- Valores de Temperatura mínima en la cuenca Alhama

Valores	Alhama	Alhama-C01	Alhama-C02	Alhama-C03	Alhama-C04	Alhama-C05	Alhama-C06
ENE	0,63	0,65	0,65	0,11	1,28	0,74	0,74
FEB	1,31	0,83	0,83	0,28	1,28	1,10	1,11
MAR	3,52	1,57	1,57	0,94	2,52	2,24	1,43
ABR	5,48	3,34	3,34	2,67	3,79	4,19	3,29
MAY	8,21	6,57	6,57	6,80	6,47	7,88	5,88
JUN	11,22	10,37	10,37	11,01	11,18	12,46	9,57
JUL	13,54	12,10	12,10	13,33	13,20	14,01	12,50
AGO	13,45	12,80	12,80	13,82	13,24	14,47	12,55
SEP	11,61	9,49	9,49	9,90	11,09	11,32	9,35
OCT	7,97	5,72	5,72	5,26	7,23	6,78	6,41
NOV	3,85	3,05	3,05	1,64	4,03	3,27	3,07
DIC	1,74	1,54	1,54	0,50	1,97	1,40	0,80
MEDIA	6,88	5,67	5,67	5,52	6,44	6,65	5,56
DIFERENCIA		1,21	1,21	1,36	0,43	0,22	1,32

La tabla anterior tiene los valores de la Temperatura mínima, analizando los datos se ve que para esta cuenca los modelos que más se asemejan a los datos reales son

- C01. HadGEM2-ES de la Institución SMHI.
- C04. MPI-ESM-LR de la Institución CLMcom
- C05. HadGEM2-ES de la Institución CLMcom.

8.2 Valoración del Sesgo de la Temperatura Máxima

A continuación, se han represntado los valores medios mensuales de la temperatura máxima para el periodo histórico entre 1970 y 2000. Se puede ver los datos observados reales representados por una línea azul discontinua y los modelos puntuales del CEDEX y los modelos de rejilla de CORDEX. Se puede observar que la distribución mensual de las series es muy parecida a la de los datos observados, todos los modelos tienen el mismo comportamiento y se ve que los valores son inferiores a los datos observados.

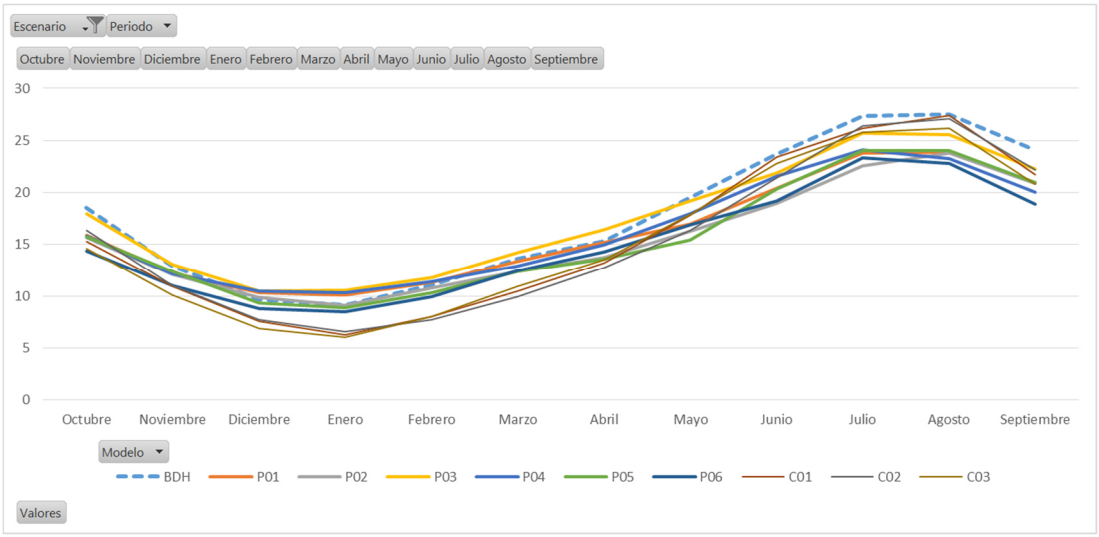


Figura 75.- Evolución temperatura máxima mensual para Navarra para los datos observados y valores de modelos de cambio climático.

