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.d:

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

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). 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.d., 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 OBJETIVOS 3

3 ÁMBITO DE ESTUDIO 3

4 METODOLOGÍA GENERAL 6

4.1 Análisis de las series hidrometeorológicas observadas y los recursos hídricos en régimen natural. 6

4.2 Selección de modelos a partir del análisis de series hidrometeorológicas 9

4.3 Evolución de las aportaciones en base a los modelos de cambio climático 10

5 Resultados obtenidos 12

5.1 Análisis de las series hidrometeorológicas observadas 12

5.1.1 Tendencia de las variables climáticas observadas 12

5.1.2 Tendencia de los recursos hídricos en régimen natural 18

5.1.3 Evolución de las sequías 21

5.1.4 Evolución de las precipitaciones máximas 23

5.2 Selección de modelos a partir del análisis de series hidrometeorológicas 25

5.2.1 Descarga de los datos de los modelos climáticos y construcción de la base comparativa 25

5.2.2 Selección del conjunto de modelos preseleccionados 27

5.2.3 Valoración del sesgo entre los modelos y las series observadas 31

5.3 Evolución de las aportaciones en base a los modelos de cambio climático 34

5.3.1 Tendencias y anomalías de las variables climáticas en el periodo proyectado 34

5.3.2 Tendencias y anomalías de las aportaciones en régimen natural 51

5.3.3 Evolución de las sequías en el periodo proyectado 63

5.3.4 Precipitaciones máximas en el periodo proyectado 66

6 Conclusiones 67

6.1 Análisis de las series meteorológicas observadas y los recursos hídricos en régimen natural 67

6.2 Selección de modelos a partir del análisis de series hidrometeorológicas 68

6.3 Evolución de las aportaciones en base a los modelos de cambio climático 70

7 Referencias 75

Tables

Tabla 1 Superficie y número de subcuencas que integran cada una de las cuencas principales del ámbito de estudio. 4

Tabla 2 Categorías de sequía obtenidas después de realizar el análisis de las estaciones de Colorado en los Estados Unidos. Fuente: (Mckee et al., 1993) 8

Tabla 3 Tendencias obtenidas de las temperaturas medias para los períodos 1940-2015, 1954-2015 y 1970-2015, donde se muestra además la probabilidad de excedencia para cada una de las muestras analizadas (Se considera que existe significancia estadística cuando p < 5%); se marca en color rojo aquellas tendencias que no cumplen con este requerimiento. ... 13

Tabla 4 Tendencias obtenidas para las precipitaciones acumuladas en los intervalos 1940-2015, 1954-2015 y 1970-2015, donde se muestra además la probabilidad de excedencia para cada una de las muestras analizadas (Se considera que existe significancia estadística cuando p < 5%); se marca en color rojo aquellas tendencias que no cumplen con este requerimiento. 15

Tabla 5 Tendencias obtenidas de las aportaciones anuales medias para los intervalos 1940-2015, 1954-2015 y 1970-2015, donde se muestra además la probabilidad de excedencia para cada una de las muestras analizadas (Se considera que existe significancia estadística cuando p < 5%); se marca en color rojo aquellas tendencias que NO cumplen con este requerimiento. 19

Tabla 6 Contabilización de las sequías severas a partir del índice SPI 22

Tabla 7 Variación de los cuantiles (ΔT) para 500 años de periodo de retorno respecto el periodo de control 1940-2015 24

Tabla 8.- Modelos puntuales de AEMET de estudio 25

Tabla 9.- Modelos CORDEX seleccionados para este estudio 26

Tabla 10.- Resumen de las variables que presentan un adecuado ajuste entre los datos registrados en el BDH y los simulados por los distintos modelos preselecionados 30

Tabla 11.- Modelos para los puntuales: 30

Tabla 12.- Modelos para CORDEX: 31

Tabla 13 Anomalías de temperatura para el escenario 4.5 para el conjunto de modelos seleccionados, y los valores resultados del máximo, mínimo y media. 38

Tabla 14 Anomalías de temperatura para el escenario 8.5 para el conjunto de modelos seleccionados, y los valores resultados del máximo, mínimo y media. 40

Tabla 15 Anomalías de precipitación en los periodos de impacto estudiado (2010-2040, 2040-2070 y 2070-2100) respecto al periodo de control 1970-2000 para el escenario RCP 4.5 46

Tabla 16 Anomalías de precipitación en los periodos de impacto estudiado (2010-2040, 2040-2070 y 2070-2100) respecto al periodo de control 1970-2000 para el escenario RCP 8.5 50

Tabla 17 Anomalías de las aportaciones en los periodos de impacto estudiado (2010-2040, 2040-2070 y 2070-2100) respecto al periodo de control 1970-2000 para el escenario RCP 8.5 57

Tabla 18 Anomalías de las aportaciones en los periodos de impacto estudiado (2010-2040, 2040-2070 y 2070-2100) respecto al periodo de control 1970-2000 para el escenario RCP 8.5 60

Tabla 19 Cuantificación de las sequías moderadas que superan el umbral del valor 1 del SPI, en el escenario RCP 4.5. Cálculo realizado en los diferentes periodos de impacto y el periodo de control 63

Tabla 20 Cuantificación de las sequías moderadas que superan el umbral del valor 1 del SPI, en el escenario RCP 8.5. Cálculo realizado en los diferentes periodos de impacto y el periodo de control 65

Tabla 21 Anomalías de temperaturas por Demarcaciones Hidrográficas. 71

Tabla 22 Anomalías de precipitaciones por Demarcaciones Hidrográficas. 73

Tabla 23 Anomalías de precipitaciones por Demarcaciones Hidrográficas. 74

Figures

Figura 1 Cuencas hidrográficas principales en el ámbito de estudio. Fuente: Gobierno de Navarra, 2017 5

Figura 2 Localización de las estaciones meteorológicas que componen la red básica..... 7

Figura 3 Localización de los principales puntos de interés donde estudiar la evolución de las aportaciones 8

Figura 4 Tendencias para las temperaturas medias en °C/decenio para cada una de las estaciones perteneciente a la red básica. La interpretación de los resultados se tiene que tener en consideración la significancia estadística que se muestra en la tabla 3. 14

Figura 5 Tendencia en %/decenio para la precipitación anual para cada una de las estaciones perteneciente a la red básica. En azul se representan las tendencias positivas y en rojo las negativas. Se debe tener en consideración el nivel de significancia estadística que se muestra en la tabla 4. 17

Figura 6 Tendencias para las aportaciones en %/decenio para las estaciones pertenecientes a la red básica. Hay que tener en consideración el nivel de significancia estadística que se muestra en la tabla 5. 20

Figura 7.- Evolución de la precipitación mensual para Navarra para el periodo de control según los datos observados (BDH) y los modelos puntuales del CEDEX..... 27

Figura 8.- Evolución de la temperatura media mensual para Navarra para el periodo de control según los datos observados (BDH) y los modelos puntuales del CEDEX. 28

Figura 9.- Resultados gráficos comparativos de valores de precipitación en una celda de un modelo 29

Figura 10.- Resultados gráficos comparativos de valores de precipitación en Navarra de un modelo 29

Figura 11.- Evolución de la precipitación media anual para el periodo de control de los datos observados y los modelos..... 32

Figura 12.- Evolución media mensual para Navarra para los datos observados y valores de modelos de cambio climático..... 33

Figura 13.- Evolución de la temperatura media anual para el periodo de control de los datos observados y los modelos..... 33

Figura 14.- Evolución de temperatura media mensual para Navarra para los datos observados y valores de modelos de cambio climático..... 34

Figura 15 Evolución de la temperatura media mensual para el RCP 4.5 considerando la región formada por las cuencas que vierten en dirección Sur (Vertiente mediterránea). La línea de evolución muestra la media de temperatura de los nueve modelos..... 35

Figura 16 Evolución de la temperatura media mensual para el RCP 8.5 considerando la región formada por las cuencas que vierten en dirección Sur (Vertiente mediterránea). La línea de evolución muestra la media de temperatura de los nueve modelos..... 36

Figura 17 Evolución de la temperatura media mensual para el RCP 4.5 considerando la región formada por las cuencas que vierten en dirección Norte (Vertiente cantábrica). La línea de evolución muestra la media de temperatura de los nueve modelos..... 36

Figura 18 Evolución de la temperatura media mensual para el RCP 8.5 considerando la región formada por las cuencas que vierten en dirección Norte (Vertiente cantábrica). La línea de evolución muestra la media de temperatura de los nueve modelos..... 37

Figura 19 Distribución espacial de las anomalías de temperatura media mensual para el RCP 4.5, donde se muestran los tres periodos de impacto estudiado..... 40

Figura 20 Distribución espacial de las anomalías de temperatura media mensual para el RCP 8.5, donde se muestran los tres periodos de impacto estudiado..... 43

Figura 21 Evolución de las anomalías de PRE anual con respecto al periodo de control en el periodo de proyección para el RCP 4.5 considerando vertiente cantábrica. La línea de evolución muestra la evolución del % de variación anual de la precipitación..... 44

Figura 22 Evolución de las anomalías de PRE anual con respecto al periodo de control en el periodo de proyección para el RCP 8.5 considerando la vertiente cantábrica. La línea de evolución muestra la evolución del % de variación anual de la precipitación..... 44

Figura 23 Evolución de las anomalías de PRE anual con respecto al periodo de control en el periodo de proyección mensual para el RCP 4.5 considerando la vertiente mediterránea. La línea de evolución muestra la evolución del % de variación anual de la precipitación..... 45

Figura 24 Evolución de las anomalías de PRE anual con respecto al periodo de control en el periodo de proyección para el RCP 8.5 considerando la vertiente mediterránea. La línea de evolución muestra la evolución del % de variación anual de la precipitación..... 45

Figura 25 Distribución espacial de las anomalías de precipitación par los tres periodos de impacto estudiado en el escenario RCP 4.5 48

Figura 26 Distribución espacial de las anomalías de precipitación par los tres periodos de impacto estudiado en el escenario RCP 8.5 51

Figura 27 Evolución de las aportaciones en régimen natural en el periodo de proyección para el RCP 4.5 en la vertiente cantábrica. La línea de evolución muestra la evolución del % de variación anual de la media del conjunto de los nueve modelos seleccionados..... 53

Figura 28 Evolución de las aportaciones en régimen natural en el periodo de proyección para el RCP 8.5 en la vertiente cantábrica. La línea de evolución muestra la evolución del % de variación anual de la media del conjunto de los nueve modelos seleccionados..... 53

Figura 29 Evolución de las aportaciones en régimen natural en el periodo de proyección para el RCP 4.5 en la vertiente Mediterránea. La línea de evolución muestra la evolución del % de variación anual de la media del conjunto de los nueve modelos seleccionados..... 53

Figura 30 Evolución de las aportaciones en régimen natural en el periodo de proyección para el RCP 8.5 la vertiente Mediterránea. La línea de evolución muestra la evolución del % de variación anual de la media del conjunto de los nueve modelos seleccionados..... 54

Figura 31 Evolución anual de las aportaciones en la vertiente mediterránea. Escenario RCP 4.5 y RCP 8.5 54

Figura 32 Evolución anual de las aportaciones en la vertiente cantábrica, Escenario RCP 4.5 y RCP 8.5 55

Figura 33 Evolución estacional de las aportaciones la vertiente mediterránea, en los escenarios RCP 4.5 y 8.5. 55

Figura 34 Evolución estacional de las aportaciones en la vertiente cantábrica, en los escenarios RCP 4.5 y 8.5. 55

Figura 35 Distribución espacial de las anomalías de las aportaciones para los tres periodos de impacto estudiado en el escenario RCP 4.5 59

Figura 36 Distribución espacial de las anomalías de las aportaciones para los tres periodos de impacto estudiado en el escenario RCP 8.5 62

Figura 37 Evolución del índice SPI en la vertiente mediterránea en el escenario RCP 4.5..... 64

Figura 38 Evolución del índice SPI en la vertiente cantábrica en el escenario RCP 4.5 64

Figura 39 Evolución del índice SPI en la vertiente mediterránea en el escenario RCP 8.5..... 65

Figura 40 Evolución del índice SPI en la vertiente cantábrica en el escenario RCP 8.5 66

1 INTRODUCCIÓN

El Gobierno de Navarra lidera el proyecto integrado LIFE16 IPC/ES/000001 - LIFE-IP NAdapta-CC 2017-2025, aprobado recientemente por la Comisión Europea en el marco del programa LIFE. El proyecto, cuyo subtítulo es "*Hacia una integrada, coherente e inclusiva implementación de la política de adaptación al cambio climático en una región: Navarra*", tiene como objetivo principal apoyar a la implementación de la estrategia y planes de acción que el Gobierno de Navarra tiene contempladas en su nueva Hoja de Ruta de lucha frente al Cambio Climático de Navarra (HCCN-KLINA) en su parte de adaptación.

En la citada Hoja de Ruta, se definen unas líneas de actuación y conjunto de medidas en diferentes áreas de actuación prioritarias en materia de adaptación, con el fin de disminuir en la medida de lo posible, las consecuencias del cambio climático en Navarra. En lo que respecta a la Gestión del Agua y considerando una posible reducción del recurso hídrico como efecto del Cambio Climático, se establecen medidas orientadas a la definición de una estrategia del agua basada en un uso eficiente y sostenible del recurso hídrico. En este sentido, se define dentro del Área Medio Rural, y línea de actuación *AD-L4 Gestión del Agua y prevención de inundaciones*, la siguiente medida:

- **A7:** Incluir las consecuencias de los nuevos escenarios de cambio climático futuro en los estudios que se están realizando para la Fase II del Canal de Navarra (y estudios de regadíos de Navarra).

Esta medida se materializa en la **acción C2.7 del proyecto LIFE NADAPTA,** cuyo fin es la realización de los siguientes estudios:

- Evaluación del efecto del Cambio Climático en los recursos hídricos en régimen natural.
- Análisis del impacto del Cambio Climático en las garantías de satisfacción de las demandas servidas en los sistemas de explotación de Navarra, empleando como datos de partida las series de aportaciones estimadas en el estudio anterior.

Los trabajos que se están llevando a cabo en esta acción permiten obtener conclusiones que servirán como apoyo para efectuar una adecuada planificación de la gestión de la demanda de todos los sectores en su conjunto y contribuir de este modo a un uso eficiente y sostenible del recurso Agua.

Dentro de este contexto se enmarca el presente **"Estudio de evaluación de los recursos hídricos derivados de escenarios de cambio climático basados en los modelos del IPPC (AR5)",** primer objetivo de la acción C2.7 de LIFE Nadapta.

Este estudio se ha realizado en tres fases:

- Análisis de las series hidrometeorológicas observadas
- Selección de modelos a partir del análisis de series hidrometeorológicas
- Evolución de las aportaciones en base a los modelos de cambio climático

En la primera se ha realizado el análisis de las variables climáticas y de las aportaciones registradas en el BDH. En esta primera etapa se comprobó la bondad de los datos almacenados y se obtuvieron la tendencia de la precipitación, de la temperatura y de las aportaciones en el periodo histórico comprendido entre 1940 y 2015, para de esta forma poder tener una adecuada base comparativa que poder utilizar en el proceso de selección de los modelos climáticos, la cual se ha realizado en la segunda fase del estudio.

En la segunda fase se ha realizado la selección de nueve modelos de cambio climático, este proceso se ha llevado a cabo mediante un proceso de comparación estadística entre los diferentes modelos y el registro histórico almacenado en el BDH. Durante este proceso se han analizado diferentes tendencias de las principales variables climáticas y se ha realizado un análisis de sesgo entre los datos de los modelos y los datos registrados. Como resultado final se han seleccionado 3 modelos en rejilla que sumados a los 6 puntuales de AEMET forman los nueve modelos con los que se procede a realizar la tercera fase del estudio.

En la tercera fase se han obtenido las series de aportaciones en régimen natural para los nueve modelos seleccionados en la etapa anterior y para dos escenarios de emisión de gases de efecto invernaderos, un escenario de mantenimiento de emisiones RCP 4.5 y un segundo escenario de incremento de emisiones RCP 8.5. Esto, ha permitido obtener dieciocho series de aportaciones a nivel diario entre los años 1970 y 2100. Gracias a estos datos se han estudiado las tendencias y las anomalías, tanto climáticas como de aportaciones, en tres periodos de impacto, los comprendidos entre los años 2010-2040, 2040-2070 y 2070-2100, utilizando como periodo de control el periodo 1970-2000.

2 OBJETIVOS

El objetivo general del estudio realizado ha consistido en evaluar los recursos hídricos en régimen natural considerando diferentes escenarios de cambio climático.

Para alcanzar este objetivo general ha sido necesario, previamente, alcanzar un conjunto de objetivos particulares o secundarios que consisten en: evaluar las **tendencias climáticas observadas**, de temperatura y precipitación, así como las tendencias de las aportaciones en régimen natural obtenidas a partir de los modelos hidrológicos realizados en la Comunidad Foral de Navarra en el pasado. En este mismo contexto, se ha realizado una primera aproximación al comportamiento de **los eventos extremos en el periodo histórico**, analizando tanto la tendencia en el comportamiento de las sequías como el de las precipitaciones máximas.

Continuando con los objetivos particulares, es necesario, para poder alcanzar el objetivo general antes expuesto, **seleccionar los modelos climáticos** que mejor ajuste presenta con los datos observados, y en consecuencia, mayor confiabilidad se obtiene con datos proyectados a futuro.

Por último, y ligado con el objetivo general del estudio, la **evaluación de los recursos hídricos considerando los diferentes escenarios de cambio climático,** lleva aparejado el estudio y análisis de la **evolución de las principales variables climáticas, considerando a su vez los diferentes escenarios de cambio climático**.

3 ÁMBITO DE ESTUDIO

La delimitación del ámbito objeto de este trabajo se 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 km²), y, más de 4.000 km² de superficie comprendida en las provincias limítrofes de Huesca, Zaragoza, La Rioja, Soria, Álava y Guipúzcoa.

El conjunto de la zona de estudio se divide en 13 sistemas fluviales y 129 subcuencas, de las cuales 102 drenan al río Ebro y 27 a la vertiente cantábrica. Gracias a esta distribución se han podido realizar un análisis a nivel de Demarcación Hidrográfica, estudiando con más detalle aquellos puntos de la red hidrográfica que presentan un especial interés estratégico a nivel de los recursos hídricos. En la Tabla 1 se pueden consultar las cuencas principales que drenan la comunidad de Navarra

Tabla 1 Superficie y número de subcuencas que integran cada una de las cuencas principales del ámbito de estudio.

Vertiente	Cuenca	Superficie de cuenca (km²)	Nº de subcuencas
Mediterránea	Linares	293	4
	Ega	1.477	15
	Arga	2.837	36
	Aragón	5.53	35
	Alhama	1.234	7
	Queiles	536	5
	Total vertiente **Mediterránea**	11.911	102
Cantábrica	Karst de Larra	21	1
	Valcarlos	68	2
	Aritzacun	47	1
	Olavidea	63	1
	Bidasoa	703	8
	Urumea	275	7
	Oria (Leizarán+ Araxes)	226	7
	Total vertiente **Cantábrica**	1.403	27
Total		13.314	129

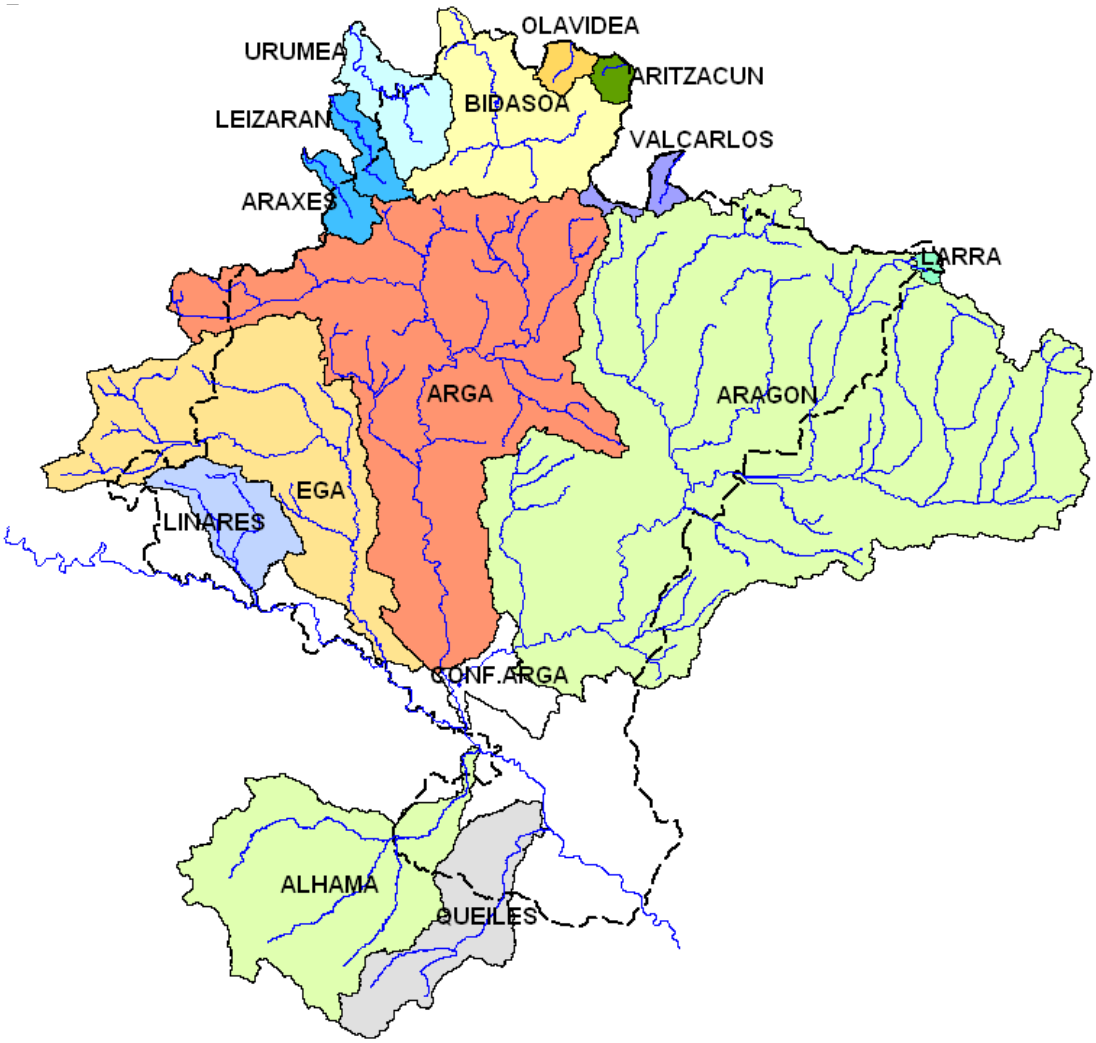

Figura 1 Cuencas hidrográficas principales en el ámbito de estudio. Fuente: Gobierno de Navarra, 2017

4 METODOLOGÍA GENERAL

4.1 Análisis de las series hidrometeorológicas observadas y los recursos hídricos en régimen natural.

En esta primera etapa del estudio se ha realizado el análisis de los datos climáticos almacenados en la BDH y de los recursos hídricos en régimen natural obtenidos en el estudio de recursos hídricos en el año 2017.

- Análisis de la tendencia de las principales variables climáticas, temperatura media, máxima y mínima y precipitación mensual en las estaciones meteorológicas pertenecientes a la red básica de estaciones seleccionadas en las cuencas vertientes a la Comunidad de Navarra que se muestra en la figura 2. El análisis de la tendencia se ha realizado para tres periodos temporales diferentes (1940-2015, 1954-2015 y 1970-2015). Se han comprobado la significancia estadística de las series estudiadas mediante el test de Mann-Kendall y el valor de la pendiente o tendencia de la regresión lineal se ha obtenido mediante la estimación de Sen.

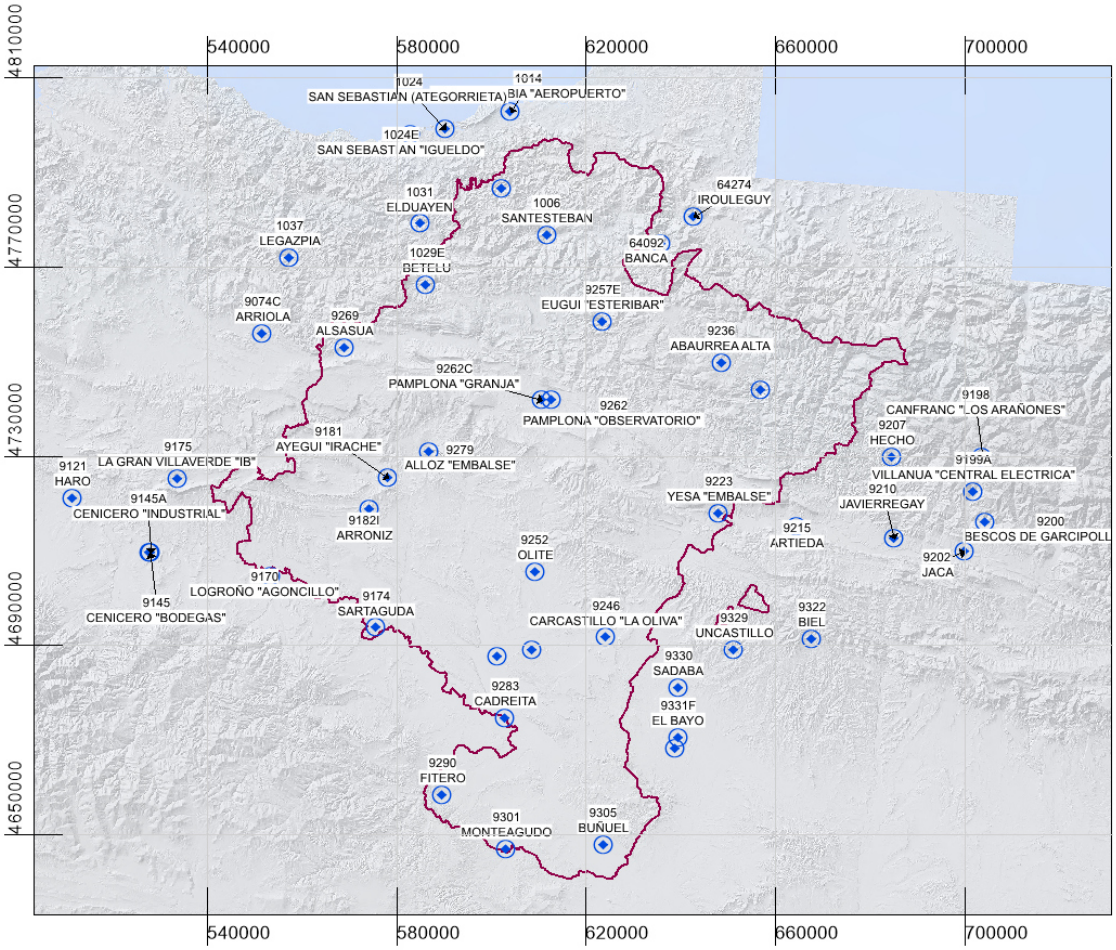

Figura 2 Localización de las estaciones meteorológicas que componen la red básica

- El mismo análisis descrito para las variables climáticas, se ha realizado para los recursos hídricos obtenidos a partir de la aplicación del modelo Sacramento implementado en el contexto del estudio "Actualización del Banco de datos hidrológico para el periodo 2007-2015" realizo por el Gobierno de Navarra en el año 2017. Las tendencias de las aportaciones observadas se han calculado en una relación de estaciones seleccionadas en base a su relevancia teniendo en consideración los sistemas de captación existentes en la red hidrográfica de la Comunidad de Navarra, estos puntos han sido propuestos por la Dirección Técnica de los trabajos, se localizan en la figura 3.

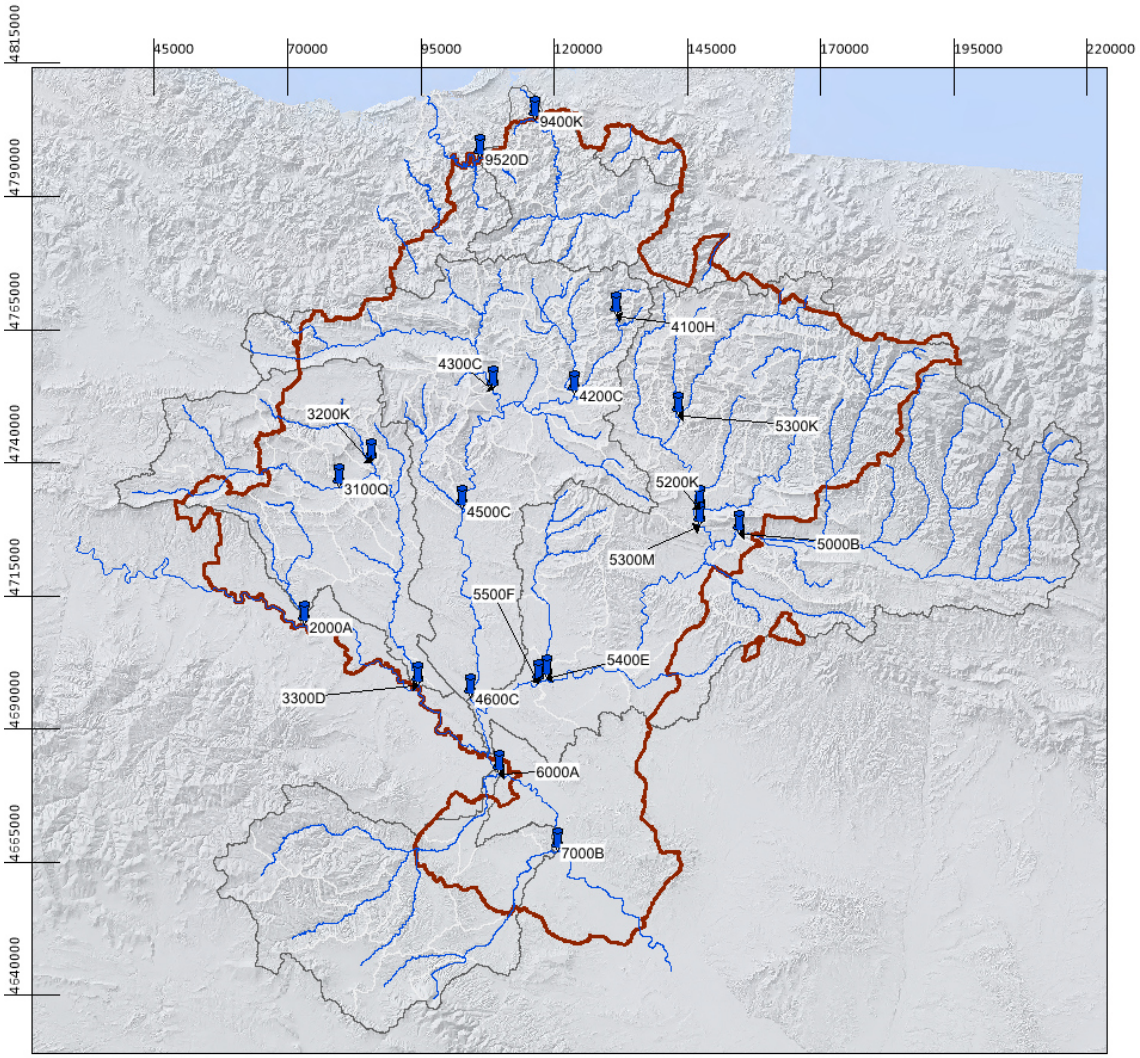

Figura 3 Localización de los principales puntos de interés donde estudiar la evolución de las aportaciones

- Estudio de sequías donde se analiza la evolución del índice de precipitación estandarizada (SPI) a lo largo del tiempo. Con este fin, se ha obtenido el número y la duración de las sequías severas y sequías extremas en tres intervalos de aproximadamente 30 años: 1940 – 1970, 1961-1990 y 1985-2015. El SPI se ha calculado para el conjunto de las estaciones pluviométricas pertenecientes a la red básica. A partir del dato de SPI de 12 meses se ha realizado un análisis de las sequias considerando la siguiente clasificación propuesta por (Mckee, Doesken, & Kleist, 1993).

