



Annex A. C.2.7.a:

ESTUDIO DE EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DERIVADOS DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO BASADOS EN LOS MODELOS DEL IPPC [AR5]. TENDENCIAS ACTUALES.

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

Coordinator:

Partners:

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

Autoría:

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

Referencia recomendada a efectos bibliográficos:

Gestión Ambiental de Navarra - Nafarroako Ingurumen Kudeaketa [GAN-NIK S.A.]. INCLAM. [2021]. Estudio de evaluación de los recursos hídricos derivados de escenarios de cambio climático basados en los modelos del IPPC [AR5]. Documento a. Tendencias actuales. 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.a., 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.....	2
3.	ÁMBITO.....	2
4.	Datos climáticos: análisis y tratamiento	5
4.1	Tratamiento de los datos de Temperatura máxima y mínima original	5
4.2	Contraste de la temperatura máxima y mínima	7
4.3	Existencias de los datos de temperatura.....	8
4.4	Existencias de los datos de precipitación.....	10
4.5	Proceso de relleno de la Temperatura máxima y mínima.....	12
5.	Análisis de tendencia de las principales variables climáticas.....	13
5.1	Estaciones básicas meteorológicas.....	13
5.2	Temperatura	17
5.2.1	Temperatura máxima.....	19
5.2.2	Temperatura mínima.....	26
5.2.3	Temperatura media	35
5.3	Precipitación.....	45
6.	Análisis de tendencia de las aportaciones.....	56
7.	Análisis y evolución de fenómenos extremos.....	72
7.1	Precipitaciones máximas	72
7.1.1	Resultados obtenidos para el primer periodo [1940-1970].....	73
7.1.2	Resultados obtenidos para el segundo periodo [1970-2000].....	74
7.1.3	Resultados obtenidos para el tercer periodo [1985-2015].....	75
7.2	Precipitaciones mínimas, análisis de sequías	76
8.	Síntesis y Conclusiones-.....	84

9. Referencias	86
----------------------	----

Tables

Tabla 1 Superficie y número de subcuencas que integran cada una de las cuencas principales del ámbito de estudio.	3
Tabla 3 Casuísticas sobre la disponibilidad de datos de Tmax, Tmin y Tmed.....	8
Tabla 3 Localización de las estaciones básicas de precipitación y temperatura.	13
Tabla 4 Tendencias obtenidas de las temperaturas máximas 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 marcan en color rojo aquellas tendencias que no cumplen con el requerimiento de significancia.	20
Tabla 5 Tendencias obtenidas en las temperaturas mínimas 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 marcan en color rojo aquellas tendencias que no cumplen con este requerimiento de significancia.	27
Tabla 6 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. ...	37
Tabla 7 Tendencias obtenidas de las temperaturas medias para las precipitaciones acumuladas 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.....	46
Tabla 8 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.	57

Tabla 9 Variación de los cuantiles (ΔT) del periodo 1940-1970 respecto el periodo de control 1940-2015	73
Tabla 10 Variación de los cuantiles (ΔT) del periodo 1970-2000 respecto el periodo de control 1940-2015	74
Tabla 11 Variación de los cuantiles (ΔT) del periodo 1985-2015 respecto el periodo de control 1940-2015	75
Tabla 12 Categorías de sequía obtenidas después de realizar el análisis de las estaciones de Colorado en los Estados Unidos. Fuente: [Mckee et al., 1993]	77
Tabla 13 Contabilización de las sequías severas a partir del índice SPI	79
Tabla 14 Contabilización de las sequías extremas a partir del índice SPI	81
Tabla 15 media del número de sequías extremas y severas, y su correspondiente duración..	83

Figures

Figura 1 Cuencas hidrográficas principales en el ámbito de estudio. Fuente: Gobierno de Navarra, 2017	4
Figura 2 Ejemplo de formato original de datos diarios de temperatura máxima procedentes del Gobierno de Navarra. En filas se distribuye el año-mes y en columnas los días. Las unidades de temperatura se expresan en décimas de °C.	6
Figura 3 Ejemplo de formato asociado a datos diarios de temperatura máxima y mínima suministrado por el Gobierno de Navarra.	6
Figura 4 Ejemplo de formato asociado a datos diarios de temperatura máxima, mínima y media suministrado por AEMET. Las unidades de temperatura se expresan en décimas de °C.....	7
Figura 5 Distribución de series de temperatura diaria completas en las 150 estaciones estudiadas	9
Figura 6 Existencias de los datos de temperatura en la red básica de estaciones meteorológicas, establecida durante el estudio previo [Gobierno de Navarra, 2017].....	10
Figura 7 Distribución de series diarias de precipitación completas en las 183 estaciones estudiadas	11

Figura 8 Existencias de los datos de precipitación en la red básica de estaciones meteorológicas, establecida durante el estudio previo [Gobierno de Navarra, 2017].....	12
Figura 9 Localización de las estaciones meteorológicas que componen la red básica.....	17
Figura 10 Tendencias para las temperaturas máximas en °C/decenio para las estaciones pertenecientes a la red básica	21
Figura 11 Tendencia de los datos mensuales de temperatura máxima en la estación 1006-Santesteban para el período 1940-2015. La línea de evolución muestra la media móvil a 12 meses.....	22
Figura 13 Anomalía anual de la temperatura máxima en la estación 1006-Santesteban, considerando como período de control la temperatura media entre los años 1961 y 1990....	23
Figura 14 Tendencia de los datos mensuales de temperatura máxima en la estación 9198-Canfranc. La línea de evolución muestra la media móvil a 12 meses.....	23
Figura 15 Anomalía anual de la temperatura máxima en la estación 9198-Canfranc, considerando como período de control la temperatura media entre los años 1961 y 1990....	24
Figura 15 Tendencia de los datos mensuales de temperatura máxima en la estación 9262-Pamplona. La línea de evolución muestra la media móvil a 12 meses.....	25
Figura 16 Anomalía anual de la temperatura máxima en la estación 9262-Pamplona, considerando como período de control la temperatura media entre los años 1961 y 1990....	25
Figura 17 Tendencia de los datos mensuales de temperatura máxima en la estación 9301-Monteagudo. La línea de evolución muestra la media móvil a 12 meses	26
Figura 18 Anomalía anual de la temperatura máxima en la estación 9301-Monteagudo, considerando como período de control la temperatura media entre los años 1961 y 1990....	26
Figura 19 Tendencias para las temperaturas mínimas en °C/decenio para cada una de las estaciones perteneciente a la red básica.....	30
Figura 20 Tendencia de los datos mensuales de temperatura mínima en la estación 1006-Santesteban. La línea de evolución muestra la media móvil a 12 meses, la tendencia está calculada en el período 1940-2015.....	30
Figura 21 Anomalía anual de la temperatura mínima en la estación 1006-Santesteban, considerando como período de control la temperatura media entre los años 1961 y 1990....	31

Figura 22 Tendencia de los datos mensuales de temperatura mínima en la estación 9198-Canfranc. La línea de evolución muestra la media móvil a 12 meses, la tendencia está calculada en el período 1940-2015.....	32
Figura 24 Anomalía anual de la temperatura mínima en la estación 9198-Canfranc, considerando como período de control la temperatura media entre los años 1961 y 1990....	32
Figura 24 Tendencia de los datos mensuales de temperatura mínima en la estación 9262-Pamplona. La línea de evolución muestra la media móvil a 12 meses, la tendencia está calculada en el período 1940-2015.....	33
Figura 25 Anomalía anual de la temperatura mínima en la estación 9262-Pamplona, considerando como período de control la temperatura media entre los años 1961 y 1990....	33
Figura 26 Tendencia de los datos mensuales de temperatura mínima en la estación 9301-Montegudo. La línea de evolución muestra la media móvil a 12 meses, la tendencia está calculada en el período 1940-2015.....	34
Figura 27 Anomalía anual de la temperatura mínima en la estación 9301-Monteagudo, considerando como período de control la temperatura media entre los años 1961 y 1990....	35
Figura 28 Tendencias para las temperaturas medias en °C/decenio para cada una de las estaciones perteneciente a la red básica.....	39
Figura 29 Tendencia de los datos mensuales de temperatura media en la estación 1006-Santesteban. La línea de evolución muestra la media móvil a 12 meses, la tendencia está calculada en el período 1940-2015.....	40
Figura 30 Anomalía anual de la temperatura media en la estación 1006-Santesteban, considerando como período de control la temperatura media entre los años 1961 y 1990....	40
Figura 31 Tendencia de los datos mensuales de temperatura media en la estación 9198-Canfranc. La línea de evolución muestra la media móvil a 12 meses, la tendencia está calculada en el período 1940-2015.....	41
Figura 32 Anomalía anual de la temperatura media en la estación 9198-Canfranc, considerando como período de control la temperatura media entre los años 1961 y 1990....	41
Figura 33 Tendencia de los datos mensuales de temperatura media en la estación 9262-Pamplona. La línea de evolución muestra la media móvil a 12 meses, la tendencia está calculada en el período 1940-2015.....	42
Figura 34 Anomalía anual de la temperatura media en la estación 9262-Pamplona, considerando como período de control la temperatura media entre los años 1961 y 1990....	42

Figura 35 Tendencia de los datos mensuales de temperatura media en la estación 9301-Montegudo. La línea de evolución muestra la media móvil a 12 meses, la tendencia está calculada en el período 1940-2015.....	43
Figura 36 Anomalía anual de la temperatura media en la estación 9301-Monteagudo, considerando como período de control la temperatura media entre los años 1961 y 1990....	43
Figura 37 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.....	50
Figura 38 Tendencia de los datos mensuales de precipitación en la estación 1060-Santesteban. La línea de evolución muestra la media móvil a 12 meses, la tendencia está calculada en el período 1940-2015.....	51
Figura 39 Anomalía anual de la precipitación anual en % de variación respecto el período de control, considerando este período la precipitación media entre los años 1961 y 1990	52
Figura 40 Tendencia de los datos mensuales de precipitación en la estación 9198-Canfranc. La línea de evolución muestra la media móvil a 12 meses, la tendencia está calculada en el período 1940-2015.....	52
Figura 41 Anomalía anual de la precipitación anual en % de variación respecto el período de control, considerando este período la precipitación media entre los años 1961 y 1990	53
Figura 42 Tendencia de los datos mensuales de precipitación en la estación 9262-Pamplona. La línea de evolución muestra la media móvil a 12 meses, la tendencia está calculada en el período 1940-2015.....	54
Figura 43 Anomalía anual de la precipitación anual en % de variación respecto el período de control, considerando este período la precipitación media entre los años 1961 y 1990	54
Figura 44 Tendencia de los datos mensuales de precipitación en la estación 9301-Monteagudo. La línea de evolución muestra la media móvil a 12 meses, la tendencia está calculada en el período 1940-2015.....	55
Figura 45 Anomalía anual de la precipitación anual en % de variación respecto el período de control, considerando este período la precipitación media entre los años 1961 y 1990	55
Figura 46 Localización de los principales puntos de interés donde estudiar la evolución de las aportaciones	58
Figura 47 Tendencias para las aportaciones en %/decenio para las estaciones pertenecientes a la red básica.....	59

Figura 48 Tendencia de los datos mensuales de aportación en la estación 3300D [Ega completo]. La línea de evolución muestra la media móvil a 12 meses, la tendencia está calculada en el período 1940-2015.....	61
Figura 49 Anomalía anual de la aportación anual en % de variación respecto el período de control, considerando este período la aportación media entre los años 1961 y 1990	61
Figura 50 Tendencia de los datos mensuales de aportación en la estación 4600C [Arga en Funes]. La línea de evolución muestra la media móvil a 12 meses, la tendencia está calculada en el período 1940-2015.....	62
Figura 51 Anomalía anual de la aportación anual en % de variación respecto el período de control, considerando este período la aportación media entre los años 1961 y 1990	63
Figura 52 Tendencia de los datos mensuales de aportación en la estación 5500F [Aragón en Caparroso]. La línea de evolución muestra la media móvil a 12 meses, la tendencia está calculada en el período 1940-2015.....	64
Figura 53 Anomalía anual de la aportación anual en % de variación respecto el período de control, considerando este período la aportación media entre los años 1961 y 1990	64
Figura 54 Tendencia de los datos mensuales de aportación en la estación 6000A [Alhama completo]. La línea de evolución muestra la media móvil a 12 meses, la tendencia está calculada en el período 1940-2015.....	65
Figura 55 Anomalía anual de la aportación anual en % de variación respecto el período de control, considerando este período la aportación media entre los años 1961 y 1990	66
Figura 56 Tendencia de los datos mensuales de aportación en la estación 7000B [Queiles completo]. La línea de evolución muestra la media móvil a 12 meses, la tendencia está calculada en el período 1940-2015.....	67
Figura 57 Anomalía anual de la aportación anual en % de variación respecto el período de control, considerando este período la aportación media entre los años 1961 y 1990	67
Figura 58 Tendencia de los datos mensuales de aportación en la estación 2000A [Linares completo]. La línea de evolución muestra la media móvil a 12 meses, la tendencia está calculada en el período 1940-2015.....	68
Figura 59 Anomalía anual de la aportación anual en % de variación respecto el período de control, considerando este período la aportación media entre los años 1961 y 1990	69
Figura 60 Tendencia de los datos mensuales de aportación en la estación 9400K [Bidasoa en Endarlatza]. La línea de evolución muestra la media móvil a 12 meses, la tendencia está calculada en el período 1940-2015.....	70

Figura 61 Anomalía anual de la aportación anual en % de variación respecto el período de control, considerando este período la aportación media entre los años 1961 y 1990	70
Figura 62 Tendencia de los datos mensuales de aportación en la estación 9520D (Urumea en embalse de Añarbe). La línea de evolución muestra la media móvil a 12 meses, la tendencia está calculada en el período 1940-2015.....	71
Figura 63 Anomalía anual de la aportación anual en % de variación respecto el período de control, considerando este período la aportación media entre los años 1961 y 1990	71
Figura 64 Evolución del índice SPI a 12 meses en la estación 1006-Santesteban	77
Figura 65 Evolución del índice SPI a 12 meses en la estación 9290-Fitero	78

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] en su parte de adaptación.

Dentro de este contexto se enmarca el “Estudio de evaluación de los recursos hídricos derivados de escenarios de cambio climático basados en los modelos del IPPC [AR5]”, el cual se desarrolla en tres fases diferentes:

La primera se centra en la evaluación de los datos climáticos almacenados en el Banco de Datos Hidrológicos de Navarra [BDH], cuya última actualización se desarrolló durante el año 2017, completando las series climáticas hasta el año 2015. En esta primera fase se analizan las tendencias de las principales variables climáticas y los recursos hídricos en régimen natural, además se estudia la evolución de los eventos extremos sequías e inundaciones y se comparan los resultados con diferentes estudios antecedentes. Este proceso busca tener una adecuada base que permita desarrollar las siguientes fases del estudio.

En la segunda fase se realiza la selección de modelos climáticos mediante la comparación estadística entre los datos registrados y almacenados en el BDH, y los existentes en modelos climáticos globales.

En la tercera fase se estudia la proyección futura de los recursos hídricos y de los eventos extremos a través de la modelación hidrológica que se realiza utilizando los datos climáticos seleccionados en la anterior fase.

En este documento se desarrolla la primera fase del estudio, donde, tal y como se ha explicado anteriormente, se pone en especial énfasis en estudiar los datos registrados en el BDH, completando las variables climáticas mediante el registro en dicho banco de la temperatura máxima y mínima.

2. OBJETIVOS

El objetivo de esta parte del estudio consiste en evaluar los datos climáticos que fueron utilizados para el cálculo de los recursos en régimen natural elaborado por el Gobierno de Navarra en el año 2017 [Gobierno de Navarra, 2017], con el fin de detectar tendencias significativas en las principales variables climáticas, temperatura y precipitación, evaluando a su vez cómo estas tendencias afectan a los recursos hídricos en régimen natural.

Adicionalmente se realiza un estudio de los valores extremos de precipitación para poder identificar tendencias en la recurrencia de estos episodios, evaluando la frecuencia histórica de aparición de sequías meteorológicas y episodios de lluvias torrenciales.

La delimitación del ámbito objeto de este trabajo se corresponde con el del estudio de recursos hídricos realizado en 2015 [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. En la Tabla 1 se pueden consultar las cuencas principales que drenan la comunidad de Navarra

3. ÁMBITO

La delimitación del ámbito objeto de este trabajo se corresponde con el del estudio de recursos hídricos realizado en 2015 [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. 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	5.534	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. Datos climáticos: análisis y tratamiento

Como paso previo a la realización del estudio de tendencia y evolución de las principales variables climáticas que intervienen en los procesos hidrológicos en Navarra, se ha realizado un análisis de los datos climáticos almacenados en el Banco de datos Hidrológico (BDH) que se consideraron en el marco del estudio de Actualización del BDH para el periodo 2007-2015 [Gobierno de Navarra, 2017].

En este estudio se almacenaron las principales variables climáticas como Temperatura Media diaria y Precipitación diaria, incorporadas directamente de los datos proporcionados por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), de las estaciones automáticas del Gobierno de Navarra y de las estaciones automáticas del SAIH del Ebro. Dichas series climáticas fueron sometidas a un proceso de análisis previo, selección y depuración, tras el cual, se realizó un tratamiento estadístico que tuvo como objetivo el relleno de los datos faltantes de las series analizadas. A raíz del mencionado tratamiento, en el BDH se dispone de datos en continuo tanto de temperatura media diaria, mensual y decenal como de precipitación acumulada diaria, mensual y decenal para el conjunto de estaciones meteorológicas. El tratamiento completo realizado y el resultado de las series se puede consultar en el estudio anterior [Gobierno de Navarra, 2017].

En el estudio anteriormente citado no se llegaron a almacenar los datos referentes a las temperaturas máximas diarias y las temperaturas mínimas diarias, datos que tienen un especial interés para conocer las tendencias climáticas generales en el ámbito de Navarra.