Se han promediado los valores de temperatura máxima de todos los modelos para el periodo de control -1970-2000- tanto a nivel mensual como el valor completo -Tabla 56- y se han calculado los errores medios relativos de los valores de los modelos -

Tabla 57-. Se puede observar la gran variación entre el sesgo de la media de la temperatura máxima simulada para cada uno de los modelos.

Tabla 56.- Tabla de valores de temperatura máxima mensual anual en el periodo de control.

ID	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
BDH	18,53	12,88	9,69	9,16	11,02	13,64	15,31	19,57	23,70	27,35	27,51	24,06	17,70
P01	15,95	12,20	10,34	10,09	11,35	13,35	15,22	16,97	20,41	23,81	23,85	20,98	16,21
P02	15,66	12,11	9,90	9,10	10,80	12,37	13,73	16,28	18,97	22,55	23,80	20,87	15,51
P03	17,96	13,09	10,44	10,54	11,78	14,25	16,48	19,23	21,85	25,69	25,53	22,30	17,43
P04	15,87	12,19	10,45	10,29	11,42	12,94	14,97	18,00	21,55	24,11	23,27	20,03	16,26
P05	15,76	12,39	9,35	8,84	10,30	12,40	13,62	15,47	20,39	24,04	24,02	20,99	15,63
P06	14,36	10,97	8,79	8,45	9,95	12,46	14,33	16,93	19,21	23,35	22,78	18,90	15,04
C01	15,30	10,90	7,60	6,30	8,00	10,50	13,20	17,80	23,40	26,20	27,40	21,70	15,69
C02	16,40	11,00	7,70	6,60	7,70	9,90	12,80	16,40	21,40	26,40	27,10	22,20	15,47
C03	14,60	10,10	6,90	6,00	8,00	10,90	13,50	17,90	22,80	25,80	26,20	20,80	15,29

Tabla 57.- Tabla de errores medios relativos para temperatura máxima

ID	Oct.	Nov.	Dic.	Ene	Feb	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Total
P01	-2,59	-0,68	0,65	0,93	0,33	-0,30	-0,08	-2,59	-3,30	-3,54	-3,66	-3,07	-1,49
P02	-2,87	-0,78	0,21	-0,06	-0,22	-1,27	-1,58	-3,29	-4,74	-4,79	-3,71	-3,18	-2,19
P03	-0,58	0,21	0,75	1,38	0,76	0,61	1,17	-0,34	-1,85	-1,66	-1,98	-1,76	-0,27
P04	-2,66	-0,70	0,77	1,13	0,40	-0,70	-0,34	-1,57	-2,15	-3,23	-4,24	-4,03	-1,44
P05	-2,77	-0,50	-0,33	-0,32	-0,72	-1,25	-1,68	-4,10	-3,31	-3,31	-3,49	-3,06	-2,07
P06	-4,17	-1,91	-0,90	-0,71	-1,07	-1,18	-0,98	-2,63	-4,49	-3,99	-4,73	-5,16	-2,66
C01	-3,23	-1,98	-2,09	-2,86	-3,02	-3,14	-2,11	-1,77	-0,30	-1,15	-0,11	-2,36	-2,01
C02	-2,13	-1,88	-1,99	-2,56	-3,32	-3,74	-2,51	-3,17	-2,30	-0,95	-0,41	-1,86	-2,23
C03	-3,93	-2,78	-2,79	-3,16	-3,02	-2,74	-1,81	-1,67	-0,90	-1,55	-1,31	-3,26	-2,41

En la siguiente tabla se muestran los estadísticos de las series de datos observados y de modelos, la media, la desviación típica, el coeficiente de variación, el máximo y el mínimo. El coeficiente de variación nos da si los datos son Homogéneos o Heterogéneos, si el valor es menor o igual al 80% quiere decir que el conjunto de datos es Homogéneo y que la media es representativa del conjunto de datos. En este caso vemos que todos los coeficientes están por debajo de un 55%, esto quiere decir que los datos para la Temperatura Máxima son representativos en todos los modelos.