Tabla 2 Categorías de sequía obtenidas después de realizar el análisis de las estaciones de Colorado en los Estados Unidos. Fuente: (Mckee et al., 1993)

SPI	Categoría
0 a 0,99	Sequía leve
-1,00 a 1,49	Sequía moderada
-1,5 a -1,99	Sequía severa
<-2,00	Sequía extrema

- Por último, se realiza el estudio de precipitaciones máximas, obteniendo las anomalías detectadas en los cuantiles de excedencia correspondientes a los periodos de retorno de 10, 100 y 500 años. Estas anomalías se obtienen a partir de la comparación entre los cuantiles obtenidos en los periodos 1940-1970, 1970-2000 y 1985-2015, y los obtenidos considerando la serie completa almacenada en el BDH que se corresponde con el periodo 1940-2015.

4.2 Selección de modelos a partir del análisis de series hidrometeorológicas

Conocer los efectos del cambio climático en la Comunidad Foral de Navarra requiere estudiar la evolución futura de las principales variables climáticas. Para ello, es necesario disponer de un conjunto de modelos climáticos que predigan de forma adecuada el comportamiento del clima. La selección de estos modelos requiere de un proceso de comparación estadística entre los resultados obtenidos de las distintas simulaciones y el registro histórico almacenado en el BDH a lo largo del periodo de control 1970-2000. Este procese se describe de forma más detallada en los puntos siguientes:

- **Descarga de un conjunto de proyecciones regionalizadas** a partir de los modelos climáticos utilizados en el 5º Informe de Evaluación del IPCC y que provienen de 2 fuentes: proyecciones puntuales de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) y proyecciones en rejilla procedentes de la iniciativa internacional Euro-CORDEX, en ambos casos para los escenarios de Emisión RCP 4.5 y RCP 8.5. En el caso de las proyecciones en punto, se han empleado los 6 modelos recomendados por AEMET en el estudio del CEDEX (2017), mientras que para el segundo caso se han seleccionado 6 proyecciones dinámicas CORDEX, por lo que se cuenta como punto de partida con 12 proyecciones climáticas a estudiar.
- **Selección del conjunto de proyecciones** climáticas a estudiar. En el caso de las proyecciones en punto: 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. Para el caso **de las proyecciones dinámicas** se

ha llevado a cabo la selección de las 3 proyecciones que mejor se adaptan a Navarra. En ambos casos se ha realizado la comparativa entre datos observados y proyecciones climáticas, pero en el primero a nivel de estación y en el segundo a nivel de celda, por lo que se han debido realizar tratamientos informáticos para obtener una misma base comparativa.

- **Obtención de las series climáticas de las proyecciones en las 129 subcuencas** 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 las cuencas donde se va a efectuar la evaluación del impacto del cambio climático. El análisis se ha llevado a cabo en primer lugar para todo el territorio de estudio y posteriormente en las cuencas hidrográficas principales donde se ha llevado a cabo el estudio de impacto

4.3 Evolución de las aportaciones en base a los modelos de cambio climático

Para alcanzar el objetivo de poder evaluar los efectos del cambio climático en los recursos hídricos en régimen natural en las cuencas hidrográficas de la Comunidad Foral de Navarra y tener una primera aproximación al comportamiento futuro de los eventos extremos se ha aplicado la siguiente metodología:

- Análisis de la evolución de las principales variables climáticas para las diferentes proyecciones seleccionadas que se realiza estudiando la tendencia de los valores anuales correspondientes a la temperatura media y la precipitación entre los años 2010 y 2100. Esta evolución se analiza a partir del valor de la media obtenida considerando los nueve modelos utilizados para cada uno de los dos escenarios de forzamiento radiativo 4.5 y 8.5. Además, se muestra el valor máximo y mínimo con el objetivo de visualizar la incertidumbre asociada a la aplicación de estos modelos climáticos. La significancia estadística de la tendencia referida a la media de los nueve modelos se calcula mediante la aplicación de test de Mann-Kendall (Kendall, 1956). Además, se estudian las anomalías climáticas en tres periodos de impacto (2010-2040, 2040-2070 y 2070-2100), los cuales son comparados con el periodo de control tomado entre el año 1970 y el año 2000.

- Modelización hidrológica a partir de las series climáticas de los 9 modelos y dos escenarios de forzamiento radiativo (4.5 y 8.5). Esta modelización se ha realizado aplicando el modelo Sacramento, utilizando los mismos parámetros de calibración

para el conjunto de subcuencas obtenidos durante el estudio Actualización del Banco de datos hidrológico para el periodo 2007-2015 realizado por el Gobierno de Navarra en el año 2017.

- Evaluación de los efectos del cambio climático sobre los recursos hídricos. Gracias a la aplicación del modelo Sacramento, antes comentado, se obtiene las aportaciones en régimen natural para el conjunto de subcuencas. Estas aportaciones se van agregando con el objetivo de conocer el impacto sobre los recursos hídricos en los lugares de la figura 3, evaluando la tendencia considerando la media obtenida de las 9 proyecciones analizadas y las anomalías en los tres periodos periodo de impacto (PI) antes enumerados respecto al periodo de control para cada una de las proyecciones.

- Evolución de los eventos extremos (sequías e inundaciones) derivados del cambio climático. El estudio de las sequías se realiza estudiando la evolución del índice de precipitación estandarizado (SPI) para cada uno de los periodos de impacto, para de esta forma poder observar la evolución de las sequías a lo largo del tiempo. El estudio del impacto sobre los eventos extremos máximos se realiza estudiando el grado de incremento de los cuantiles para cada periodo de impacto referenciado al período de control.

5 Resultados obtenidos

5.1 Análisis de las series hidrometeorológicas observadas

Gracias a la aplicación de la metodología descrita en el apartado 4.1, se obtienen los resultados que se muestran a continuación, los cuales muestran la evolución y tendencia a lo largo del tiempo de las principales variables climáticas y los recursos hídricos en régimen natural, así como se han comportado en el periodo histórico los eventos extremos, sequías y precipitaciones máximas.

5.1.1 Tendencia de las variables climáticas observadas

A continuación, se describe la tendencia de las variables climáticas principales tales como precipitación y temperatura. En relación con la temperatura se han estudiado la temperatura máxima, mínima y media, aunque con el objetivo de simplificar el documento de síntesis, se muestra únicamente la tendencia obtenida para la temperatura media ya que recoge de forma general la tendencia de la temperatura.

5.1.1.1 Tendencia obtenida de la temperatura media

Evaluando los resultados obtenidos y que se muestran en la tabla 2 se puede inferir de forma general para el conjunto de la Comunidad de Navarra, como en el intervalo temporal comprendido entre los años 1940 y 2015 se obtiene una tendencia positiva de +0,07 °C/decenio, un valor que se encuentra entre el obtenido para las temperaturas máximas y el obtenido para las temperaturas mínimas. En el segundo periodo, entre los años 1954 y 2015, la tendencia obtenida es de +0,15 °C/decenio. Finalmente, entre los años 1970 y 2015, el promedio es de +0,3 °C/decenio, lo cual vuelve a poner de manifiesto el progresivo aumento de la tendencia.

Además, este aumento en las tendencias va acompañado también, de un aumento en la significancia estadística de los resultados, ya que para el periodo 1940-2015 hay 14 estaciones que no presentan significancia estadística, para el periodo 1954-2015 hay 10 y para el periodo de mayor crecimiento de la temperatura media, 1970-2015, únicamente hay 4.

Tabla 3 Tendencias obtenidas de las temperaturas medias para los períodos 1940-2015, 1954-2015 y 1970-2015, donde se muestra además la probabilidad de excedencia para cada una de las muestras analizadas (Se considera que existe significancia estadística cuando p < 5%); se marca en color rojo aquellas tendencias que no cumplen con este requerimiento.

Estación	Nombre	°C/decenio (1940-2015)	Valor-p	°C/decenio (1954-2015)	Valor-p	°C/decenio (1970-2015)	Valor-p
1006	SANTESTEBAN	0.03	*4.28E-01*	0.04	*5.06E-01*	0.22	4.70E-03
1014	FUENTERRABIA "AEROPUERTO"	0.20	2.92E-06	0.33	6.89E-09	0.39	1.85E-07
1021	ARTICUTZA	-0.06	*7.31E-02*	-0.12	1.90E-02	0.07	*3.04E-01*
1024E	SAN SEBASTIAN "IGUELDO"	0.12	9.53E-04	0.19	7.00E-05	0.30	6.85E-05
1029E	BETELU	0.01	*7.30E-01*	0.01	*9.06E-01*	0.12	*9.44E-02*
9121	HARO	0.11	*1.38E-01*	0.31	4.21E-07	0.50	3.12E-07
9145A	CENICERO "INDUSTRIAL"	0.16	1.35E-04	0.28	1.44E-08	0.41	2.05E-07
9170	LOGROÑO "AGONCILLO"	0.10	1.30E-02	0.23	2.18E-06	0.33	3.37E-06
9174	SARTAGUDA	0.17	3.70E-05	0.30	1.07E-08	0.39	6.49E-06
9181	AYEGUI "IRACHE"	0.13	1.02E-03	0.20	2.13E-04	0.40	3.37E-06
9198	CANFRANC "LOS ARAÑONES"	0.26	1.06E-05	0.43	6.89E-09	0.42	2.26E-04
9202	JACA	0.15	2.20E-03	0.24	2.86E-04	0.40	1.12E-04
9215	ARTIEDA	0.00	*9.78E-01*	0.06	*2.76E-01*	0.26	1.93E-03
9223	YESA "EMBALSE"	-0.02	*6.54E-01*	-0.08	*1.15E-01*	-0.03	*7.77E-01*
9236	ABAURREA ALTA	0.11	3.91E-02	0.22	2.25E-03	0.39	6.85E-05
9237I	ESPARZA DE SALAZAR	0.09	3.57E-02	0.18	9.11E-04	0.32	2.95E-05
9246	CARCASTILLO "LA OLIVA"	0.10	2.39E-02	0.23	1.36E-05	0.33	2.09E-04
9252	OLITE	0.02	*6.95E-01*	0.04	*3.80E-01*	0.23	3.04E-03
9255	CAPARROSO	-0.05	*2.29E-01*	-0.03	*5.71E-01*	-0.02	*9.14E-01*
9257E	EUGUI "ESTERIBAR"	0.11	2.83E-02	0.21	1.24E-03	0.45	3.07E-06
9262	PAMPLONA "OBSERVATORIO"	0.13	4.04E-03	0.21	5.38E-05	0.32	2.79E-06
9262C	PAMPLONA "GRANJA"	0.11	1.14E-03	0.14	1.94E-03	0.23	1.26E-04
9269	ALSASUA	0.10	2.70E-02	0.21	2.76E-03	0.40	6.31E-05
9279	ALLOZ "EMBALSE"	0.03	*3.80E-01*	0.08	*6.11E-02*	0.21	2.67E-03
9283	CADREITA	-0.04	*4.17E-01*	0.12	*8.25E-02*	0.34	1.47E-05
9290	FITERO	0.02	*6.41E-01*	0.12	1.90E-02	0.39	1.56E-06
9301	MONTEAGUDO	-0.04	*3.32E-01*	0.03	*5.38E-01*	0.32	9.50E-05
9305	BUÑUEL	0.02	*7.37E-01*	0.07	*7.82E-02*	0.30	4.52E-05
9331F	EL BAYO	0.02	*5.35E-01*	0.14	1. 52E-02	0.39	1.16E-06

A partir de los datos obtenidos en cada una de las estaciones de la red básica se han representado las tendencias de cada una, obteniendo la figura 4 como resultado de esta

distribución, donde no se aprecia de forma generalizada patrón regional evidente. En la interpretación de estos resultados hay que tener en consideración la significancia estadística que se muestra en la tabla 3.

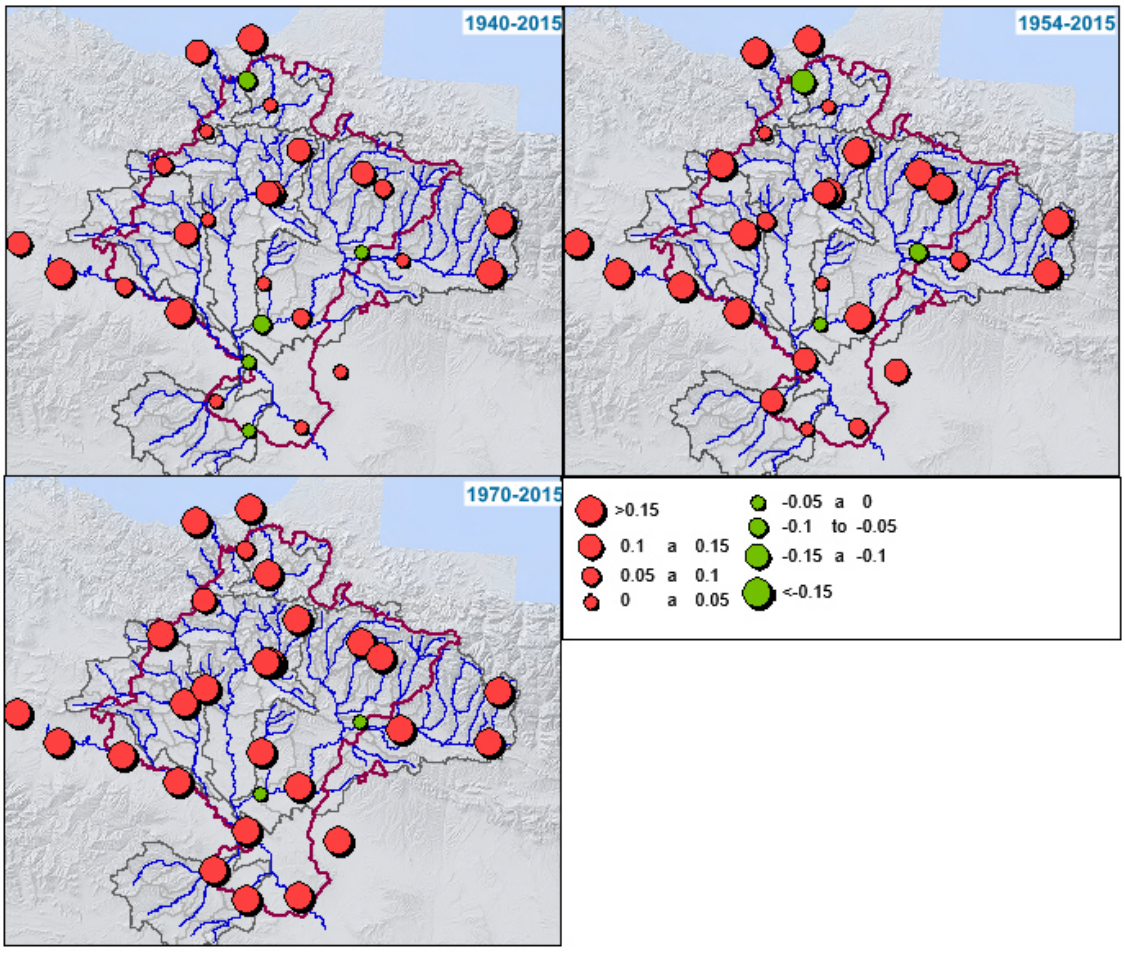

Figura 4 Tendencias para las temperaturas medias en °C/decenio para cada una de las estaciones perteneciente a la red básica. La interpretación de los resultados se tiene que tener en consideración la significancia estadística que se muestra en la tabla 3.

5.1.1.2 Tendencia obtenida en la variable de la precipitación

En el caso de la precipitación el valor de la tendencia se expresa en %/decenio, calculado a partir de la recta de regresión obtenida en las diferentes estaciones meteorológicas pertenecientes a la red básica. Este resultado se muestra en la tabla siguiente donde se puede observar que el grado de significancia para el conjunto de las estaciones y los diferentes intervalos estudiados es muy reducido, a diferencia de lo que sucede con la temperatura donde el grado de significancia es más elevado, especialmente en el intervalo de estudio 1970-2015.

Por tanto, los resultados obtenidos y los análisis realizados referentes a la tendencia de la precipitación se deben tomar con suma cautela ya que carecen de la robustez deseada.

Este resultado muestra una elevada variabilidad regional y temporal propia de la precipitación, la cual acostumbra a presentar una elevada variabilidad interanual (SMC, 2017).

Estas tendencias que se muestran de forma general muestran particularidades a nivel regional, tal y como se muestra en la figura 5. En cualquier caso, se debe tener en consideración el nivel de significancia estadística que se muestra en la tabla 4.

Tabla 4 Tendencias obtenidas para las precipitaciones acumuladas en los intervalos 1940-2015, 1954-2015 y 1970-2015, donde se muestra además la probabilidad de excedencia para cada una de las muestras analizadas (Se considera que existe significancia estadística cuando p < 5%); se marca en color rojo aquellas tendencias que no cumplen con este requerimiento.

Estación	Nombre	%/decenio (1940-2015)	valor-p	%/decenio (1954-2015)	Valor-p	%/decenio (1970-2015)	Valor-p
1006	SANTESTEBAN	-2.78%	7.04E-04	-3.01%	3.96E-03	-2.97%	4.93E-02
1014	FUENTERRABIA "AEROPUERTO"	0.46%	*6.88E-01*	0.39%	*9.26E-01*	-0.90%	*6.04E-01*
1021	ARTICUTZA	-0.74%	*5.32E-01*	-2.88%	1.17E-02	-3.39%	*6.45E-02*
1024	SAN SEBASTIAN (ATEGORRIETA)	1.87%	*7.17E-02*	2.62%	3.60E-02	1.81%	*3.23E-01*
1024E	SAN SEBASTIAN "IGUELDO"	0.06%	*8.96E-01*	0.19%	*8.76E-01*	-0.34%	*7.32E-01*
1031	ELDUAYEN	0.02%	*9.78E-01*	-1.16%	*2.25E-01*	-0.33%	*8.83E-01*
1037	LEGAZPIA	-1.52%	*5.11E-02*	0.97%	*9.06E-01*	1.80%	*7.62E-01*
64092	BANCA	-1.27%	*9.57E-02*	-2.14%	*5.69E-02*	-3.15%	*8.69E-02*
64274	IROULEGUY	-0.96%	*2.32E-01*	-1.13%	*2.35E-01*	-1.74%	*2.69E-01*
9074C	ARRIOLA	-0.34%	*7.44E-01*	2.04%	*2.45E-01*	1.73%	*6.60E-01*
9145	CENICERO "BODEGAS"	-0.41%	*7.05E-01*	-1.56%	*2.87E-01*	-4.33%	4.71E-02
9145A	CENICERO "INDUSTRIAL"	-1.51%	*1.84E-01*	-3.10%	4.92E-02	-1.19%	*5.12E-01*
9170	LOGROÑO "AGONCILLO"	1.09%	*3.80E-01*	1.39%	*4.44E-01*	2.41%	*5.12E-01*
9174	SARTAGUDA	-1.44%	*3.32E-01*	-3.98%	2.17E-02	0.57%	*8.37E-01*
9175	LA GRAN VILLAVERDE "IB"	-1.11%	*3.00E-01*	-2.93%	4.58E-02	1.53%	*6.32E-01*
9182I	ARRONIZ	2.06%	*1.57E-01*	0.59%	*9.65E-01*	1.62%	*6.88E-01*
9198	CANFRANC "LOS ARAÑONES"	3.21%	1.45E-02	-0.19%	*9.45E-01*	-0.48%	*9.45E-01*
9199A	VILLANUA "CENTRAL ELECTRICA"	2.67%	*6.73E-02*	-1.12%	*3.84E-01*	-2.69%	*2.33E-01*
9200	BESCOS DE GARCIPOLLERA	3.82%	6.07E-03	0.58%	*5.54E-01*	-0.21%	*9.77E-01*
9207	HECHO	3.35%	1.11E-02	0.26%	*4.37E-01*	-0.47%	*8.68E-01*
9210	JAVIERREGAY	0.73%	*6.24E-01*	-0.50%	*7.18E-01*	-3.80%	*2.25E-01*

Estación	Nombre	%/decenio (1940-2015)	valor-p	%/decenio (1954-2015)	Valor-p	%/decenio (1970-2015)	Valor-p
9215	ARTIEDA	-0.27%	*8.45E-01*	-1.88%	*3.22E-01*	-2.76%	*2.95E-01*
9223	YESA "EMBALSE"	0.31%	*8.30E-01*	-2.67%	*8.25E-02*	-6.38%	3.24E-03
9236	ABAURREA ALTA	1.21%	*2.32E-01*	-0.52%	*9.06E-01*	-1.12%	*5.25E-01*
9246	CARCASTILLO "LA OLIVA"	0.89%	*3.70E-01*	-1.73%	*3.19E-01*	1.21%	*6.67E-01*
9252	OLITE	-0.71%	*4.72E-01*	-3.07%	3.82E-02	-0.61%	*7.17E-01*
9255	CAPARROSO	3.46%	2.42E-02	0.61%	*6.45E-01*	8.31%	1.16E-02
9256	MARCILLA "AZUCARERA"	1.68%	*1.84E-01*	-1.03%	*7.18E-01*	4.16%	*8.34E-02*
9257E	EUGUI "ESTERIBAR"	0.49%	*6.14E-01*	-1.02%	*4.67E-01*	-1.77%	*3.23E-01*
9262	PAMPLONA "OBSERVATORIO"	0.79%	*5.05E-01*	-0.96%	*3.32E-01*	-1.26%	*4.75E-01*
9262C	PAMPLONA "GRANJA"	0.27%	*6.95E-01*	-1.32%	*1.89E-01*	-2.52%	*1.93E-01*
9269	ALSASUA	1.19%	*2.55E-01*	1.44%	*3.10E-01*	1.35%	*6.74E-01*
9279	ALLOZ "EMBALSE"	0.33%	*7.65E-01*	-1.22%	*5.46E-01*	-2.23%	*7.03E-01*
9290	FITERO	-0.85%	*4.52E-01*	-1.68%	*3.05E-01*	-0.40%	*8.07E-01*
9301	MONTEAGUDO	-1.86%	*1.79E-01*	-0.95%	*4.51E-01*	0.45%	*9.61E-01*
9305	BUÑUEL	-2.33%	*6.67E-02*	-4.99%	3.82E-02	-4.04%	*2.78E-01*
9322	BIEL	2.17%	*6.67E-02*	0.22%	*9.21E-01*	0.80%	*7.10E-01*
9329	UNCASTILLO	1.96%	*2.45E-01*	-1.03%	*4.63E-01*	-0.05%	*7.32E-01*
9330	SADABA	-0.91%	*4.50E-01*	-3.75%	2.47E-02	-2.56%	*2.21E-01*
9332	BIOTA "EL BAYO"	-1.32%	*3.36E-01*	-1.32%	*4.52E-01*	5.02%	*3.53E-01*

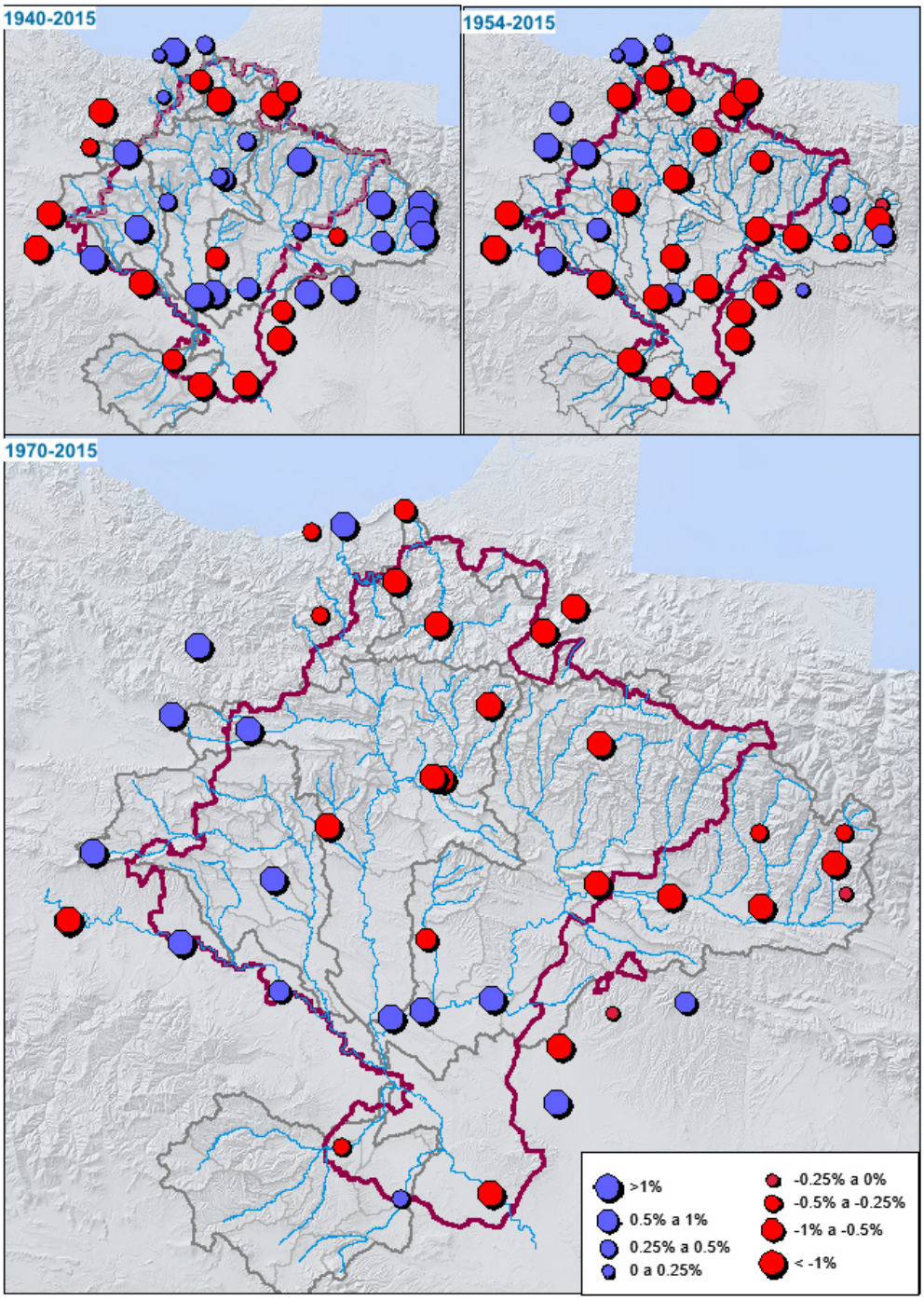

Figura 5 Tendencia en %/decenio para la precipitación anual para cada una de las estaciones perteneciente a la red básica. En azul se representan las tendencias positivas y en rojo las negativas. Se debe tener en consideración el nivel de significancia estadística que se muestra en la tabla 4.

Para el conjunto de la comunidad, aunque no se aprecian tendencias significativas, existen particularidades para los distintos períodos analizados. En el período 1940-2015 la media de

la tendencia es de +0,34 %/decenio, una tendencia poco significativa en general muestra una precipitación constante a nivel anual y que está condicionada por el período extraordinariamente seco que sucede durante la década que arranca en 1940.

En el siguiente período analizado entre el 1954-2015 la media de la tendencia es negativa -1,04%/decenio, mostrando una tendencia más acusada que en el período anterior que conlleva una reducción significativa en la precipitación a largo plazo.

Por último, en el periodo 1970-2015 la tendencia se suaviza -0,47 %/decenio, aunque se sigue mostrando una reducción de la precipitación a largo plazo.

5.1.2 Tendencia de los recursos hídricos en régimen natural

De la misma forma que se analiza la precipitación, el valor de la tendencia de las aportaciones en régimen natural se expresa en % hm^3/decenio y se calcula a partir de la recta de regresión obtenida. Este resultado se muestra en tabla 5 donde se puede observar que el grado de significancia para el conjunto de las estaciones y los diferentes intervalos estudiados es prácticamente nulo, a diferencia de lo que sucede con la temperatura donde el grado de significancia era más elevado, especialmente en el intervalo de estudio 1970-2015.

Las cuencas de la vertiente cantábrica, Bidasoa y Urumea, son las únicas que presentan una tendencia negativa estadísticamente significativa a partir de los años 50, con una disminución del recurso de entre el -4 y -5 %/decenio para el periodo 1970-2015.

Por tanto, los resultados obtenidos y los análisis realizados referentes a la tendencia de las aportaciones en régimen natural deben tomarse con suma cautela ya que carecen del grado de confianza deseado.

Tabla 5 Tendencias obtenidas de las aportaciones anuales medias para los intervalos 1940-2015, 1954-2015 y 1970-2015, donde se muestra además la probabilidad de excedencia para cada una de las muestras analizadas (Se considera que existe significancia estadística cuando p < 5%); se marca en color rojo aquellas tendencias que NO cumplen con este requerimiento.