Por este motivo se ha procedido a recopilar, importar y rellenar los datos referentes a estas dos variables climáticas: temperaturas máximas y mínimas diarias. A continuación, se realiza una descripción del tratamiento realizado con estas variables.

4.1 Tratamiento de los datos de Temperatura máxima y mínima original

La información de Temperatura máxima y mínima procede de tres fuentes distintas cuyos formatos varían entre sí, lo cual ha obligado a desarrollar pequeños programas, en particular 3 *scripts* distintos, para importar estos datos al BDH.

A continuación, se muestran algunos ejemplos de los formatos asociados a los datos que han sido sometidos a un tratamiento previo a su importación:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	INDICA	AÑO	MES	NOMBRE	ALTITUD	NOM_PR	LONGITUD	LATITUD	TMAX1	TMAX2	TMAX3	TMAX4	TMAX5	TMAX6	TMAX7	TMAX8	TMAX9
2	9121	1936	7	HARO	479	LA RIOJA	251072	423430	270	250	230	260	330	320	300	290	290
3	9121	1936	8	HARO	479	LA RIOJA	251072	423430	210	250	260	240	220	230	280	260	320
4	9121	1936	9	HARO	479	LA RIOJA	251072	423430	350	330	330	320	290	290	270	280	240
5	9121	1936	10	HARO	479	LA RIOJA	251072	423430	160	200	240	250	220	180	160	150	160
6	9121	1936	11	HARO	479	LA RIOJA	251072	423430	140	130	110	140	130	140	150	160	160
7	9121	1936	12	HARO	479	LA RIOJA	251072	423430	100	120	110	100	110	100	100	100	90
8	9121	1937	1	HARO	479	LA RIOJA	251072	423430	90	100	110	120	110	100	110	100	120
9	9121	1937	2	HARO	479	LA RIOJA	251072	423430	130	130	120	110	130	170	160	150	140
10	9121	1937	3	HARO	479	LA RIOJA	251072	423430	110	100	110	110	120	110	120	150	150
11	9121	1940	1	HARO	479	LA RIOJA	251072	423430	60	70	100	120	130	140	160	150	110
12	9121	1940	2	HARO	479	LA RIOJA	251072	423430	110	120	100	110	120	110	100	130	120
13	9121	1940	3	HARO	479	LA RIOJA	251072	423430	130	150	180	190	170	160	140	120	140
14	9121	1940	4	HARO	479	LA RIOJA	251072	423430	220	210	180	190	180	170	150	140	120
15	9121	1940	5	HARO	479	LA RIOJA	251072	423430	150	140	100	140	140	200	230	250	220
16	9121	1940	8	HARO	479	LA RIOJA	251072	423430	340	270	250	300	340	330	300	270	290
17	9121	1940	9	HARO	479	LA RIOJA	251072	423430	250	350	310	310	290	280	250	290	250
18	9121	1940	10	HARO	479	LA RIOJA	251072	423430	160	120	100	120	190	240	230	280	240
19	9121	1940	11	HARO	479	LA RIOJA	251072	423430	170	200	170	190	190	190	160	140	140

Figura 2 Ejemplo de formato original de datos diarios de temperatura máxima procedentes del Gobierno de Navarra. En filas se distribuye el año-mes y en columnas los días. Las unidades de temperatura se expresan en décimas de °C.

Todos los objet...		ESTACION	FECHA	TMAX	TMIN
Tablas CLIMA_DIARIA CODIGOS Manuales para RH pluvio Manuales para RH termo T_Navarra Consultas Módulos		Zugarramurdi	01/10/2007	27,5	16
		Zugarramurdi	02/10/2007	26	18,2
		Zugarramurdi	03/10/2007	21	15,6
		Zugarramurdi	04/10/2007	25	15
		Zugarramurdi	05/10/2007	22,5	15,4
		Zugarramurdi	06/10/2007	20	15,8
		Zugarramurdi	07/10/2007	20,7	15
		Zugarramurdi	08/10/2007	18,8	15,5
		Zugarramurdi	09/10/2007	18	14,6
		Zugarramurdi	10/10/2007	17	12
		Zugarramurdi	11/10/2007	17	10,6
		Zugarramurdi	12/10/2007	19	11
		Zugarramurdi	13/10/2007	19,3	8,5
		Zugarramurdi	14/10/2007	25	9
		Zugarramurdi	15/10/2007	25,2	11
		Zugarramurdi	16/10/2007	24	11

Figura 3 Ejemplo de formato asociado a datos diarios de temperatura máxima y mínima suministrado por el Gobierno de Navarra.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1			GOBIERNO DE ESPAÑA	MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE											
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10	INDICATIV	AÑO	MES	DIA	NOMBRE	ALTITUD	C_X	C_Y	NOM_PRC	LONGITUD	LATITUD	DATUM	TMAX	TMIN	TMED
11	2296A	2009	7	23	ÓLVEGA-CAMINO VEGAFRÍA	1039	585048	4625363	SORIA	158362	414632	ETRS89	290	141	216
12	2296A	2009	7	24	ÓLVEGA-CAMINO VEGAFRÍA	1039	585048	4625363	SORIA	158362	414632	ETRS89	281	120	200
13	2296A	2009	7	25	ÓLVEGA-CAMINO VEGAFRÍA	1039	585048	4625363	SORIA	158362	414632	ETRS89	288	122	205
14	2296A	2009	7	26	ÓLVEGA-CAMINO VEGAFRÍA	1039	585048	4625363	SORIA	158362	414632	ETRS89	355	119	237
15	2296A	2009	7	27	ÓLVEGA-CAMINO VEGAFRÍA	1039	585048	4625363	SORIA	158362	414632	ETRS89	282	127	204
16	2296A	2009	7	28	ÓLVEGA-CAMINO VEGAFRÍA	1039	585048	4625363	SORIA	158362	414632	ETRS89	331	95	213
17	2296A	2009	7	29	ÓLVEGA-CAMINO VEGAFRÍA	1039	585048	4625363	SORIA	158362	414632	ETRS89	322	142	232
18	2296A	2009	7	30	ÓLVEGA-CAMINO VEGAFRÍA	1039	585048	4625363	SORIA	158362	414632	ETRS89	273	114	194
19	2296A	2009	7	31	ÓLVEGA-CAMINO VEGAFRÍA	1039	585048	4625363	SORIA	158362	414632	ETRS89	341	110	226
20	2296A	2009	8	1	ÓLVEGA-CAMINO VEGAFRÍA	1039	585048	4625363	SORIA	158362	414632	ETRS89	287	117	202
21	2296A	2009	8	2	ÓLVEGA-CAMINO VEGAFRÍA	1039	585048	4625363	SORIA	158362	414632	ETRS89	262	102	182
22	2296A	2009	8	3	ÓLVEGA-CAMINO VEGAFRÍA	1039	585048	4625363	SORIA	158362	414632	ETRS89	267	126	196
23	2296A	2009	8	4	ÓLVEGA-CAMINO VEGAFRÍA	1039	585048	4625363	SORIA	158362	414632	ETRS89	326	115	220
24	2296A	2009	8	5	ÓLVEGA-CAMINO VEGAFRÍA	1039	585048	4625363	SORIA	158362	414632	ETRS89	337	147	242
25	2296A	2009	8	6	ÓLVEGA-CAMINO VEGAFRÍA	1039	585048	4625363	SORIA	158362	414632	ETRS89	295	128	212
26	2296A	2009	8	7	ÓLVEGA-CAMINO VEGAFRÍA	1039	585048	4625363	SORIA	158362	414632	ETRS89	223	125	174
27	2296A	2009	8	8	ÓLVEGA-CAMINO VEGAFRÍA	1039	585048	4625363	SORIA	158362	414632	ETRS89	230	125	178
28	2296A	2009	8	9	ÓLVEGA-CAMINO VEGAFRÍA	1039	585048	4625363	SORIA	158362	414632	ETRS89	182	119	150
29	2296A	2009	8	10	ÓLVEGA-CAMINO VEGAFRÍA	1039	585048	4625363	SORIA	158362	414632	ETRS89	243	107	175

Figura 4 Ejemplo de formato asociado a datos diarios de temperatura máxima, mínima y media suministrado por AEMET. Las unidades de temperatura se expresan en décimas de °C.

4.2 Contraste de la temperatura máxima y mínima

Los datos de temperatura máxima y mínima procedentes de las tres fuentes mencionadas, una vez integrados en el BDH mediante la aplicación del correspondiente script, se han sometido a un análisis de calidad verificando para ello la correspondencia entre éstos y los datos de temperatura media almacenados en el BDH [Gobierno de Navarra, 2017].

Para comprobar dicha correspondencia se ha procedido a calcular nuevamente la temperatura media [Tmed] en base a la temperatura máxima [Tmax] y mínima [Tmin] existente, comprobando que el dato resultante es igual al almacenado en el BDH.

Tras el análisis efectuado, se observa que, como es lógico suponer, la mayor parte de la información importada en el presente estudio es coherente con la almacenada en el BDH. Únicamente se observan algunas discrepancias según la disponibilidad del dato:

Tabla 2 Casuísticas sobre la disponibilidad de datos de Tmax, Tmin y Tmed.

Casuística	Tmax y Tmin diaria (BDH)	Tmed diaria (BDH)	Descripción
1	✓	✓	Se dispone de dato almacenado en el BDH tanto de temperatura media diaria como de temperatura máxima y mínima.
2		✓	Se dispone de dato almacenado en el BDH de temperatura media diaria pero no se dispone de temperatura máxima o mínima.
3	✓		Se dispone de dato de temperatura máxima y mínima pero no existe el dato de temperatura media almacenado en el BDH

■ Dentro de la primera casuística [1], se comprueba que el valor de temperatura media obtenido a partir de la temperatura máxima y mínima difiere respecto del valor de temperatura media almacenado en el BDH únicamente en un 0,5% de los datos almacenados.

■ En relación a la segunda tipología [2], se obtiene un total de 796 registros representando un 0,8% del conjunto de registros de Tmed diaria almacenados en el BDH.

■ En relación a la tercera tipología [3], se obtienen 102 registros que en este caso representan un 0,01% de los registros existentes de Tmax y Tmin diaria almacenados en el BDH.

Tal y como se puede apreciar existe un leve aumento de casos anómalos en la segunda casuística, debido probablemente a que la procedencia del dato de temperatura media no estaba ligada al cálculo entre la temperatura media y máxima. Y fueron adquiridas en su momento directamente como temperatura media.

Por tanto, se puede concluir que los datos almacenados en el BDH y los introducidos en este estudio referentes a la temperatura máxima y mínima son coherentes entre sí.

El resultado de este análisis está almacenado en una base de datos donde se pueden comprobar cada una de estas diferencias individualmente.

4.3 Existencias de los datos de temperatura

En relación a las existencias de las series de temperatura máxima y mínima se dispone de un total de 150 estaciones que corresponden únicamente a aquellas estaciones que fueron seleccionadas en el estudio del año 2017. Partiendo de estas estaciones se muestra en la figura 5 la distribución en percentiles de las series en base a los años completos en series,

donde el 25 % de las series presentan más de 34 años completos – respecto del periodo 1940-2015 que incluye 74 años-, y el 50 % de las series importadas tienen más de 27 años completos.

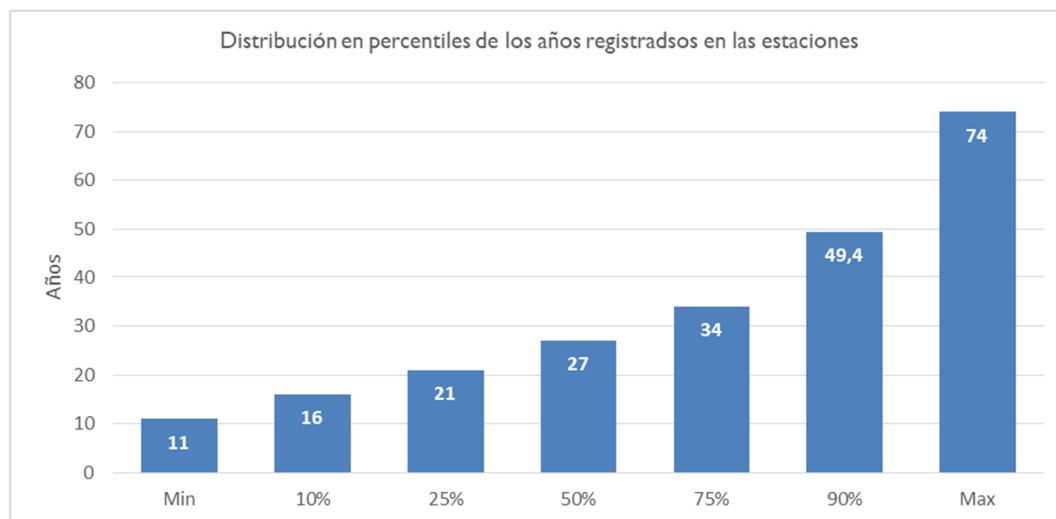


Figura 5 Distribución de series de temperatura diaria completas en las 150 estaciones estudiadas

En la siguiente figura se muestran las existencias de la denominada “red básica” de estaciones termométricas, constituida por las estaciones que disponen de series de temperatura de mayor calidad [mayor longitud de series y menor número de lagunas]. Dicha red fue establecida en el estudio previo y está integrada por un total de 29 estaciones distribuidas por la totalidad del área tal y como se puede observar en la figura 9.



Figura 6 Existencias de los datos de temperatura en la red básica de estaciones meteorológicas, establecida durante el estudio previo [Gobierno de Navarra, 2017]

4.4 Existencias de los datos de precipitación

En relación a las existencias de las series de precipitación, éstas son superiores a las de temperatura. De igual modo se dispone de un total de 183 estaciones que corresponden a aquellas estaciones que fueron seleccionadas en el estudio del año 2017. Partiendo de estas estaciones se muestra en la figura 7 la distribución en percentiles de las series en base a los años completos en la variable precipitación, donde el 25 % de las series presentan más de 40 años completos – respecto del periodo 1940-2015 que incluye 74 años-, y el 50 % de las series importadas tienen más de 31 años completos.

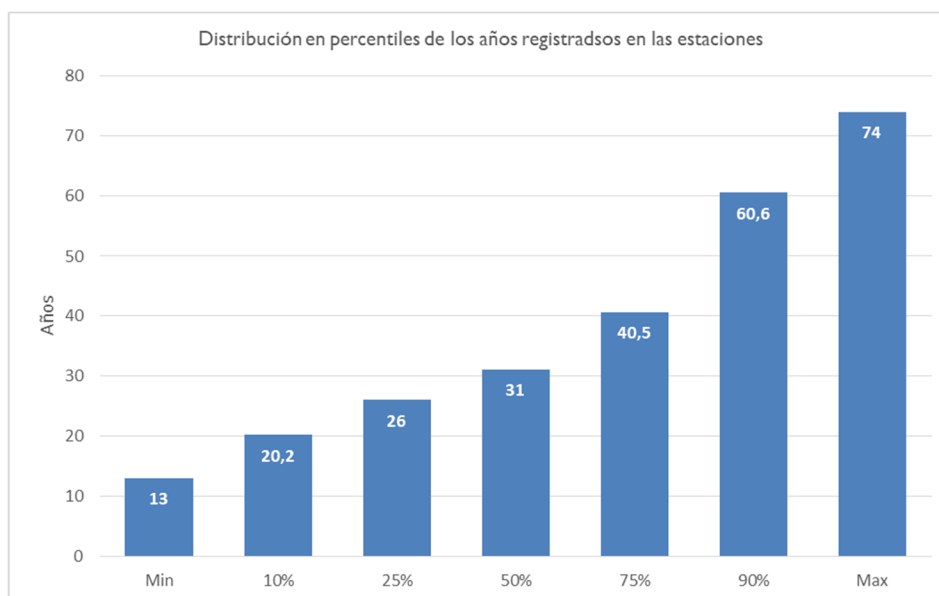


Figura 7 Distribución de series diarias de precipitación completas en las 183 estaciones estudiadas

En la siguiente figura se muestran las existencias de la denominada “red básica” de estaciones pluviométricas, constituida por las estaciones que disponen de series de precipitación de mayor calidad [mayor longitud de series y menor número de lagunas]. Dicha red fue establecida en el estudio previo y está integrada por un total de 40 estaciones distribuidas por la totalidad del área a estudiar, en la figura 9 se puede consultar la localización de estas estaciones.



Figura 8 Existencias de los datos de precipitación en la red básica de estaciones meteorológicas, establecida durante el estudio previo [Gobierno de Navarra, 2017]

4.5 Proceso de relleno de la Temperatura máxima y mínima

Para analizar la evolución de la temperatura máxima y mínima es preciso disponer de series completas en estas variables.

Se ha seguido el mismo procedimiento que fue utilizado en el estudio del Gobierno de Navarra del año 2017. Utilizando las series originales decenales de temperatura máxima y mínima, se han completado los datos faltantes durante el periodo 1940/41 a 2014/15 mediante el programa *Monthly Streamflow Simulation Computer Program* [MOSS IV] [CEIWR-HEC, 1971].

El programa MOSS-IV realiza un análisis de regresión múltiple en un conjunto de hasta 10 estaciones, calculando todos los coeficientes de correlación decenales entre estaciones utilizando tanto valores correspondientes a un mismo mes con el precedente, rellenando las lagunas existentes en la serie por medio de la resolución de unas ecuaciones de regresión que se plantean en función de los mencionados coeficientes de correlación, y a la que se le añade una componente aleatoria cuya importancia decrece conforme aumenta la correlación existente [Gobierno de Navarra, 2017].