Tabla 58.- Tabla de estadísticos de cada serie de temperatura máxima para el periodo histórico.

ID	Media	Desviación Típica	Coeficiente de Variación	Máximo	Mínimo
BDH	17,70	6,72	0,38	40,70	10,10
P01	16,21	5,03	0,31	48,80	20,96
P02	15,51	5,04	0,32	46,27	20,43
P03	17,43	5,55	0,32	53,27	21,06
P04	16,26	5,03	0,31	47,40	21,14
P05	15,63	5,49	0,35	46,00	21,48
P06	15,04	5,20	0,35	46,20	20,09
C01	15,69	7,49	0,48	35,70	0,00
C02	15,47	7,35	0,48	36,69	0,00
C03	15,29	7,28	0,48	35,35	0,00

En la Figura 76 se representan las desviaciones de los modelos con respecto a los datos observados para la temperatura máxima entre 1970 y 2000. Se puede ver la dispersión de dichos datos con respecto a los datos observados y se observa que la dispersión es muy lineal respecto a los datos reales.

Los cambios de temperatura máxima para cada uno de los tres periodos futuros en cada modelo muestran las diferencias de los resultados de cada proyección y modelo -

Tabla 59-. Todos los modelos puntuales tienen un aumento en su temperatura máxima para los dos forzamientos radiativos y en todo el periodo de tiempo.

Los cambios de variabilidad de temperatura máxima anual en Navarra para cada periodo futuro se muestran de forma gráfica en la Figura 77 y se pueden observar los aumentos de temperatura de las tablas.

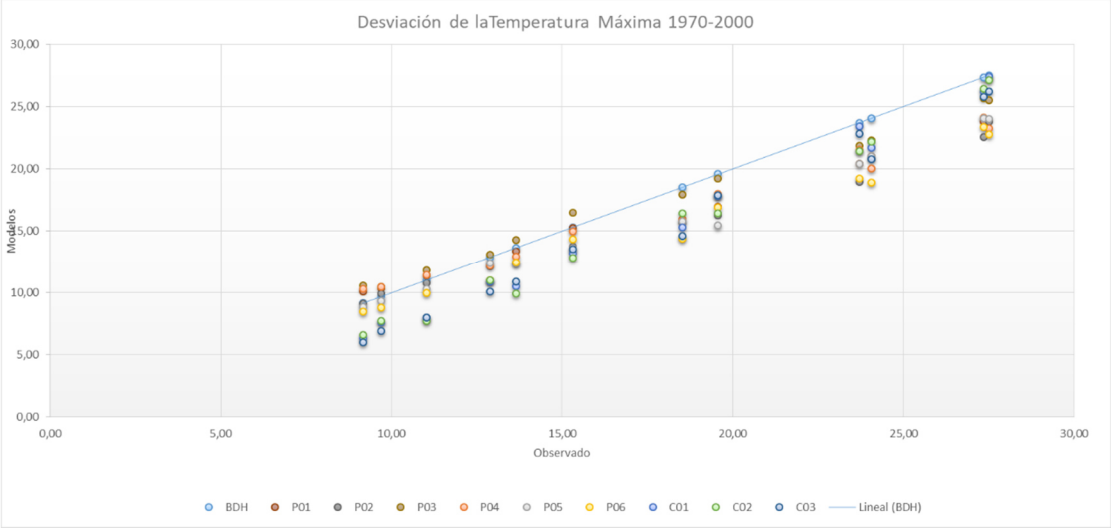


Figura 76.- Desviación de la temperatura máxima de los modelos con respecto al valor real.

Tabla 59.- Incremento de variabilidad (°C) según cada modelo, proyección y periodo. Los colores reflejan la gradación del cambio.