Vertiente	Cuenca	Subcuenca	Código de la subcuenca acumulada	%/decenio (1940-2015)	valor-p	%/decenio (1954-2015)	Valor-p	%/decenio (1970-2015)	Valor-p
CUENCAS VERTIENTE MEDITERRÁNEA	EGA	Ega en Murieta	3100Q	-2.5%	*1.67E-01*	-5.6%	1.45E-02	-4.6%	*2.44E-01*
		Urederra	3200K	0.6%	*7.02E-01*	-0.05%	*7.80E-01*	-3.0%	*4.17E-01*
		Ega	**3300D**	-1.0%	*5.69E-01*	-3.8%	*8.48E-02*	-4.1%	*3.33E-01*
	ARGA	Arga en Eugui	4100 H	-1.0%	*5.69E-01*	-1.7%	*8.48E-02*	-4.1%	*3.33E-01*
		Ultzama	4200C	0.3%	*8.16E-01*	-2.2%	*1.93E-01*	-5.0%	*5.90E-02*
		Araquil en Asiain	4300C	-1.2%	*3.85E-01*	-2.1%	*1.27E-01*	-3.5%	*7.99E-02*
		Salado	4500C	-0.9%	*5.95E-01*	-3.5%	*8.48E-02*	-4.5%	*2.29E-01*
		Arga	**4600C**	-0.6%	*7.09E-01*	-2.9%	*7.82E-02*	-4.5%	*7.66E-02*
	ARAGÓN	Irati en embalse de Itoiz (con Urrobi)	5300K	0.8%	*5.76E-01*	-1.8%	*2.55E-01*	-3.5%	*1.68E-01*
		Salazar	5200K	1.0%	*5.20E-01*	-2.6%	*1.69E-01*	-5.8%	*6.17E-02*
		Irati	5300M	0.8%	*6.34E-01*	-2.3%	*1.73E-01*	-4.6%	*7.66E-02*
		Aragón en Yesa	5000B	2.6%	*9.30E-02*	-1.0%	*6.23E-01*	-3.7%	*1.80E-01*
		Zidacos	5400E	0.1%	*9.85E-01*	-4.9%	*9.66E-02*	5.5%	*4.87E-01*
		Aragón	**5500F**	1.7%	*2.92E-01*	-2.1%	*2.55E-01*	-3.6%	*1.50E-01*
	ALHAMA	**Alhama**	**6000A**	-1.4%	*6.14E-01*	-4.9%	*1.54E-01*	-3.7%	*6.04E-01*
	QUEILES	**Queiles**	**7000B**	-2.8%	*2.75E-01*	-3.6%	*2.99E-01*	1.9%	*7.17E-01*
	LINARES	**Linares**	**2000A**	0.2%	*9.18E-01*	-6.2%	*5.77E-02*	-6.3%	*2.78E-01*
CUENCAS VERTIENTE CANTÁBRICA	BIDASOA	**Bidasoa en Endarlatza**	**9400K**	-1.9%	*1.31E-01*	-3.0%	3.28E-02	-4.3%	4.49E-02
	URUMEA	**Urumea en embalse de Añarbe**	**9520D**	-0.7%	*6.08E-01*	-3.7%	2.80E-02	-5.1%	3.90E-02

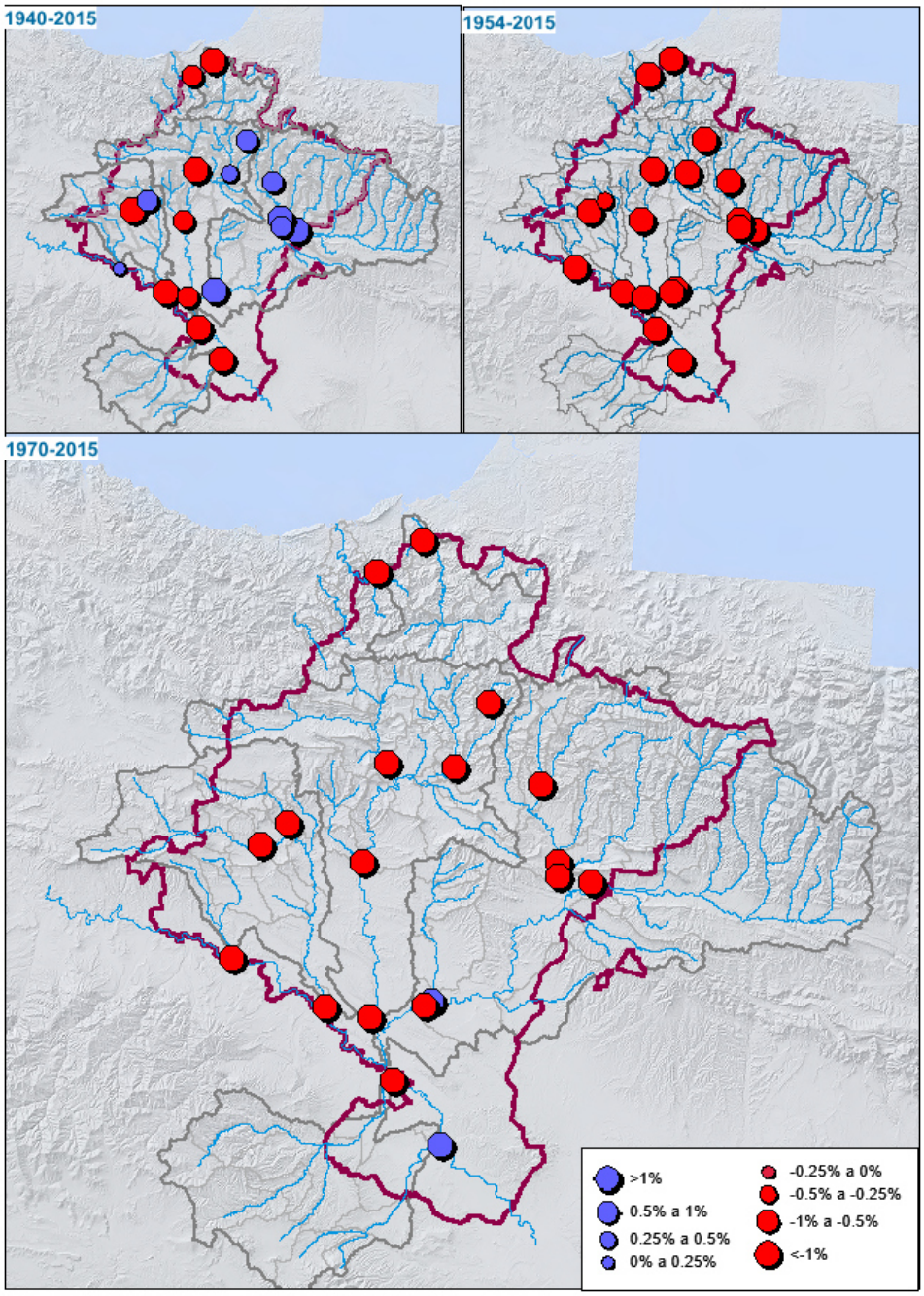

Figura 6 Tendencias para las aportaciones en %/decenio para las estaciones pertenecientes a la red básica. Hay que tener en consideración el nivel de significancia estadística que se muestra en la tabla 5.

Las figuras anteriores recogen la distribución espacial de las tendencias para los diferentes períodos analizados. En ellas se observa de manera general una tendencia decreciente en las aportaciones, independientemente del periodo que se analice. No obstante, cuanto más amplio es el periodo analizado menor es el decrecimiento. Así, para el periodo más completo (1940-

2015) la tendencia media es -0,2%, obteniéndose para el río Aragón una clara tendencia positiva, mientras que para el periodo más actual (1970-2015) la tendencia es de -3,5%.

Esta disminución de las aportaciones viene originada principalmente por el descenso que se ha observado anteriormente en las precipitaciones, que al igual que en el primer caso, no presenta una tendencia estadísticamente significativa. A diferencia de la precipitación, la reducción de las aportaciones se da de manera generalizada en todo el territorio, probablemente debido a la combinación del descenso de la precipitación y el aumento significativo de la temperatura, que tiene un efecto directo en el incremento de la evapotranspiración.

5.1.3 Evolución de las sequías

Del análisis de estos resultados referentes a las **sequías severas** que se muestra en la tabla 6, cabe destacar que en términos generales se aprecia un número de sequías elevado en los períodos 1940-1970 y 1985-2015; en promedio se obtienen 4 y 5 episodios de sequía severa comprendido entre 1961 y 1990 es claramente más húmedo y en él se identifica un único episodio de media en el periodo, apreciándose, por tanto, un aumento del número de sequías en los últimos 30 años.

Este mismo patrón de comportamiento fue detectado en los estudios antecedentes donde de se explica que general, se puede decir que se observa un periodo de déficit desde los años 1940/41 hasta el 1957/58, un periodo húmedo del 1957/58 hasta el 1984/85 y finalmente otro periodo seco desde esta fecha hasta el año 2010/11, a partir del cual comienza otro periodo húmedo (Gobierno de Navarra, 2017)

Tabla 6 Contabilización de las sequías severas a partir del índice SPI

Estación	Nombre	Sequías severas entre 1940-1970	Duración media de las sequías en el periodo 1940-1970	Sequías severas entre 1961-1990	Duración media de las sequías en el periodo 1961-1990	Sequías severas entre 1985-2015	Duración media de las sequías en el periodo 1985-2015
1006	SANTESTEBAN	3	7	1	28	5	17
1014	FUENTERRABIA "AEROPUERTO"	4	27	1	17	3	20
1021	ARTICUTZA	4	21	0	0	5	16
1024E	SAN SEBASTIAN "IGUELDO"	4	25	1	10	4	15
1024	SAN SEBASTIAN (ATEGORRIETA)	3	35	1	11	2	17
1031	ELDUAYEN	4	22	1	12	6	13
1037	LEGAZPIA	3	11	0		5	16
64092	BANCA	5	9	1	13	5	18
64274	IROULEGUY	4	9	1	13	5	21
9074C	ARRIOLA	5	12	1	28	4	14
9145A	CENICERO "INDUSTRIAL"	3	11	2	21	7	12
9145	CENICERO "BODEGAS"	4	11	1	9	8	12
9170	LOGROÑO "AGONCILLO"	5	10	2	14	5	12
9174	SARTAGUDA	2	13	3	21	5	15
9175	LA GRAN VILLAVERDE "IB"	4	15	3	15	4	13
9182I	ARRONIZ	5	19	1	3	5	14
9198	CANFRANC "LOS ARAÑONES"	4	28	0	0	2	27
9199A	VILLANUA "CENTRAL ELECTRICA"	4	30	0	0	2	30
9200	BESCOS DE GARCIPOLLERA	6	24	1	1	4	12
9207	HECHO	5	23	1	7	4	13
9210	JAVIERREGAY	4	22	0	0	5	13
9215	ARTIEDA	3	13	2	7	4	23
9223	YESA "EMBALSE"	3	26	2	8	4	12
9236	ABAURREA ALTA	5	14	1	11	3	17
9246	CARCASTILLO "LA OLIVA"	2	25	3	14	5	11
9252	OLITE	2	16	3	10	7	14
9255	CAPARROSO	2	36	3	22	2	12
9256	MARCILLA "AZUCARERA"	2	21	3	14	4	12
9257E	EUGUI "ESTERIBAR"	5	14	0	0	4	16
9262C	PAMPLONA "GRANJA"	5	16	1	3	6	13
9262	PAMPLONA "OBSERVATORIO"	5	21	0	0	5	16
9269	ALSASUA	6	13	1	21	4	14
9279	ALLOZ "EMBALSE"	3	19	2	8	6	17
9290	FITERO	1	9	3	15	4	19
9301	MONTEAGUDO	3	8	1	13	5	26
9305	BUÑUEL	2	10	1	25	5	18
9322	BIEL	5	19	1	17	5	11

Estación	Nombre	Sequías severas entre 1940-1970	Duración media de las sequías en el periodo 1940-1970	Sequías severas entre 1961-1990	Duración media de las sequías en el periodo 1961-1990	Sequías severas entre 1985-2015	Duración media de las sequías en el periodo 1985-2015
9329	UNCASTILLO	5	14	1	11	4	13
9330	SADABA	3	27	0	0	7	16
9332	BIOTA "EL BAYO"	2	16	2	18	7	13

5.1.4 Evolución de las precipitaciones máximas

Gracias a la aplicación de la metodología descrita en el apartado 4.1, se obtienen los cuantiles de 10, 100 y 500 años de periodo de retorno en las estaciones meteorológicas básicas. De la interpretación de los resultados obtenidos se puede observar un comportamiento diferente de los cuantiles en función del periodo analizado y también de las estaciones estudiadas.

En la tabla 7 se muestran, a modo de ejemplo, los cuantiles de 500 años de periodo de retorno. En esta tabla, de forma general, se puede apreciar como el primer periodo y el último presenta cuantiles superiores al periodo intermedio comprendido entre los años 1970-2000. Destaca de forma apreciable el primer intervalo temporal estudiado comprendido entre los años 1940-1970, donde los cuantiles se incrementan de forma general respecto al conjunto de la serie analizada. A nivel de tendencia a lo largo del tiempo no se observa una clara evolución en las estaciones analizadas.

Tabla 7 Variación de los cuantiles (ΔT) para 500 años de periodo de retorno respecto el periodo de control 1940-2015

Código	Estación	ΔT Tr = 500 años (1940-1970)	ΔT Tr = 500 años (1970-2000)	ΔT Tr = 500 años (1985-2015)
1006	SANTESTEBAN	34%	-8%	-1%
1021	ARTICUTZA	-8%	19%	1%
1024	SAN SEBASTIAN (ATEGORRIETA)	11%	-36%	15%
9145	CENICERO "BODEGAS"	-9%	23%	29%
9174	SARTAGUDA	11%	10%	-48%
9198	CANFRANC "LOS ARAÑONES"	-16%	-15%	48%
9223	YESA "EMBALSE"	-5%	14%	35%
9246	CARCASTILLO "LA OLIVA"	14%	-6%	-1%
9252	OLITE	22%	-9%	-19%
9255	CAPARROSO	25%	-35%	-14%
9262	PAMPLONA "OBSERVATORIO"	17%	14%	-32%
9269	ALSASUA	75%	-10%	-17%
9290	FITERO	58%	-14%	-13%
9301	MONTEAGUDO	-4%	-19%	24%
9305	BUÑUEL	8%	-39%	29%

5.2 Selección de modelos a partir del análisis de series hidrometeorológicas

5.2.1 Descarga de los datos de los modelos climáticos y construcción de la base comparativa

En relación a los modelos puntuales 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

tabla 8, del Portal Web habilitado por AEMET para tal fin: http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio_climat/datos_diarios

Tabla 8.- Modelos puntuales de AEMET de estudio

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 8 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, a continuación, se realiza una descripción más detallada de cada uno de estos modelos.

- 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.

En el caso de los modelos CORDEX, se han descargado los datos mensuales y diarios de precipitación, temperatura máxima, mínima y media de las proyecciones regionalizadas 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 seleccionado 6 modelos teniendo en consideración el *Estudio de Variabilidad Climática. Áreas de intervención para la gestión adaptativa del paisaje y medio construido en Navarra*, elaborado en el marco del Proyecto LIFE Nadapta (NASUVINSA, 2020). En dicho documento llegan a la conclusión de que los modelos CORDEX que mejor se adaptan a Navarra son los que se muestran en la tabla 9.

Tabla 9.- Modelos CORDEX seleccionados para este 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

5.2.2 Selección del conjunto de modelos preseleccionados

Tal y como se ha comentado en el apartado 4.2 de metodología se ha realizado un breve estudio para corroborar el adecuado comportamiento de los modelos puntuales en relación con los datos registrados en el BDH, a modo de ejemplo se muestra en la figura 7 y la figura 8, la comparación de la precipitación y la temperatura en el periodo histórico, entre los años 1970-2000. En términos generales se aprecia un adecuado ajuste, aunque de forma particular se puede apreciar modelos que sobreestiman o subestiman los datos registrados.

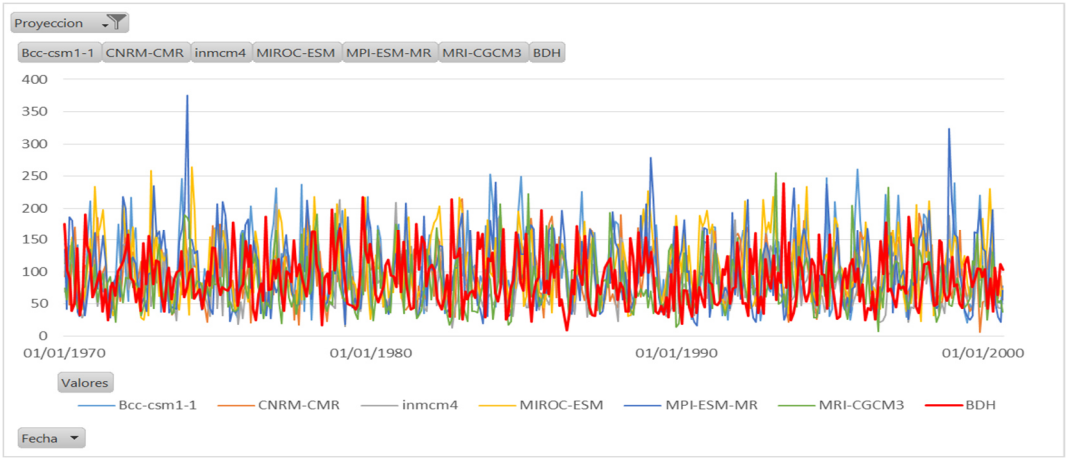

Figura 7.- Evolución de la precipitación mensual para Navarra para el periodo de control según los datos observados (BDH) y los modelos puntuales del CEDEX.

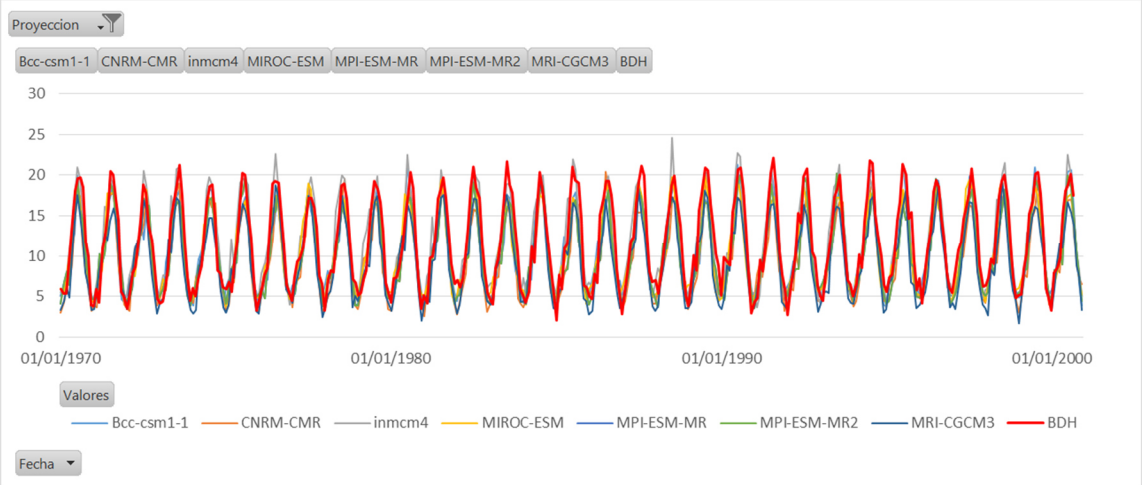

Figura 8.- Evolución de la temperatura media mensual para Navarra para el periodo de control según los datos observados (BDH) y los modelos puntuales del CEDEX.

En relación a los modelos CORDEX, tal y como se describe en el apartado de metodología, 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 la figura 9 y la figura 10. Estos 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), contienen 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

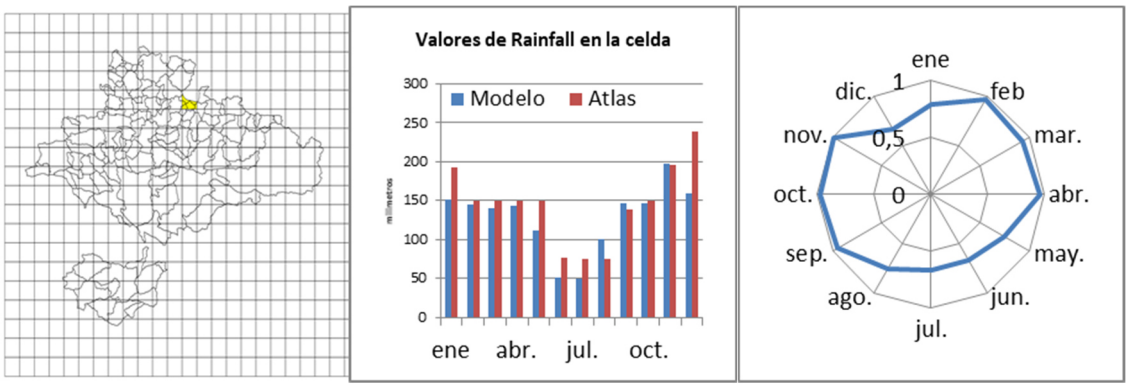

Figura 9.- Resultados gráficos comparativos de valores de precipitación en una celda de un modelo

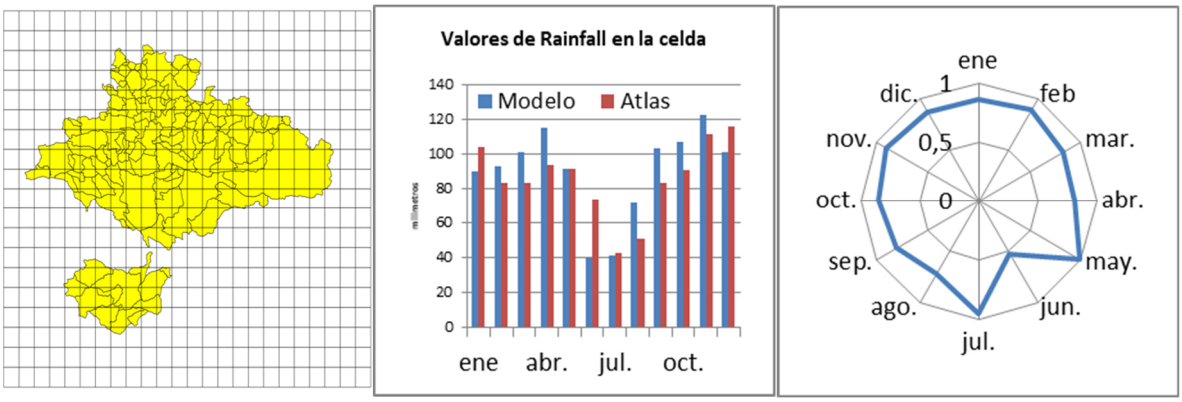

Figura 10.- Resultados gráficos comparativos de valores de precipitación en Navarra de un modelo

Al mismo tiempo, para cada modelo se han calculado un conjunto de valores numéricos que muestran el valor anual de las diferentes variables climáticas en Navarra, calculada tanto a partir de los datos del correspondiente modelo de cambio climático como a partir de los mapas del Atlas (BDH), así como el coeficiente minorador medio mensual, calculado tanto para el conjunto del ámbito de estudio, como a partir 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. Además, poder analizar con más detalle el grado de ajuste entre los diferentes modelos y los datos registrados, se ha realizado esta misma comparación nivel de regiones asimilables a de cuencas principales como son el Bidasoa, Iranzu, Arga, Aragón y Alhama. El resultado se puede consultar en la **¡Error! No se encuentra el origen de l a referencia.**.

Tabla 10.- Resumen de las variables que presentan un adecuado ajuste entre los datos registrados en el BDH y los simulados por los distintos modelos preselecionados.

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, gracias al análisis realizado a continuación se muestran los modelos que más se adecúan al ámbito a estudiar y que finalmente se han seleccionado para el estudio de evaluación de los recursos hídricos considerando el cambio climático.

Tabla 11.- Modelos para los puntuales:

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

Tabla 12.- Modelos para CORDEX:

ID.	Modelo	Institución
C01	HadGEM2-ES_r1i1p1	SMHI
C02	CM5A-MR_r1i1p1	SMHI
C03	HadGEM2-ES_r1i1p1	KNMI

Como paso previo a la ejecución del modelo hidrológico se han obtenido las series climáticas de los nueve modelos antes citados, considerando además los dos escenarios de forzamiento radiativo RCP 4.5 y RCP 8.5. Estas series se han obtenido para las 129 cuencas de las que se compone en modelo hidrológico existente.

5.2.3 Valoración del sesgo entre los modelos y las series observadas

Gracias a la obtención de las series climáticas en cada una de las 129 cuencas del modelo hidrológico, se ha podido realizar un análisis preciso del sesgo, comparando los datos de los diferentes modelos con los almacenados en estas mismas cuencas en el BDH.

A continuación, se muestra el resultado de la evolución de la precipitación obtenida como promedio del resultado de las 129 cuencas, donde se puede apreciar como 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%. Por otro lado, el promedio del conjunto de los modelos presenta un ajuste aceptable en relación con los datos registrados.

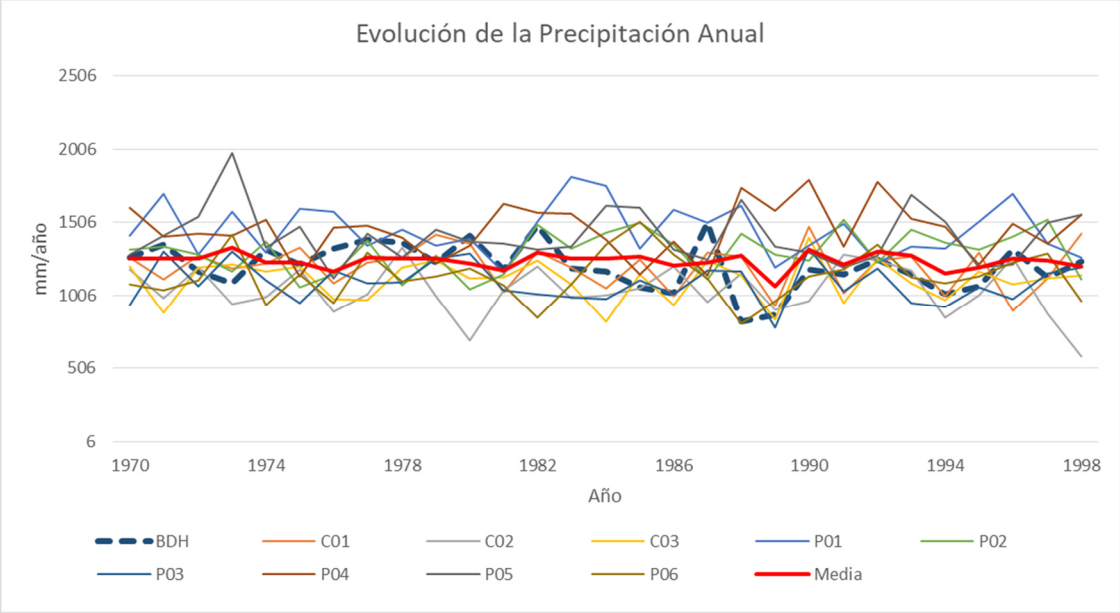

Figura 11.- Evolución de la precipitación media anual para el periodo de control de los datos observados y los modelos

Con relación a la estacionalidad, figura 12, 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 los 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.

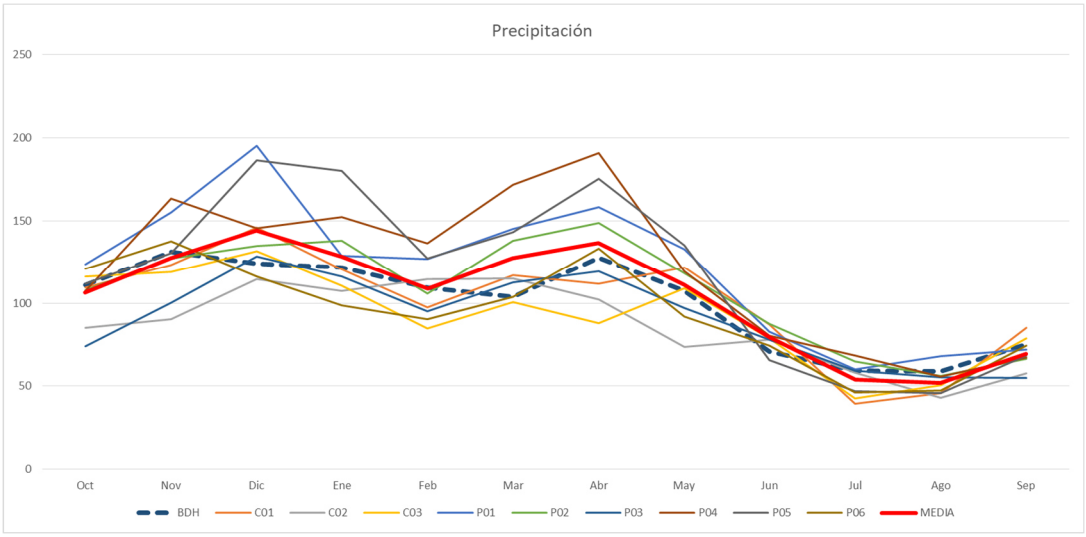

Figura 12.- Evolución media mensual para Navarra para los datos observados y valores de modelos de cambio climático.

En relación con la temperatura media anual, se muestra en la figura 13 el resultado del contraste realizado donde 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.

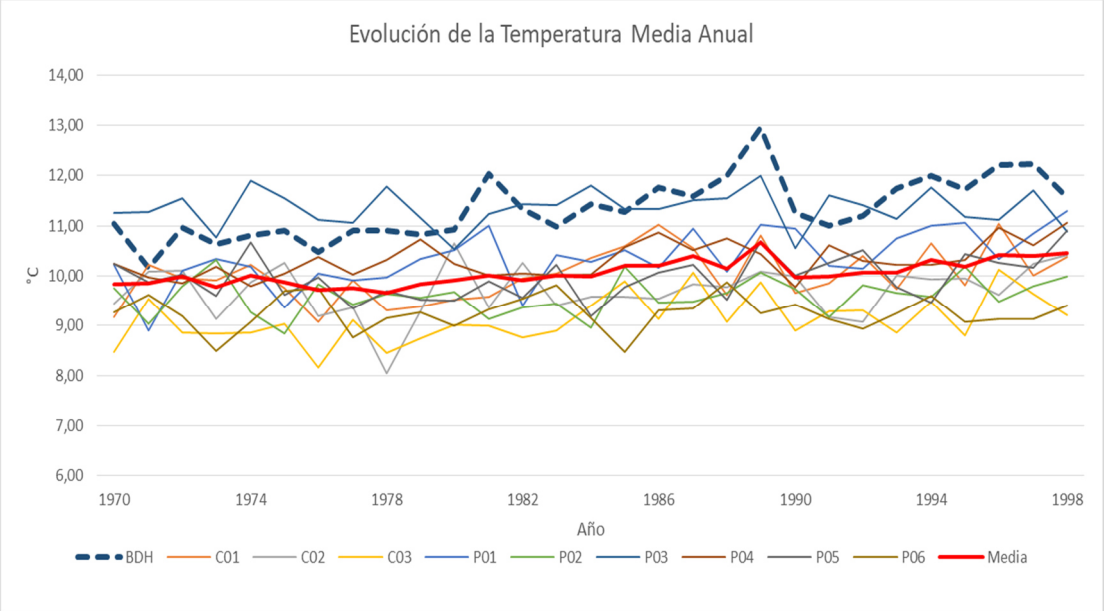

Figura 13.- Evolución de la temperatura media anual para el periodo de control de los datos observados y los modelos

En relación con la estacionalidad, figura 14, 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.