El relleno de las series termométricas se ha realizado seleccionando el mismo conjunto de agrupaciones que fueron escogidas durante el estudio del año 2017, utilizando criterios de proximidad y de buena correlación entre estaciones [Gobierno de Navarra, 2017]. Los coeficientes de correlación entre series se pueden consultar en el Anejo 1. Se ha mantenido el mismo procedimiento consistente en rellenar las series en dos fases:

- Relleno de las estaciones básicas que disponen de datos de mayor calidad (mayor longitud de series y menor número de lagunas). Se ha seleccionado para ello un conjunto de estaciones distribuidas por la totalidad del área a estudiar. La relación de estaciones básicas y sus existencias se pueden consultar en la figura 5.
- Relleno de estaciones complementarias que disponen de datos de menor calidad y que en el proceso de relleno se han agrupado con, al menos, una estación perteneciente a la red básica.

A partir del procedimiento anterior se ha obtenido un conjunto de series diarias completas entre los años 1940/41 y 2014/15, las cuales se han agregado a nivel mensual para poder realizar los análisis de evolución y tendencia de las variables climáticas de temperatura y precipitación que se describen en los capítulos siguientes.

5. Análisis de tendencia de las principales variables climáticas

5.1 Estaciones básicas meteorológicas

El análisis de tendencias se ha llevado a cabo para las estaciones meteorológicas de la denominada “red básica”, establecida en el estudio de recursos del Gobierno de Navarra para la realización del proceso de relleno de las series de precipitación y temperatura. Para configurar dicha red, se seleccionaron las estaciones cuyas series pluviométricas y termométricas disponían de una mayor longitud a lo largo del periodo 1940-2015 y un menor número de lagunas.

Además de las estaciones más completas, las redes de estaciones básicas también cuentan con algunas estaciones que disponen de menor longitud de registros y que fueron seleccionadas en su día para completar los huecos de las estaciones de mayor calidad.

En la tabla siguiente se muestra la localización de las estaciones básicas de precipitación y temperatura.

Tabla 3 Localización de las estaciones básicas de precipitación y temperatura.

Estación	Nombre	CoordX	CoordY	CoordZ	PROVINCIA	PRT	TEMPE
1006	SANTESTEBAN	608006	4776347	140	NAVARRA	✓	✓
1014	FUENTERRABIA "AEROPUERTO"	598500	4801800	8	GUIPUZCOA	✓	✓
1021	ARTICUTZA	597828	4785343	313	NAVARRA	✓	✓
1024	SAN SEBASTIAN (ATEGORRIETA)	585094	4797220	8	GUIPUZCOA	✓	
1024E	SAN SEBASTIAN "IGUELDO"	577906	4795498	251	GUIPUZCOA	✓	✓
1029E	BETELU	583389	4764052	240	NAVARRA		✓
1031	ELDUAYEN	581170	4776808	256	GUIPUZCOA	✓	
1037	LEGAZPIA	554203	4767593	402	GUIPUZCOA	✓	
64092	BANCA	632322	4776251	256	FRANCIA	✓	
64274	IROULEGUY	638569	4782486	237	FRANCIA	✓	
9074C	ARRIOLA	549566	4751332	638	ALAVA	✓	
9121	HARO	512151	4713716	479	LA RIOJA		✓
9145	CENICERO "BODEGAS"	529064	4703401	437	LA RIOJA	✓	
9145A	CENICERO "INDUSTRIAL"	529406	4703465	430	LA RIOJA	✓	✓
9170	LOGROÑO "AGONCILLO"	555050	4700227	352	LA RIOJA	✓	✓
9174	SARTAGUDA	578006	4690967	311	NAVARRA	✓	✓
9175	LA GRAN VILLASVERDE "IB"	534009	4719340	756	ALAVA	✓	
9181	AYEGUI "IRACHE"	578123	4722658	520	NAVARRA		✓
9182I	ARRONIZ	574854	4715962	572	NAVARRA	✓	
9198	CANFRANC "LOS ARAÑONES"	703159	4735972	1160	HUESCA	✓	✓

Estación	Nombre	CoordX	CoordY	CoordZ	PROVINCIA	PRT	TEMPE
9199A	VILLANUA "CENTRAL ELECTRICA"	701874	4728524	950	HUESCA	√	
9200	BESCOS DE GARCIPOLLERA	704651	4722430	920	HUESCA	√	
9202	JACA	700783	4715834	800	HUESCA		√
9207	HECHO	684149	4734667	860	HUESCA	√	
9210	JAVIERREGAY	685858	4717610	690	HUESCA	√	
9215	ARTIEDA	665079	4718598	510	ZARAGOZA	√	√
9223	YESA "EMBALSE"	648424	4720121	487	NAVARRA	√	√
9236	ABAURREA ALTA	646741	4751939	1050	NAVARRA	√	√
9237I	ESPARZA DE SALAZAR	655507	4746774	695	NAVARRA		√
9246	CARCASTILLO "LA OLIVA"	626578	4692352	343	NAVARRA	√	√
9252	OLITE	610595	4705183	389	NAVARRA	√	√
9255	CAPARROSO	611091	4688644	303	NAVARRA	√	√
9256	MARCILLA "AZUCARERA"	604006	4686716	290	NAVARRA	√	
9257E	EUGUI "ESTERIBAR"	621043	4758827	617	NAVARRA	√	√
9262	PAMPLONA "OBSERVATORIO"	611513	4741549	453	NAVARRA	√	√
9262C	PAMPLONA "GRANJA"	609390	4741532	422	NAVARRA	√	√
9269	ALSASUA	567128	4749576	522	NAVARRA	√	√
9279	ALLOZ "EMBALSE"	586586	4728814	476	NAVARRA	√	√
9283	CADREITA	606476	4673781	268	NAVARRA		√

Estación	Nombre	CoordX	CoordY	CoordZ	PROVINCIA	PRT	TEMPE
9290	FITERO	594405	4656766	423	NAVARRA	✓	✓
9301	MONTEAGUDO	608615	4646240	415	NAVARRA	✓	✓
9305	BUÑUEL	629027	4648630	244	NAVARRA	✓	✓
9322	BIEL	669964	4695012	760	ZARAGOZA	✓	
9329	UNCASTILLO	653702	4691641	601	ZARAGOZA	✓	
9330	SADABA	642554	4682765	442	ZARAGOZA	✓	
9331F	EL BAYO	643341	4672228	360	ZARAGOZA		✓
9332	BIOTA "EL BAYO"	642721	4669994	345	ZARAGOZA	✓	

5.2 Temperatura

El objetivo de la prueba de Mann-Kendall [Mann 1945, Kendall 1975, Gilbert 1987] es evaluar estadísticamente la existencia de una tendencia monotónica ascendente o descendente de la variable de interés a lo largo del tiempo. Una tendencia monotónica ascendente o descendente significa que la variable aumenta o desciende constantemente a lo largo del tiempo, pero la tendencia puede o no ser lineal. La prueba Mann-Kendall puede emplearse como alternativa al

análisis de regresión lineal paramétrico, que puede utilizarse para probar si la pendiente de la línea de regresión lineal estimada es diferente de cero. Con posterioridad al test de Mann-Kendall, en este estudio, se ha realizado la estimación de Sen [Sen, 1968] para la obtención de la pendiente o tendencia.

La aplicación de estos tests se ha realizado mediante la utilización del paquete estadístico Trend, disponible en lenguaje R.

Esta metodología se ha aplicado a tres periodos temporales diferentes:

- el primer periodo, comprendido entre los años 1940 y 2015, ha sido definido con el objeto de poder observar la evolución de las distintas variables durante todo el período registrado en el BDH.
- el segundo periodo, comprendido entre los años 1954 y 2015, ha sido definido con el objeto de disponer de un periodo común con el estudio anterior sobre la *Evolución de Indicadores Climáticos en Navarra* [Oria, 2016], y de esta forma poder realizar análisis comparativos de los resultados. En cualquier caso, para la comparación entre diferentes estudios, se debe tener en consideración el hecho de haber empleado procedimientos diferentes para la reconstrucción de las series.
- se analiza un tercer periodo comprendido entre los años 1970 y 2015 donde la mayoría de las estaciones presenten registros homogéneos y continuos en el tiempo.

El análisis de estos tres periodos permite tener una visión evolutiva a lo largo del tiempo de la tendencia de la variable temperatura en la comunidad de Navarra y el resto de provincias adscritas al ámbito de estudio.

Por último, para cada una de las variables analizadas se muestra el detalle de las tendencias observadas de los datos mensuales y las anomalías existentes entre las temperaturas medias anuales y la temperatura media del período de control seleccionado entre el año 1961 y 1990, adoptando así el mismo intervalo que el aplicado en el estudio anterior [Oria, 2016].

A continuación, se muestra el resultado de este análisis para cada una de las variables de temperatura estudiada.

5.2.1 Temperatura máxima

Aplicando la metodología descrita en el apartado anterior se obtienen los resultados de la aplicación del test de Mann-Kendall para determinar la significancia estadística de la tendencia calculada y la estimación de la misma mediante la aplicación del método de Sen. El resultado se muestra en la tabla 4 y figura 10.

En dicha tabla, se detallan las tendencias obtenidas de las temperaturas máximas 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 el p-valor es menor del 5 %. Se han marcado en rojo aquellas tendencias que no cumplen con el requerimiento de significancia.

Del análisis de estos resultados y para el primer periodo de análisis [1940-2015], se puede concluir que la práctica totalidad de las estaciones no presenta tendencia o ésta no tiene significancia estadística. La tendencia calculada durante estos años 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.

Es a partir de los años 50 cuando de forma constante se produce un calentamiento progresivo, situación que se manifiesta en la tendencia calculada durante el segundo período [1954 - 2015]. La aplicación del test de Man-Kendall en este periodo arroja más de un 50% de las estaciones [15 estaciones de las 29] con una tendencia sin significancia estadística. Aún y así se puede observar cómo existe una tendencia positiva que en promedio alcanza los $+0,15^{\circ}\text{C}/\text{decenio}$, un resultado totalmente comparable con el obtenido en el estudio de Peio Oria [Oria, 2016] donde esta tendencia también muestra un resultado de $+0,15^{\circ}\text{C}/\text{decenio}$.

Por último, para el tercer periodo [1970-2015], las tendencias calculadas, según la aplicación del test de Man-Kendall, presentan una elevada significancia estadística [únicamente 3 no presentan significancia] y en la mayoría de las estaciones se obtienen tendencias positivas que en promedio alcanzan los $+0,3^{\circ}\text{C}/\text{decenio}$.

Tabla 4 Tendencias obtenidas de las temperaturas máximas 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 marcan en color rojo aquellas tendencias que no cumplen con el requerimiento de significancia.

Estación	Nombre	°C/decenio [1940-2015]	Valor-p	°C/decenio [1954-2015]	Valor-p	°C/decenio [1970-2015]	Valor-p
1006	SANTESTEBAN	-0,03	5,88E-01	0,02	8,47E-01	0,28	9,53E-03
1014	FUENTERRABIA "AEROPUERTO"	0,18	1,20E-04	0,31	1,51E-06	0,41	1,47E-05
1021	ARTICUTZA	-0,05	2,69E-01	-0,05	3,97E-01	0,19	3,30E-02
1024E	SAN SEBASTIAN "IGUELDO"	0,12	7,28E-04	0,2	2,39E-05	0,29	1,23E-05
1029E	BETELU	0,00	9,78E-01	0,02	6,23E-01	0,23	8,50E-03
9121	HARO	0,03	7,87E-01	0,3	1,61E-05	0,47	1,03E-05
9145A	CENICERO "INDUSTRIAL"	0,03	3,91E-01	0,16	1,47E-03	0,26	4,70E-03
9170	LOGROÑO "AGONCILLO"	0,16	1,08E-02	0,4	6,89E-09	0,6	4,54E-08
9174	SARTAGUDA	0,19	2,42E-03	0,43	1,90E-07	0,59	2,95E-05
9181	AYEGUI "IRACHE"	0,16	3,18E-02	0,41	1,45E-07	0,68	9,75E-08
9198	CANFRANC "LOS ARAÑONES"	0,22	4,19E-04	0,36	9,13E-06	0,41	2,06E-03
9202	JACA	0,10	9,66E-02	0,16	1,84E-02	0,25	1,75E-02
9215	ARTIEDA	0,03	5,08E-01	0,12	3,28E-02	0,31	4,15E-03
9223	YESA "EMBALSE"	-0,02	7,23E-01	0,06	3,94E-01	0,16	1,35E-01
9236	ABAURREA ALTA	0,05	4,55E-01	0,12	1,77E-01	0,47	6,85E-05
9237I	ESPARZA DE SALAZAR	0,00	1,00E+00	0,04	5,63E-01	0,3	9,01E-03
9246	CARCASTILLO "LA OLIVA"	-0,01	8,01E-01	0,12	3,60E-02	0,24	1,41E-02
9252	OLITE	-0,18	1,63E-03	-0,21	1,68E-03	-0,04	5,77E-01
9255	CAPARROSO	-0,25	2,67E-06	-0,26	3,14E-05	-0,19	6,17E-02
9257E	EUGUI "ESTERIBAR"	0,06	3,27E-01	0,12	1,10E-01	0,47	3,22E-05
9262	PAMPLONA "OBSERVATORIO"	0,05	3,27E-01	0,13	9,91E-02	0,42	2,49E-05
9262C	PAMPLONA "GRANJA"	0,1	2,01E-02	0,11	6,11E-02	0,28	4,79E-04
9269	ALSASUA	0,1	1,26E-01	0,31	9,07E-05	0,41	1,03E-04
9279	ALLOZ "EMBALSE"	0,03	4,67E-01	0,11	6,46E-02	0,37	9,50E-05
9283	CADREITA	-0,14	5,45E-02	0,09	2,40E-01	0,34	1,94E-04

Estación	Nombre	°C/decenio [1940-2015]	Valor-p	°C/decenio [1954-2015]	Valor-p	°C/decenio [1970-2015]	Valor-p
9290	FITERO	-0,08	1,84E-01	0,05	4,19E-01	0,39	1,23E-05
9301	MONTEAGUDO	-0,13	4,19E-02	-0,03	6,41E-01	0,32	3,07E-04
9305	BUÑUEL	-0,07	1,70E-01	0,02	8,67E-01	0,39	2,51E-03
9331F	EL BAYO	-0,08	9,95E-02	0,01	8,72E-01	0,26	3,55E-03

A partir de los datos obtenidos en cada una de las estaciones de la red básica se han representado las tendencias en el territorio de estudio obteniendo la figura siguiente como resultado de esta distribución.

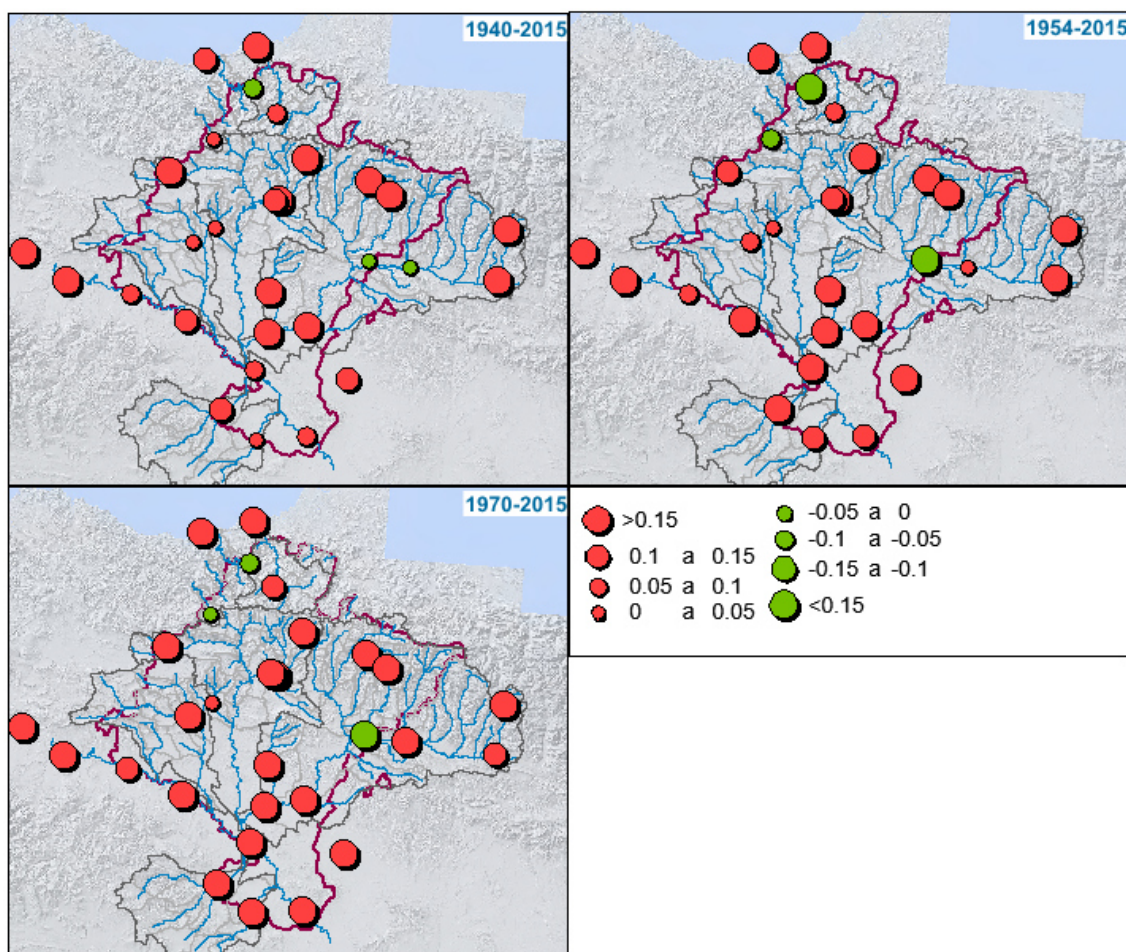


Figura 10 Tendencias para las temperaturas máximas en °C/decenio para las estaciones pertenecientes a la red básica

A partir de los resultados obtenidos, ilustrados en la figura 10, se estudia la distribución geográfica de la tendencia en la comunidad de Navarra, analizando en detalle la evolución de la temperatura máxima en aquellas estaciones que se consideran más representativas de cada ámbito geográfico y que cuentan con el mayor número de registros originales posible a lo largo del periodo 1940-2015. Con respecto a la zona Pirenaica, cabe señalar que, la ausencia de estaciones con registros en los años 1940-1970 dentro de los límites de nuestra Comunidad, ha llevado a la selección de la estación de Canfranc, situada en el valle del río Aragón, provincia de Huesca, que dispone de un registro de datos bastante completo a lo largo del periodo estudiado y se considera representativa de dicha región.