Modelo	RCP45			RCP85		
	2011-2040	2041-2070	2071-2100	2011-2040	2041-2070	2071-2100
P01	1,05	1,87	1,98	1,48	2,49	4,23
P02	0,64	1,29	1,67	0,54	1,91	3,49
P03	0,36	0,88	1,56	0,51	1,66	2,82
P04	1,47	2,60	3,25	1,58	3,46	5,72
P05	1,18	1,90	2,34	1,24	2,64	4,49
P06	0,32	1,36	1,63	0,74	1,78	3,23
C01	1,23	2,38	3,03	1,53	2,96	5,12
C02	1,39	2,17	2,72	1,46	2,99	4,62
C03	1,12	2,22	2,74	1,47	2,87	4,86

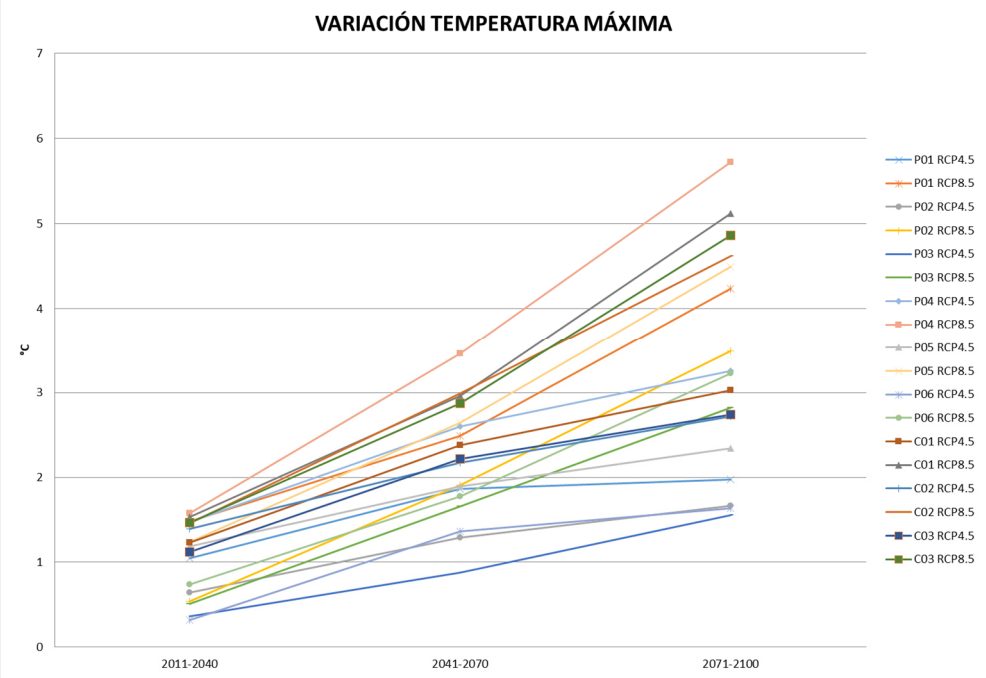


Figura 77.- Incremento de variabilidad (°C) de temperatura máxima anual en cada periodo.

8.3 Valoración del Sesgo de la Temperatura Mínima

A continuación, se han representado los valores medios mensuales de la temperatura mínima para el periodo histórico entre 1970 y 2000. Se puede ver los datos observados reales representados por una línea azul discontinua y los modelos puntuales del CEDEX y los modelos de rejilla de CORDEX. Al igual que para la temperatura máxima y media la distribución mensual de las series es muy parecida a la distribución de los datos observados, todos los modelos tienen el mismo comportamiento y se observa que los valores son inferiores a los datos observados salvo el modelo P03.