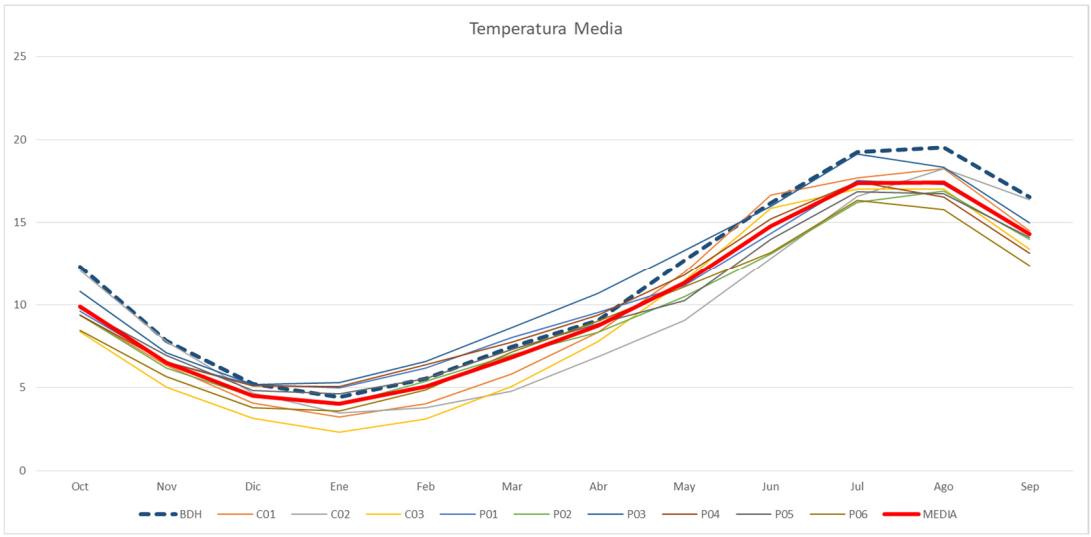

Figura 14.- Evolución de temperatura media mensual para Navarra para los datos observados y valores de modelos de cambio climático.

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.

5.3 Evolución de las aportaciones en base a los modelos de cambio climático

5.3.1 Tendencias y anomalías de las variables climáticas en el periodo proyectado

5.3.1.1 Temperatura media

A partir de los datos obtenidos del promedio de los nueve modelos seleccionados se puede observar la evolución de la temperatura media para los años proyectados para los escenarios radiativos, RCP 4.5 y RCP 8.5.

Para el escenario 4.5 (figura 15 y figura 17) la tendencia presenta una pendiente positiva de +0,21 °C/decenio en la vertiente mediterránea y +0,18 °C/decenio en la vertiente cantábrica. Por tanto, aunque presentan un orden de magnitud similar, en la vertiente mediterránea se aprecia, para este escenario, un mayor calentamiento que en la vertiente cantábrica. Si se comparan estos resultados con los obtenidos en la primera fase del estudio donde se estudia el periodo histórico del BDH, estas tendencias se asemejan a las obtenidas en último periodo analizado, el que comprenden entre los años 1954-2015. Apreciándose, por tanto, un mantenimiento de la tendencia en este escenario.

En el escenario 8.5 (figura 16 y figura 18), la tendencia presenta una pendiente positiva 0,49 °C/decenio en la vertiente mediterránea y 0,43 °C/decenio en la vertiente cantábrica, de la misma forma que sucede en el escenario 4.5, la vertiente mediterránea presenta una cierta mayor tendencia al calentamiento que la vertiente cantábrica, aunque ambos casos presentan ordenes de magnitud similar.

Cabe destacar la gran incertidumbre que queda plasmada en la franja de color gris de los diferentes gráficos, por tanto, aunque los datos representados por la media de los modelos se pueden considerar adecuada, es necesario tener presente el grado de variabilidad que muestran los diferentes modelos.

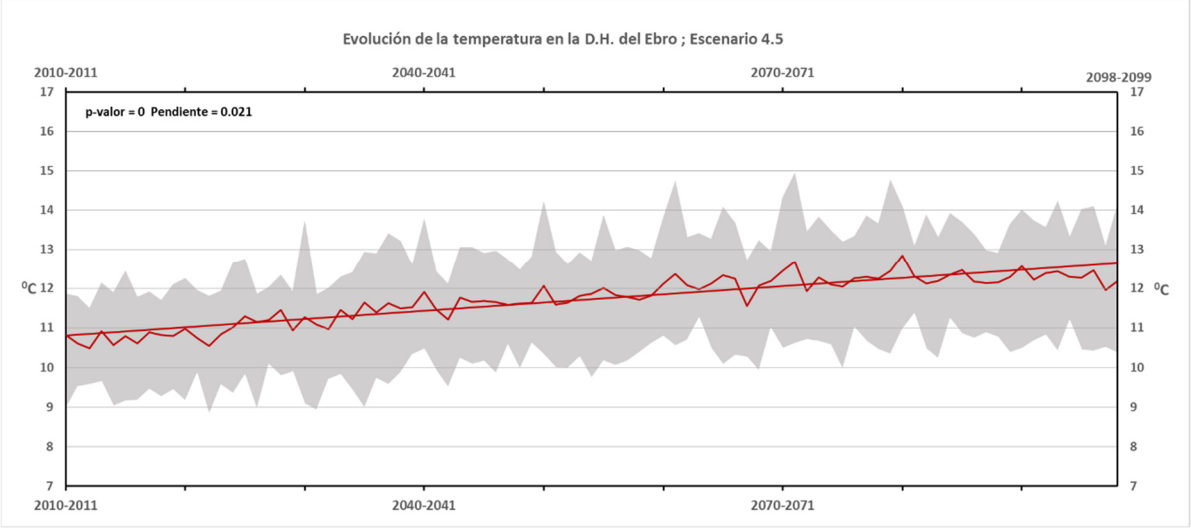

Figura 15 Evolución de la temperatura media mensual para el RCP 4.5 considerando la región formada por las cuencas que vierten en dirección Sur (Vertiente mediterránea). La línea de evolución muestra la media de temperatura de los nueve modelos.

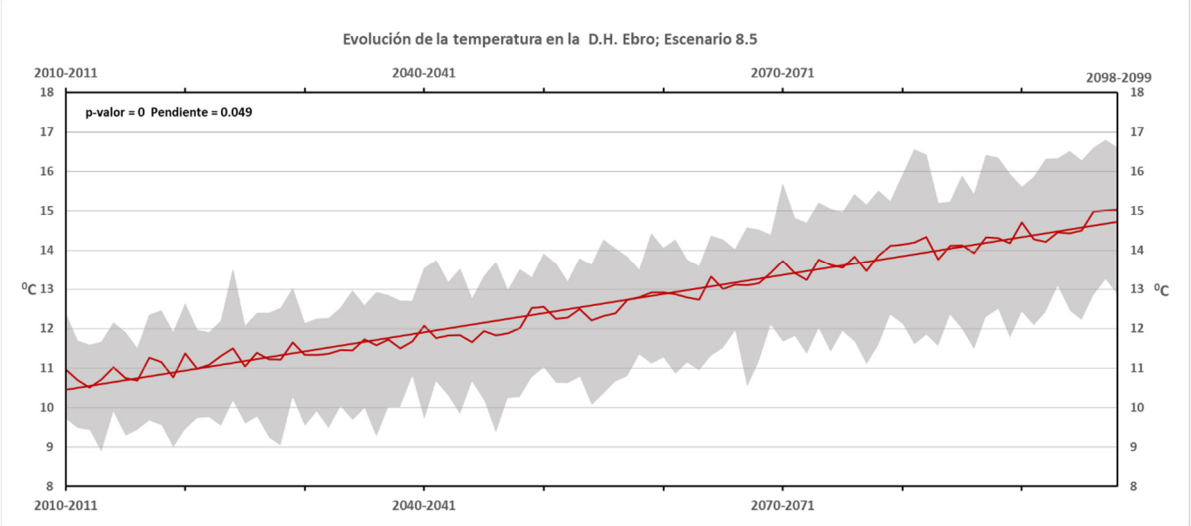

Figura 16 Evolución de la temperatura media mensual para el RCP 8.5 considerando la región formada por las cuencas que vierten en dirección Sur (Vertiente mediterránea). La línea de evolución muestra la media de temperatura de los nueve modelos.

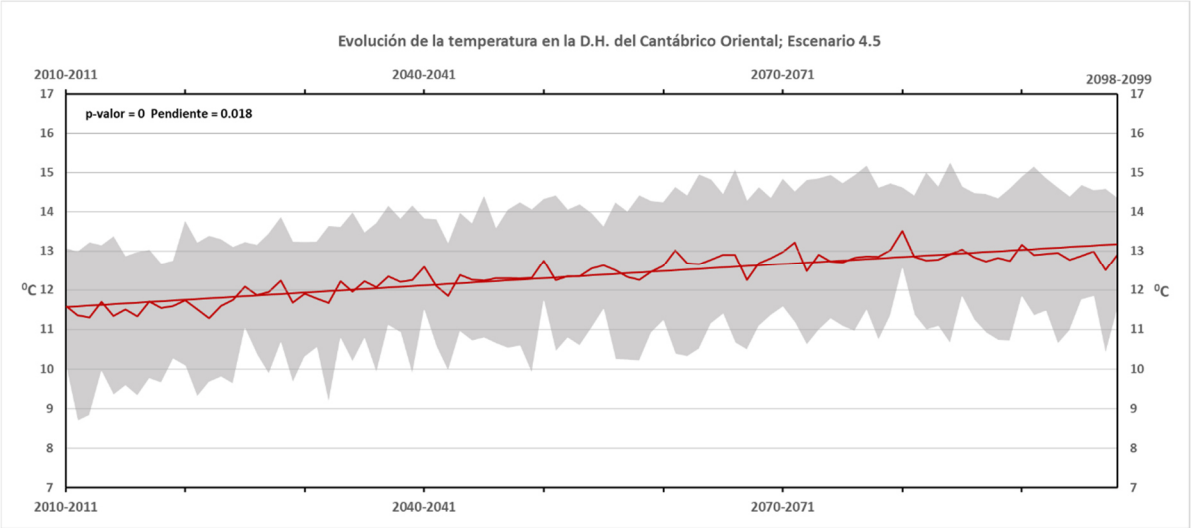

Figura 17 Evolución de la temperatura media mensual para el RCP 4.5 considerando la región formada por las cuencas que vierten en dirección Norte (Vertiente cantábrica). La línea de evolución muestra la media de temperatura de los nueve modelos.

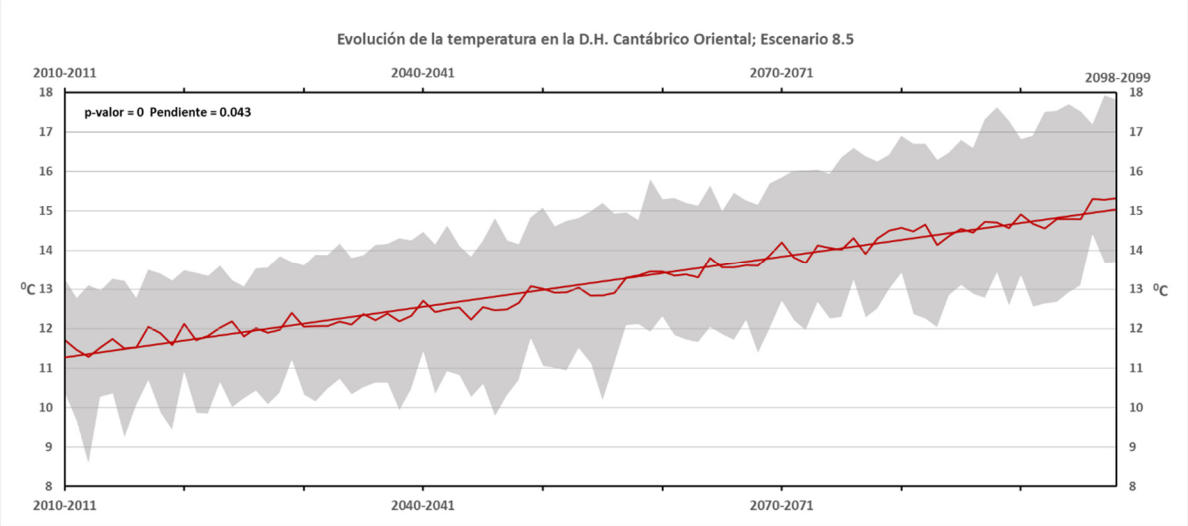

Figura 18 Evolución de la temperatura media mensual para el RCP 8.5 considerando la región formada por las cuencas que vierten en dirección Norte (Vertiente cantábrica). La línea de evolución muestra la media de temperatura de los nueve modelos.

A continuación, se presenta en la tabla 13 el resultado de las anomalías de temperatura para los periodos de impacto 2010-2040, 2040-2070 y 2070-2100 respecto al periodo de control 1970-2000 en los puntos de interés seleccionados.

En el **escenario RCP 4.5**, tal y como se apreciaba en los gráficos de tendencia, se observa como existe un mayor calentamiento en **vertiente mediterránea** donde se obtiene un valor de **2,2 °C** para la media del conjunto de modelos en el **periodo 2070-2100**, y **2 °C** en la **vertiente cantábrica** en este mismo periodo. Esta diferencia entre las dos vertientes se reproduce en el resto de los periodos de impacto estudiados.

Estudiando las cuencas con mayor detalle, destaca, nuevamente, **la cuenca del río Aragón** en la vertiente mediterránea, donde las anomalías de temperatura obtenidas en los dos primeros períodos de impacto muestran valores ligeramente superiores que, en el resto de las cuencas, hecho que se acentúa conforme avanza el siglo XXI, alcanzando un valor de 2,4 °C para la media en el período 2070-2100. En la vertiente cantábrica, las dos cuencas analizadas muestran unos valores muy homogéneos.

Cabe destacar la gran dispersión de valores que ofrecen los diferentes modelos seleccionados, mostrando de esta forma la gran incertidumbre asociada a la determinación de la evolución de las proyecciones climáticas. Por poner un ejemplo que se aprecia en la tabla 13, para la vertiente mediterránea en el periodo de impacto 1970-2100 se muestra un valor de 2,2 °C para el valor medio y un valor máximo de 3,1 °C y un mínimo de 1,4 °C. Una incertidumbre cercana ±1 °C.

En el **escenario RCP 8.5** que se muestra en la tabla 14, se vuelve a apreciar la diferencia existente entre la vertiente cantábrica y la vertiente mediterránea. En la primera, para el periodo de impacto **2070-2100**, se obtiene una anomalía de temperatura **de 3,6 °C**, en la vertiente mediterránea esta anomalía alcanza un valor **de 4,1 °C**, una diferencia de 0,5 °C que es bastante significativa.

De la misma forma que sucede en el escenario 4.5, destaca la del **río Aragón** como aquella en la que se produce una mayor anomalía de temperatura, que nuevamente es más acentuada en el periodo **2070-2100, donde llega a alcanzar los 4,4 °C**. En la figura 20 se muestra la distribución espacial de las anomalías de temperatura para los tres períodos de impacto calculado, apreciándose, nuevamente como se obtiene una mayor anomalía en la zona del río Aragón.

Nuevamente la incertidumbre asociada a la proyección climática es muy elevada, tal y como queda reflejado en el rango de temperatura obtenido entre el valor máximo y mínimo del conjunto de modelos seleccionados.

Tabla 13 Anomalías de temperatura para el escenario 4.5 para el conjunto de modelos seleccionados, y los valores resultados del máximo, mínimo y media.

Punto	Descripción	Período	▪ Temperatura (ºC) para el RCP 4.5											
			P01	P02	P03	P04	P05	P06	C01	C02	C03	Min.	Med.	Max.
IX	Vertiente cantábrica	2010-2040	0.9	0.6	0.3	1.3	1.0	0.5	1.3	1.1	1.2	0.3	0.9	1.3
		2040-2070	1.5	1.1	0.6	2.3	1.6	1.1	2.2	1.8	2.2	0.6	1.6	2.3
		2070-2100	1.7	1.4	1.1	2.8	1.9	1.5	2.8	2.2	2.7	1.1	2.0	2.8
X	Vertiente mediterránea	2010-2040	1.0	0.6	0.3	1.4	1.0	0.4	1.4	1.4	1.3	0.3	1.0	1.4
		2040-2070	1.7	1.2	0.8	2.5	1.7	1.2	2.4	2.2	2.4	0.8	1.8	2.5
		2070-2100	1.8	1.6	1.4	3.1	2.1	1.6	3.1	2.7	2.9	1.4	2.2	3.1
3100Q	Ega en Murieta	2010-2040	1.0	0.6	0.3	1.4	1.0	0.4	1.3	1.3	1.3	0.3	1.0	1.4
		2040-2070	1.7	1.2	0.8	2.5	1.7	1.2	2.3	2.0	2.4	0.8	1.8	2.5
		2070-2100	1.8	1.5	1.4	3.1	2.0	1.5	2.9	2.5	2.9	1.4	2.2	3.1
3200K	Urederra	2010-2040	1.0	0.6	0.3	1.4	1.0	0.4	1.3	1.3	1.3	0.3	1.0	1.4
		2040-2070	1.7	1.2	0.8	2.5	1.7	1.2	2.3	2.0	2.3	0.8	1.7	2.5
		2070-2100	1.8	1.5	1.4	3.1	2.0	1.5	2.9	2.5	2.8	1.4	2.2	3.1
3300D	Ega	2010-2040	1.0	0.6	0.3	1.4	1.0	0.4	1.4	1.3	1.4	0.3	1.0	1.4
		2040-2070	1.7	1.2	0.8	2.5	1.7	1.2	2.4	2.1	2.4	0.8	1.8	2.5
		2070-2100	1.8	1.5	1.4	3.0	2.1	1.5	3.0	2.6	2.9	1.4	2.2	3.0
4100H	Arga en Eugui	2010-2040	0.9	0.6	0.3	1.3	1.0	0.4	1.3	1.2	1.2	0.3	0.9	1.3
		2040-2070	1.6	1.1	0.7	2.3	1.6	1.1	2.3	1.9	2.2	0.7	1.7	2.3

Punto	Descripción	Período	▪ Temperatura (ºC) para el RCP 4.5											
			P01	P02	P03	P04	P05	P06	C01	C02	C03	Min.	Med.	Max.
		2070-2100	1.7	1.4	1.2	2.8	1.9	1.5	2.9	2.4	2.7	1.2	2.1	2.9
4200C	Ultzama	2010-2040	0.9	0.6	0.3	1.4	1.0	0.4	1.3	1.2	1.2	0.3	0.9	1.4
		2040-2070	1.6	1.1	0.7	2.4	1.7	1.2	2.3	1.9	2.3	0.7	1.7	2.4
		2070-2100	1.7	1.4	1.2	2.9	2.0	1.5	2.9	2.4	2.7	1.2	2.1	2.9
4300C	Araquil en Asiain	2010-2040	1.0	0.6	0.3	1.4	1.0	0.4	1.3	1.2	1.3	0.3	0.9	1.4
		2040-2070	1.7	1.2	0.7	2.4	1.7	1.2	2.3	1.9	2.3	0.7	1.7	2.4
		2070-2100	1.8	1.5	1.3	3.0	2.0	1.5	2.9	2.4	2.8	1.3	2.1	3.0
4500C	Salado	2010-2040	1.0	0.6	0.3	1.4	1.0	0.4	1.3	1.3	1.3	0.3	1.0	1.4
		2040-2070	1.7	1.2	0.7	2.4	1.7	1.2	2.3	2.0	2.3	0.7	1.7	2.4
		2070-2100	1.8	1.5	1.3	3.0	2.0	1.5	2.9	2.5	2.8	1.3	2.2	3.0
4600C	Arga	2010-2040	1.0	0.6	0.3	1.4	1.0	0.4	1.4	1.4	1.4	0.3	1.0	1.4
		2040-2070	1.7	1.2	0.7	2.4	1.7	1.2	2.4	2.1	2.4	0.7	1.8	2.4
		2070-2100	1.8	1.5	1.3	3.0	2.0	1.5	3.0	2.6	2.9	1.3	2.2	3.0
5300K	Irati en embalse de Itoiz (con Urrobi)	2010-2040	1.0	0.6	0.3	1.4	1.0	0.4	1.3	1.3	1.2	0.3	0.9	1.4
		2040-2070	1.7	1.2	0.8	2.4	1.7	1.2	2.4	2.1	2.2	0.8	1.7	2.4
		2070-2100	1.8	1.5	1.3	3.0	2.0	1.5	3.0	2.6	2.8	1.3	2.2	3.0
5200K	Salazar	2010-2040	1.0	0.6	0.4	1.5	1.1	0.4	1.4	1.4	1.3	0.4	1.0	1.5
		2040-2070	1.8	1.2	0.8	2.5	1.8	1.2	2.5	2.2	2.3	0.8	1.8	2.5
		2070-2100	1.9	1.6	1.5	3.1	2.2	1.5	3.1	2.8	2.9	1.5	2.3	3.1
5300M	Irati	2010-2040	1.0	0.6	0.3	1.4	1.1	0.4	1.3	1.3	1.2	0.3	1.0	1.4
		2040-2070	1.7	1.2	0.8	2.4	1.7	1.2	2.4	2.1	2.3	0.8	1.8	2.4
		2070-2100	1.8	1.5	1.4	3.0	2.1	1.5	3.1	2.6	2.8	1.4	2.2	3.1
5000B	Aragón en Yesa	2010-2040	1.0	0.7	0.4	1.6	1.2	0.4	1.4	1.5	1.2	0.4	1.0	1.6
		2040-2070	1.9	1.4	1.0	2.7	2.0	1.3	2.5	2.3	2.3	1.0	1.9	2.7
		2070-2100	2.0	1.8	1.6	3.3	2.4	1.6	3.2	2.9	2.9	1.6	2.4	3.3
5400E	Zidacos	2010-2040	1.0	0.6	0.3	1.4	1.0	0.4	1.4	1.4	1.4	0.3	1.0	1.4
		2040-2070	1.7	1.2	0.8	2.5	1.7	1.2	2.4	2.2	2.5	0.8	1.8	2.5
		2070-2100	1.8	1.5	1.4	3.1	2.1	1.5	3.1	2.7	3.0	1.4	2.2	3.1
5500F	Aragón	2010-2040	1.0	0.7	0.4	1.5	1.1	0.4	1.4	1.5	1.3	0.4	1.0	1.5
		2040-2070	1.9	1.3	0.9	2.6	1.9	1.3	2.5	2.3	2.4	0.9	1.9	2.6
		2070-2100	1.9	1.7	1.6	3.3	2.3	1.6	3.2	2.9	3.0	1.6	2.4	3.3
6000A	Alhama	2010-2040	1.0	0.6	0.3	1.4	1.0	0.4	1.4	1.4	1.4	0.3	1.0	1.4
		2040-2070	1.7	1.2	0.8	2.5	1.7	1.2	2.4	2.3	2.4	0.8	1.8	2.5
		2070-2100	1.8	1.5	1.4	3.0	2.0	1.5	3.1	2.8	3.0	1.4	2.2	3.1
7000B	Queiles	2010-2040	1.0	0.6	0.3	1.4	1.0	0.4	1.5	1.4	1.4	0.3	1.0	1.5
		2040-2070	1.7	1.2	0.8	2.5	1.7	1.2	2.4	2.3	2.5	0.8	1.8	2.5

Punto	Descripción	Período	▪ Temperatura (ºC) para el RCP 4.5											
			P01	P02	P03	P04	P05	P06	C01	C02	C03	Min.	Med.	Max.
		2070-2100	1.8	1.5	1.4	3.1	2.0	1.6	3.1	2.7	3.0	1.4	2.2	3.1
2000A	Linares	2010-2040	1.0	0.6	0.3	1.4	1.0	0.4	1.4	1.3	1.4	0.3	1.0	1.4
		2040-2070	1.7	1.2	0.8	2.5	1.7	1.2	2.3	2.1	2.4	0.8	1.8	2.5
		2070-2100	1.8	1.5	1.4	3.0	2.1	1.5	2.9	2.6	2.9	1.4	2.2	3.0
9400K	Bidasoa en Endarlatza	2010-2040	0.9	0.6	0.3	1.3	1.0	0.5	1.3	1.2	1.2	0.3	0.9	1.3
		2040-2070	1.5	1.0	0.6	2.3	1.6	1.1	2.2	1.8	2.3	0.6	1.6	2.3
		2070-2100	1.7	1.4	1.1	2.8	1.9	1.5	2.9	2.3	2.7	1.1	2.0	2.9
9520D	Urumea en embalse de Añarbe	2010-2040	0.9	0.6	0.3	1.3	0.9	0.5	1.2	1.1	1.2	0.3	0.9	1.3
		2040-2070	1.5	1.0	0.6	2.3	1.6	1.1	2.1	1.7	2.2	0.6	1.6	2.3
		2070-2100	1.6	1.4	1.1	2.8	1.9	1.5	2.7	2.1	2.6	1.1	2.0	2.8

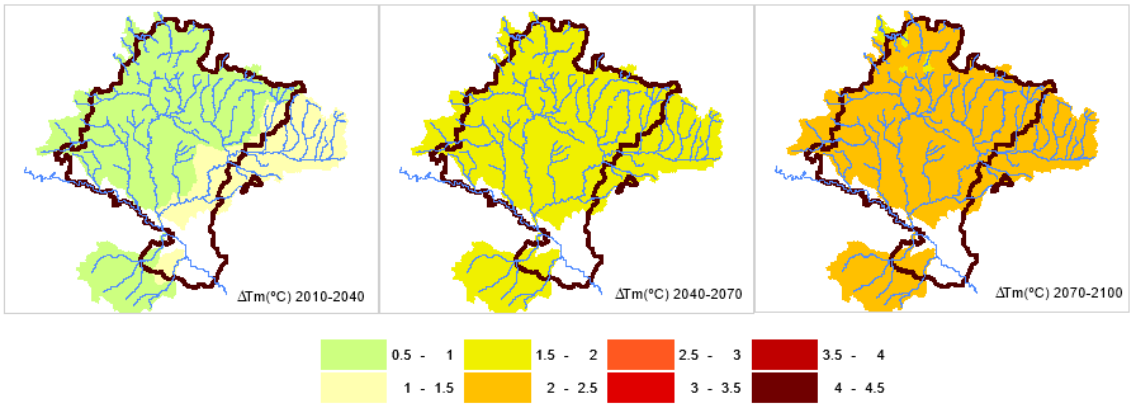

Figura 19 Distribución espacial de las anomalías de temperatura media mensual para el RCP 4.5, donde se muestran los tres periodos de impacto estudiado.

Tabla 14 Anomalías de temperatura para el escenario 8.5 para el conjunto de modelos seleccionados, y los valores resultados del máximo, mínimo y media.

Punto	Descripción	Período	▪ Temperatura (ºC) para el RCP 8.5											
			P01	P02	P03	P04	P05	P06	C01	C02	C03	Min.	Med.	Max.
IX	Vertiente cantábrica	2010-2040	1.2	0.5	0.4	1.4	1.0	0.6	1.6	1.3	1.6	0.4	1.1	1.6
		2040-2070	2.1	1.6	1.3	3.0	2.1	1.5	2.7	2.5	2.8	1.3	2.2	3.0
		2070-2100	3.5	2.9	2.2	4.9	3.6	2.7	4.5	3.8	4.5	2.2	3.6	4.9
X	Vertiente mediterránea	2010-2040	1.4	0.6	0.5	1.5	1.1	0.7	1.6	1.5	1.7	0.5	1.2	1.7
		2040-2070	2.4	1.8	1.6	3.3	2.4	1.7	3.0	3.0	3.0	1.6	2.4	3.3

Punto	Descripción	Período	▪ Temperatura (ºC) para el RCP 8.5											
			P01	P02	P03	P04	P05	P06	C01	C02	C03	Min.	Med.	Max.
		2070-2100	3.9	3.2	2.6	5.4	4.0	3.0	5.0	4.6	5.0	2.6	4.1	5.4
3100Q	Ega en Murieta	2010-2040	1.3	0.6	0.4	1.5	1.1	0.7	1.6	1.4	1.7	0.4	1.1	1.7
		2040-2070	2.3	1.8	1.6	3.2	2.3	1.6	2.9	2.8	3.0	1.6	2.4	3.2
		2070-2100	3.8	3.2	2.6	5.3	3.9	2.9	4.8	4.3	4.9	2.6	4.0	5.3
3200K	Urederra	2010-2040	1.3	0.6	0.4	1.5	1.1	0.7	1.6	1.4		0.4	1.1	1.7
		2040-2070	2.3	1.8	1.5	3.2	2.3	1.6	2.8	2.7	2.9	1.5	2.4	3.2
		2070-2100	3.8	3.2	2.6	5.3	3.9	2.9	4.8	4.2	4.8	2.6	3.9	5.3
3300D	Ega	2010-2040	1.4	0.6	0.4	1.5	1.1	0.7	1.6	1.5	1.7	0.4	1.2	1.7
		2040-2070	2.3	1.8	1.6	3.2	2.3	1.6	2.9	2.8	3.0	1.6	2.4	3.2
		2070-2100	3.9	3.2	2.6	5.3	3.9	2.9	4.9	4.4	4.9	2.6	4.0	5.3
4100H	Arga en Eugui	2010-2040	1.3	0.5	0.4	1.4	1.1	0.6	1.6	1.3	1.6	0.4	1.1	1.6
		2040-2070	2.1	1.7	1.4	3.0	2.2	1.5	2.8	2.7	2.8	1.4	2.3	3.0
		2070-2100	3.6	3.0	2.3	5.0	3.7	2.8	4.8	4.2	4.6	2.3	3.8	5.0
4200C	Ultzama	2010-2040	1.3	0.5	0.4	1.5	1.1	0.6	1.6	1.3	1.6	0.4	1.1	1.6
		2040-2070	2.2	1.7	1.4	3.1	2.2	1.6	2.8	2.7	2.8	1.4	2.3	3.1
		2070-2100	3.7	3.0	2.4	5.1	3.7	2.8	4.7	4.1	4.6	2.4	3.8	5.1
4300C	Araquil en Asiain	2010-2040	1.3	0.5	0.4	1.5	1.1	0.7	1.6	1.3	1.6	0.4	1.1	1.6
		2040-2070	2.3	1.7	1.5	3.2	2.3	1.6	2.8	2.7	2.9	1.5	2.3	3.2
		2070-2100	3.8	3.1	2.5	5.2	3.8	2.9	4.7	4.1	4.7	2.5	3.9	5.2
4500C	Salado	2010-2040	1.3	0.5	0.4	1.5	1.1	0.7	1.6	1.4	1.7	0.4	1.1	1.7
		2040-2070	2.3	1.7	1.5	3.2	2.3	1.7	2.9	2.8	2.9	1.5	2.4	3.2
		2070-2100	3.8	3.1	2.5	5.2	3.9	2.9	4.8	4.2	4.8	2.5	3.9	5.2
4600C	Arga	2010-2040	1.3	0.5	0.4	1.5	1.1	0.7	1.6	1.5	1.7	0.4	1.2	1.7
		2040-2070	2.3	1.7	1.5	3.2	2.3	1.6	2.9	2.9	3.0	1.5	2.4	3.2
		2070-2100	3.8	3.1	2.5	5.2	3.8	2.9	5.0	4.4	4.9	2.5	4.0	5.2
5300K	Irati en embalse de Itoiz (con Urrobi)	2010-2040	1.3	0.5	0.5	1.5	1.1	0.6	1.6	1.4	1.5	0.5	1.1	1.6
		2040-2070	2.3	1.7	1.5	3.1	2.3	1.6	2.9	2.9	2.9	1.5	2.4	3.1
		2070-2100	3.8	3.1	2.5	5.2	3.9	2.9	5.0	4.6	4.8	2.5	4.0	5.2
5200K	Salazar	2010-2040	1.4	0.6	0.5	1.5	1.2	0.7	1.6	1.5	1.6	0.5	1.2	1.6
		2040-2070	2.4	1.8	1.6	3.3	2.4	1.6	3.0	3.1	3.0	1.6	2.5	3.3
		2070-2100	4.0	3.3	2.7	5.4	4.1	3.0	5.2	4.8	5.0	2.7	4.2	5.4
5300M	Irati	2010-2040	1.4	0.5	0.5	1.5	1.1	0.6	1.6	1.4	1.6	0.5	1.1	1.6
		2040-2070	2.3	1.8	1.5	3.2	2.3	1.6	2.9	3.0	2.9	1.5	2.4	3.2
		2070-2100	3.9	3.2	2.5	5.3	3.9	2.9	5.0	4.6	4.9	2.5	4.0	5.3
5000B		2010-2040	1.5	0.6	0.6	1.7	1.3	0.7	1.6	1.6	1.6	0.6	1.2	1.7