Vertiente Cantábrica: Este ámbito geográfico está representado por las estaciones de Articutza o Santesteban, entre otras. Observando las gráficas de tendencia y anomalías, se aprecia una clara evolución de la tendencia para la temperatura máxima. En el período 1940-2015 existe una tendencia ligeramente negativa, condicionada por la década de los años 40 que es extraordinariamente cálida con anomalías positivas que se prolongan hasta finales de los años 60 [ver figura 11 y figura 12]. Por otro lado, la tendencia obtenida desde el año 1954 hasta el 2015, es prácticamente inexistente donde el test de Mann-Kendall para este período muestra que esta tendencia no tiene significancia estadística. Es a partir de los 70 donde, si bien comienza una década fría tal y como se observa en el gráfico de anomalías, se inicia un periodo con una clara tendencia creciente que alcanza los $+0,28$ °C/decenio en la estación de Santesteban.

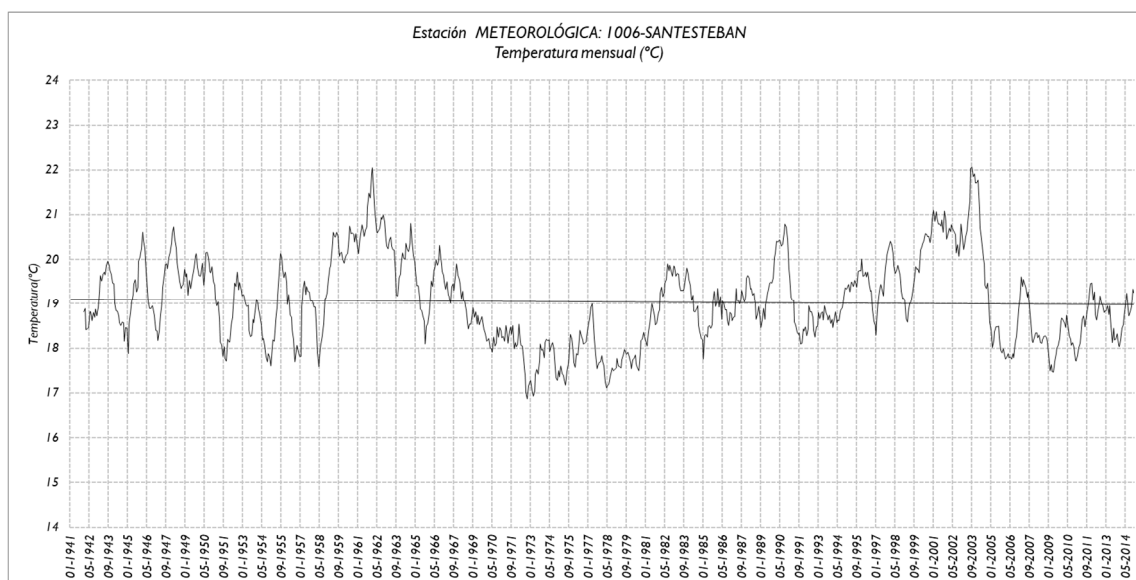


Figura 11 Tendencia de los datos mensuales de temperatura máxima en la estación 1006-Santesteban para el período 1940-2015. La línea de evolución muestra la media móvil a 12 meses

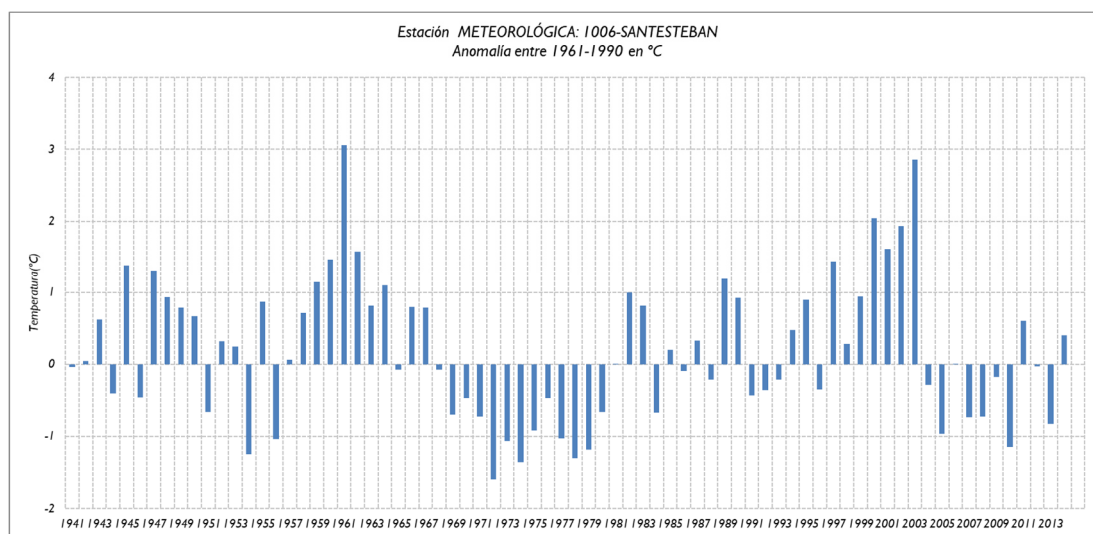


Figura 12 Anomalía anual de la temperatura máxima en la estación 1006-Santesteban, considerando como período de control la temperatura media entre los años 1961 y 1990

Zona Pirenaica: es en esta zona donde se aprecia de forma más destacada una tendencia positiva en la temperatura máxima, algo que queda reflejado en la evolución de esta variable en la estación de Canfranc. Esta clara tendencia positiva se manifiesta de forma inequívoca desde la segunda mitad de los años 80, tal y como reflejan también las anomalías representadas en la figura 14. Este mismo hecho ha sido observado también para el conjunto de los Pirineos en el proyecto de investigación desarrollado en la acción Clima del Proyecto OPCC-POTCEFA EFA 235/11 y otros estudios similares realizados en dicha región.

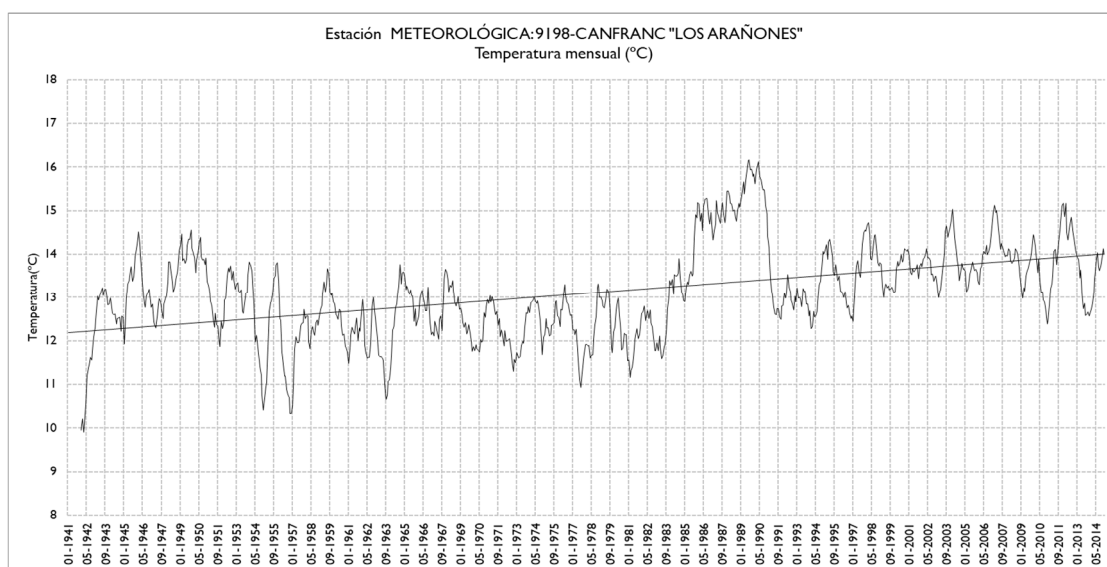


Figura 13 Tendencia de los datos mensuales de temperatura máxima en la estación 9198-Canfranc. La línea de evolución muestra la media móvil a 12 meses

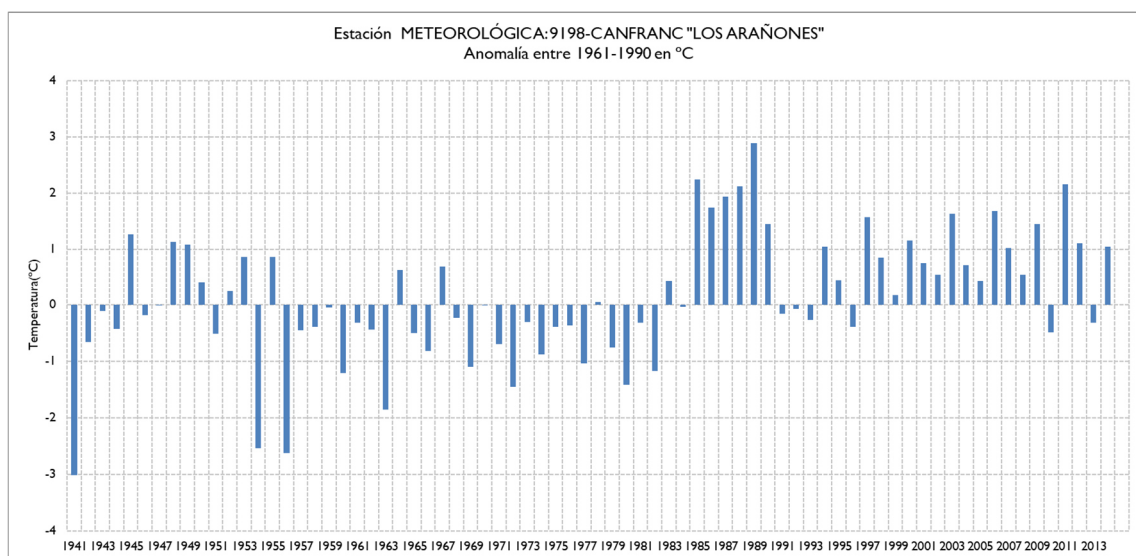


Figura 14 Anomalía anual de la temperatura máxima en la estación 9198-Canfranc, considerando como período de control la temperatura media entre los años 1961 y 1990

Zona central de la comunidad: para describir el comportamiento de este ámbito, se ha analizado la evolución de la estación de Pamplona "Observatorio". Esta estación muestra un comportamiento muy similar al que se aprecia en la vertiente cantábrica y que se ha descrito anteriormente. Una primera época cálida que se extiende a lo largo de las dos primeras décadas de la serie, a la que sigue una década más fría, entre el final de los 60 y 70. A partir de entonces se aprecia un aumento paulatino de las temperaturas hasta el final de la serie. Este comportamiento queda bien reflejado en la figura 15 y la figura 16, donde se muestra una clara tendencia positiva corroborada a su vez por unas anomalías excepcionalmente positivas desde los años 80.

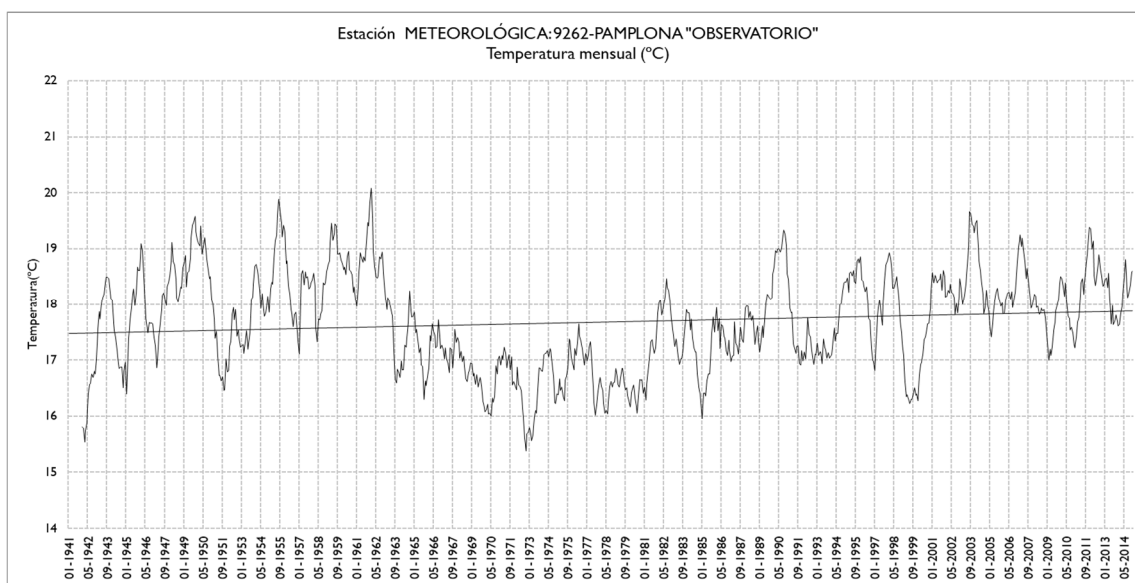


Figura 15 Tendencia de los datos mensuales de temperatura máxima en la estación 9262-Pamplona. La línea de evolución muestra la media móvil a 12 meses

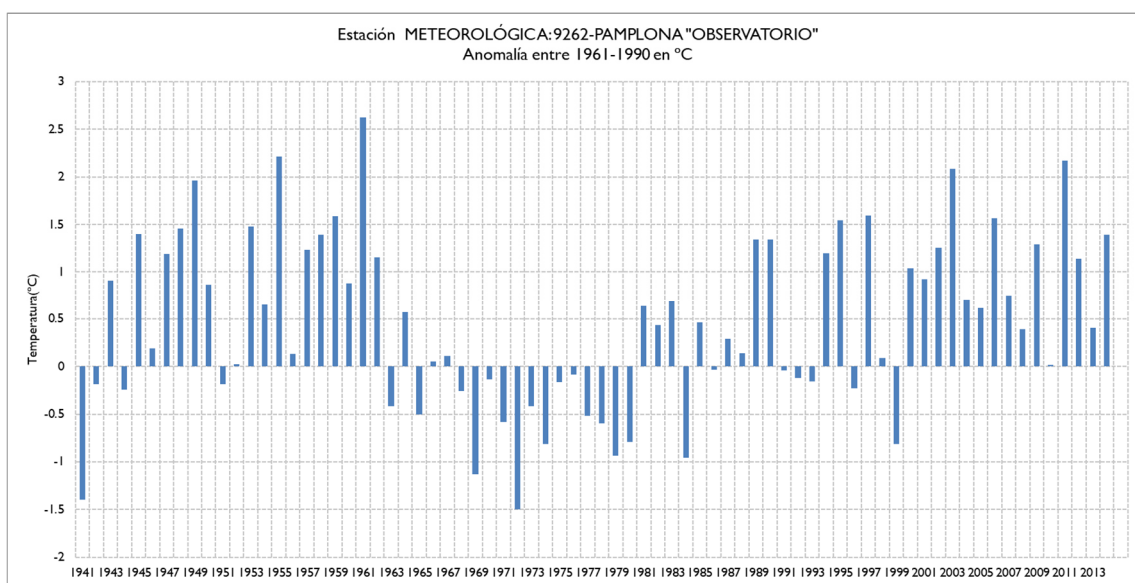


Figura 16 Anomalía anual de la temperatura máxima en la estación 9262-Pamplona, considerando como período de control la temperatura media entre los años 1961 y 1990

Vertiente de la cuenca del Ebro: En esta zona geográfica de la comunidad de Navarra es donde más se aprecia la tendencia negativa del período 1940-2015 [ver figura 17]. Se aprecia una clara anomalía positiva que se extiende hasta el inicio de los años 70, provocando tendencias negativas o inexistentes en los periodos que incluyen los años comprendidos entre 1940 y 1970. A partir de esa década la tendencia se vuelve positiva tal y como se aprecia en la figura

18, donde a partir del año 1980 las anomalías se convierten en positivas de forma más o menos generalizada.