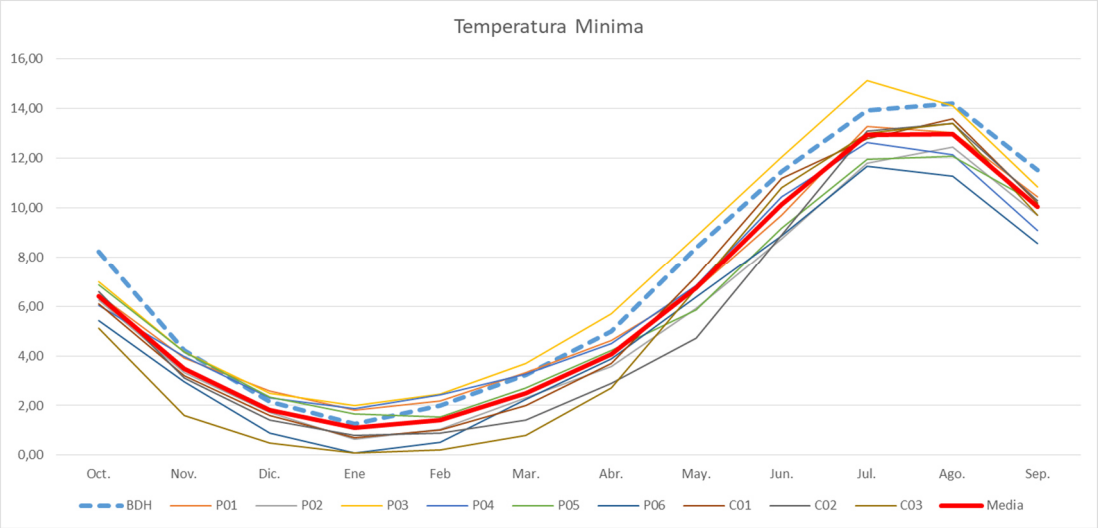


Figura 78.- Evolución de la media de la temperatura mínima mensual para Navarra para los datos observados y valores de modelos de cambio climático.

Se han promediado los valores de temperatura mínima de todos los modelos para el periodo de control -1970-2000- tanto a nivel mensual como el valor completo -Tabla 56- y se han calculado los errores medios relativos de los valores de los modelos -

Tabla 57-. Se ve claramente la diferencia de ajuste entre proyecciones. Se puede observar la gran variación entre el sesgo de la temperatura mínima simulada para cada uno de los modelos.

Tabla 60.- Tabla de valores de temperatura mínima mensual anual en el periodo de control.

ID	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
BDH	8,23	4,23	2,16	1,25	1,99	3,24	5,00	8,39	11,45	13,93	14,20	11,52	7,13
P01	6,48	3,92	2,60	1,81	2,20	3,33	4,63	6,67	9,72	13,27	13,04	10,46	6,51
P02	6,25	3,33	1,71	0,65	1,06	2,32	3,57	5,92	8,75	11,81	12,44	9,70	5,63
P03	6,99	4,16	2,49	2,01	2,45	3,70	5,69	8,85	12,03	15,12	14,11	10,84	7,37
P04	6,04	3,98	2,32	1,87	2,42	3,27	4,48	6,85	10,46	12,64	12,13	9,09	6,30
P05	6,86	4,16	2,33	1,67	1,53	2,72	4,23	5,86	9,17	11,96	12,09	10,18	6,06
P06	5,41	2,95	0,90	0,08	0,51	2,24	3,89	6,36	8,86	11,67	11,26	8,55	5,22
C01	6,10	3,20	1,60	0,70	1,00	2,00	3,70	7,20	11,20	12,80	13,60	10,20	6,11
C02	6,60	3,10	1,40	0,80	0,90	1,40	2,90	4,70	8,90	13,10	13,40	10,30	5,63
C03	5,10	1,60	0,50	0,10	0,20	0,80	2,70	6,70	10,80	13,00	13,40	9,70	5,38