Punto	Descripción	Período	▪ Temperatura (ºC) para el RCP 8.5											
			P01	P02	P03	P04	P05	P06	C01	C02	C03	Min.	Med.	Max.
	Aragón en Yesa	2040-2070	2.6	2.0	1.8	3.5	2.7	1.8	3.1	3.3	3.1	1.8	2.6	3.5
		2070-2100	4.3	3.6	3.0	5.9	4.5	3.2	5.3	5.1	5.2	3.0	4.4	5.9
5400E	Zidacos	2010-2040	1.4	0.5	0.4	1.5	1.1	0.7	1.6	1.5	1.7	0.4	1.2	1.7
		2040-2070	2.3	1.8	1.5	3.2	2.4	1.7	3.0	3.0	3.1	1.5	2.4	3.2
		2070-2100	3.9	3.2	2.6	5.3	3.9	3.0	5.1	4.6	5.1	2.6	4.1	5.3
5500F	Aragón	2010-2040	1.5	0.6	0.5	1.6	1.2	0.7	1.6	1.6	1.6	0.5	1.2	1.6
		2040-2070	2.5	1.9	1.7	3.5	2.6	1.7	3.1	3.2	3.1	1.7	2.6	3.5
		2070-2100	4.2	3.5	2.9	5.7	4.4	3.1	5.2	5.0	5.2	2.9	4.4	5.7
6000A	Alhama	2010-2040	1.3	0.6	0.4	1.5	1.1	0.7	1.6	1.6	1.7	0.4	1.2	1.7
		2040-2070	2.3	1.8	1.5	3.2	2.3	1.7	3.0	3.1	3.1	1.5	2.4	3.2
		2070-2100	3.8	3.1	2.6	5.3	3.9	2.9	5.1	4.8	5.1	2.6	4.1	5.3
7000B	Queiles	2010-2040	1.3	0.6	0.4	1.5	1.1	0.7	1.7	1.6	1.8	0.4	1.2	1.8
		2040-2070	2.3	1.7	1.5	3.2	2.3	1.7	3.0	3.0	3.1	1.5	2.4	3.2
		2070-2100	3.8	3.1	2.6	5.3	3.9	2.9	5.0	4.7	5.1	2.6	4.1	5.3
2000A	Linares	2010-2040	1.4	0.6	0.4	1.5	1.1	0.7	1.6	1.5	1.7	0.4	1.2	1.7
		2040-2070	2.3	1.8	1.6	3.2	2.3	1.6	2.9	2.8	3.1	1.6	2.4	3.2
		2070-2100	3.9	3.2	2.6	5.3	3.9	2.9	4.9	4.4	5.0	2.6	4.0	5.3
9400K	Bidasoa en Endarlatza	2010-2040	1.2	0.5	0.4	1.4	1.0	0.6	1.6	1.3	1.6	0.4	1.1	1.6
		2040-2070	2.0	1.6	1.3	3.0	2.1	1.5	2.8	2.5	2.8	1.3	2.2	3.0
		2070-2100	3.4	2.9	2.2	4.9	3.6	2.7	4.6	3.9	4.6	2.2	3.6	4.9
9520D	Urumea en embalse de Añarbe	2010-2040	1.2	0.5	0.4	1.4	1.0	0.6	1.5	1.2	1.6	0.4	1.0	1.6
		2040-2070	2.0	1.6	1.3	3.0	2.1	1.5	2.6	2.3	2.7	1.3	2.1	3.0
		2070-2100	3.4	2.9	2.2	4.9	3.5	2.7	4.3	3.6	4.3	2.2	3.5	4.9

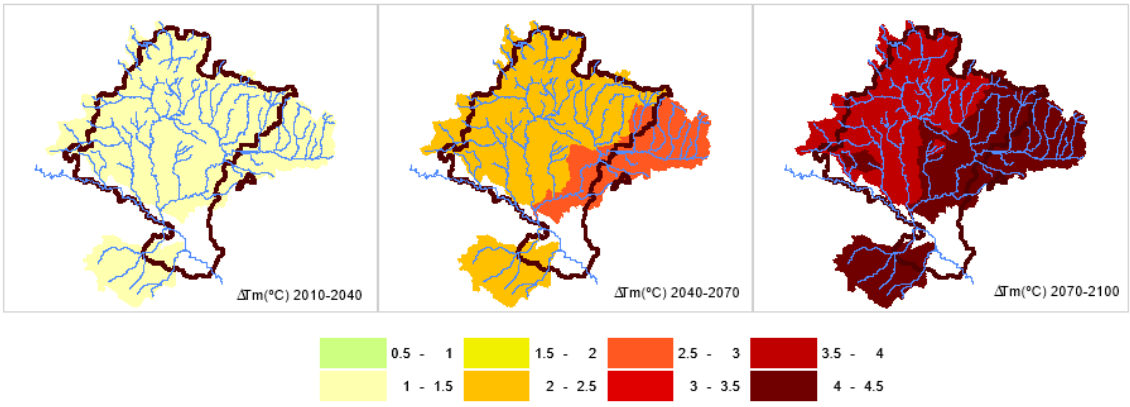

Figura 20 Distribución espacial de las anomalías de temperatura media mensual para el RCP 8.5, donde se muestran los tres periodos de impacto estudiado.

5.3.1.2 Precipitación diaria

Considerando el resultado de la variable precipitación diaria obtenido como promedio de los 9 modelos climáticos y analizando la tendencia del valor obtenido a partir de la relación entre el valor y el promedio anuales del periodo de control, se aprecia una tendencia negativa en la **evolución de este valor**. En el escenario RCP 4.5, en la vertiente cantábrica de Navarra se aprecia una mayor pendiente negativa que en la vertiente mediterránea, **-0,99 %/decenio en la vertiente cantábrica**, por -**0,86%/decenio en la vertiente mediterránea**. Esto se produce por el hecho que en la vertiente cantábrica se produce un aumento de la precipitación respecto al periodo de control.

En el escenario **RCP 8.5** las pendientes se agudizan, mostrando nuevamente una ligera diferencia entre ambas vertientes de la comunidad de **Navarra, -2,1%/decenio en la vertiente cantábrica y -2,05%/decenio en la vertiente mediterránea.**

Cabe destacar, nuevamente, tal y como se observaba en el caso de la temperatura, la **gran dispersión de datos** que se obtienen de la aplicación de los diferentes modelos. Esta gran incertidumbre se aprecia tanto en los datos obtenidos para el conjunto de las regiones de Navarra como en las diferentes subcuencas analizadas para cada una de las vertientes, tal y como se explica a continuación.

Considerando el resultado del test de Mann-Kendall se puede observar en todos los casos la **pendiente obtenida del *Ensemble*** de los modelos presenta una elevada significancia estadística. Este hecho contrasta cuando se analizan datos reales tal y como se realizó en la

primera parte de este estudio, donde rara vez la variable de la precipitación presentaba una tendencia bien definida.

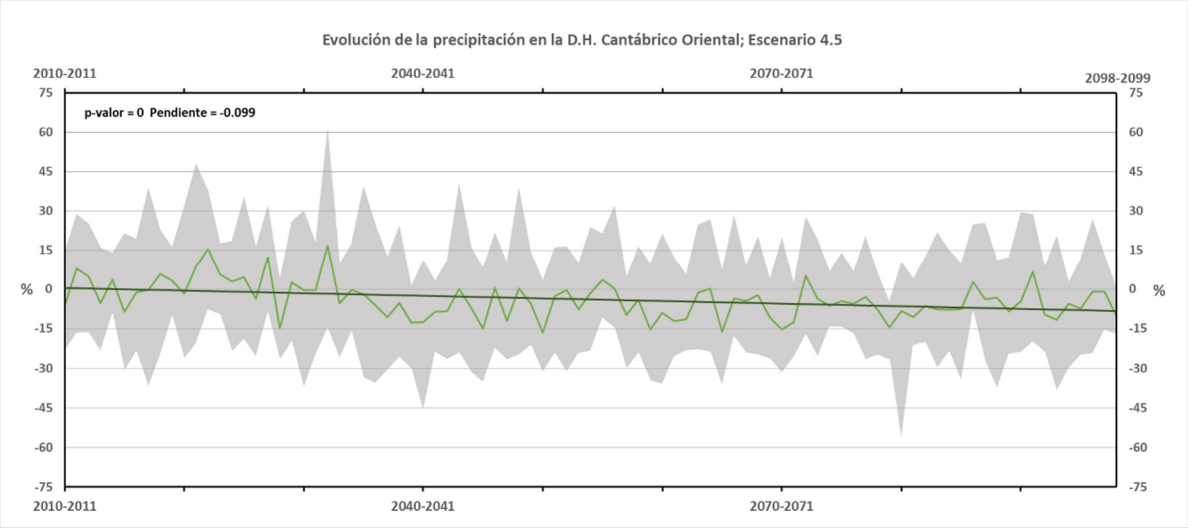

Figura 21 Evolución de las anomalías de PRE anual con respecto al periodo de control en el periodo de proyección para el RCP 4.5 considerando vertiente cantábrica. La línea de evolución muestra la evolución del % de variación anual de la precipitación.

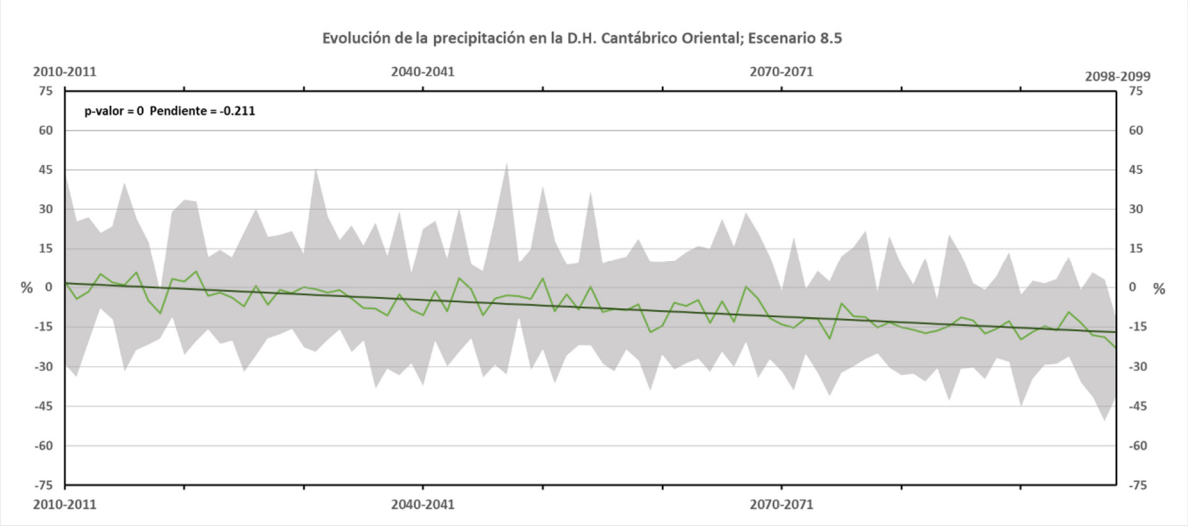

Figura 22 Evolución de las anomalías de PRE anual con respecto al periodo de control en el periodo de proyección para el RCP 8.5 considerando la vertiente cantábrica. La línea de evolución muestra la evolución del % de variación anual de la precipitación.

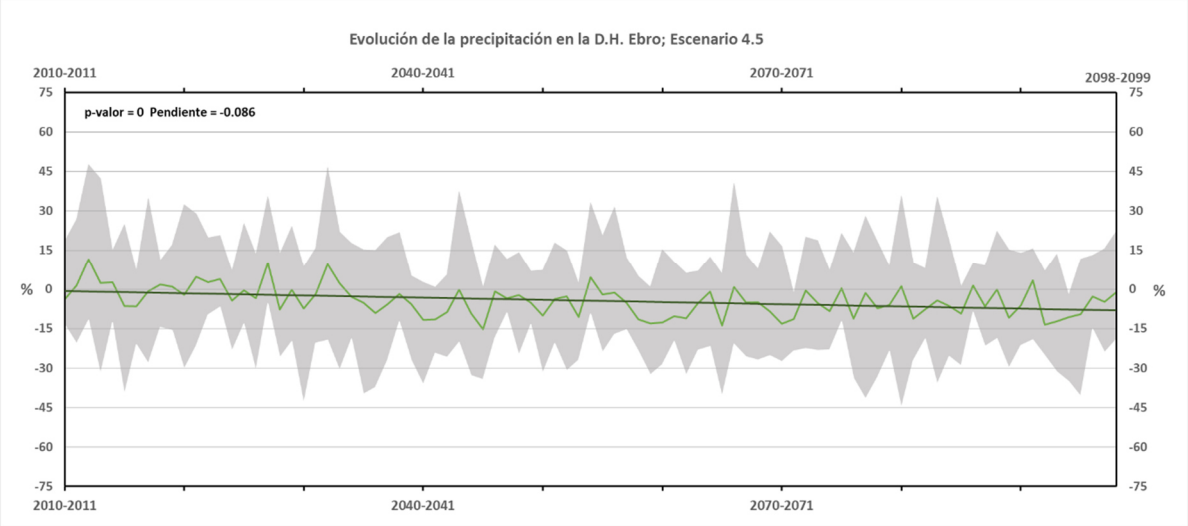

Figura 23 Evolución de las anomalías de PRE anual con respecto al periodo de control en el periodo de proyección mensual para el RCP 4.5 considerando la vertiente mediterránea. La línea de evolución muestra la evolución del % de variación anual de la precipitación.

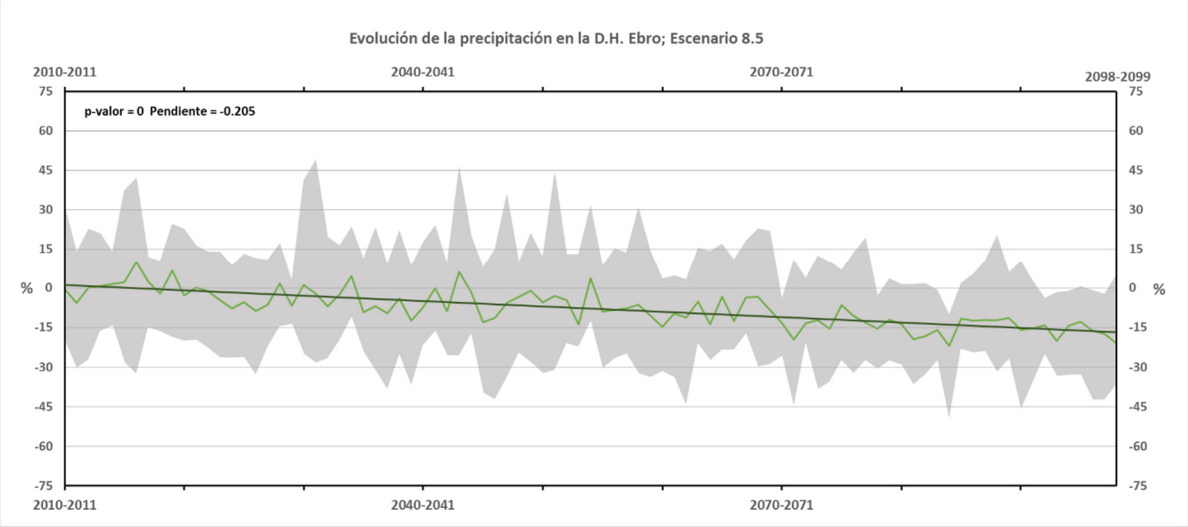

Figura 24 Evolución de las anomalías de PRE anual con respecto al periodo de control en el periodo de proyección para el RCP 8.5 considerando la vertiente mediterránea. La línea de evolución muestra la evolución del % de variación anual de la precipitación.

En las tablas siguientes se presentan las anomalías climáticas de la precipitación referidas a los tres periodos de impacto estudiados (2010-2040, 2040-2070 y 2070-2100) realizando la comparación entre la media de la precipitación en estos periodos respecto a periodo de control

1970-2000 para cada uno de los nueve modelos estudiados, además se presenta el valor de la media del conjunto de los modelos y el valor máximo y mínimo obtenido.

En el **escenario RCP 4.5** representado en la tabla 15 se puede apreciar una reducción de la precipitación muy similar en las dos vertientes analizadas. Se aprecia una anomalía, para el valor de la media, **del -6% en el periodo 2070-2100**. En cambio, en el **periodo 2010-2040** en la **vertiente cantábrica**, se aprecia un leve aumento de la precipitación del **+0,3%** respecto al periodo de control, comportamiento que no se ve reflejado en **la vertiente mediterránea**, que muestra una **anomalía negativa de -0,7%**. En el **periodo 2040-2070** es donde se obtiene una mayor reducción de la precipitación con valores cercanos al **-6,5% en ambas regiones**.

Observando las cuencas de los cursos principales, destaca la reducción en las aportaciones en las cuencas de cabecera y en especial aquellas que se sitúan en la zona más central y occidental de Navarra, como es el caso de la cabecera del río Arga.

La distribución espacial que se muestra en la figura 25, evidencia una gran homogeneidad en la distribución de las anomalías de precipitación en el conjunto de cuencas que drenan la comunidad de Navarra. En el escenario RCP 4.5 en el horizonte 2010-2040 se aprecia una diferencia notable entre las cuencas de más al norte, que drenan hacia la vertiente cantábrica, unas anomalías sensiblemente inferiores del resto de la región.

Tabla 15 Anomalías de precipitación en los periodos de impacto estudiado (2010-2040, 2040-2070 y 2070-2100) respecto al periodo de control 1970-2000 para el escenario RCP 4.5

Punto	Descripción	Período	▪ Precipitación (%) para el RCP 4.5											
			P01	P02	P03	P04	P05	P06	C01	C02	C03	Min.	Med.	Max.
IX	Vertiente cantábrica	2010-2040	-0.8	-3.8	-0.9	-6.8	-4.5	3.1	9.9	-5.8	12.7	-6.8	0.3	12.7
		2040-2070	-5.3	-6.6	-8.2	-9.1	-11.3	-4.3	-3.4	-8.6	-0.7	-11.3	-6.4	-0.7
		2070-2100	-0.3	-6.5	-7.0	-9.9	-7.3	-4.5	-6.9	-10.1	-1.0	-10.1	-6.0	-0.3
X	Vertiente mediterránea	2010-2040	-2.1	-1.7	-3.0	-5.9	-4.3	6.1	6.7	-11.2	9.4	-11.2	-0.7	9.4
		2040-2070	-6.3	-6.3	-7.4	-9.9	-9.5	-3.9	-3.9	-10.8	-0.1	-10.8	-6.5	-0.1
		2070-2100	-2.5	-5.4	-7.7	-11.5	-8.8	-3.2	-3.8	-12.1	0.9	-12.1	-6.0	0.9
3100Q	Ega en Murieta	2010-2040	-1.1	-2.1	-2.8	-7.2	-4.7	4.8	7.4	-11.3	8.9	-11.3	-0.9	8.9
		2040-2070	-6.0	-6.3	-7.2	-10.3	-9.9	-4.5	-3.5	-12.8	4.5	-12.8	-6.2	4.5
		2070-2100	-2.6	-5.3	-8.9	-11.8	-8.2	-5.4	-3.5	-16.1	5.6	-16.1	-6.2	5.6
3200K	Urederra	2010-2040	-0.9	-2.6	-3.5	-7.0	-5.6	5.1	6.6	-12.4	8.7	-12.4	-1.3	8.7
		2040-2070	-6.0	-6.4	-8.1	-10.7	-10.6	-3.8	-4.0	-13.2	4.7	-13.2	-6.5	4.7
		2070-2100	-2.9	-6.3	-9.8	-12.9	-9.3	-5.2	-4.0	-15.6	6.5	-15.6	-6.6	6.5
3300D	Ega	2010-2040	-1.3	-1.6	-3.7	-6.9	-4.9	5.3	6.3	-13.1	9.4	-13.1	-1.2	9.4
		2040-2070	-6.1	-6.3	-7.4	-10.4	-9.7	-4.3	-2.6	-14.6	5.7	-14.6	-6.2	5.7
		2070-2100	-3.0	-5.3	-9.2	-11.9	-8.7	-5.6	-1.8	-16.4	6.4	-16.4	-6.2	6.4

Punto	Descripción	Período	▪ Precipitación (%) para el RCP 4.5											
			P01	P02	P03	P04	P05	P06	C01	C02	C03	Min.	Med.	Max.
4100H	Arga en Eugui	2010-2040	-0.8	-3.7	-2.0	-6.8	-5.7	4.0	9.6	-7.8	12.3	-7.8	-0.1	12.3
		2040-2070	-6.0	-7.4	-10.0	-10.2	-12.4	-4.6	-3.8	-9.1	-2.6	-12.4	-7.4	-2.6
		2070-2100	-0.7	-6.7	-8.6	-11.6	-8.9	-3.9	-5.8	-11.9	-0.9	-11.9	-6.5	-0.7
4200C	Ultzama	2010-2040	-0.9	-2.9	-1.6	-6.8	-5.0	3.6	10.7	-8.5	12.9	-8.5	0.2	12.9
		2040-2070	-6.3	-6.9	-9.4	-10.8	-11.9	-5.3	-2.6	-9.4	-0.7	-11.9	-7.0	-0.7
		2070-2100	-1.3	-7.1	-8.6	-12.4	-9.1	-4.7	-4.2	-11.6	1.7	-12.4	-6.4	1.7
4300C	Araquil en Asiain	2010-2040	-1.1	-2.9	-1.9	-7.0	-5.1	5.1	7.6	-9.8	10.5	-9.8	-0.5	10.5
		2040-2070	-5.5	-6.8	-8.8	-10.2	-11.5	-4.0	-3.9	-11.9	1.4	-11.9	-6.8	1.4
		2070-2100	-2.0	-6.0	-8.7	-12.1	-8.1	-4.3	-6.3	-12.8	2.0	-12.8	-6.5	2.0
4500C	Salado	2010-2040	-1.5	-1.3	-4.3	-6.9	-5.4	5.9	7.8	-13.0	10.6	-13.0	-0.9	10.6
		2040-2070	-6.7	-6.7	-8.8	-11.8	-11.1	-4.6	-2.8	-13.4	3.1	-13.4	-7.0	3.1
		2070-2100	-3.2	-6.2	-9.7	-13.9	-10.2	-5.3	-0.5	-14.4	6.7	-14.4	-6.3	6.7
4600C	Arga	2010-2040	-1.2	-1.5	-2.4	-6.0	-4.6	5.8	7.9	-12.7	10.8	-12.7	-0.4	10.8
		2040-2070	-5.6	-6.0	-7.6	-10.1	-10.4	-4.6	-2.0	-13.2	2.1	-13.2	-6.4	2.1
		2070-2100	-1.7	-5.6	-8.1	-11.4	-9.1	-4.7	-1.4	-13.9	4.5	-13.9	-5.7	4.5
5300K	Irati en embalse de Itoiz (con Urrobi)	2010-2040	-1.7	-3.5	-2.1	-6.2	-5.0	4.8	9.6	-7.6	10.6	-7.6	-0.1	10.6
		2040-2070	-6.6	-7.4	-8.7	-9.9	-11.0	-4.5	-4.9	-8.0	-4.0	-11.0	-7.2	-4.0
		2070-2100	-1.9	-6.1	-7.4	-11.6	-8.3	-3.5	-6.4	-11.6	-3.4	-11.6	-6.7	-1.9
5200K	Salazar	2010-2040	-2.2	-2.3	-3.0	-6.2	-4.2	5.1	10.4	-9.6	9.9	-9.6	-0.2	10.4
		2040-2070	-6.7	-6.6	-7.5	-10.4	-9.7	-4.7	-3.6	-6.4	-1.9	-10.4	-6.4	-1.9
		2070-2100	-3.0	-5.7	-7.1	-11.9	-8.9	-3.5	-2.1	-8.7	-0.8	-11.9	-5.8	-0.8
5300M	Irati	2010-2040	-1.7	-3.0	-2.1	-6.2	-4.8	4.9	9.7	-7.8	10.7	-7.8	0.0	10.7
		2040-2070	-6.5	-7.1	-8.4	-10.2	-11.0	-4.6	-4.5	-7.5	-2.8	-11.0	-6.9	-2.8
		2070-2100	-1.9	-6.0	-7.4	-11.7	-8.5	-3.5	-5.0	-11.0	-1.9	-11.7	-6.3	-1.9
5000B	Aragón en Yesa	2010-2040	-4.1	-1.0	-3.9	-4.9	-4.0	7.6	7.7	-11.5	10.5	-11.5	-0.4	10.5
		2040-2070	-8.4	-6.5	-7.2	-9.9	-8.1	-3.2	-4.7	-7.6	-2.5	-9.9	-6.4	-2.5
		2070-2100	-3.7	-5.3	-6.9	-11.9	-9.9	-0.7	-3.2	-7.3	-0.5	-11.9	-5.5	-0.5
5400E	Zidacos	2010-2040	-0.5	-1.0	-2.3	-5.1	-3.4	6.7	8.3	-12.9	10.1	-12.9	0.0	10.1
		2040-2070	-3.7	-4.7	-5.6	-9.0	-8.3	-4.4	-1.5	-12.2	3.5	-12.2	-5.1	3.5
		2070-2100	-1.1	-4.9	-6.8	-9.6	-8.6	-4.3	-0.7	-13.8	6.2	-13.8	-4.8	6.2
5500F	Aragón	2010-2040	-3.7	-0.8	-3.6	-5.0	-3.8	7.5	7.7	-11.4	10.3	-11.4	-0.3	10.3
		2040-2070	-7.8	-6.2	-6.9	-9.8	-8.0	-3.3	-4.3	-7.6	-1.7	-9.8	-6.2	-1.7
		2070-2100	-3.4	-5.0	-6.8	-11.6	-9.5	-1.1	-3.1	-8.2	0.2	-11.6	-5.4	0.2
6000A	Alhama	2010-2040	-0.8	0.8	-3.8	-4.2	-0.8	8.3	-4.5	-15.0	1.8	-15.0	-2.0	8.3
		2040-2070	-2.0	-3.7	-4.4	-6.9	-4.3	-2.8	-6.7	-22.6	-0.8	-22.6	-6.0	-0.8
		2070-2100	-1.8	-1.9	-6.4	-6.3	-6.2	-3.2	-7.5	-19.7	-4.5	-19.7	-6.4	-1.8

Punto	Descripción	Período	▪ Precipitación (%) para el RCP 4.5											
			P01	P02	P03	P04	P05	P06	C01	C02	C03	Min.	Med.	Max.
7000B	Queiles	2010-2040	-0.8	0.5	-3.6	-3.8	-0.8	8.1	-4.8	-16.1	-0.2	-16.1	-2.4	8.1
		2040-2070	-0.9	-3.5	-3.6	-4.9	-3.2	-3.6	-5.2	-24.8	0.3	-24.8	-5.5	0.3
		2070-2100	-1.5	-1.8	-6.0	-3.9	-5.5	-4.0	-7.0	-21.2	-0.7	-21.2	-5.7	-0.7
2000A	Linares	2010-2040	-2.2	-0.7	-3.9	-6.9	-4.3	5.1	4.9	-12.4	9.6	-12.4	-1.2	9.6
		2040-2070	-6.6	-6.3	-7.2	-10.2	-9.5	-5.0	-1.8	-15.1	8.2	-15.1	-5.9	8.2
		2070-2100	-3.6	-4.9	-8.9	-10.9	-8.9	-5.7	0.7	-18.2	6.0	-18.2	-6.1	6.0
9400K	Bidasoa en Endarlatza	2010-2040	-0.9	-3.9	-1.0	-6.8	-4.6	3.2	9.9	-5.7	12.9	-6.8	0.3	12.9
		2040-2070	-5.5	-7.1	-8.7	-9.3	-11.8	-4.4	-3.3	-8.3	-0.9	-11.8	-6.6	-0.9
		2070-2100	0.0	-6.8	-7.3	-10.2	-7.7	-4.2	-6.9	-10.0	-0.8	-10.2	-6.0	0.0
9520D	Urumea en embalse de Añarbe	2010-2040	-0.1	-4.2	-1.1	-7.4	-3.2	1.9	10.7	-3.9	13.1	-7.4	0.6	13.1
		2040-2070	-5.4	-6.4	-7.2	-9.1	-10.0	-3.8	-2.9	-6.4	-0.1	-10.0	-5.7	-0.1
		2070-2100	-0.3	-7.1	-6.7	-9.8	-6.3	-4.6	-6.6	-8.7	-0.6	-9.8	-5.6	-0.3

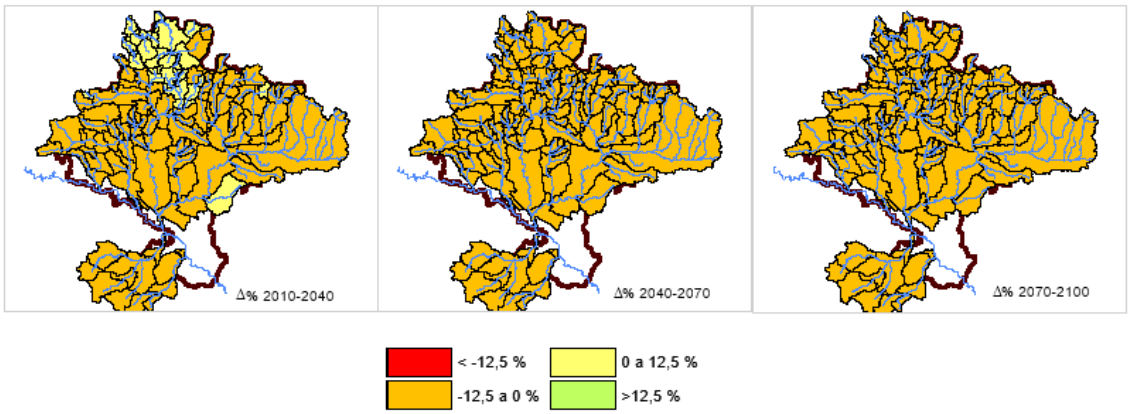

Figura 25 Distribución espacial de las anomalías de precipitación par los tres periodos de impacto estudiado en el escenario RCP 4.5

Los resultados de las anomalías climáticas en los periodos de impacto seleccionados para el escenario RCP 8.5 se muestran en la tabla 16. En el periodo 2070-2100 se obtiene una reducción del -14,8% en la vertiente cantábrica y -14,7% en la vertiente mediterránea, en ambas regiones se obtienen valores muy similares. En el periodo 2010-2040 el resultado obtenido para el promedio de los nueve modelos es de -2,1% en la vertiente cantábrica y -2,5% en la vertiente mediterránea. Aunque los valores son muy parecidos se aprecia una mayor reducción de la precipitación en la vertiente mediterránea.