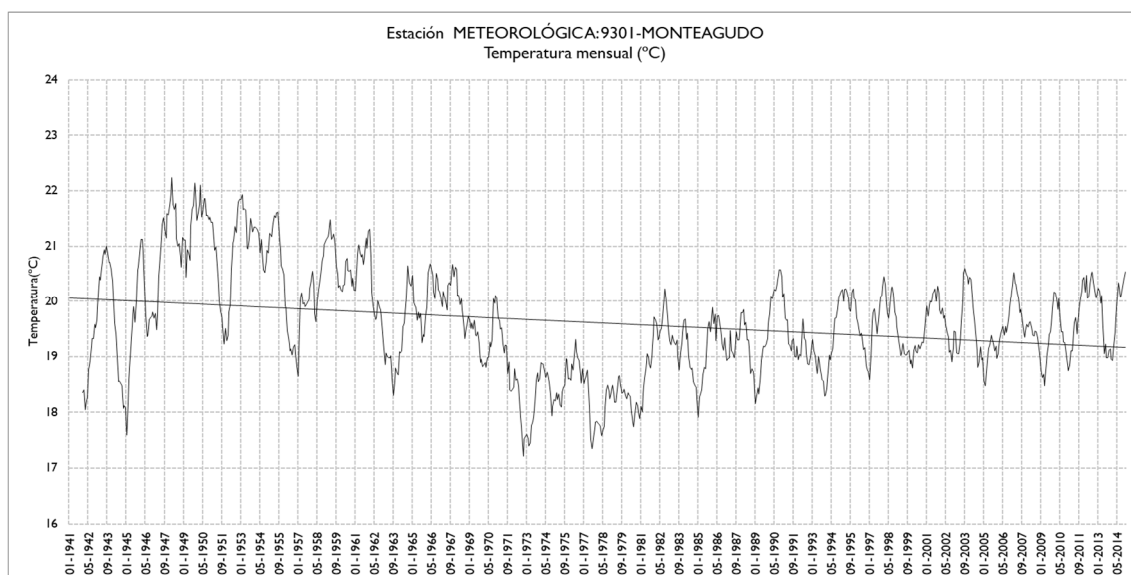


Figura 17 Tendencia de los datos mensuales de temperatura máxima en la estación 9301-Monteagudo. La línea de evolución muestra la media móvil a 12 meses

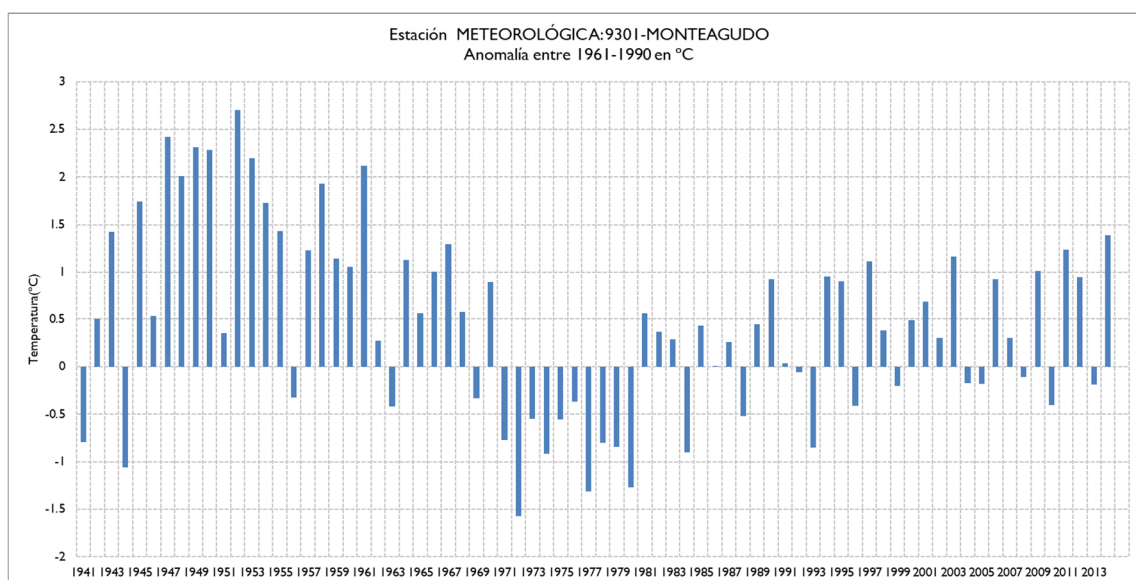


Figura 18 Anomalía anual de la temperatura máxima en la estación 9301-Monteagudo, considerando como período de control la temperatura media entre los años 1961 y 1990

5.2.2 Temperatura mínima

De la misma forma en que se ha procedido anteriormente, se ha obtenido la tendencia decenal de la temperatura mínima para los tres periodos definidos (1941-2015, 1954-2015 y 1970-

2001], mediante la estimación de Sen [Sen, 1968] y comprobando la significancia estadística utilizando el método de Mann-Kendall.

El resultado obtenido se muestra en la

tabla 5, donde se aprecia una adecuada significancia estadística de las tendencias para la mayoría de estaciones y el conjunto de intervalos anuales analizados.

En el intervalo estudiado comprendido entre los años 1940-2015 se obtiene una tendencia positiva de +0,13 °C/decenio, muy superior a la que se obtiene para las temperaturas máximas en este mismo periodo. Por tanto, para las temperaturas mínimas la tendencia no queda condicionada por la década especialmente cálida de los años 40.

Por otro lado, en el segundo periodo [1954-2015] se muestra un valor promedio de la tendencia de +0,18 °C/decenio, similar al obtenido para las temperaturas máximas y dentro de el mismo orden de magnitud que muestran las tendencias para esta variable [+0,15 °C/decenio] en los estudios antecedentes [Oria, 2016].

Por último, para el tercer periodo [1970-2015], se obtiene un valor promedio de la tendencia de +0,28 °C/decenio, algo inferior al que se obtiene para las temperaturas máximas, si bien presenta un comportamiento similar al que se muestra en otros estudios antecedentes [García Vera & Abaurrea León, 2012] o [López, 2007].

Tabla 5 Tendencias obtenidas en las temperaturas mínimas 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 marcan en color rojo aquellas tendencias que no cumplen con este requerimiento de significancia.

Estación	Nombre	°C/decenio [1940-2015]	Valor-p	°C/decenio [1954-2015]	Valor-p	°C/decenio [1970-2015]	Valor-p
1006	SANTESTEBAN	0.10	4.17E-03	0.07	1.40E-01	0.14	7.57E-03
1014	FUENTERRABIA "AEROPUERTO"	0.21	4.22E-07	0.35	1.40E-10	0.44	2.17E-10
1021	ARTICUTZA	-0.07	3.15E-02	-0.18	2.30E-04	-0.06	3.68E-01
1024E	SAN SEBASTIAN "IGUELDO"	0.12	2.14E-03	0.21	2.66E-05	0.36	1.16E-06
1029E	BETELU	0.01	7.44E-01	-0.06	1.44E-01	-0.01	8.37E-01
9121	HARO	0.24	7.23E-08	0.38	5.12E-09	0.58	7.41E-09

Estación	Nombre	°C/decenio [1940-2015]	Valor-p	°C/decenio [1954-2015]	Valor-p	°C/decenio [1970-2015]	Valor-p
9145 ^a	CENICERO "INDUSTRIAL"	0.33	1.16E-11	0.46	2.89E-13	0.62	1.21E-11
9170	LOGROÑO "AGONCILLO"	0.05	5.22E-02	0.06	8.70E-02	0.12	2.15E-02
9174	SARTAGUDA	0.15	2.03E-06	0.19	1.93E-06	0.26	3.22E-05
9181	AYEGUI "IRACHE"	0.04	1.79E-01	0.08	1.31E-01	0.22	6.73E-03
9198	CANFRANC "LOS ARAÑONES"	0.27	5.73E-06	0.49	6.44E-10	0.38	2.44E-04
9202	JACA	0.17	6.48E-05	0.16	2.25E-03	0.14	7.34E-02
9215	ARTIEDA	-0.01	7.23E-01	0.01	7.89E-01	0.16	8.50E-03
9223	YESA "EMBALSE"	0.00	9.41E-01	-0.22	8.18E-03	-0.17	1.40E-01
9236	ABAURREA ALTA	0.18	8.62E-04	0.26	2.66E-05	0.30	2.85E-03
9237I	ESPARZA DE SALAZAR	0.19	6.54E-06	0.30	3.26E-09	0.33	8.63E-07
9246	CARCASTILLO "LA OLIVA"	0.22	3.51E-06	0.35	6.38E-08	0.43	2.95E-05
9252	OLITE	0.22	2.33E-06	0.34	2.74E-08	0.51	6.60E-09
9255	CAPARROSO	0.15	1.89E-04	0.23	5.67E-05	0.22	8.50E-03
9257E	EUGUI "ESTERIBAR"	0.17	5.73E-04	0.29	2.47E-06	0.41	1.12E-05
9262	PAMPLONA "OBSERVATORIO"	0.17	1.20E-05	0.25	3.16E-08	0.22	3.51E-05
9262C	PAMPLONA "GRANJA"	0.11	7.53E-04	0.15	3.63E-04	0.18	2.06E-03
9269	ALSASUA	0.16	6.07E-03	0.11	1.81E-01	0.37	1.58E-03
9279	ALLOZ "EMBALSE"	0.02	4.22E-01	0.03	4.37E-01	0.05	3.23E-01
9283	CADREITA	0.10	3.18E-02	0.17	1.13E-02	0.35	5.81E-05

Estación	Nombre	°C/decenio [1940-2015]	Valor-p	°C/decenio [1954-2015]	Valor-p	°C/decenio [1970-2015]	Valor-p
9290	FITERO	0.13	4.34E-04	0.22	1.15E-05	0.39	8.75E-08
9301	MONTEAGUDO	0.04	2.75E-01	0.11	1.30E-02	0.31	2.71E-05
9305	BUÑUEL	0.08	4.68E-02	0.14	2.07E-03	0.26	9.13E-04
9331F	EL BAYO	0.13	2.27E-03	0.25	6.07E-06	0.47	2.60E-08

A partir de los datos obtenidos en cada una de las estaciones de la red básica se ha realizado un mapa para cada periodo, obteniendo la figura 19 como resultado. Tomando como base estos resultados, se realiza una descripción más detallada en cada ámbito geográfico considerando un conjunto de estaciones meteorológicas pertenecientes a la red de básica y representativas de cada ámbito.

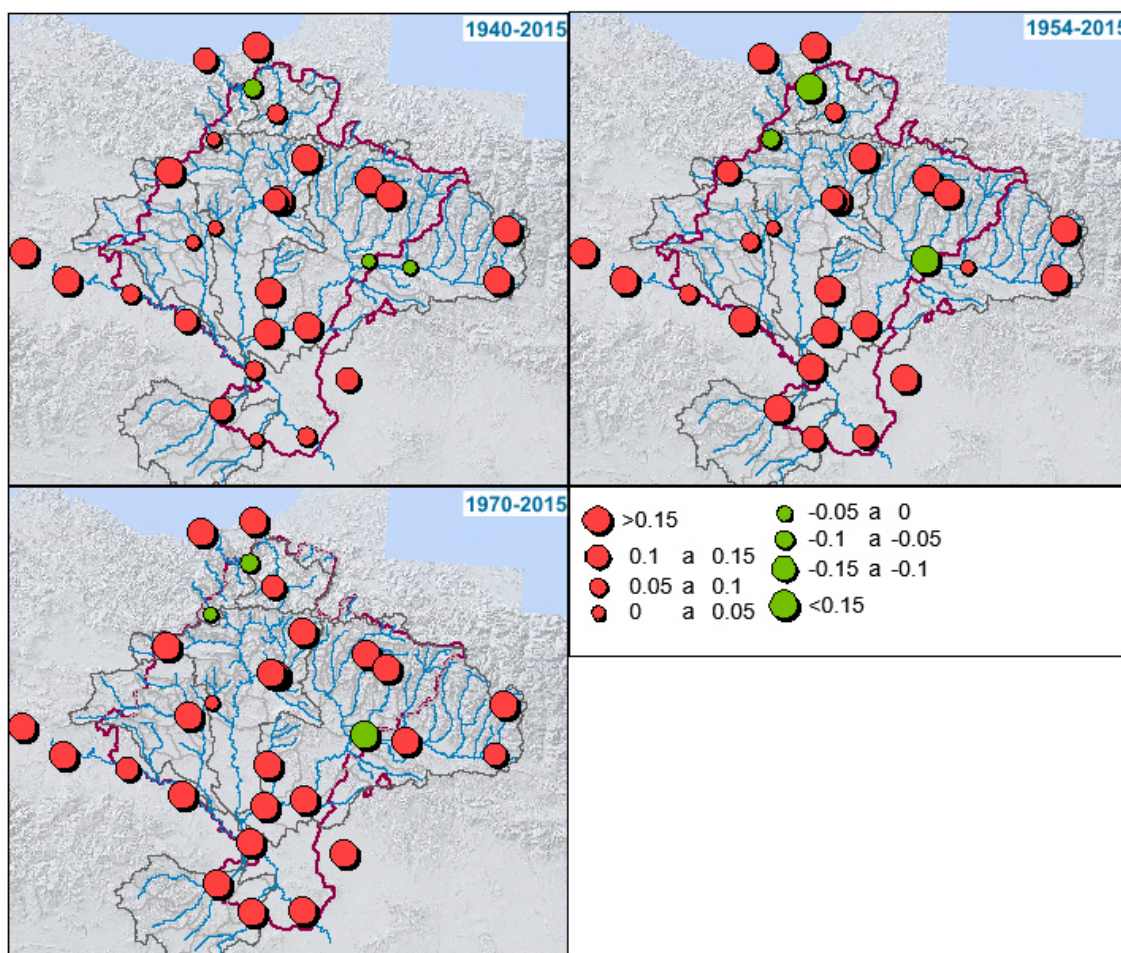


Figura 19 Tendencias para las temperaturas mínimas en °C/decenio para cada una de las estaciones perteneciente a la red básica

Vertiente Cantábrica: el comportamiento de la zona cantábrica se describe mediante el análisis de la estación 1006-Santesteban. En esta estación se aprecia una clara tendencia positiva desde el año 1940. Los primeros años del periodo se caracterizan por temperaturas más bajas que la media del período de control tal y como se muestra en la Figura 21. Estas anomalías negativas se prolongan hasta finales de los años 50. A este periodo le sigue una etapa en la que suceden cortos períodos de anomalías positivas y negativas hasta alcanzar la década de los años 90, donde mayoritariamente se aprecian anomalías positivas de diferente intensidad. Comparando con la evolución que presenta esta misma estación para las temperaturas máximas se aprecia una clara diferencia al inicio de la serie, donde, en el caso de las máximas, se suceden las anomalías positivas hasta finales de la década de los años 60. De forma general el comportamiento de la temperatura máxima y mínima es claramente diferente, mostrando un aparente desacoplamiento en la tendencia entre ambas.

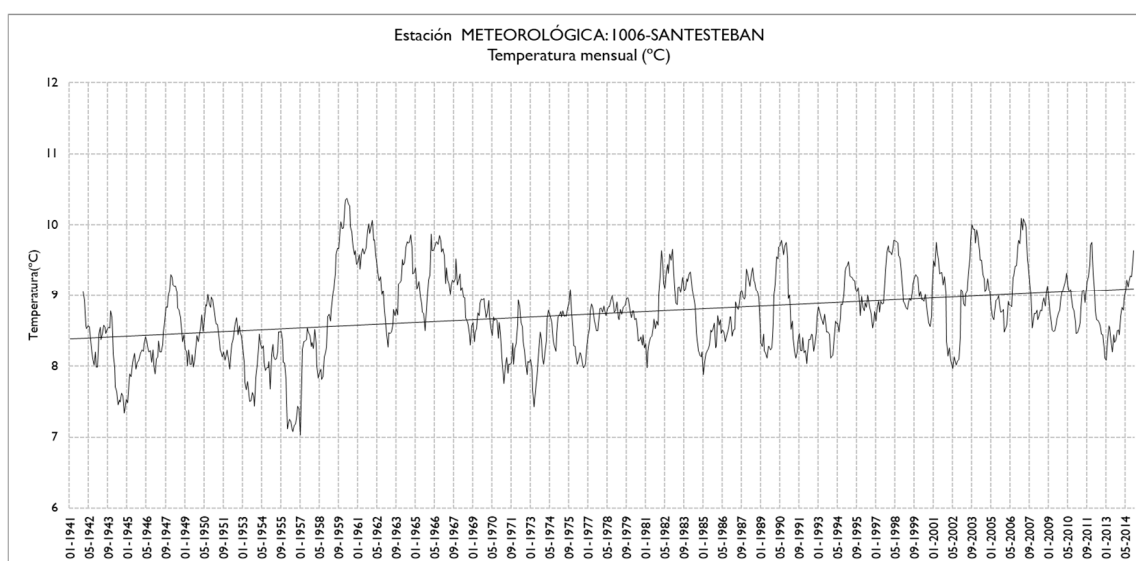


Figura 20 Tendencia de los datos mensuales de temperatura mínima en la estación 1006-Santesteban. La línea de evolución muestra la media móvil a 12 meses, la tendencia está calculada en el período 1940-2015

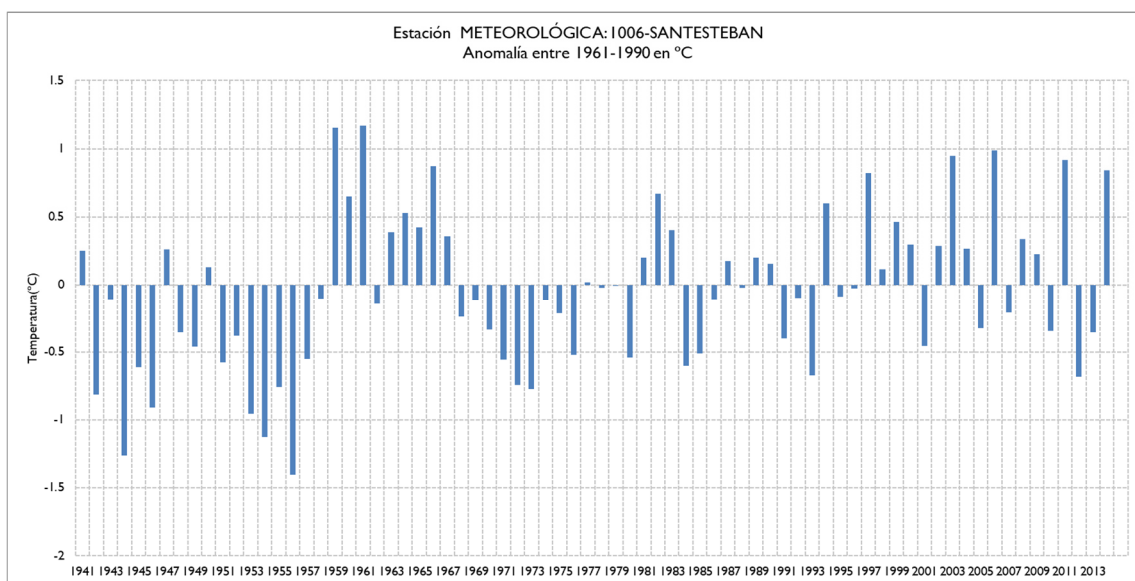


Figura 21 Anomalía anual de la temperatura mínima en la estación 1006-Santesteban, considerando como período de control la temperatura media entre los años 1961 y 1990

Zona Pirenaica: la descripción de la tendencia en este ámbito geográfico se ha realizado mediante la estación 9198-Canfranc que, si bien se localiza fuera de la comunidad de Navarra, presenta una serie muy completa que permite estudiar su evolución con fiabilidad. En esta estación se puede apreciar una clara tendencia positiva que se intensifica a partir de los años 70. Desde la segunda mitad de la década los años 80 se pueden apreciar unas anomalías positivas que están entre 1°C y 2 °C.