Tabla 61.- Tabla de errores medios relativos para temperatura mínima

ID	Oct.	Nov.	Dic.	Ene	Feb	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Total
P01	-1,75	-0,30	0,44	0,56	0,21	0,09	-0,37	-1,72	-1,74	-0,66	-1,16	-1,06	-0,62
P02	-1,98	-0,89	-0,45	-0,60	-0,93	-0,93	-1,43	-2,47	-2,71	-2,12	-1,77	-1,83	-1,51
P03	-1,24	-0,07	0,33	0,75	0,46	0,46	0,70	0,46	0,58	1,19	-0,09	-0,69	0,24
P04	-2,19	-0,25	0,16	0,62	0,44	0,03	-0,51	-1,54	-1,00	-1,29	-2,07	-2,43	-0,84
P05	-1,37	-0,06	0,17	0,41	-0,46	-0,53	-0,77	-2,53	-2,29	-1,97	-2,12	-1,35	-1,07
P06	-2,82	-1,28	-1,26	-1,17	-1,48	-1,01	-1,11	-2,03	-2,59	-2,26	-2,94	-2,97	-1,91
C01	-2,13	-1,03	-0,56	-0,55	-0,99	-1,24	-1,30	-1,19	-0,25	-1,13	-0,60	-1,32	-1,03
C02	-1,63	-1,13	-0,76	-0,45	-1,09	-1,84	-2,10	-3,69	-2,55	-0,83	-0,80	-1,22	-1,51
C03	-3,13	-2,63	-1,66	-1,15	-1,79	-2,44	-2,30	-1,69	-0,65	-0,93	-0,80	-1,82	-1,75

En la Tabla 62 se muestran los estadísticos de los datos observados y de los modelos, la media, la desviación típica, el coeficiente de variación, el máximo y el mínimo. El coeficiente de variación nos da si los datos son Homogéneos o Heterogéneos, si el valor es menor o igual al 80% quiere decir que los conjuntos de datos son Homogéneos y que la media es representativa del conjunto de datos.

Tabla 62.- Tabla de estadísticos de cada serie de temperatura mínima para el periodo histórico.

ID	Media	Desviación Típica	Coeficiente de Variación	Máximo	Mínimo
BDH	7,13	4,78	0,67	11,40	-8,40
P01	6,51	4,16	0,64	5,43	-25,20
P02	5,63	4,19	0,74	4,31	-21,30
P03	7,37	4,72	0,64	7,06	-28,90
P04	6,30	3,91	0,62	5,66	-11,80
P05	6,06	3,94	0,65	4,96	-18,00
P06	5,22	4,12	0,79	3,35	-22,10
C01	6,11	4,78	0,78	19,76	0,00
C02	5,63	4,73	0,84	20,02	0,00
C03	5,38	5,16	0,96	19,60	0,00

En la siguiente imagen se puede observar las desviaciones de los modelos con respecto a los datos observados para la temperatura mínima entre 1970 y 2000, y la dispersión de los datos con respecto a los datos observados.

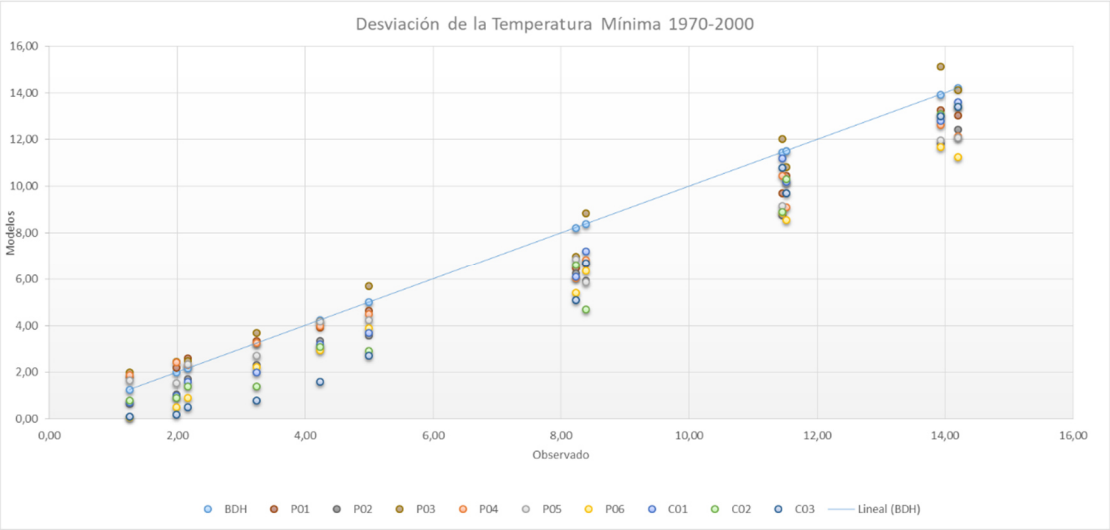


Figura 79.- Desviación de la temperatura mínima de los modelos con respecto al valor real.