Los modelos muestran una gran dispersión en los resultados de las anomalías estudiadas en cada periodo de impacto. A modo de ejemplo, en la vertiente cantábrica, para el período 2010-

2040 se obtiene una anomalía de -9,2% en el modelo P02 y +9,9 % en el modelo C03. En la vertiente mediterránea sucede algo parecido, obteniendo en este mismo periodo de impacto unos valores que oscilan entre -7% en el modelo C02 y +9,0% en el modelo C03. Parecida dispersión de resultados se obtiene en el resto de los períodos y cuencas estudiadas, mostrando de esta forma la incertidumbre asociada al proceso de obtención de la proyección a futuro de las variables climáticas.

De la misma forma que se aprecia en el escenario 4.5, se puede observar una reducción de la precipitación respecto al periodo de control en las cuencas de cabecera en la zona occidental de la comunidad como es el caso de la cuenca de cabecera del río Arga.

En el periodo 2010-2040 las anomalías más importantes de precipitación se obtienen en las cuencas del río Queiles y del río Alhama, presentando en ambos casos una anomalía de -3,1%. Para el resto de las cuencas analizadas los valores de las anomalías estudiadas oscilan entre -2,5% y el -3%.

La distribución espacial que se muestra en la figura 26 vuelve a evidenciar una gran homogeneidad en el conjunto de las cuencas que drenan Comunidad de Navarra, donde además se muestra un evidente aumento de las anomalías en el periodo de impacto del 2070-2100.

Tabla 16 Anomalías de precipitación en los periodos de impacto estudiado (2010-2040, 2040-2070 y 2070-2100) respecto al periodo de control 1970-2000 para el escenario RCP 8.5

Punto	Descripción	Período	▪ Precipitación (%) para el RCP 8.5											
			P01	P02	P03	P04	P05	P06	C01	C02	C03	Min.	Med.	Max.
IX	Vertiente cantábrica	2010-2040	1.0	-9.2	-4.6	-7.1	-6.6	-0.3	2.6	-4.9	9.9	-9.2	-2.1	9.9
		2040-2070	-5.5	-7.1	-5.9	-12.6	-11.4	-1.9	-3.2	-10.9	2.1	-12.6	-6.3	2.1
		2070-2100	-13.0	-14.1	-11.4	-20.8	-24.2	-6.5	-15.4	-20.6	-6.7	-24.2	-14.8	-6.5
X	Vertiente mediterránea	2010-2040	-2.2	-5.1	-6.1	-6.1	-6.1	-1.7	3.1	-7.0	9.0	-7.0	-2.5	9.0
		2040-2070	-7.4	-4.6	-8.0	-12.1	-11.7	0.3	-5.6	-9.1	-0.7	-12.1	-6.5	0.3
		2070-2100	-15.6	-13.3	-10.5	-21.4	-21.5	-5.8	-14.5	-19.0	-11.2	-21.5	-14.7	-5.8
3100Q	Ega en Murieta	2010-2040	-0.7	-6.7	-5.4	-8.0	-6.5	-1.8	2.6	-7.9	9.6	-8.0	-2.8	9.6
		2040-2070	-7.6	-5.6	-8.5	-13.1	-12.0	-3.6	-2.4	-11.0	2.5	-13.1	-6.8	2.5
		2070-2100	-15.3	-13.7	-11.4	-23.5	-23.4	-7.2	-12.1	-21.3	-9.0	-23.5	-15.2	-7.2
3200K	Urederra	2010-2040	-0.3	-6.5	-6.4	-8.2	-6.8	-1.7	1.4	-8.3	11.1	-8.3	-2.9	11.1
		2040-2070	-7.6	-5.5	-9.3	-13.6	-12.5	-2.1	-2.8	-11.4	3.9	-13.6	-6.8	3.9
		2070-2100	-15.5	-14.8	-12.5	-24.5	-24.1	-7.0	-13.7	-21.3	-7.7	-24.5	-15.7	-7.0
3300D	Ega	2010-2040	-1.1	-5.7	-6.3	-7.7	-6.6	-2.1	3.3	-9.7	10.7	-9.7	-2.8	10.7
		2040-2070	-8.0	-5.1	-8.7	-12.9	-12.2	-3.0	-2.0	-10.9	3.8	-12.9	-6.6	3.8
		2070-2100	-15.5	-13.7	-11.4	-23.2	-22.9	-7.1	-11.5	-21.2	-7.7	-23.2	-14.9	-7.1
4100H	Arga en Eugui	2010-2040	0.6	-9.1	-6.0	-7.3	-7.3	-1.1	2.0	-4.8	9.5	-9.1	-2.6	9.5
		2040-2070	-6.4	-7.2	-8.1	-14.3	-12.9	-1.6	-4.7	-10.9	0.3	-14.3	-7.3	0.3
		2070-2100	-14.3	-15.8	-14.7	-24.1	-25.3	-7.7	-15.8	-19.6	-9.1	-25.3	-16.3	-7.7
4200C	Ultzama	2010-2040	0.2	-8.4	-6.0	-7.7	-7.1	-1.9	2.9	-4.8	11.0	-8.4	-2.4	11.0
		2040-2070	-6.7	-6.6	-7.7	-13.9	-12.7	-1.9	-3.0	-9.7	1.8	-13.9	-6.7	1.8
		2070-2100	-15.1	-15.7	-13.1	-24.5	-25.5	-7.9	-13.8	-17.1	-6.6	-25.5	-15.5	-6.6
4300C	Araquil en Asiain	2010-2040	0.4	-8.7	-6.0	-8.1	-6.4	-1.4	1.7	-7.0	10.5	-8.7	-2.8	10.5
		2040-2070	-6.3	-6.7	-8.5	-14.6	-12.9	-1.8	-3.3	-12.2	1.8	-14.6	-7.2	1.8
		2070-2100	-14.3	-14.6	-13.3	-24.2	-25.1	-7.3	-14.5	-21.4	-8.7	-25.1	-15.9	-7.3
4500C	Salado	2010-2040	-2.2	-5.1	-7.9	-7.9	-6.9	-2.7	3.5	-8.4	11.6	-8.4	-2.9	11.6
		2040-2070	-8.3	-4.7	-10.0	-14.3	-13.6	-1.4	-3.1	-8.1	4.7	-14.3	-6.5	4.7
		2070-2100	-16.5	-14.8	-13.3	-25.0	-24.2	-7.8	-12.2	-16.5	-5.9	-25.0	-15.1	-5.9
4600C	Arga	2010-2040	-0.9	-5.8	-6.0	-7.1	-6.5	-2.5	3.7	-8.9	11.1	-8.9	-2.5	11.1
		2040-2070	-7.0	-4.6	-7.6	-12.7	-12.6	-1.2	-3.5	-9.6	2.9	-12.7	-6.2	2.9
		2070-2100	-14.6	-14.0	-10.9	-22.4	-23.3	-7.2	-12.4	-18.2	-7.4	-23.3	-14.5	-7.2
5300K	Irati en embalse de Itoiz (con Urrobi)	2010-2040	-1.2	-8.0	-5.6	-6.8	-6.6	-1.4	2.3	-4.2	7.9	-8.0	-2.6	7.9
		2040-2070	-6.9	-6.6	-7.6	-13.5	-11.9	-1.0	-6.5	-10.8	-2.6	-13.5	-7.5	-1.0
		2070-2100	-14.8	-14.5	-12.8	-21.9	-22.9	-7.0	-17.3	-20.8	-12.8	-22.9	-16.1	-7.0
5200K	Salazar	2010-2040	-2.6	-5.1	-6.0	-6.6	-6.1	-1.9	4.6	-4.1	8.4	-6.6	-2.1	8.4
		2040-2070	-7.5	-4.8	-7.8	-12.4	-11.6	1.0	-5.8	-6.1	-2.7	-12.4	-6.4	1.0
		2070-2100	-16.2	-13.0	-10.8	-21.5	-20.9	-6.2	-13.8	-14.5	-12.2	-21.5	-14.3	-6.2
5300M	Irati	2010-2040	-1.3	-7.3	-5.6	-6.9	-6.4	-1.7	2.8	-3.9	8.8	-7.3	-2.4	8.8
		2040-2070	-6.9	-6.1	-7.6	-13.4	-12.0	-0.7	-5.8	-9.3	-1.8	-13.4	-7.1	-0.7
		2070-2100	-15.0	-14.3	-12.3	-22.0	-22.9	-7.0	-16.0	-18.5	-11.9	-22.9	-15.5	-7.0
5000B	Aragón en Yesa	2010-2040	-5.5	-3.2	-6.4	-3.7	-5.9	-0.6	4.6	-4.7	7.1	-6.4	-2.0	7.1
		2040-2070	-8.9	-4.1	-8.1	-10.9	-11.1	3.7	-8.8	-5.6	-4.5	-11.1	-6.5	3.7
		2070-2100	-18.0	-12.7	-9.2	-20.1	-19.3	-3.3	-14.7	-15.7	-13.3	-20.1	-14.0	-3.3
5400E	Zidacos	2010-2040	-1.2	-2.7	-5.3	-6.4	-5.2	-2.8	4.7	-9.1	11.4	-9.1	-1.8	11.4
		2040-2070	-6.1	-2.6	-6.5	-10.4	-11.1	-0.4	-4.8	-8.3	3.2	-11.1	-5.2	3.2

Punto	Descripción	Período	▪ Precipitación (%) para el RCP 8.5											
			P01	P02	P03	P04	P05	P06	C01	C02	C03	Min.	Med.	Max.
		2070-2100	-13.5	-12.2	-8.1	-18.3	-19.7	-6.1	-12.7	-15.6	-8.2	-19.7	-12.7	-6.1
5500F	Aragón	2010-2040	-5.0	-2.9	-6.3	-4.1	-5.6	-1.1	4.6	-5.0	8.0	-6.3	-1.9	8.0
		2040-2070	-8.5	-3.7	-7.9	-10.9	-11.0	3.3	-8.1	-5.5	-3.4	-11.0	-6.2	3.3
		2070-2100	-17.6	-12.3	-9.0	-19.9	-19.2	-3.6	-14.3	-15.1	-12.8	-19.9	-13.8	-3.6
6000ª	Alhama	2010-2040	-1.7	-0.1	-5.0	-4.2	-4.1	-3.0	0.8	-16.0	5.2	-16.0	-3.1	5.2
		2040-2070	-6.1	-0.7	-6.8	-7.7	-8.2	0.7	-7.3	-16.1	-3.0	-16.1	-6.1	0.7
		2070-2100	-11.8	-9.1	-4.8	-14.0	-12.8	-3.8	-17.6	-30.4	-16.7	-30.4	-13.5	-3.8
7000B	Queiles	2010-2040	-0.5	-0.2	-4.8	-3.4	-3.6	-2.5	-0.3	-18.7	6.0	-18.7	-3.1	6.0
		2040-2070	-5.9	-0.3	-6.2	-4.7	-6.4	-0.5	-5.5	-16.7	-1.5	-16.7	-5.3	-0.3
		2070-2100	-10.9	-8.6	-4.2	-11.5	-12.1	-3.6	-15.9	-33.0	-15.7	-33.0	-12.8	-3.6
2000ª	Linares	2010-2040	-1.8	-4.9	-6.3	-7.2	-6.7	-2.5	4.5	-10.7	10.7	-10.7	-2.8	10.7
		2040-2070	-9.1	-4.2	-8.2	-11.9	-12.2	-3.7	-0.3	-9.3	4.8	-12.2	-6.0	4.8
		2070-2100	-15.8	-13.2	-10.4	-22.0	-22.7	-7.3	-10.1	-20.8	-6.2	-22.7	-14.3	-6.2
9400K	Bidasoa en Endarlatza	2010-2040	1.0	-9.2	-4.9	-7.1	-6.9	-0.3	2.5	-4.8	10.0	-9.2	-2.2	10.0
		2040-2070	-5.6	-7.1	-6.3	-13.0	-11.9	-1.7	-3.4	-10.5	2.5	-13.0	-6.3	2.5
		2070-2100	-13.3	-14.7	-12.1	-21.4	-24.8	-6.7	-15.4	-19.8	-6.3	-24.8	-14.9	-6.3
9520D	Urumea en embalse de Añarbe	2010-2040	1.4	-9.7	-3.8	-6.8	-5.3	0.8	3.2	-4.0	10.4	-9.7	-1.5	10.4
		2040-2070	-5.5	-7.2	-5.1	-11.7	-9.0	-2.3	-2.1	-9.3	2.6	-11.7	-5.5	2.6
		2070-2100	-12.1	-12.9	-10.3	-20.1	-23.3	-5.8	-14.8	-19.2	-5.5	-23.3	-13.8	-5.5

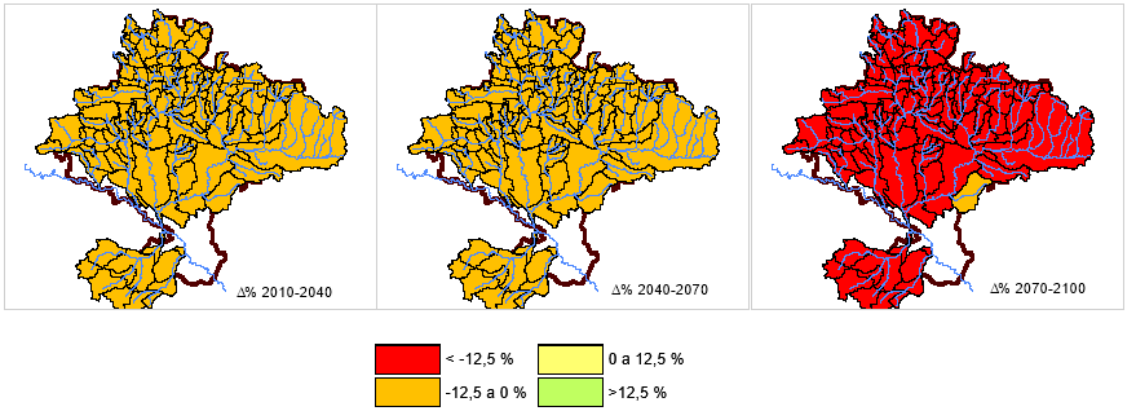

Figura 26 Distribución espacial de las anomalías de precipitación par los tres periodos de impacto estudiado en el escenario RCP 8.5

5.3.2 Tendencias y anomalías de las aportaciones en régimen natural

Al igual que para el caso de la precipitación, se ha analizado la tendencia de las series de aportaciones, expresadas como las variaciones de su valor anual con respecto a la media del periodo de control. La tendencia general que se observa para el conjunto de la Comunidad Foral de Navarra es claramente negativa, siendo, para la media, claramente significativa estadísticamente según el test de Mann-Kendall (Kendall, 1956). Esta tendencia negativa es mucho más acusada en la vertiente mediterránea, donde en el escenario RCP 4.5 la pendiente

obtenida es de -2,49%/decenio. En la vertiente cantábrica se obtiene una pendiente negativa de -2,18%/ decenio.

En el escenario de altas emisiones RCP 8.5, la pendiente es mucho más acusada, -4,36%/decenio en la vertiente cantábrica, incrementándose en la vertiente mediterránea con un valor de -5,23%/decenio.

Destaca la amplitud de la franja donde se muestran el valor máximo y mínimo obtenido del conjunto de modelos, esta dispersión muestra la gran la incertidumbre que tiene esta variable, mucho más acusada que en las variables climáticas antes estudiadas. Existe un proceso de acumulación de incertidumbre del conjunto de variables climáticas estudiadas que se potencian durante el proceso de transformación precipitación-escorrentía.

Una cuestión que se muestra en otros estudios es que los cambios en las aportaciones agudizan o incrementan los cambios que presenta la precipitación (CEDEX, 2017)

La variación anual de las aportaciones se muestra en la figura 31 y figura 32, donde se aprecia como existe una reducción progresiva de las aportaciones a nivel mensual, la distribución intermensual se mantiene invariable en los periodos de impacto seleccionados, produciéndose los máximos y mínimos prácticamente durante los mismos meses del año. La reducción progresiva comentada se muestra de forma más evidente en el escenario 8.5, acentuándose en el periodo 2070-2100. Este comportamiento se ve reproducido tanto en la vertiente cantábrica como en la mediterránea.

De la misma forma, en la figura 33 y figura 34 se muestra la evolución de la estacionalidad en los periodos de impacto estudiado. Se aprecia como existe una reducción progresiva en cada una de las estaciones en las dos vertientes de la comunidad de Navarra. No se observa en ningún caso, un desplazamiento de los estiajes o de la época húmeda.

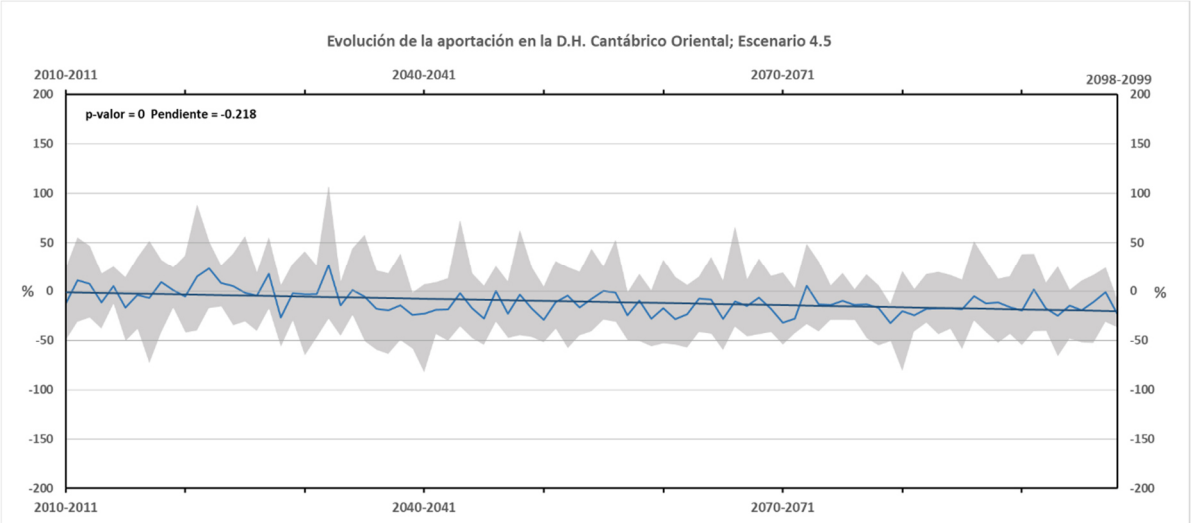

Figura 27 Evolución de las aportaciones en régimen natural en el periodo de proyección para el RCP 4.5 en la vertiente cantábrica. La línea de evolución muestra la evolución del % de variación anual de la media del conjunto de los nueve modelos seleccionados.

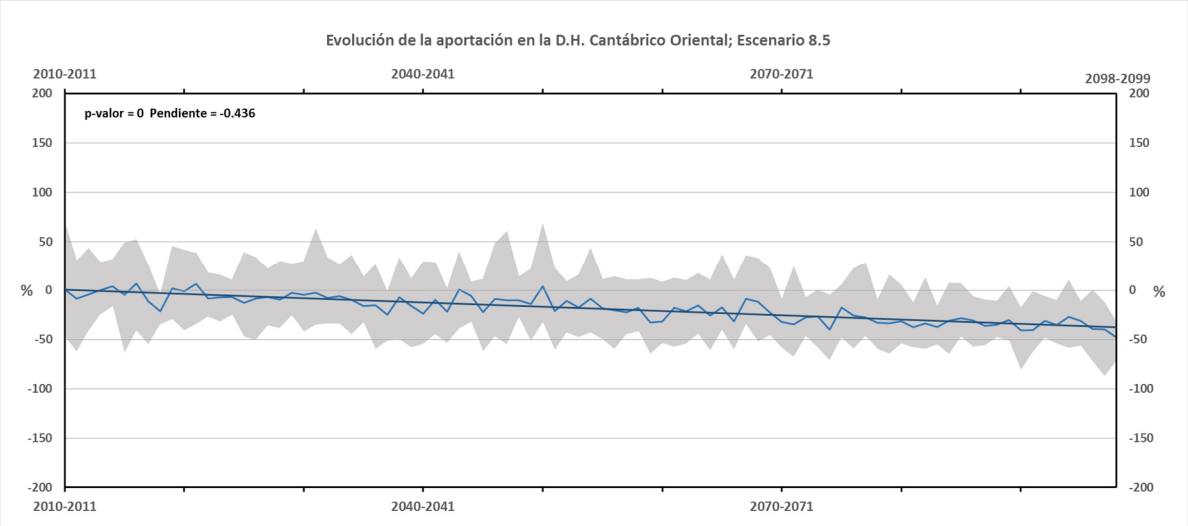

Figura 28 Evolución de las aportaciones en régimen natural en el periodo de proyección para el RCP 8.5 en la vertiente cantábrica. La línea de evolución muestra la evolución del % de variación anual de la media del conjunto de los nueve modelos seleccionados.

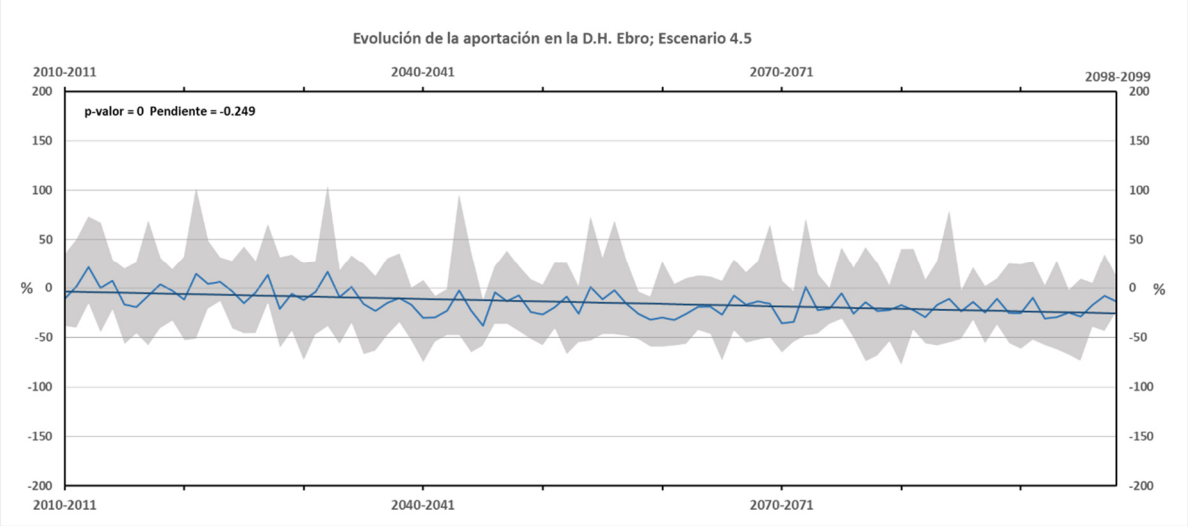

Figura 29 Evolución de las aportaciones en régimen natural en el periodo de proyección para el RCP 4.5 en la vertiente Mediterránea. La línea de evolución muestra la evolución del % de variación anual de la media del conjunto de los nueve modelos seleccionados.

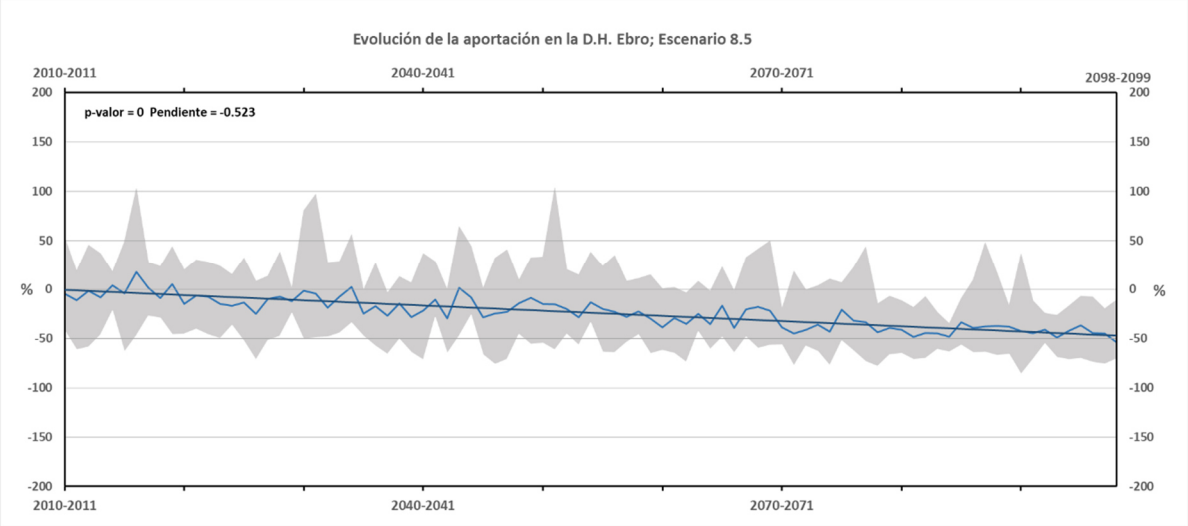

Figura 30 Evolución de las aportaciones en régimen natural en el periodo de proyección para el RCP 8.5 la vertiente Mediterránea. La línea de evolución muestra la evolución del % de variación anual de la media del conjunto de los nueve modelos seleccionados.

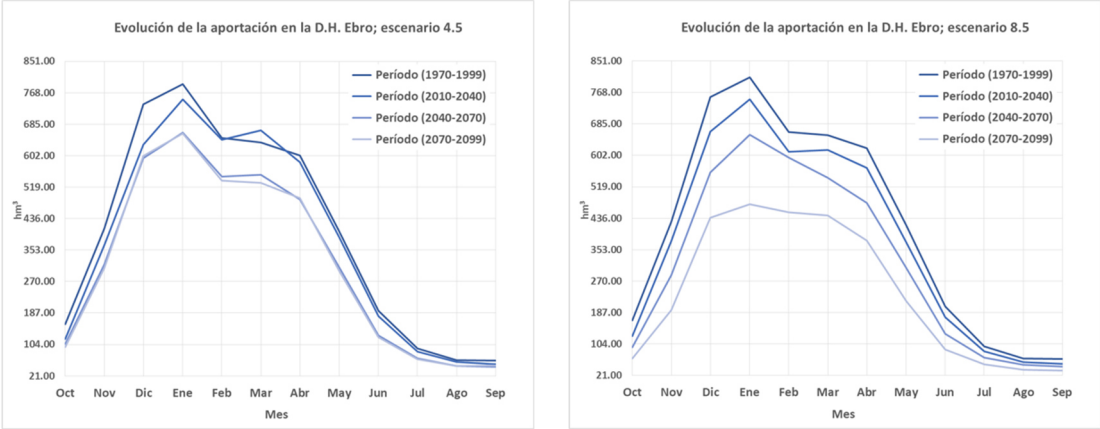

Figura 31 Evolución anual de las aportaciones en la vertiente mediterránea. Escenario RCP 4.5 y RCP 8.5

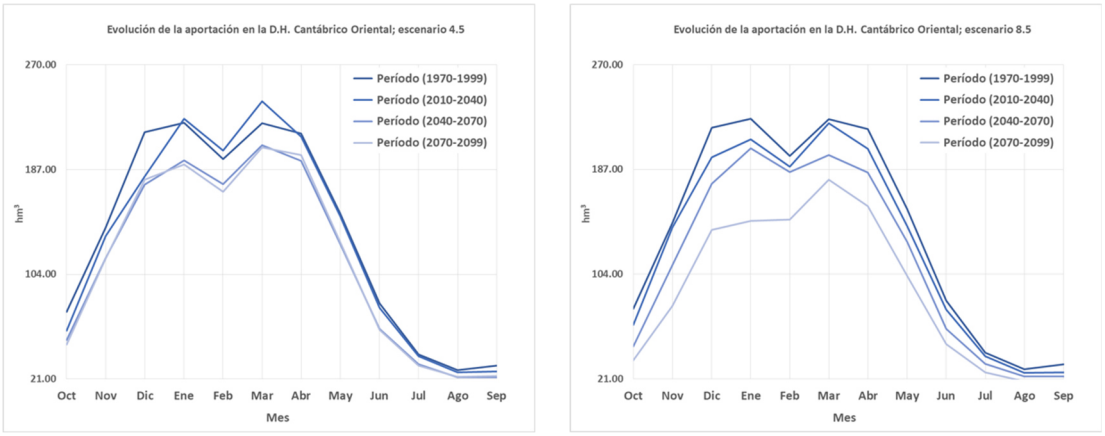

Figura 32 Evolución anual de las aportaciones en la vertiente cantábrica, Escenario RCP 4.5 y RCP 8.5

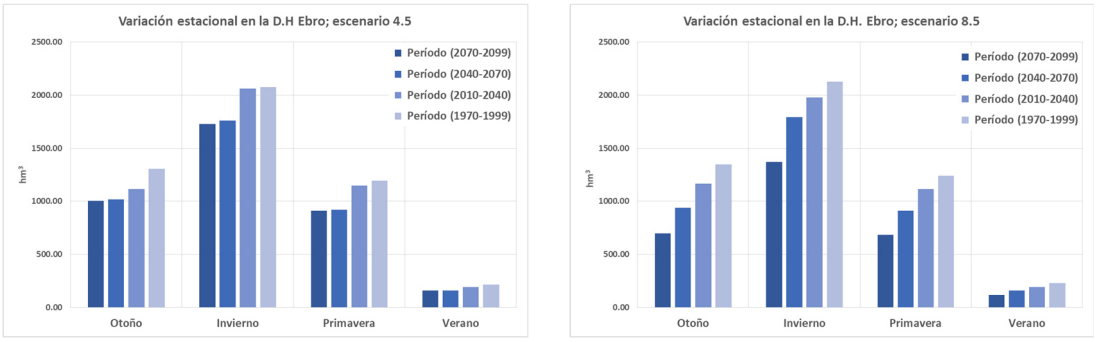

Figura 33 Evolución estacional de las aportaciones la vertiente mediterránea, en los escenarios RCP 4.5 y 8.5.

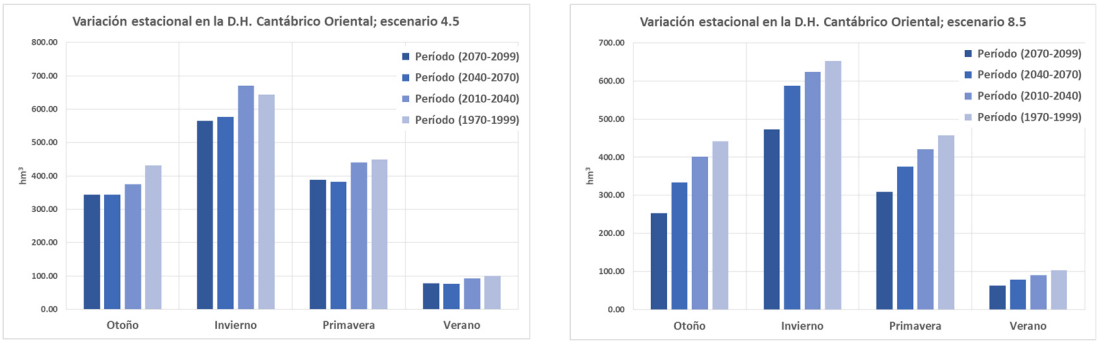

Figura 34 Evolución estacional de las aportaciones en la vertiente cantábrica, en los escenarios RCP 4.5 y 8.5.