El comportamiento observado en las temperaturas mínimas es muy parecido al que se puede observar en las temperaturas máximas. Esta es una región donde se muestra claramente un aumento progresivo de la temperatura, tanto para la máxima como para la mínima. Las anomalías en ambos casos son claramente positivas desde la segunda mitad de la década de los años 80.

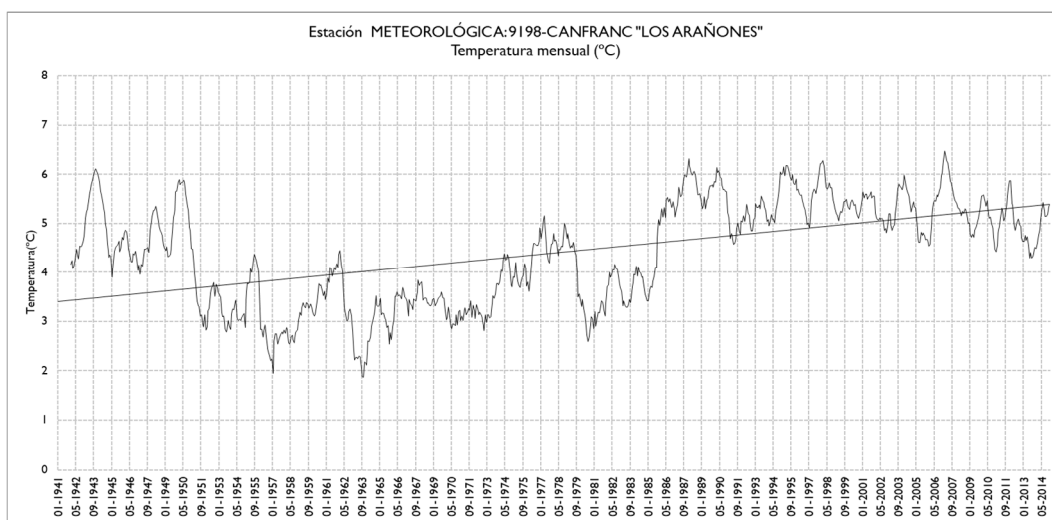


Figura 22 Tendencia de los datos mensuales de temperatura mínima en la estación 9198-Canfranc. La línea de evolución muestra la media móvil a 12 meses, la tendencia está calculada en el período 1940-2015

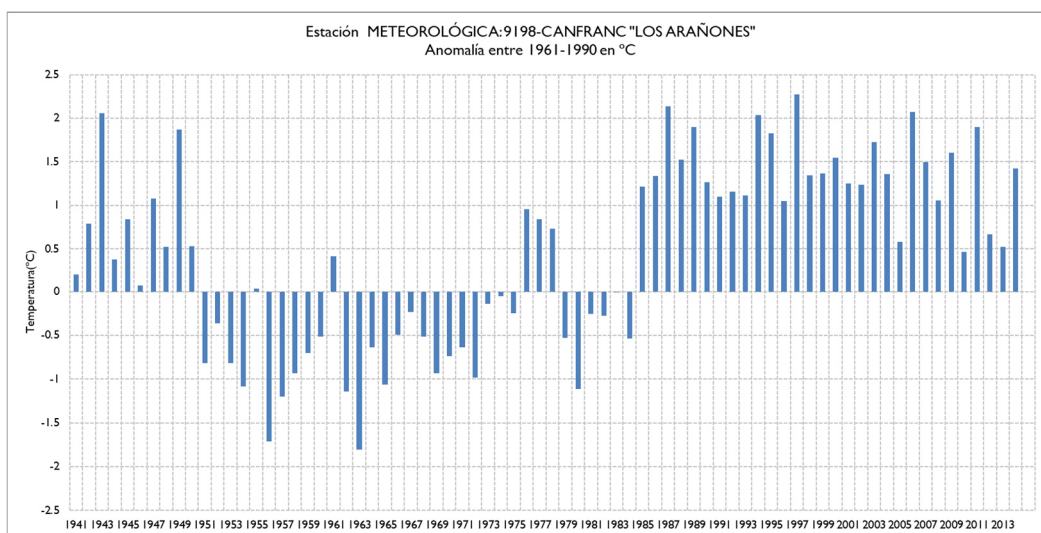


Figura 23 Anomalía anual de la temperatura mínima en la estación 9198-Canfranc, considerando como período de control la temperatura media entre los años 1961 y 1990

Zona central de la comunidad de Navarra: la descripción de esta región se realiza mediante el análisis de la estación 9262-Pamplona. En relación a la pendiente se aprecia una evidente tendencia positiva desde el inicio de la serie, tendencia que se vuelve mucho más acusada desde finales de los años 60. Desde ese momento se pueden apreciar anomalías positivas que van aumentando de forma progresiva, iniciando con diferenciales inferiores a 0,5 °C hasta alcanzar los 2°C al final de la serie. Comparando esta evolución con la observada anteriormente referida a las temperaturas máximas, se puede observar cómo las temperaturas mínimas presentan una tendencia de crecimiento más acusada desde el inicio de la serie.

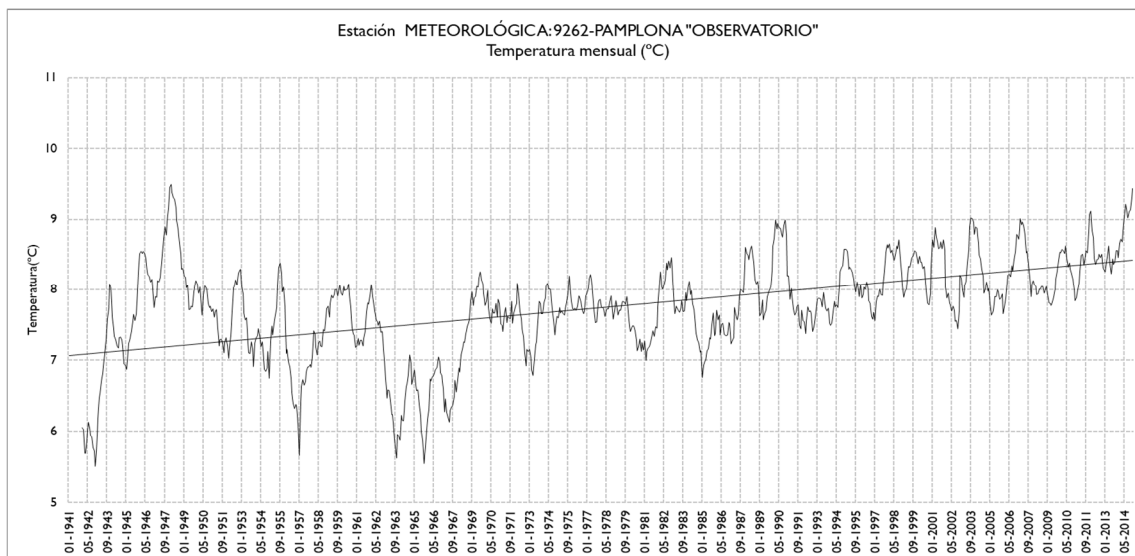


Figura 24 Tendencia de los datos mensuales de temperatura mínima en la estación 9262-Pamplona. La línea de evolución muestra la media móvil a 12 meses, la tendencia está calculada en el período 1940-2015

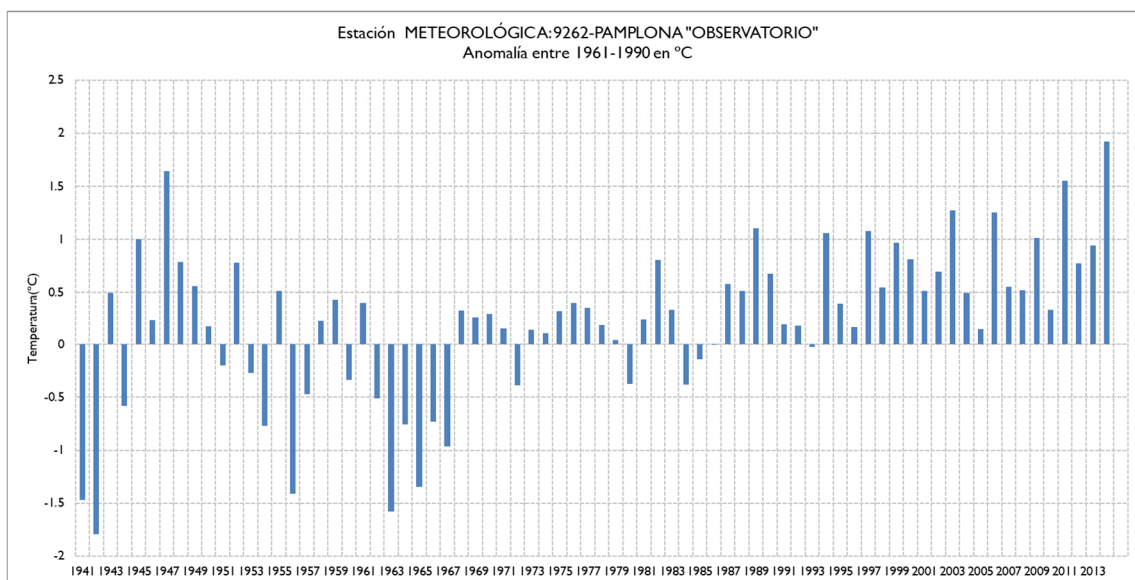


Figura 25 Anomalía anual de la temperatura mínima en la estación 9262-Pamplona, considerando como período de control la temperatura media entre los años 1961 y 1990

Vertiente de la cuenca del Ebro: para describir la evolución de la temperatura mínima en esta zona geográfica se ha analizado el comportamiento de la estación 9301-Monteagudo. La

tendencia que se aprecia en la Figura 26 viene condicionada por una primera época más cálida que alcanza la década de los años 70, a partir de ese momento se aprecia un conjunto de años donde la temperatura mínima desciende hasta la segunda mitad de la década de los 80, y es a partir de ese momento cuando la tendencia se revierte y la temperatura mínima va ascendiendo de forma progresiva. Esta misma evolución se aprecia en la Figura 27, donde las anomalías positivas se prolongan prácticamente hasta el final de la década de los años 60; posteriormente siguen unos 15 años de anomalías negativas, coincidiendo con esa época de descenso de temperatura que se ha comentado anteriormente. A partir de la segunda mitad de la década de los 80, las anomalías se tornan positivas, alcanzando al final de la serie valores que pueden superar los 2°C.

Si se compara la evolución de las temperaturas máximas y mínimas en esta misma estación se puede comprobar que la evolución es muy similar, aunque las anomalías positivas situadas al inicio de la serie analizada son mucho más importantes para las temperaturas máximas, condicionando por tanto la tendencia obtenida.

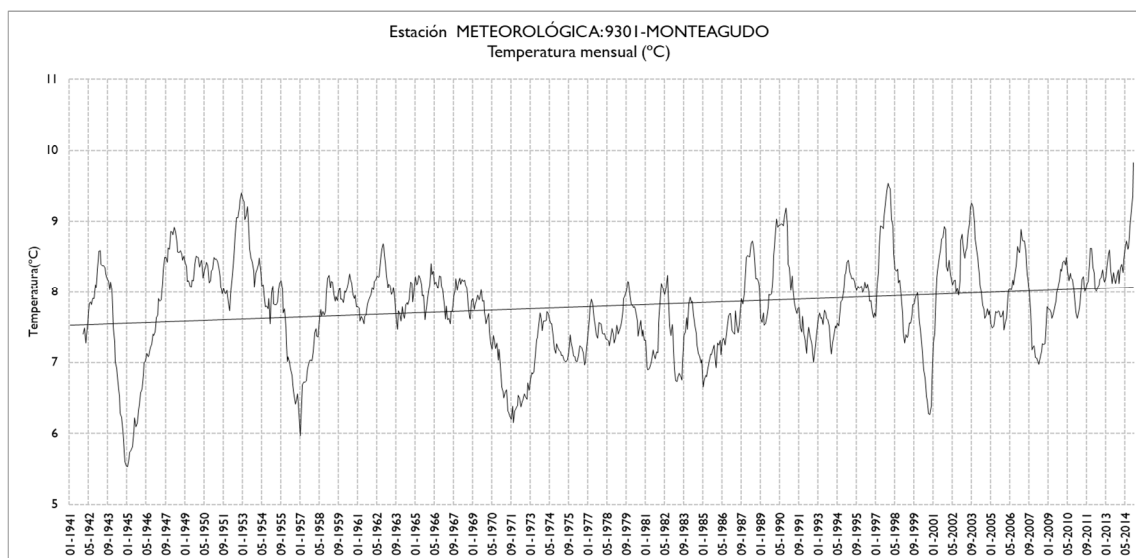


Figura 26 Tendencia de los datos mensuales de temperatura mínima en la estación 9301-Monteagudo. La línea de evolución muestra la media móvil a 12 meses, la tendencia está calculada en el período 1940-2015

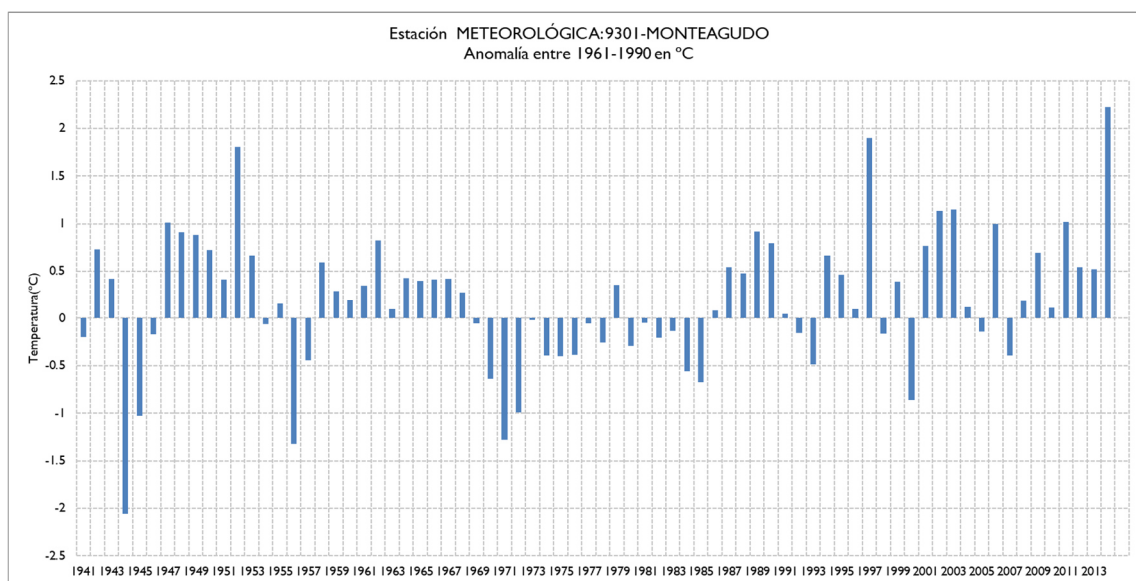


Figura 27 Anomalía anual de la temperatura mínima en la estación 9301-Monteagudo, considerando como período de control la temperatura media entre los años 1961 y 1990

5.2.3 Temperatura media

Para analizar la distribución temporal y espacial de la temperatura media se ha seguido el mismo procedimiento que para las variables anteriores, analizando la tendencia para los tres periodos definidos [1940-2015, 1954-2015 y 1970-2015].

Tal y como se explica en el apartado relativo al proceso metodológico, como paso previo al cálculo de la tendencia se aplica el test de Mann-Kendall [Kendall, 1956] para evaluar la significancia estadística de las tendencias obtenidas mediante la estimación de Sen [Sen, 1968]

En base a estos resultados se realiza un análisis regionalizado del comportamiento de la temperatura media estudiando la tendencia y anomalías de esta variable en las estaciones más representativas de cada ámbito.

A continuación, se muestra el resultado del análisis de tendencia realizado, donde se puede observar el valor de tendencia de la temperatura media en cada período, así como la probabilidad que determina la significancia estadística.

En el intervalo 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 máximas y el obtenido para las mínimas, tal y como era previsible. En el segundo periodo, entre los años 1954 y 2015, la tendencia es de +0,15 °C/decenio, que enlaza con los resultados obtenidos en las máximas

y mínimas para este periodo. 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 de los resultados, ya que para el periodo 1940-2015 hay 14 estaciones que no tienen 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 6 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	ABAUUREA 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

Estación	Nombre	°C/decenio [1940-2015]	Valor-p	°C/decenio [1954-2015]	Valor-p	°C/decenio [1970-2015]	Valor-p
9252	OLITE	0.02	<i>6.95E-01</i>	0.04	<i>3.80E-01</i>	0.23	3.04E-03
9255	CAPARROSO	-0.05	<i>2.29E-01</i>	-0.03	<i>5.71E-01</i>	-0.02	<i>9.14E-01</i>
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	<i>3.80E-01</i>	0.08	<i>6.11E-02</i>	0.21	2.67E-03
9283	CADREITA	-0.04	<i>4.17E-01</i>	0.12	<i>8.25E-02</i>	0.34	1.47E-05
9290	FITERO	0.02	<i>6.41E-01</i>	0.12	1.90E-02	0.39	1.56E-06
9301	MONTEAGUDO	-0.04	<i>3.32E-01</i>	0.03	<i>5.38E-01</i>	0.32	9.50E-05
9305	BUÑUEL	0.02	<i>7.37E-01</i>	0.07	<i>7.82E-02</i>	0.30	4.52E-05
9331F	EL BAYO	0.02	<i>5.35E-01</i>	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 28 como resultado de esta distribución.