Los cambios de temperatura mínima para cada uno de los tres periodos futuros en cada modelo muestran las diferencias de los resultados de cada proyección y modelo -Tabla 63-. Todos los modelos predicen un aumento de la temperatura mínima para todos los periodos y para los dos forzamientos radiativos.

Tabla 63.- Incremento de variabilidad (°C) según cada modelo, proyección y periodo. Los colores reflejan la gradación del cambio.

Modelo	RCP45			RCP85		
	2011-2040	2041-2070	2071-2100	2011-2040	2041-2070	2071-2100
P01	-0,17	0,46	0,87	-0,04	1,19	2,61
P02	0,57	1,09	1,46	0,54	1,62	2,87
P03	0,31	0,69	1,21	0,35	1,37	2,32
P04	1,37	2,34	2,84	1,41	2,95	4,92
P05	0,89	1,53	1,83	0,98	2,09	3,53
P06	0,51	1,12	1,52	0,59	1,58	2,85
C01	1,03	1,97	2,53	1,33	2,56	4,29
C02	0,91	1,54	1,95	1,04	2,27	3,69
C03	1,01	1,94	2,39	1,33	2,53	4,34

Los cambios de variabilidad de temperatura mínima anual en Navarra para cada periodo futuro se muestran de forma gráfica en la Figura 80 y se observan los aumentos de temperatura de la tabla superior.

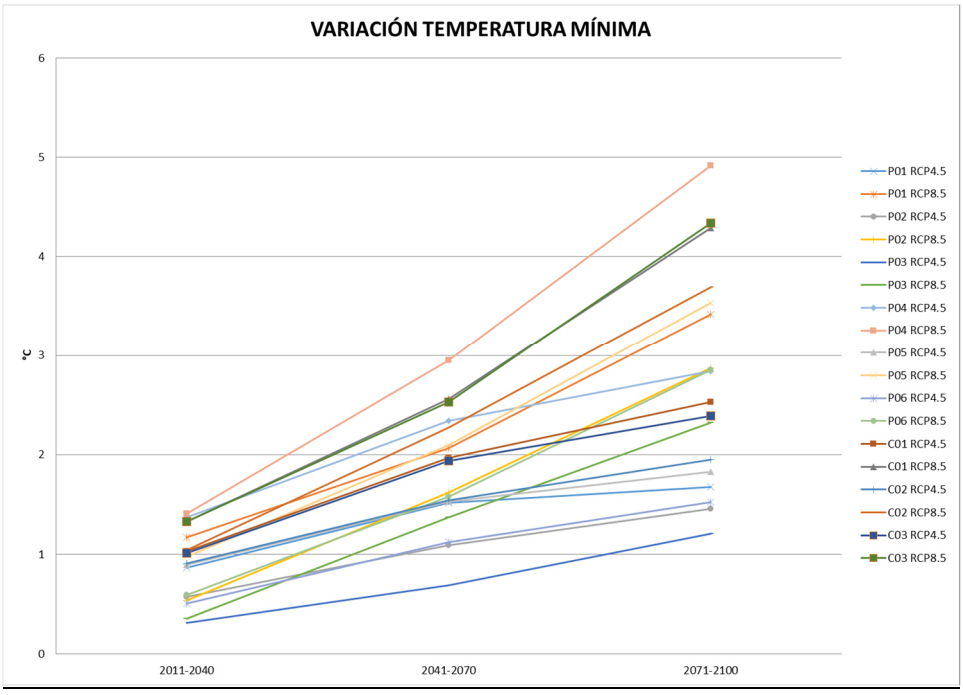


Figura 80.- Incremento de variabilidad (°C) de temperatura mínima anual en cada periodo.