En las tablas siguientes se muestran las anomalías de las aportaciones en los periodos de impacto 2010-2040, 2040-2070 y 2070-2100, respecto al periodo de control 1970-2000.

Estas anomalías se muestran para los nueve modelos seleccionados, y se muestra además los datos de la media, el máximo y el mínimo del conjunto de los modelos. Estos últimos valores permiten conocer el grado de incertidumbre asociada a la proyección futura de los recursos hídricos.

En términos generales, las anomalías obtenidas en los dos escenarios estudiados son negativas. En la vertiente mediterránea, se obtiene una anomalía negativa de -4,5% para el periodo 2010-2040 en el escenario RCP 4.5. En el escenario de altas emisiones RCP 8.5 la anomalía para este mismo periodo es de -9,3%.

En la vertiente cantábrica, se obtienen unas anomalías algo más reducidas que las que se obtienen en las cuencas de la vertiente mediterránea. En el periodo de impacto 2010-2040, las anomalías obtenidas para la media del conjunto de los modelos son de -2,0% en el escenario RCP 4.5 y -6,7% en el escenario RCP 8.5.

En el resto de los periodos de impacto las anomalías negativas se van incrementando, llegando a una situación de impacto muy elevado en el periodo 2070-2100, donde en el escenario 4.5 el impacto sería de -20,2% en la vertiente mediterránea y -15,8% en la cantábrica. En el escenario 8.5 este impacto se agrava notablemente alcanzando valores para la media del conjunto de modelos de -40,8% en la vertiente mediterránea y -33,1% en la cantábrica.

Para el periodo 2040-2070 en el escenario de emisión RCP 4.5 los valores obtenidos son bastante similares a los del periodo 2070-2100 y sin embargo en el escenario RCP 8.5, las anomalías se van incrementando, llegando a una situación de impacto muy elevado en el periodo 2070-2100

La distribución espacial de las anomalías se puede observar en la

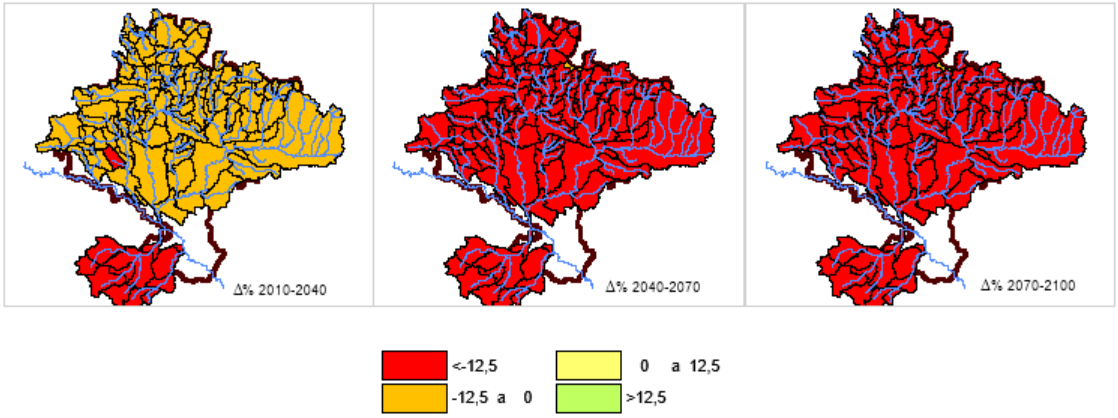

figura 35 y figura 36. En estas imágenes se aprecia una gran homogeneidad en la distribución de las anomalías dentro de cada periodo de impacto, destaca el periodo 2010-2040 donde los mayores impactos son esperables en la zona occidental y sur de la comunidad de Navarra, y de

forma más intensa en las cuencas que vierten en la margen derecha del río Ebro. Este hecho se aprecia de forma evidente en el escenario de altas emisiones RCP 8.5.

Los resultados antes enunciados están sujetos a una gran incertidumbre, con valores que pueden superar ±10% en determinados casos, como es el caso de los valores obtenidos en el periodo 2010-2040 para el escenario 4.5 en la vertiente cantábrica, donde el modelo C02 muestra una anomalía de -14,2% y a su vez el modelo C03 un valor que supera +15,2%. Esta dispersión de resultados entre los resultados obtenidos a partir de los diferentes modelos climáticos utilizados es un reflejo de la misma incertidumbre que los datos climáticos de base reflejaban y que ya han sido comentados en los capítulos anteriores.

Tabla 17 Anomalías de las aportaciones en los periodos de impacto estudiado (2010-2040, 2040-2070 y 2070-2100) respecto al periodo de control 1970-2000 para el escenario RCP 8.5

Punto	Descripción	Período	▪ Aportación (%) para el RCP 4.5											
			P01	P02	P03	P04	P05	P06	C01	C02	C03	Min.	Med.	Max.
IX	Vertiente cantábrica	2010-2040	-3,9	-8,1	-1,9	-13,7	-9,4	3,6	14,0	-14,2	15,2	-14,2	-2,0	15,2
		2040-2070	-12,5	-14,0	-16,8	-19,8	-20,6	-9,8	-10,6	-18,9	-10,5	-20,6	-14,8	-9,8
		2070-2100	-5,9	-14,9	-17,0	-23,1	-15,0	-11,4	-18,9	-22,0	-13,9	-23,1	-15,8	-5,9
X	Vertiente mediterránea	2010-2040	-8,6	-8,2	-6,8	-15,7	-12,5	9,9	10,0	-22,1	13,7	-22,1	-4,5	13,7
		2040-2070	-18,2	-18,3	-20,8	-26,4	-23,9	-11,2	-17,0	-17,5	-17,3	-26,4	-19,0	-11,2
		2070-2100	-13,7	-20,5	-23,6	-32,8	-23,1	-12,4	-20,2	-17,9	-17,7	-32,8	-20,2	-12,4
3100Q	Ega en Murieta	2010-2040	-11,6	-12,8	-8,3	-29,4	-20,9	10,8	13,0	-31,3	15,0	-31,3	-8,4	15,0
		2040-2070	-28,5	-26,7	-27,6	-42,1	-35,6	-20,2	-23,7	-32,8	-8,8	-42,1	-27,3	-8,8
		2070-2100	-25,7	-32,3	-34,5	-51,2	-33,0	-29,1	-27,8	-35,9	-3,4	-51,2	-30,3	-3,4
3200K	Urederra	2010-2040	-12,8	-15,5	-11,6	-30,5	-24,0	10,0	10,4	-36,7	11,7	-36,7	-11,0	11,7
		2040-2070	-31,4	-30,1	-33,2	-46,4	-39,3	-24,3	-27,8	-36,6	-14,9	-46,4	-31,6	-14,9
		2070-2100	-27,7	-36,5	-41,0	-56,6	-38,8	-34,7	-31,4	-35,7	-3,5	-56,6	-34,0	-3,5
3300D	Ega	2010-2040	-12,5	-13,1	-9,8	-30,2	-22,3	11,9	11,1	-37,0	17,6	-37,0	-9,4	17,6
		2040-2070	-29,2	-27,2	-29,4	-44,0	-36,5	-19,8	-23,4	-37,6	-7,9	-44,0	-28,3	-7,9
		2070-2100	-27,2	-33,4	-36,5	-53,3	-35,0	-29,4	-26,0	-36,0	-0,7	-53,3	-30,8	-0,7
4100H	Arga en Eugui	2010-2040	-2,9	-7,0	-2,4	-11,1	-9,4	5,6	13,7	-15,2	15,0	-15,2	-1,5	15,0
		2040-2070	-11,0	-12,6	-16,5	-17,5	-19,3	-8,1	-10,0	-15,6	-13,6	-19,3	-13,8	-8,1
		2070-2100	-4,7	-13,0	-16,4	-20,5	-14,6	-7,7	-14,5	-18,6	-14,0	-20,5	-13,8	-4,7
4200C	Ultzama	2010-2040	-5,7	-8,7	-2,5	-16,3	-12,1	6,3	19,9	-21,0	20,4	-21,0	-2,2	20,4
		2040-2070	-16,6	-17,0	-23,2	-25,8	-25,3	-13,1	-11,9	-20,4	-18,1	-25,8	-19,0	-11,9
		2070-2100	-10,2	-20,7	-25,2	-31,8	-20,4	-14,9	-18,2	-22,8	-16,3	-31,8	-20,1	-10,2
4300C		2010-2040	-5,0	-7,7	-3,1	-14,9	-11,0	8,2	11,4	-27,4	14,8	-27,4	-3,9	14,8

Punto	Descripción	Período	▪ Aportación (%) para el RCP 4.5											
			P01	P02	P03	P04	P05	P06	C01	C02	C03	Min.	Med.	Max.
	Araquil en Asiain	2040-2070	-13,9	-15,5	-19,2	-22,8	-22,8	-10,0	-15,8	-31,7	-16,3	-31,7	-18,6	-10,0
		2070-2100	-9,4	-16,7	-22,6	-28,3	-17,9	-12,5	-23,9	-31,3	-17,9	-31,3	-20,0	-9,4
4500C	Salado	2010-2040	-13,7	-12,0	-12,3			-28,2	-22,3	-35,8	28,2	-35,8	-7,0	28,2
		2040-2070	-30,8	-28,7	-36,9	-45,6	-39,2	-20,0	-24,1	-35,2	-17,4	-45,6	-30,9	-17,4
		2070-2100	-28,2	-35,1	-42,1	-56,6	-38,7	-30,8	-15,2	-18,8	-0,8	-56,6	-29,6	-0,8
4600C	Arga	2010-2040	-7,2	-8,1	-3,2	-17,9	-13,8	11,6	15,3	-26,7	22,2	-26,7	-3,1	22,2
		2040-2070	-17,5	-17,2	-24,4	-29,0	-26,9	-10,7	-12,7	-22,8	-14,8	-29,0	-19,6	-10,7
		2070-2100	-13,3	-21,3	-26,8	-36,2	-23,5	-14,5	-15,0	-18,6	-9,2	-36,2	-19,8	-9,2
5300K	Irati en embalse de Itoiz (con Urrobi)	2010-2040	-4,8	-7,3	-3,0	-11,1	-9,2	6,4	11,9	-14,5	11,3	-14,5	-2,2	11,9
		2040-2070	-12,8	-13,9	-15,5	-18,2	-18,7	-9,0	-12,6	-14,5	-15,9	-18,7	-14,5	-9,0
		2070-2100	-7,2	-13,8	-15,9	-22,1	-15,3	-8,6	-16,7	-19,1	-18,2	-22,1	-15,2	-7,2
5200K	Salazar	2010-2040	-11,7	-11,1	-10,6	-20,6	-15,8	8,0	18,2	-26,1	14,8	-26,1	-6,1	18,2
		2040-2070	-25,0	-25,1	-28,1	-34,2	-31,1	-20,3	-22,2	-19,8	-25,8	-34,2	-25,7	-19,8
		2070-2100	-19,7	-27,1	-32,5	-41,6	-30,8	-22,1	-24,9	-23,8	-29,0	-41,6	-27,9	-19,7
5300M	Irati	2010-2040	-5,9	-7,9	-3,3	-13,2	-10,4	6,9	12,6	-14,7	12,4	-14,7	-2,6	12,6
		2040-2070	-14,6	-15,5	-16,7	-21,4	-21,0	-10,0	-13,1	-13,8	-16,3	-21,4	-15,8	-10,0
		2070-2100	-9,2	-15,9	-17,2	-25,9	-17,6	-9,9	-16,7	-18,2	-18,4	-25,9	-16,6	-9,2
5000B	Aragón en Yesa	2010-2040	-10,3	-6,1	-8,4	-11,3	-10,1	11,5	9,2	-20,9	12,2	-20,9	-3,8	12,2
		2040-2070	-18,4	-16,8	-17,9	-22,4	-19,4	-8,9	-16,2	-11,6	-16,7	-22,4	-16,5	-8,9
		2070-2100	-13,0	-18,1	-20,1	-28,2	-22,3	-6,7	-18,1	-8,5	-17,3	-28,2	-16,9	-6,7
5400E	Zidacos	2010-2040	-18,8	-19,0	-19,7	-39,8	-30,2	34,3	26,5	-40,9	47,5	-40,9	-6,7	47,5
		2040-2070	-35,9	-35,7	-51,9	-65,4	-46,9	-17,4	-15,7	-26,6	-10,7	-65,4	-34,0	-10,7
		2070-2100	-42,5	-50,8	-59,7	-78,3	-58,1	-39,2	-19,0	-20,5	8,0	-78,3	-40,0	8,0
5500F	Aragón	2010-2040	-10,5	-6,5	-8,9	-12,2	-10,6	12,1	10,2	-20,8	13,0	-20,8	-3,8	13,0
		2040-2070	-18,7	-17,6	-18,5	-23,9	-20,4	-9,1	-16,1	-10,7	-16,4	-23,9	-16,8	-9,1
		2070-2100	-13,7	-19,2	-21,2	-30,1	-23,3	-7,4	-17,7	-8,8	-17,0	-30,1	-17,6	-7,4
6000A	Alhama	2010-2040	-16,8	-14,5	-28,8	-23,8	-22,4	15,6	-27,6	-19,5	-5,9	-28,8	-16,0	15,6
		2040-2070	-25,1	-28,6	-31,6	-43,8	-33,6	-12,9	-32,1	-54,7	-24,5	-54,7	-31,9	-12,9
		2070-2100	-35,7	-37,3	-45,1	-57,8	-43,1	-24,9	-30,6	-52,4	-38,0	-57,8	-40,5	-24,9
7000B	Queiles	2010-2040	-14,1	-18,7	-26,2	-34,1	-15,6	7,5	-28,5	-43,6	-13,9	-43,6	-20,8	7,5
		2040-2070	-14,8	-24,2	-29,8	-43,4	-33,1	-22,5	-24,9	-62,4	-17,5	-62,4	-30,3	-14,8
		2070-2100	-34,3	-37,1	-41,8	-63,9	-49,8	-37,8	-27,3	-61,0	-12,0	-63,9	-40,6	-12,0
2000A	Linares	2010-2040	-20,9	-11,2	-13,3	-39,9	-28,0	20,1	0,0	-43,5	32,6	-43,5	-11,6	32,6
		2040-2070	-36,9	-27,3	-41,5	-56,5	-43,4	-18,9	-31,1	-46,5	4,5	-56,5	-33,1	4,5
		2070-2100	-39,1	-38,6	-48,7	-64,6	-44,8	-33,6	-22,2	-49,2	2,2	-64,6	-37,6	2,2
9400K		2010-2040	-4,0	-8,1	-2,3	-13,7	-9,6	3,8	14,0	-14,5	15,7	-14,5	-2,1	15,7

Punto	Descripción	Período	▪ Aportación (%) para el RCP 4.5											
			P01	P02	P03	P04	P05	P06	C01	C02	C03	Min.	Med.	Max.
	Bidasoa en Endarlatza	2040-2070	-12,7	-14,8	-17,9	-20,1	-21,4	-10,3	-11,3	-19,6	-10,3	-21,4	-15,4	-10,3
		2070-2100	-5,4	-15,4	-17,7	-23,5	-15,8	-11,2	-19,5	-23,5	-13,0	-23,5	-16,1	-5,4
9520D	Urumea en embalse de Añarbe	2010-2040	-2,9	-8,5	-2,4	-14,8	-7,8	1,2	16,7	-12,3	16,8	-14,8	-1,6	16,8
		2040-2070	-12,4	-13,6	-14,9	-20,2	-19,2	-9,7	-10,5	-17,8	-10,4	-20,2	-14,3	-9,7
		2070-2100	-5,8	-15,7	-16,4	-23,5	-14,6	-12,7	-20,8	-23,7	-14,4	-23,7	-16,4	-5,8

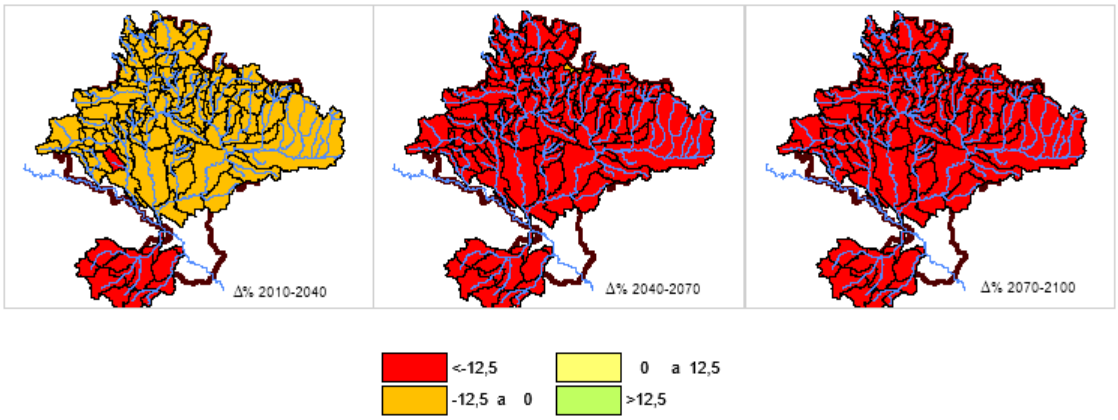

Figura 35 Distribución espacial de las anomalías de las aportaciones para los tres periodos de impacto estudiado en el escenario RCP 4.5

Tabla 18 Anomalías de las aportaciones en los periodos de impacto estudiado (2010-2040, 2040-2070 y 2070-2100) respecto al periodo de control 1970-2000 para el escenario RCP 8.5

Punto	Descripción	Período	▪ Aportación (%) para el RCP 8.5											
			P01	P02	P03	P04	P05	P06	C01	C02	C03	Min.	Med.	Max.
IX	Vertiente cantábrica	2010-2040	-2,1	-15,8	-9,1	-14,6	-12,0	-2,4	0,2	-13,1	8,4	-15,8	-6,7	8,4
		2040-2070	-14,8	-16,4	-16,8	-28,0	-21,6	-8,0	-12,1	-23,1	-7,3	-28,0	-16,4	-7,3
		2070-2100	-28,5	-31,5	-30,3	-44,1	-42,2	-20,4	-34,6	-40,9	-25,7	-44,1	-33,1	-20,4
X	Vertiente mediterránea	2010-2040	-9,6	-13,3	-15,5	-16,3	-14,7	-5,2	-0,8	-12,9	5,1	-16,3	-9,3	5,1
		2040-2070	-22,0	-20,1	-26,9	-35,1	-28,7	-6,0	-23,1	-16,7	-19,4	-35,1	-22,0	-6,0
		2070-2100	-40,1	-41,4	-37,9	-54,3	-47,8	-27,1	-43,0	-31,1	-44,6	-54,3	-40,8	-27,1
3100Q	Ega en Murieta	2010-2040	-12,8	-21,2	-20,1	-30,4	-22,4	-11,0	-8,6	-21,1	6,9	-30,4	-15,6	6,9
		2040-2070	-34,7	-33,8	-37,5	-54,6	-42,2	-22,6	-22,3	-26,2	-15,0	-54,6	-32,1	-15,0
		2070-2100	-56,8	-58,3	-50,6	-76,4	-64,8	-46,1	-51,2	-44,6	-48,4	-76,4	-55,2	-44,6
3200K	Urederra	2010-2040	-14,8	-22,8	-26,6	-32,6	-25,6	-12,7	-11,9	-25,1	11,6	-32,6	-17,8	11,6
		2040-2070	-38,1	-35,4	-44,3	-58,2	-46,6	-24,1	-26,9	-29,9	-17,5	-58,2	-35,7	-17,5
		2070-2100	-61,5	-63,5	-57,2	-80,3	-71,3	-50,4	-55,3	-50,2	-52,8	-80,3	-60,3	-50,2
3300D	Ega	2010-2040	-13,7	-20,9	-22,1	-31,2	-23,3	-11,2	-8,0	-25,5	9,3	-31,2	-16,3	9,3
		2040-2070	-36,0	-34,5	-39,8	-56,5	-43,9	-22,0	-23,5	-26,9	-13,7	-56,5	-33,0	-13,7
		2070-2100	-58,5	-59,8	-52,7	-78,1	-66,1	-47,1	-52,7	-43,7	-51,2	-78,1	-56,7	-43,7
4100H	Arga en Eugui	2010-2040	-1,8	-13,7	-9,6	-12,0	-10,8	-2,4	-0,2	-10,7	6,9	-13,7	-6,0	6,9
		2040-2070	-13,2	-13,8	-16,8	-25,2	-20,0	-5,0	-12,8	-18,1	-10,5	-25,2	-15,0	-5,0
		2070-2100	-25,2	-28,8	-29,6	-40,0	-37,8	-17,9	-32,1	-30,8	-29,1	-40,0	-30,1	-17,9
4200C	Ultzama	2010-2040	-4,9	-17,4	-14,3	-18,0	-14,5	-5,5	0,7	-13,9	10,0	-18,0	-8,6	10,0
		2040-2070	-19,6	-20,1	-25,4	-35,7	-27,4	-9,1	-15,3	-23,0	-14,8	-35,7	-21,2	-9,1
		2070-2100	-37,5	-41,4	-43,1	-57,7	-50,8	-29,1	-39,8	-38,8	-37,2	-57,7	-41,7	-29,1
4300C	Araquil en Asiain	2010-2040	-3,8	-16,2	-12,6	-16,7	-12,4	-4,3	-2,9	-21,5	8,7	-21,5	-9,1	8,7
		2040-2070	-17,3	-18,3	-23,9	-33,0	-25,8	-8,6	-17,1	-31,4	-15,6	-33,0	-21,2	-8,6
		2070-2100	-33,3	-36,0	-38,2	-51,7	-46,8	-25,5	-42,7	-50,1	-42,3	-51,7	-40,7	-25,5
4500C	Salado	2010-2040	-16,7	-19,5	-30,0	-29,4	-23,8	-13,7	-5,2	-20,5	15,3	-30,0	-15,9	15,3
		2040-2070	-36,9	-33,3	-48,2	-57,8	-47,7	-16,6	-26,3	-12,4	-10,0	-57,8	-32,1	-10,0
		2070-2100	-62,8	-64,9	-60,4	-81,9	-70,3	-50,5	-55,9	-29,5	-51,6	-81,9	-58,6	-29,5
4600C	Arga	2010-2040	-6,4	-16,2	-15,8	-20,2	-16,3	-5,9	1,8	-16,7	12,0	-20,2	-9,3	12,0
		2040-2070	-21,9	-20,8	-29,1	-40,9	-31,6	-7,1	-19,5	-16,6	-11,4	-40,9	-22,1	-7,1
		2070-2100	-40,6	-44,4	-42,7	-61,3	-53,0	-30,7	-41,7	-26,9	-38,6	-61,3	-42,2	-26,9
5300K	Irati en embalse de Itoiz (con Urrobi)	2010-2040	-4,9	-13,0	-9,7	-12,1	-10,8	-3,4	-1,0	-9,7	3,8	-13,0	-6,8	3,8
		2040-2070	-14,8	-15,0	-17,1	-25,3	-20,3	-5,6	-16,6	-19,2	-15,7	-25,3	-16,6	-5,6
		2070-2100	-27,7	-29,8	-28,5	-39,4	-37,2	-19,4	-34,2	-33,1	-35,1	-39,4	-31,6	-19,4
5200K	Salazar	2010-2040	-14,5	-16,3	-20,8	-21,4	-19,2	-9,8	-1,1	-15,1	3,7	-21,4	-12,7	3,7

Punto	Descripción	Período	▪ Aportación (%) para el RCP 8.5											
			P01	P02	P03	P04	P05	P06	C01	C02	C03	Min.	Med.	Max.
		2040-2070	-29,3	-26,5	-36,3	-42,7	-36,9	-11,9	-30,1	-23,5	-31,7	-42,7	-29,9	-11,9
		2070-2100	-51,7	-52,3	-52,3	-66,5	-59,8	-40,1	-50,7	-41,2	-58,1	-66,5	-52,5	-40,1
5300M	Irati	2010-2040	-6,3	-13,8	-10,7	-14,5	-12,2	-4,2	-0,9	-9,3	4,6	-14,5	-7,5	4,6
		2040-2070	-17,2	-17,0	-18,8	-29,3	-23,2	-6,2	-17,1	-18,2	-16,6	-29,3	-18,2	-6,2
		2070-2100	-31,3	-33,3	-30,6	-44,2	-40,8	-21,8	-34,8	-32,0	-36,8	-44,2	-33,9	-21,8
5000B	Aragón en Yesa	2010-2040	-12,9	-8,5	-15,4	-10,3	-12,7	-3,2	1,3	-9,4	1,4	-15,4	-7,7	1,4
		2040-2070	-21,0	-16,6	-25,1	-28,1	-24,8	-0,4	-25,6	-9,5	-22,2	-28,1	-19,2	-0,4
		2070-2100	-38,8	-37,7	-32,1	-46,8	-40,8	-20,3	-39,2	-22,3	-43,0	-46,8	-35,7	-20,3
5400E	Zidacos	2010-2040	-23,2	-18,7	-42,0	-46,2	-31,7	-17,5	6,1	-20,7	38,8	-46,2	-17,2	38,8
		2040-2070	-48,5	-45,2	-67,2	-79,5	-63,1	-14,9	-33,9	-16,3	-7,8	-79,5	-41,8	-7,8
		2070-2100	-80,4	-81,6	-78,7	-96,2	-85,3	-74,7	-59,7	-25,5	-66,3	-96,2	-72,0	-25,5
5500F	Aragón	2010-2040	-13,0	-8,7	-15,9	-11,4	-13,2	-3,6	1,6	-8,6	2,3	-15,9	-7,8	2,3
		2040-2070	-21,8	-17,6	-26,4	-30,2	-26,2	-0,5	-25,4	-8,4	-21,7	-30,2	-19,8	-0,5
		2070-2100	-40,3	-39,5	-33,5	-49,3	-42,7	-21,9	-39,6	-20,8	-43,8	-49,3	-36,8	-20,8
6000A	Alhama	2010-2040	-22,3	-3,5	-32,4	-22,7	-24,9	-13,4	-6,3	-43,4	-3,1	-43,4	-19,1	-3,1
		2040-2070	-43,6	-35,6	-55,7	-58,6	-48,3	-14,0	-35,5	-31,3	-24,9	-58,6	-38,6	-14,0
		2070-2100	-73,2	-69,4	-56,4	-81,6	-61,4	-57,8	-63,5	-50,7	-69,9	-81,6	-64,9	-50,7
7000B	Queiles	2010-2040	-18,5	-4,0	-33,1	-34,0	-24,2	-20,1	-5,7	-63,9	2,7	-63,9	-22,3	2,7
		2040-2070	-47,7	-35,7	-59,3	-62,2	-46,8	-30,5	-29,0	-38,9	-10,4	-62,2	-40,1	-10,4
		2070-2100	-71,6	-72,4	-53,8	-82,7	-60,1	-60,9	-52,6	-64,1	-56,7	-82,7	-63,9	-52,6
2000A	Linares	2010-2040	-23,3	-20,1	-28,2	-39,8	-30,0	-10,8	-16,3	-39,1	10,8	-39,8	-21,9	10,8
		2040-2070	-48,2	-38,1	-54,5	-70,3	-55,4	-20,9	-33,5	-23,7	-2,7	-70,3	-38,6	-2,7
		2070-2100	-70,7	-69,7	-67,2	-90,0	-77,8	-59,1	-61,2	-39,0	-56,2	-90,0	-65,7	-39,0
9400K	Bidasoa en Endarlatza	2010-2040	-2,2	-15,9	-9,7	-14,6	-12,5	-2,5	-0,2	-13,6	8,9	-15,9	-6,9	8,9
		2040-2070	-14,8	-16,4	-17,6	-28,3	-22,3	-7,9	-13,1	-23,9	-6,3	-28,3	-16,7	-6,3
		2070-2100	-28,8	-32,2	-31,7	-44,7	-43,3	-20,9	-36,0	-41,7	-25,0	-44,7	-33,8	-20,9
9520D	Urumea en embalse de Añarbe	2010-2040	-1,6	-16,7	-7,7	-14,4	-10,7	-1,0	1,2	-13,4	9,5	-16,7	-6,1	9,5
		2040-2070	-14,6	-16,4	-15,0	-26,3	-19,1	-9,6	-11,6	-24,1	-7,3	-26,3	-16,0	-7,3
		2070-2100	-27,2	-29,6	-28,1	-43,8	-42,7	-19,9	-37,2	-46,0	-26,3	-46,0	-33,4	-19,9

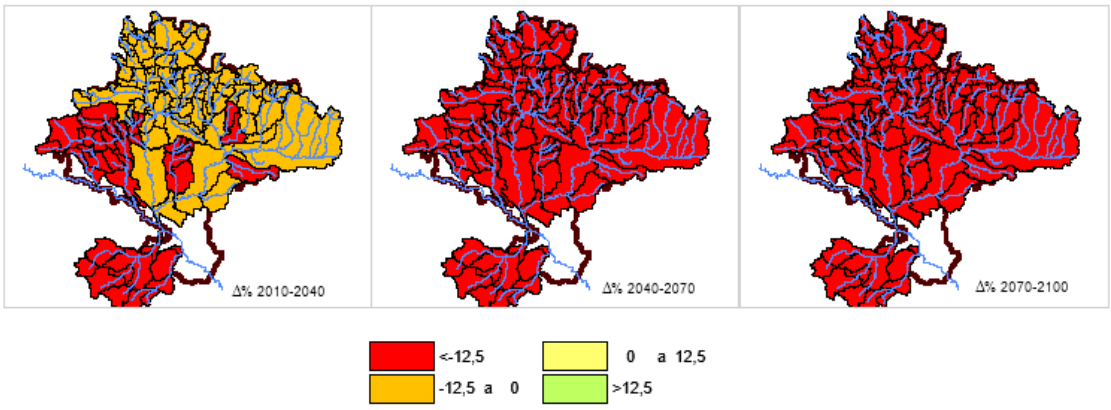

Figura 36 Distribución espacial de las anomalías de las aportaciones para los tres periodos de impacto estudiado en el escenario RCP 8.5

5.3.3 Evolución de las sequías en el periodo proyectado

Teniendo en consideración la clasificación de la tabla 2 y para poder observar la evolución de las sequías durante el periodo de proyección, se ha procedido a contabilizar el número de sequías. Se considera el inicio de la sequía a partir del momento que supera el umbral de sequía moderada, valor -1 de SPI, se establece como fin de la sequía en el momento que se retorna al valor de normalidad, valor 0 de SPI. Este proceso se ha realizado en los dos escenarios estudiados RCP 4.5 y RCP 8.5 y el resultado se muestra en la tabla 19 y la tabla 20.