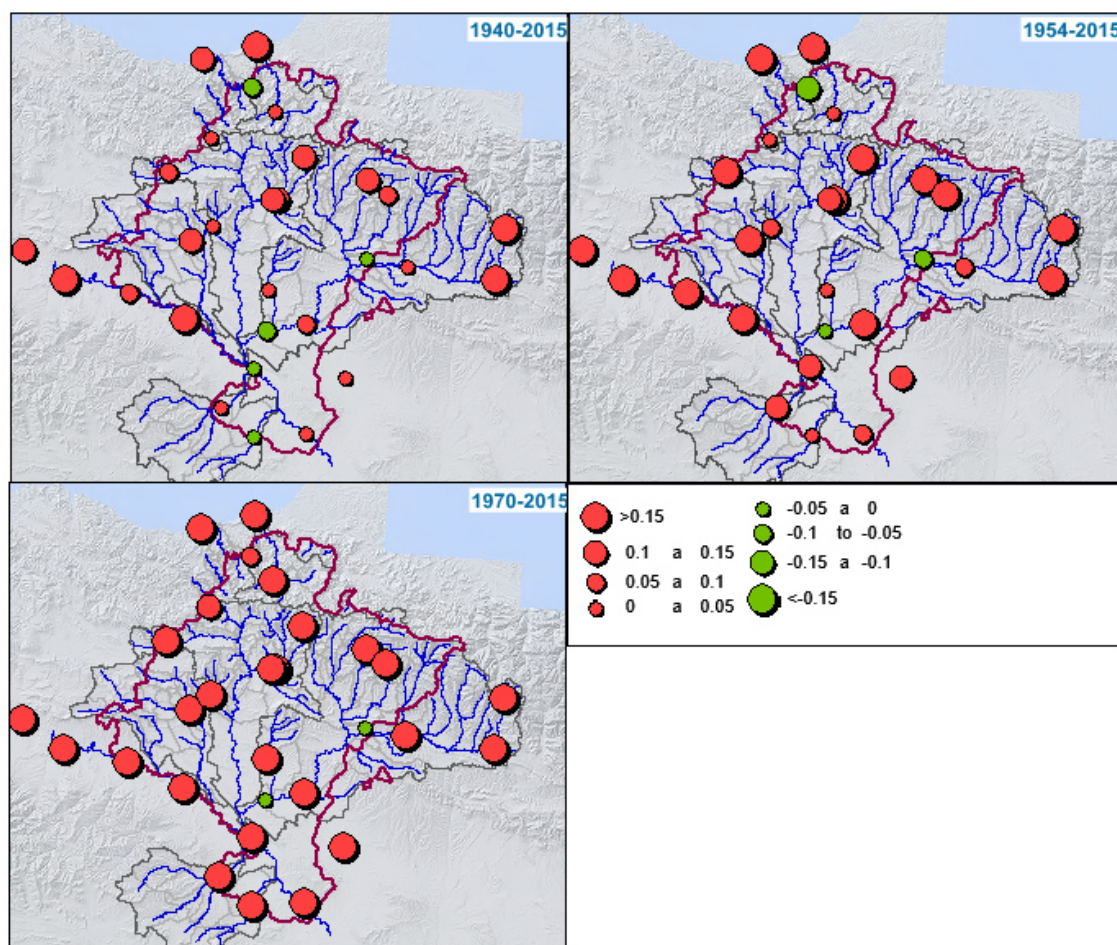


Figura 28 Tendencias para las temperaturas medias en °C/decenio para cada una de las estaciones perteneciente a la red básica

En base a estos resultados se puede analizar en detalle la distribución espacial de las tendencias para los diferentes períodos analizados, observando su evolución por ámbitos geográficos.

Vertiente Cantábrica: se consulta nuevamente la estación de Santesteban para analizar el comportamiento de este ámbito geográfico. En este caso se observa una tendencia general positiva en todo el periodo 1940-2015, cuyo valor no es muy elevado y en la cual se van alternando periodos cálidos y fríos. A partir del año 1954, la tendencia crece, pero muy ligeramente debido al periodo cálido que se da en esta estación en los años 60. Sin embargo, a partir de los años 70, la tendencia aumenta considerablemente hasta los +0,22 °C/decenio condicionada por el periodo frío de los años 70.

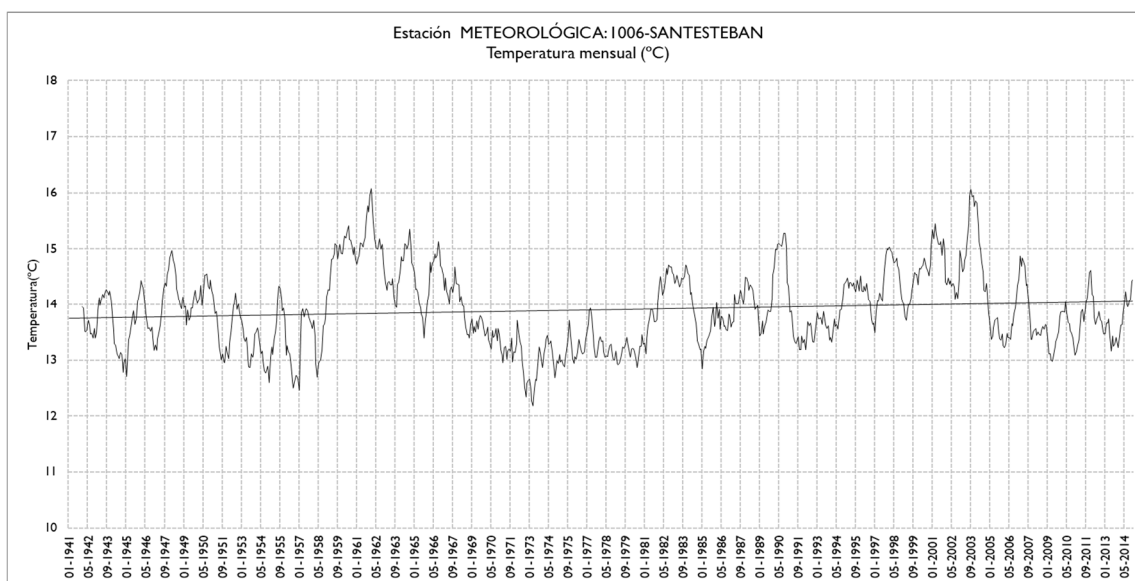


Figura 29 Tendencia de los datos mensuales de temperatura media en la estación 1006-Santesteban. La línea de evolución muestra la media móvil a 12 meses, la tendencia está calculada en el período 1940-2015

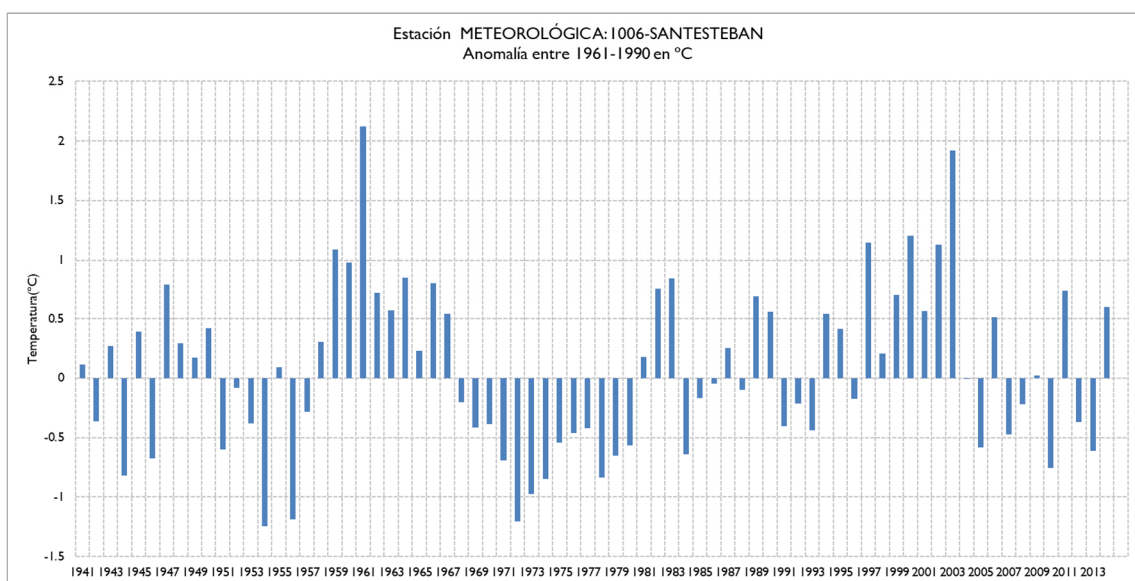


Figura 30 Anomalía anual de la temperatura media en la estación 1006-Santesteban, considerando como período de control la temperatura media entre los años 1961 y 1990

Zona Pirenaica: de nuevo, en esta zona, es donde se aprecia de forma más evidente la evolución al alza de las temperaturas. Se vuelve a utilizar la estación de Canfranc para realizar el análisis por disponer de una serie de datos muy amplia. Se pueden distinguir 3 épocas marcadas: una principalmente cálida desde los 40 hasta mediados de los 50, una fría desde mediados de los

50 hasta mediados de los 80 y otra cálida hasta 2015. Esto conlleva que la tendencia positiva sea mucho más marcada una vez superada la primera etapa cálida, en concreto de 0,42 °C/decenio a partir de los años 70. Es especialmente remarcable que desde los años 80 en esta estación todas las anomalías son positivas.

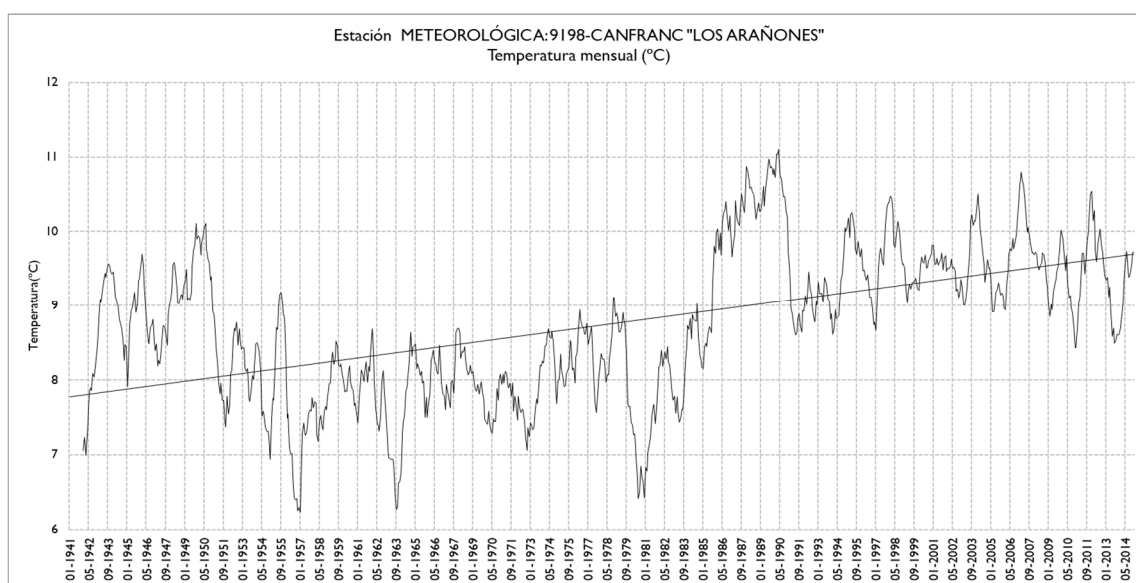


Figura 31 Tendencia de los datos mensuales de temperatura media en la estación 9198-Canfranc. La línea de evolución muestra la media móvil a 12 meses, la tendencia está calculada en el período 1940-2015

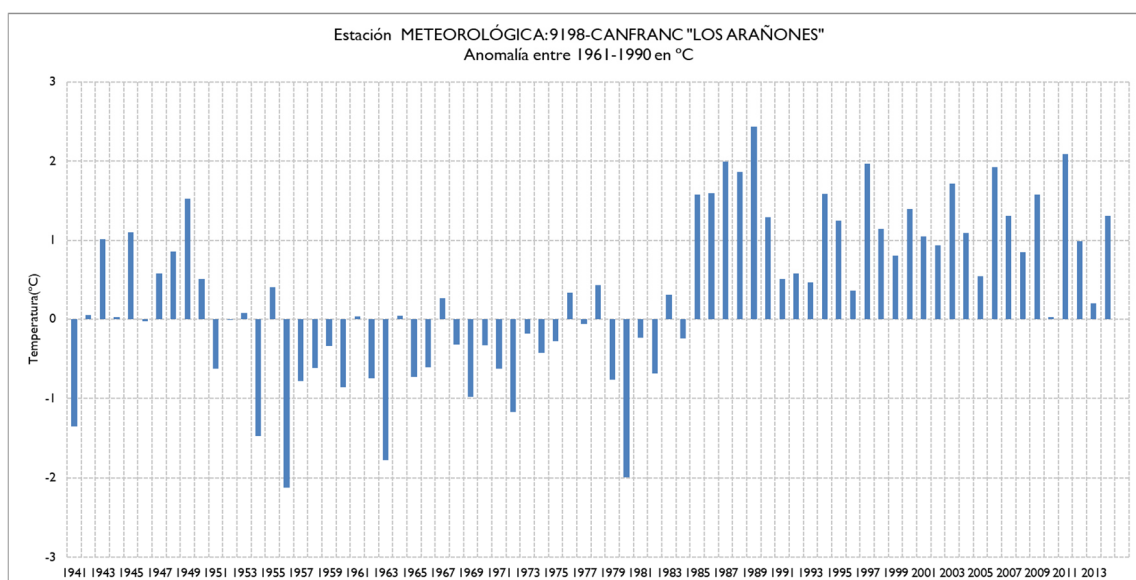


Figura 32 Anomalía anual de la temperatura media en la estación 9198-Canfranc, considerando como período de control la temperatura media entre los años 1961 y 1990

Zona central de la comunidad de Navarra: Para describir el comportamiento de esta estación, se vuelve a analizar la evolución de la estación de Pamplona "Observatorio". Esta estación, para temperaturas medias, muestra un comportamiento muy similar al que se acaba de describir en la zona pirenaica. La tendencia es positiva en todo el periodo de datos y las anomalías vuelven a reflejar las 3 épocas ya descritas. La tendencia es especialmente marcada a partir de los años 70, con unas anomalías prácticamente siempre positivas a partir de los 80.

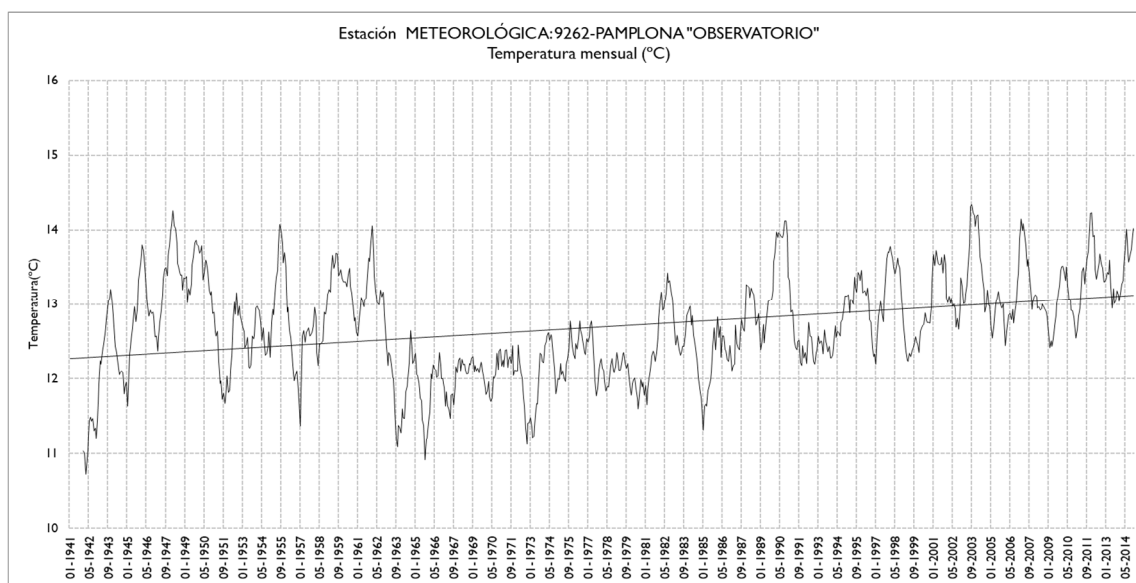


Figura 33 Tendencia de los datos mensuales de temperatura media en la estación 9262-Pamplona. La línea de evolución muestra la media móvil a 12 meses, la tendencia está calculada en el período 1940-2015

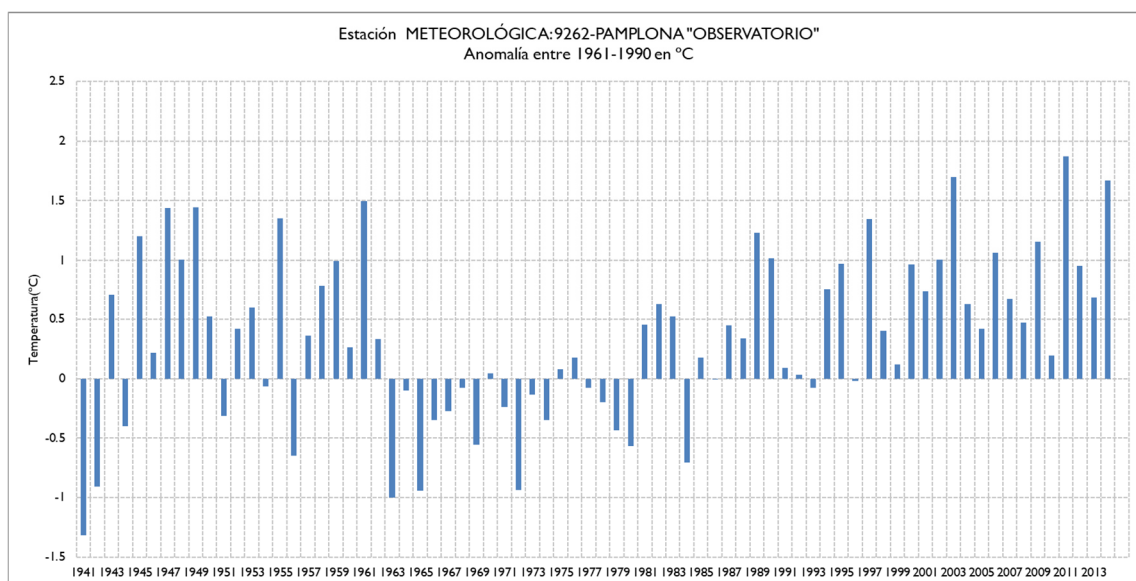


Figura 34 Anomalía anual de la temperatura media en la estación 9262-Pamplona, considerando como período de control la temperatura media entre los años 1961 y 1990

Vertiente de la cuenca del Ebro: siguiendo con la tónica mostrada en las temperaturas máximas, en este ámbito de la comunidad de Navarra se aprecia una tendencia negativa en el período 1940-2015. Se observa una marcada época cálida hasta finales de los años 60, por lo que una vez superado este periodo la tendencia se vuelve positiva de +0,32 °C/decenio. Las anomalías a partir de los años 80 son principalmente positivas, pero también hay algunos valores negativos.