En ambos escenarios se aprecia como existe un aumento considerable de las sequías, ya sea en número o duración, a medida que se progresa en el periodo de proyección. Destaca especialmente en el escenario 4.5 como el mayor número de sequías se produce en el periodo de impacto 2040-2070, contabilizándose 9 sequías en la vertiente mediterránea y 8 en la cantábrica. A su vez, la duración media de las sequías es sensiblemente más importante en el último periodo de impacto analizado, 21 meses en la vertiente mediterránea y 29 meses en la cantábrica. Por tanto, no solo a medida que se avanza en el periodo de proyección se aprecia un aumento en la frecuencia de las sequías, sino que también aumenta progresivamente su duración.

La evolución del índice SPI en la vertiente mediterránea y la cantábrica que se muestra en la figura 37 y figura 38, respectivamente, permite identificar como en el escenario 4.5 existe un claro aumento de las sequias, donde a partir de la década del 2040 la intensidad de las sequías aumenta.

Tabla 19 Cuantificación de las sequías moderadas que superan el umbral del valor 1 del SPI, en el escenario RCP 4.5. Cálculo realizado en los diferentes periodos de impacto y el periodo de control

Punto de análisis	Sequias moderadas entre 1970-2000	Duración media de las sequías en el periodo 1970-2000	Sequias moderadas entre 2010-2040	Duración media de las sequías en el periodo 2010-2040	Sequias moderadas entre 2040-2070	Duración media de las sequías en el periodo 2040-2070	Sequias moderadas entre 2070-2100	Duración media de las sequías en el periodo 2070-2100
XB	2	11	4	16	9	19	6	21
IXB	3	10	4	23	8	25	4	29

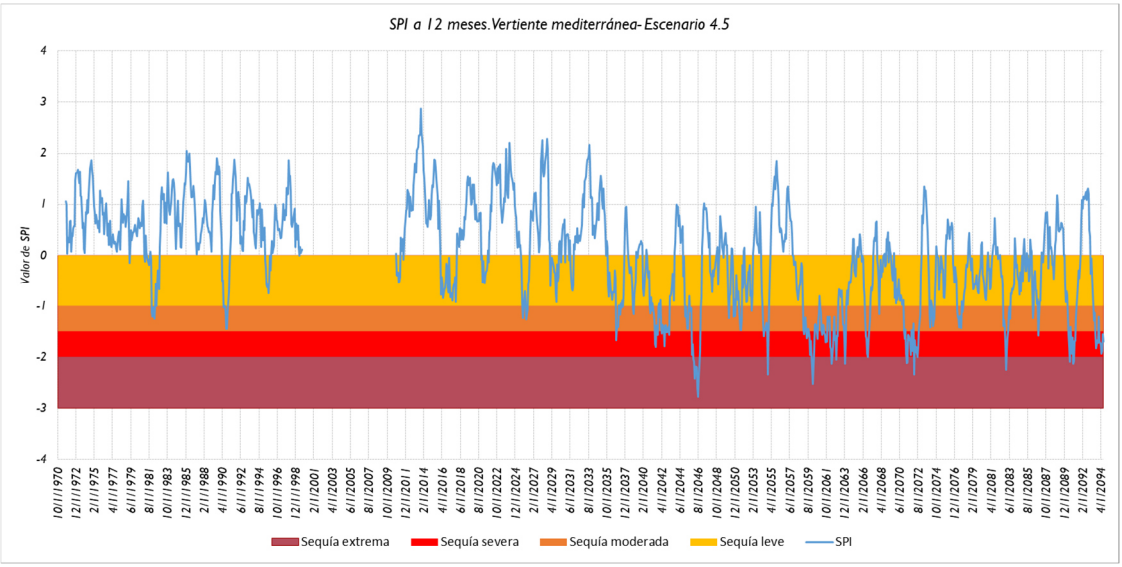

Figura 37 Evolución del índice SPI en la vertiente mediterránea en el escenario RCP 4.5

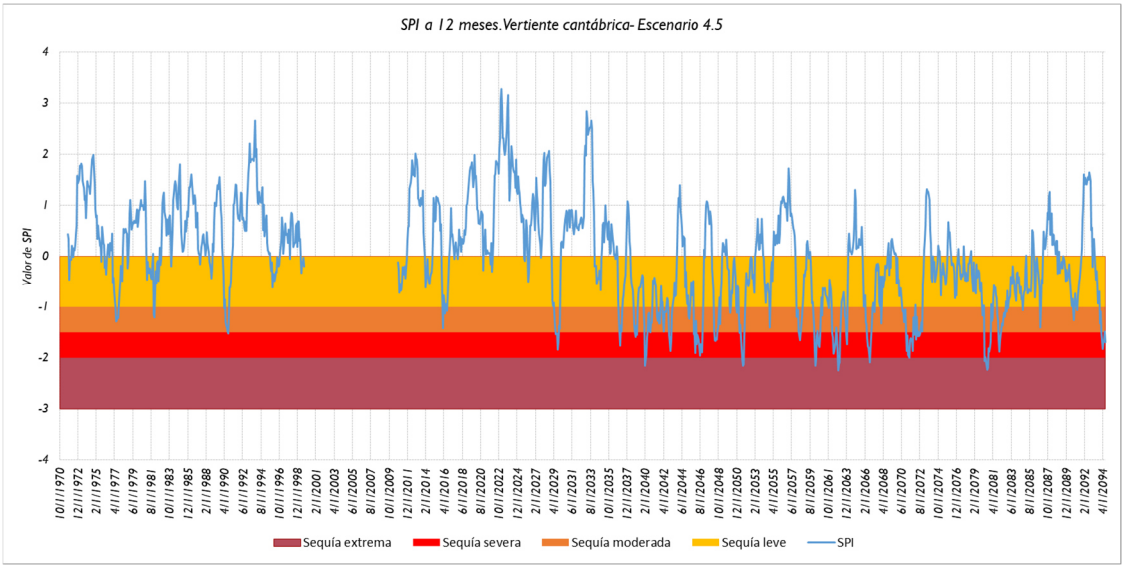

Figura 38 Evolución del índice SPI en la vertiente cantábrica en el escenario RCP 4.5

En el escenario 8.5 la situación descrita anteriormente se ve agudizada. El indicador SPI es muy sensible a la tendencia de la serie debido a que analiza la desviación existente sobre la media a través de la normalización de la serie de precipitación. La fuerte reducción de la precipitación que se produce en el escenario 8.5 condiciona la media de forma extraordinaria y provoca por tanto que en el inicio de la serie no se identifiquen sequías moderadas. Tanto en la Figura 39 como en la Figura 40 se puede apreciar como existe una enorme tendencia del índice, mostrando por tanto una clara no estacionariedad de la variable de la precipitación.

Teniendo en consideración lo anterior, en la tabla 20 se aprecia como nuevamente el periodo 2040-2070 es el que se produce mayor número de sequías con un valor de 5 tanto en la vertiente mediterránea como en la cantábrica, aunque cabe señalar que en el último periodo 1970-2100 el número de sequías disminuye pero aumenta su duración, permaneciendo prácticamente durante todo el período en sequía, y aumenta también la intensidad registrando valores de SPI, sensiblemente inferiores a -2. En consecuencia, se aprecia un cambio drástico de las condiciones de precipitación a partir de 2049 en este escenario.

Tabla 20 Cuantificación de las sequías moderadas que superan el umbral del valor 1 del SPI, en el escenario RCP 8.5. Cálculo realizado en los diferentes periodos de impacto y el periodo de control

Estación	Sequias moderadas entre 1970-2000	Duración media de las sequías en el periodo 1970-2000	Sequias moderadas entre 2010-2040	Duración media de las sequías en el periodo 2010-2040	Sequias moderadas entre 2040-2070	Duración media de las sequías en el periodo 2040-2070	Sequias moderadas entre 2070-2100	Duración media de las sequías en el periodo 2070-2100
XC	0	11	2	9	5	18	1	59
IXC	0	35	1	12	5	27	1	14

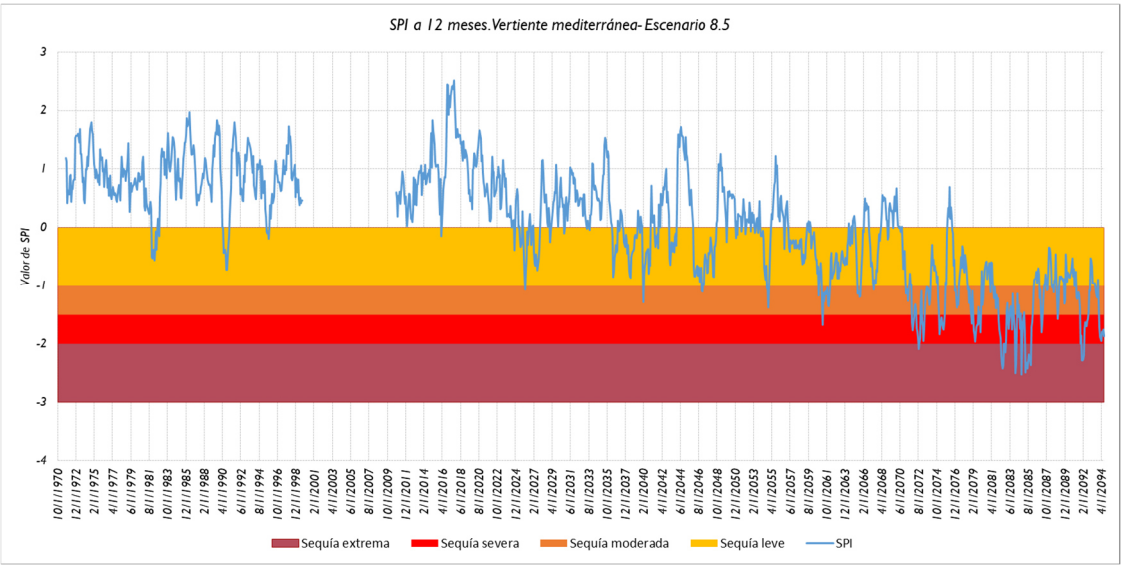

Figura 39 Evolución del índice SPI en la vertiente mediterránea en el escenario RCP 8.5

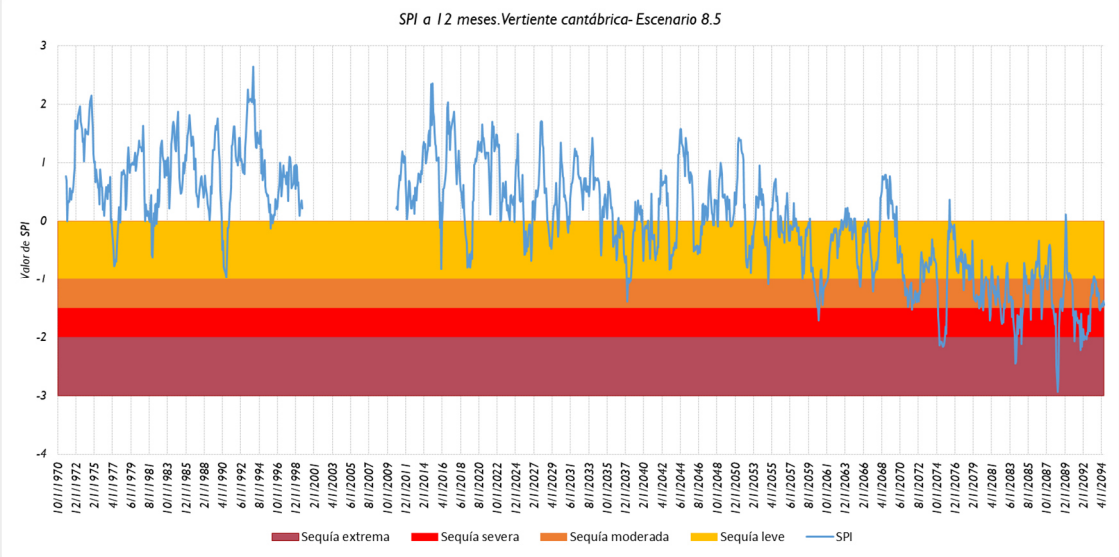

Figura 40 Evolución del índice SPI en la vertiente cantábrica en el escenario RCP 8.5

5.3.4 Precipitaciones máximas en el periodo proyectado

De la observación de los resultados se puede apreciar en el escenario RCP 4.5 como existe una sensible tendencia a la reducción de los cuantiles en la vertiente cantábrica. En la vertiente mediterránea existe un aumento y una disminución de los cuantiles a lo largo del tiempo sin apreciar un patrón de comportamiento claro.

En el escenario 8.5, se distinguen dos patrones claramente definidos. En la vertiente cantábrica se aprecia una sensible reducción de los cuantiles que se va reduciendo a lo largo del tiempo. En la vertiente mediterránea, se aprecia un aumento de los cuantiles en todos los periodos, aunque no se distingue una tendencia a lo largo del tiempo.

Los resultados y conclusiones obtenidas hay que tomarlos con suma prudencia ya que están sujetos a una gran incertidumbre que emana tano de la propia distribución de frecuencia seleccionada, de la longitud de la serie escogida, que para los periodos de retorno de baja recurrencia puede ser corta. Además, hay que tener en consideración que la variabilidad interdiaria en modelos climáticos regionales suele ser poco representativa.

6 Conclusiones

6.1 Análisis de las series meteorológicas observadas y los recursos hídricos en régimen natural

A raíz de los resultados, se ha observado, en términos generales, un comportamiento similar para la **temperatura máxima, mínima y media**:

- Entre 1940-2015, la tendencia calculada es inexistente debido a que en un gran número de estaciones el período más cálido se produce durante la década de los 40 (Pejenaute, 1998), condicionando el comportamiento de la tendencia para el conjunto de la serie.
- Entre 1954-2015 se **produce un calentamiento progresivo**. La tendencia es creciente con un incremento medio entre **+0,15 y +0,18 °C/decenio**, valor similar al obtenido en otros estudios realizados en la región (Oria, 2016).
- Entre 1970-2015 se produce un aumento considerable de la tendencia llegando a valores incrementales **de +0,3 °C/decenio**. Es a partir de los años 70 donde, si bien comienza una década fría tal y como se observa en los gráficos de anomalías, se inicia un periodo con una clara tendencia creciente.

En el caso de la **precipitación**, la primera cuestión a tener en consideración es la baja significancia estadística que presentan las tendencias obtenidas. Esto es debido a la alta variabilidad interanual que presentan los datos de precipitación, por tanto, los resultados obtenidos de tendencia para esta variable llevan aparejada una gran incertidumbre. Teniendo esto último en consideración, se pueden apreciar comportamientos diferentes en los tres periodos analizados:

- Entre 1940-2015, la tendencia es muy poco significativa en general, mostrando una precipitación constante a nivel anual, condicionado por el período extraordinariamente seco que tuvo lugar durante la década de 1940.
- Entre 1954-2015, se puede apreciar una tendencia negativa en la precipitación con un decrecimiento medio de **-1,04%/decenio**.
- En el último período, entre 1970-2015, se puede observar cómo esta tendencia negativa se reduce considerablemente, obteniendo un decrecimiento medio **de -0,47 %/decenio**, si bien se sigue mostrando una reducción de la precipitación a largo plazo.

En relación a la evolución de las **aportaciones en régimen natural**, la primera cuestión a destacar es, nuevamente, la elevada variabailidad interanual existente que se materializa en un bajo nivel de confianza de la tendencia obtenida en la mayor parte de las cuencas estudiadas (a excepción de las cuencas de la vertiente cantábrica).

Teniendo en consideración ésto último, se observa una tendencia decreciente **de las aportaciones que se agudiza a medida que trascurren los años, alcanzando valores del -3,6%/decenio en la desembocadura del río Aragón o del -4,5%/decenio** en la desembocadura del río Arga para el periodo 1970-2015.

Respecto a las **precipitaciones máximas**, de forma general no se pueden extraer conclusiones definitivas sobre la evolución de los máximos de precipitación a lo largo del tiempo. En términos cualitativos y como resultado de este análisis se aprecia un comportamiento diferente de los cuantiles en función del periodo analizado. De forma general se puede observar como el primer periodo y el último presenta cuantiles superiores al periodo intermedio comprendido entre los años 1970-2000. Destaca de forma apreciable el primer intervalo 1940-1970 donde los cuantiles se incrementan de forma general respecto al conjunto de la serie analizada.

En relación con las **precipitaciones mínimas** se han estudiado las sequías severas y extremas acontecidas en las estaciones meteorológicas de la red básica a lo largo de todo el periodo registrado en el BDH (1940-2015). Se ha empleado para ello el índice de precipitación normalizado (SPI) agregado a 12 meses, por su fácil manejo y por ser considerado por la OMM como punto de partida del estudio de sequias (GWP & WMO, 2016). Al igual que sucede con las precipitaciones máximas, se aprecia cómo las sequías se concentran en el primer y último periodo analizado, apreciándose, por tanto, un aumento del número de sequías en los últimos 30 años.

6.2 Selección de modelos a partir del análisis de series hidrometeorológicas

Se ha realizado la 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:**
    - **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.

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 con 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 con 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.

6.3 Evolución de las aportaciones en base a los modelos de cambio climático

A partir del estudio de las proyecciones de las series climáticas y como resultado de la modelización hidrológica se extraen las siguientes conclusiones:

En relación con **la temperatura media diaria** se puede observar el siguiente comportamiento:

- En el escenario RCP 4.5 se obtiene una tendencia **+0,21 °C/decenio** en la vertiente mediterránea y **+0,18 °C/decenio** en la vertiente cantábrica. Se aprecia una sensible diferencia en la vertiente cantábrica con una menor tendencia. Cabe señalar que las tendencias obtenidas para este escenario son similares a las obtenidas en la primera fase del estudio si se comparan con el intervalo 1954-2015.
- Para el escenario de altas emisiones RCP 8.5 la tendencia se incrementa notablemente con **+0,49°C/decenio** en la vertiente mediterránea y **+0,43°C/decenio** en la vertiente cantábrica

- De forma individual cabe destacar la **cuenca del río Aragón donde se aprecia una tendencia positiva algo superior a la del conjunto de la vertiente mediterránea**, y esto se aprecia de forma **más sensible** en la cabecera de la cuenca, **en la zona oriental de la Comunidad de Navarra y cabecera del río Aragón**. Un comportamiento parecido se apreciaba en la primera fase del estudio, cuando en la zona pirenaica (estación de Canfranc) se obtenía una tendencia positiva de temperatura media más pronunciada. Para el resto de las cuencas estudiadas al detalle, el comportamiento es similar al conjunto de las vertientes estudiadas.

- De acuerdo con el estudio de anomalías realizado en los periodos de impacto consistente en obtener la variación de la temperatura para los periodos 2010-2040, 2040-2070 y 2070-2100 con respecto al periodo de control 1970-2000, se obtienen como el resultado el contenido de la tabla siguiente:

Tabla 21 Anomalías de temperaturas por Demarcaciones Hidrográficas.

Descripción	Período	▪ Temperatura (ºC) para el RCP 4.5			▪ Temperatura (ºC) para el RCP 8.5		
		Min.	Med.	Max.	Min.	Med.	Max.
D.H. Cantábrico Oriental	2010-2040	0,3	0,9	1,3	0,4	1,1	1,6
	2040-2070	0,6	1,6	2,3	1,3	2,2	3,0
	2070-2100	1,1	2,0	2,8	2,2	3,6	4,9
D.H. Ebro	2010-2040	0,3	1,0	1,4	0,5	1,2	1,7
	2040-2070	0,8	1,8	2,5	1,6	2,4	3,3
	2070-2100	1,4	2,2	3,1	2,6	4,1	5,4

- En el **escenario RCP 4.5** se observa como se espera un mayor calentamiento en la **vertiente mediterránea,** donde se obtiene un valor de **2,2 °C** para la media del conjunto de modelos en el **periodo 2070-2100**, y **2 °C** en la **vertiente cantábrica** en este mismo periodo.

- En el escenario RCP 8.5, los impactos se intensifican alcanzado unas anomalías de temperatura de **4,1 °C en la vertiente mediterránea y 3,6 °C en la vertiente cantábrica para el período 2070-2100.** Nuevamente se aprecia una notable diferencia entre las dos vertientes.

Para la variable de la precipitación diaria, en este caso se ha analizado la tendencia de las anomalías de la PRT anual respecto al periodo de control, observándose el comportamiento siguiente:

- En el periodo proyectado se aprecia una **tendencia negativa en la evolución del porcentaje de precipitación**. En el escenario RCP 4.5, en la vertiente cantábrica de la comunidad de Navarra se aprecia mayor pendiente negativa que en la vertiente

mediterránea, **-0,99 %/decenio en la vertiente cantábrica**, por **-0,86%/decenio en la vertiente mediterránea**.

- En el escenario **RCP 8.5** las pendientes se agudizan, mostrando nuevamente una ligera diferencia entre ambas vertientes de la comunidad de **Navarra, -2,1%/decenio en la vertiente cantábrica y -2,05%/decenio en la vertiente mediterránea.**

- Gracias al estudio de anomalías realizado, en el que de la misma forma que para la temperatura, se ha obtenido la variación de la precipitación para los periodos 2010-2040, 2040-2070 y 2070-2100 con respecto al periodo de control 1970-200 se obtiene el resultado que se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 22 Anomalías de precipitaciones por Demarcaciones Hidrográficas.

Descripción	Período	▪ Precipitación (%) para el RCP 4.5			▪ Precipitación (%) para el RCP 8.5		
		Min.	Med.	Max.	Min.	Med.	Max.
D.H. Cantábrico Oriental	2010-2040	-6,8	0,3	12,7	-9,2	-2,1	9,9
	2040-2070	-11,3	-6,4	-0,7	-12,6	-6,3	2,1
	2070-2100	-10,1	-6,0	-0,3	-24,2	-14,8	-6,5
D.H. Ebro	2010-2040	-11,2	-0,7	9,4	-7,0	-2,5	9,0
	2040-2070	-10,8	-6,5	-0,1	-12,1	-6,5	0,3
	2070-2100	-12,1	-6,0	0,9	-21,5	-14,7	-5,8

- En estos resultados se puede observar como en el **escenario RCP 4.5** en ambas vertientes se aprecia una anomalía del **-6% en el periodo 2070-2100**. En cambio, en el periodo **2010-2040 en la vertiente cantábrica**, se aprecia un leve aumento de la precipitación **del +0,3% respecto al periodo de control**, comportamiento que no se ve reflejado en la **vertiente mediterránea**, que muestra una **anomalía negativa de -0,7%**.En el **periodo 2040-2070** es donde se espera una mayor reducción de la precipitación con valores cercanos **al -6,5% en ambas regiones**.

- **En el escenario 8.5**, en el **periodo 2070-2100** se obtiene una anomalía del **-14,8% en la vertiente cantábrica** y **-14,7% en la vertiente mediterránea**, tal y como se puede apreciar, en ambas regiones se obtienen valores muy similares. En el periodo **2010-2040** el resultado obtenido para el promedio de los nueve modelos **es de -2,1% en la vertiente cantábrica y -2,5% en la vertiente mediterránea**, aunque los valores son muy parecidos se aprecia una mayor reducción de la precipitación en la vertiente mediterránea.

De la construcción y análisis del modelo hidrológico Sacramento se alcanza el objetivo general del estudio, evaluar los recursos hídricos en régimen natural considerando diferentes escenarios de cambio climático, las principales conclusiones a este respecto son:

- La **tendencia general** que se observa para el conjunto de la Comunidad de Navarra es **claramente negativa**. Esta tendencia negativa es mucho más acusada en la **vertiente mediterránea**, donde en el **escenario RCP 4.5** la pendiente obtenida es de **-2,49%/decenio**. En la **vertiente cantábrica** se obtiene una pendiente negativa de **-2,18%/ decenio**. En el escenario de altas emisiones **RCP 8.5**, las pendientes son mucho más pronunciadas, **-4,46%/decenio en la vertiente cantábrica** y **-5,23%/decenio en** la **vertiente mediterránea.**

- La distribución intermensual de las aportaciones se mantiene invariable en los periodos de impacto seleccionados, **produciéndose los máximos y mínimos prácticamente durante los mismos meses del año.**

- A nivel **estacional, no** se observa, en ningún caso, un **desplazamiento de los estiajes o de la época húmeda.**

- A partir del estudio de las anomalías de las aportaciones en régimen natural, obtenidas como la variación de las aportaciones para los periodos 2010-2040, 2040-2070 y 2070-2100 con respecto al periodo de control 1970-200, se obtiene el resultado que se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 23 Anomalías de precipitaciones por Demarcaciones Hidrográficas.

Descripción	Período	▪ Aportación (%) para el RCP 4.5			▪ Aportación (%) para el RCP 8.5		
		Min.	Med.	Max.	Min.	Med.	Max.
D.H. Cantábrico Oriental	2010-2040	-14,2	-2,0	15,2	-15,8	-6,7	8,4
	2040-2070	-20,6	-14,8	-9,8	-28,0	-16,4	-7,3
	2070-2100	-23,1	-15,8	-5,9	-44,1	-33,1	-20,4
D.H. Ebro	2010-2040	-22,1	-4,5	13,7	-16,3	-9,3	5,1
	2040-2070	-26,4	-19,0	-11,2	-35,1	-22,0	-6,0
	2070-2100	-32,8	-20,2	-12,4	-54,3	-40,8	-27,1

- En términos generales, las anomalías obtenidas en los dos escenarios estudiados son negativas. En la **vertiente mediterránea**, se obtiene una anomalía negativa **de -4,5%** en el periodo **2010-2040** para el escenario **RCP 4.5**. En el escenario de altas emisiones **RCP 8.5 la anomalía** para este mismo periodo es de **-9,3%. En la vertiente cantábrica**, se obtienen unas anomalías algo más reducidas. En el periodo de impacto 2010-2040, las anomalías obtenidas para la media del conjunto de los modelos son de **-2,0% en el escenario RCP 4.5** y **-6,7% en el escenario RCP 8.5**.

- En el periodo de impacto **2040-2070** se obtiene un impacto para el escenario 4.5 de -**19% en la vertiente mediterránea** y -**14,8% en la cantábrica**. Para el **escenario 8.5** estos valores se ven incrementados obteniéndose valores de impacto de -**22,0%** en la vertiente mediterránea y -**16,4%** en la cantábrica.

- En periodo **2070-2100 en el escenario 4.5** el impacto es de -**20,2% en la vertiente mediterránea** y -**15,8% en la cantábrica**. En el **escenario 8.5** este impacto se agrava notablemente alcanzando valores para la media del conjunto de modelos de -**40,8% en la vertiente mediterránea y -33,1% en la vertiente cantábrica.**

Por último, se ha estudiado el comportamiento de los eventos extremos en las series climáticas proyectadas obteniendo en el caso de la evolución de las sequías lo siguiente:

- En el escenario RCP 4.5 y 8.5 **se aprecia un aumento considerable de las sequías** , ya sea en su número o duración, a medida que se progresa en el periodo de proyección
- . Destaca especialmente en el escenario 4.5 como el mayor número de sequías se produce en el periodo de impacto 2040-2070, contabilizándose 9 sequías en la vertiente mediterránea y 8 en la cantábrica.
- **La duración media de las sequías es sensiblemente más importante en el último periodo de impacto analizado**, 21 meses en la vertiente mediterránea y 29 meses en la cantábrica.
- En **el escenario 8.5 la situación descrita anteriormente se ve agudizada y el resultado se ve condicionado por la fuerte pendiente que presenta el indicador** en este escenario, hecho que provoca que no se contabilicen sequías al inicio de la serie.

Y para las precipitaciones máximas

- Los modelos que presentan un mejor comportamiento estadístico con relación a los máximos diarios anuales son los modelos de rejilla Cordex, C01, C02 y C03, los modelos puntuales no presentan una adecuada variabilidad interdiaria, impidiendo, por tanto, su utilización en el cálculo de los cuantiles.
- Se puede apreciar en el escenario **RCP 4.5 como existe una sensible tendencia a la reducción de los cuantiles en la vertiente cantábrica**. En la **vertiente mediterránea existe un aumento y una disminución de los cuantiles** a lo largo del tiempo sin apreciar un patrón de comportamiento claro.
- En el escenario 8.5, se distinguen dos patrones claramente definidos, en la **vertiente cantábrica se aprecia una sensible reducción de los cuantiles** que se va reduciendo a lo largo del tiempo. **En la vertiente mediterránea se aprecia un aumento de los cuantiles en todos los periodos,** aunque no se distingue una tendencia a lo largo del tiempo.
- **Los resultados y conclusiones obtenidas hay que tomarlos con suma prudencia ya que están sujetos a una gran incertidumbre** que emana tano de la propia distribución de frecuencia seleccionada, de la longitud de la serie escogida, que para los periodos de retorno de baja recurrencia puede ser corta. Además, hay que tener en consideración que la variabilidad interdiaria en modelos climáticos regionales suele ser poco representativa.

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.

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, 320. Retrieved from http://publicacionesoficiales.boe.es/escase

García Vera, M. A., & Abaurrea León, J. (2012). Evolución de la temperatura y la precipitación en la cuenca del Ebro, 143.

Garijo, C., & Mediero, L. (2019). Assessment of Changes in Annual Maximum Precipitations in the Iberian Peninsula under Climate Change.

Gobierno de Navarra. (2017). Actualización del Banco de datos hidrológico para el periodo 2007-2015.

GWP, & WMO. (2016). *Manual de indicadores e índices de sequía (M. Svoboda y B.A. Fuchs). Programa de gestión integrada de sequías, Serie 2 de herramientas y directrices para la gestión integrada de sequías.*

Kendall, M. G. (1956). Rank Correlation Methods. *British Journal of Statistical Psychology*, *9*(1), 68–68. https://doi.org/10.1111/j.2044-8317.1956.tb00172.x

López, V. (2007). Análisis de las tendencias de las temperaturas y de la precipitación , en la Navarra mediterránea , durante el periodo 1977-2006 Introducción y objetivos Material y método, (1998), 131–134. Retrieved from http://dadun.unav.edu/bitstream/10171/20258/1/2009.12.pdf

Mckee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). *THE RELATIONSHIP OF DROUGHT FREQUENCY AND DURATION TO TIME SCALES*. *Eighth Conference on Applied Climatology*.

NASUVINSA, 2020. *Estudio de Variabilidad Climática. Áreas de intervención para la gestión adaptativa del paisaje y medio construido en Navarra*

Organizacion Meteorológica Mundial - OMM. (2012). *Índice normalizado de precipitación - Guía del usuario*.

Oria, P. (2016). *Evolución de indicadores climáticos en Navarra*.

Pejenaute, J. (1998). Evolución de las temperaturas medias recientes en Navarra. *Espacio, Tiempo y Forma. Serie VI, Geografía*, (11), 31–58.

https://doi.org/10.5944/etfvi.11.1998.2558

Polo, J. F., & López, L. A. (1994). Análisis estadístico de las series anuales de máximas lluvias diarias en España. *Revista Digital Del Cedex*, *0*(95 SE-Artículos). Retrieved from http://ingenieriacivil.cedex.es/index.php/ingenieria-civil/article/view/1008

Sen, P. K. (1968). *Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau*. *Journal of the American Statistical Association* (Vol. 63).

SMC. (2017). *Butlletí anual d'indicadors climàtics any 2017*

Svensson, C., & Jones, D. A. (2010, December 1). Review of rainfall frequency estimation methods. *Journal of Flood Risk Management*. John Wiley & Sons, Ltd. https://doi.org/10.1111/j.1753-318X.2010.01079.x