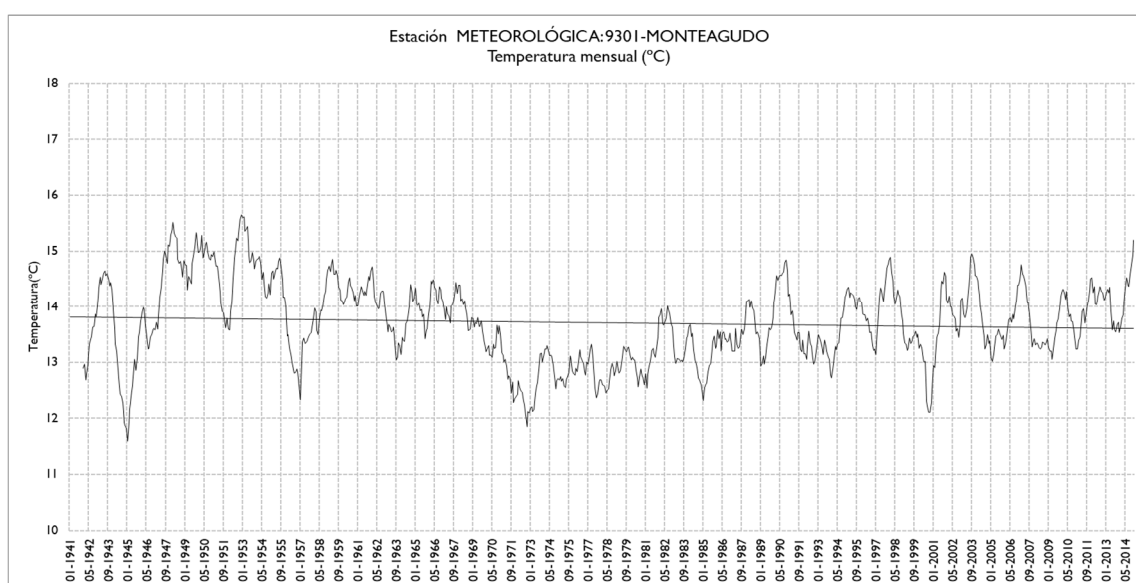


Figura 35 Tendencia de los datos mensuales de temperatura media en la estación 9301-Monteagudo. La línea de evolución muestra la media móvil a 12 meses, la tendencia está calculada en el período 1940-2015

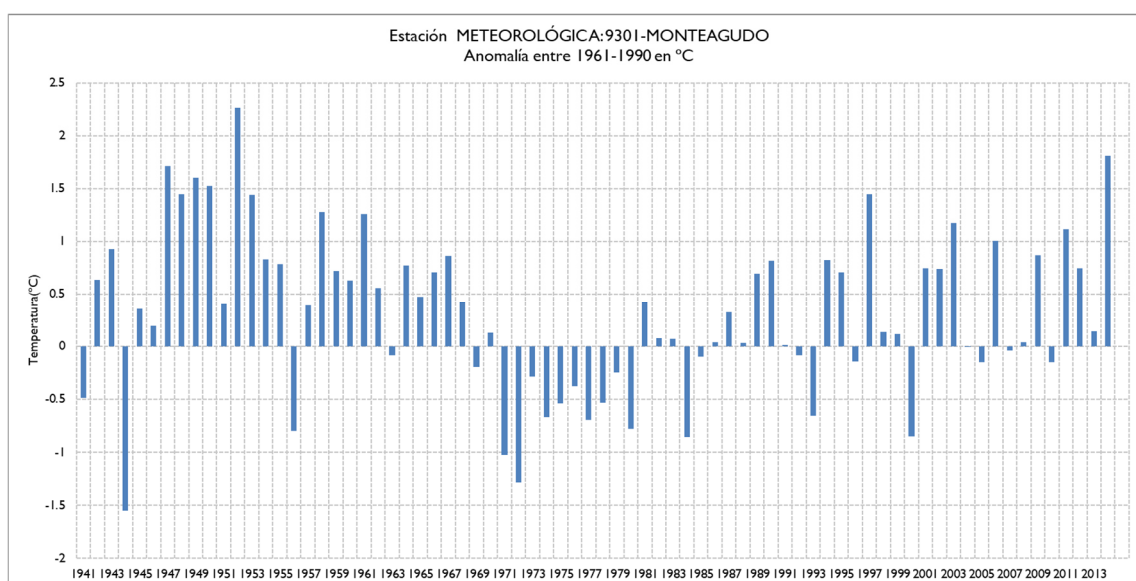


Figura 36 Anomalía anual de la temperatura media en la estación 9301-Monteagudo, considerando como período de control la temperatura media entre los años 1961 y 1990

5.3 Precipitación

El análisis de tendencia de la precipitación se ha realizado siguiendo el mismo procedimiento utilizado para las temperaturas. En base a los datos registrados de precipitación acumulada a nivel diario en el conjunto de las estaciones pertenecientes a la red básica (Gobierno de Navarra, 2017), se ha calculado la tendencia para los períodos comprendidos entre 1940-2015, 1954-2015 y 1970-2015, de esta forma se puede apreciar la evolución de la tendencia, al mismo tiempo que se puede realizar una comparación de los resultados con los estudios antecedentes realizados.

El estudio de la evolución y tendencia de precipitación anual se ha realizado a partir de las series reconstruidas en el de actualización del BDH (Gobierno de Navarra, 2017), donde se obtuvieron series continuas desde el año 1940 al 2015.

A partir de estos datos se realiza un análisis de tendencia para los tres periodos comentados anteriormente, utilizando la estimación de Sen (Sen, 1968), al mismo tiempo se estudia el nivel de significancia estadística de la tendencia obtenida mediante la aplicación del test de Mann-Kendall (Kendall, 1956), considerando un nivel de significancia del 5%.

El valor de la tendencia se expresa en %/decenio, calculado a partir de la recta de regresión obtenida. 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 era 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.

Tabla 7 Tendencias obtenidas de las temperaturas medias para las precipitaciones acumuladas 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.

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
9145 ^a	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

Estación	Nombre	%/decenio [1940-2015]	valor-p	%/decenio [1954-2015]	Valor-p	%/decenio [1970-2015]	Valor-p
9174	SARTAGUDA	-1.44%	<i>3.32E-01</i>	-3.98%	2.17E-02	0.57%	<i>8.37E-01</i>
9175	LA GRAN VILLASVERDE "IB"	-1.11%	<i>3.00E-01</i>	-2.93%	4.58E-02	1.53%	<i>6.32E-01</i>
9182I	ARRONIZ	2.06%	<i>1.57E-01</i>	0.59%	<i>9.65E-01</i>	1.62%	<i>6.88E-01</i>
9198	CANFRANC "LOS ARAÑONES"	3.21%	1.45E-02	-0.19%	<i>9.45E-01</i>	-0.48%	<i>9.45E-01</i>
9199 ^a	VILLANUA "CENTRAL ELECTRICA"	2.67%	<i>6.73E-02</i>	-1.12%	<i>3.84E-01</i>	-2.69%	<i>2.33E-01</i>
9200	BESCOS DE GARCIPOLLERA	3.82%	6.07E-03	0.58%	<i>5.54E-01</i>	-0.21%	<i>9.77E-01</i>
9207	HECHO	3.35%	1.11E-02	0.26%	<i>4.37E-01</i>	-0.47%	<i>8.68E-01</i>
9210	JAVIERREGAY	0.73%	<i>6.24E-01</i>	-0.50%	<i>7.18E-01</i>	-3.80%	<i>2.25E-01</i>
9215	ARTIEDA	-0.27%	<i>8.45E-01</i>	-1.88%	<i>3.22E-01</i>	-2.76%	<i>2.95E-01</i>
9223	YESA "EMBALSE"	0.31%	<i>8.30E-01</i>	-2.67%	<i>8.25E-02</i>	-6.38%	3.24E-03
9236	ABAUAREA ALTA	1.21%	<i>2.32E-01</i>	-0.52%	<i>9.06E-01</i>	-1.12%	<i>5.25E-01</i>
9246	CARCASTILLO "LA OLIVA"	0.89%	<i>3.70E-01</i>	-1.73%	<i>3.19E-01</i>	1.21%	<i>6.67E-01</i>
9252	OLITE	-0.71%	<i>4.72E-01</i>	-3.07%	3.82E-02	-0.61%	<i>7.17E-01</i>
9255	CAPARROSO	3.46%	2.42E-02	0.61%	<i>6.45E-01</i>	8.31%	1.16E-02
9256	MARCILLA "AZUCARERA"	1.68%	<i>1.84E-01</i>	-1.03%	<i>7.18E-01</i>	4.16%	<i>8.34E-02</i>

Estación	Nombre	%/decenio [1940-2015]	valor-p	%/decenio [1954-2015]	Valor-p	%/decenio [1970-2015]	Valor-p
9257E	EUGUI "ESTERIBAR"	0.49%	<i>6.14E-01</i>	-1.02%	<i>4.67E-01</i>	-1.77%	<i>3.23E-01</i>
9262	PAMPLONA "OBSERVATORIO"	0.79%	<i>5.05E-01</i>	-0.96%	<i>3.32E-01</i>	-1.26%	<i>4.75E-01</i>
9262C	PAMPLONA "GRANJA"	0.27%	<i>6.95E-01</i>	-1.32%	<i>1.89E-01</i>	-2.52%	<i>1.93E-01</i>
9269	ALSASUA	1.19%	<i>2.55E-01</i>	1.44%	<i>3.10E-01</i>	1.35%	<i>6.74E-01</i>
9279	ALLOZ "EMBALSE"	0.33%	<i>7.65E-01</i>	-1.22%	<i>5.46E-01</i>	-2.23%	<i>7.03E-01</i>
9290	FITERO	-0.85%	<i>4.52E-01</i>	-1.68%	<i>3.05E-01</i>	-0.40%	<i>8.07E-01</i>
9301	MONTEAGUDO	-1.86%	<i>1.79E-01</i>	-0.95%	<i>4.51E-01</i>	0.45%	<i>9.61E-01</i>
9305	BUÑUEL	-2.33%	<i>6.67E-02</i>	-4.99%	3.82E-02	-4.04%	<i>2.78E-01</i>
9322	BIEL	2.17%	<i>6.67E-02</i>	0.22%	<i>9.21E-01</i>	0.80%	<i>7.10E-01</i>
9329	UNCASTILLO	1.96%	<i>2.45E-01</i>	-1.03%	<i>4.63E-01</i>	-0.05%	<i>7.32E-01</i>
9330	SADABA	-0.91%	<i>4.50E-01</i>	-3.75%	2.47E-02	-2.56%	<i>2.21E-01</i>
9332	BIOTA "EL BAYO"	-1.32%	<i>3.36E-01</i>	-1.32%	<i>4.52E-01</i>	5.02%	<i>3.53E-01</i>

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

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 que muestra una precipitación constante a nivel anual y que está condicionada por el período extraordinariamente seco que sucede durante la década de 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.

Estas tendencias que se muestran de forma general muestran particularidades a nivel regional, tal y como se muestra en la figura 37. A partir de estos resultados se realiza una breve descripción de la evolución de la tendencia en diferentes regiones geográficas de la comunidad de Navarra. Para ayudar a la visualización de estas tendencias se seleccionan un conjunto de estaciones representativas de las diferentes regiones.

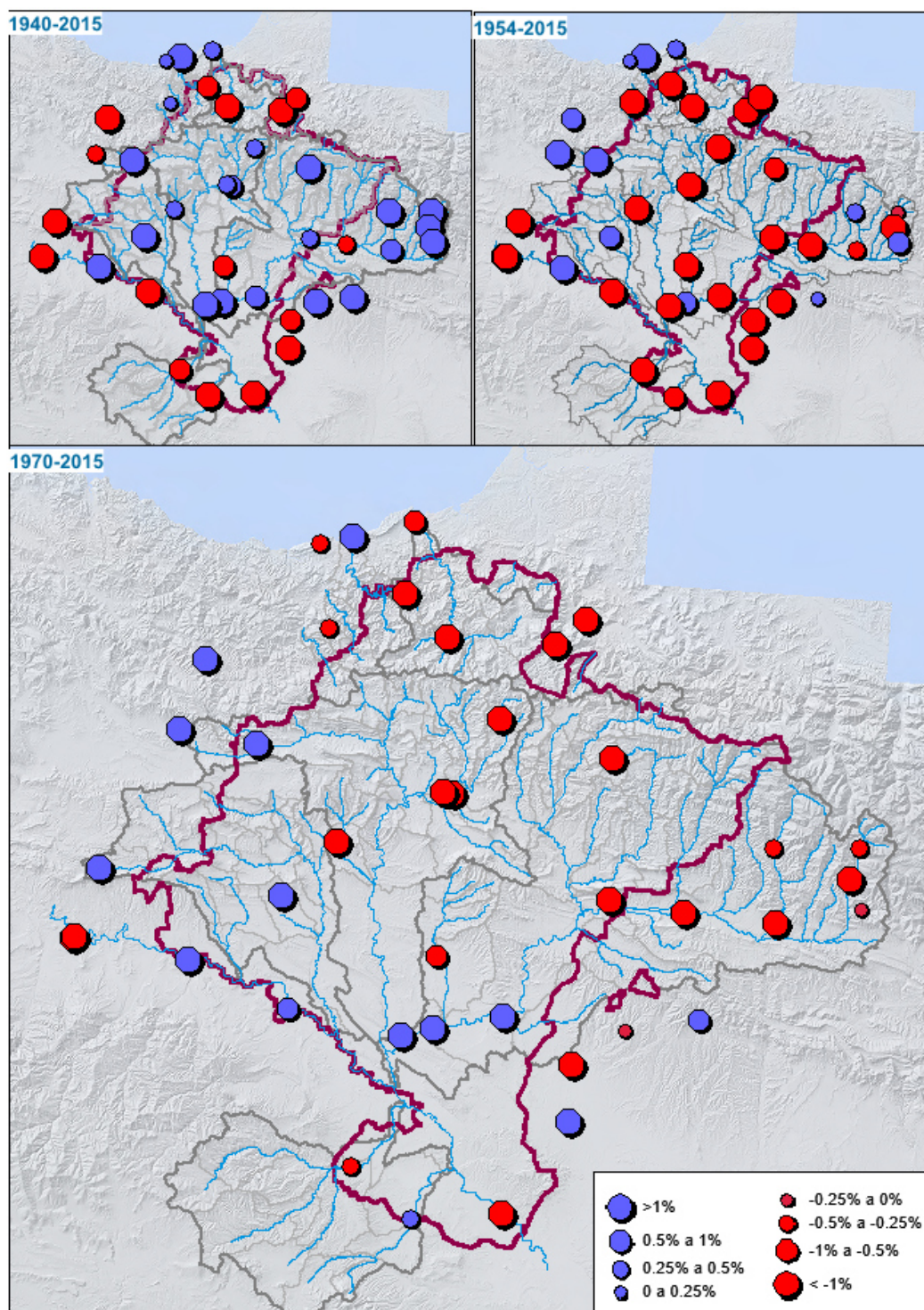


Figura 37 Tendencia en %/decenio para la precipitación anual para cada una de las estaciones perteneciente a la red básica. En azul se representan las tendencias positivas y en rojo las negativas.

Vertiente Cantábrica: esta zona geográfica puede describirse a partir de la evolución de la estación 1006-Santesteban. En esta estación se aprecia una tendencia negativa para el conjunto de la serie cercana al -3% /decenio, tendencia que se mantiene constante para todos los intervalos analizados tal y como se aprecia en la figura 38. Hay que destacar, además, que es de las pocas series cuya tendencia tiene un nivel de confianza superior al 95%.

Las anomalías negativas son evidentes a partir de la década del 1980, donde la presencia de años secos es muy destacada, alcanzando valores que llegan a -30% , exceptuando los dos últimos años de la serie, tal y como se muestra en la figura 39

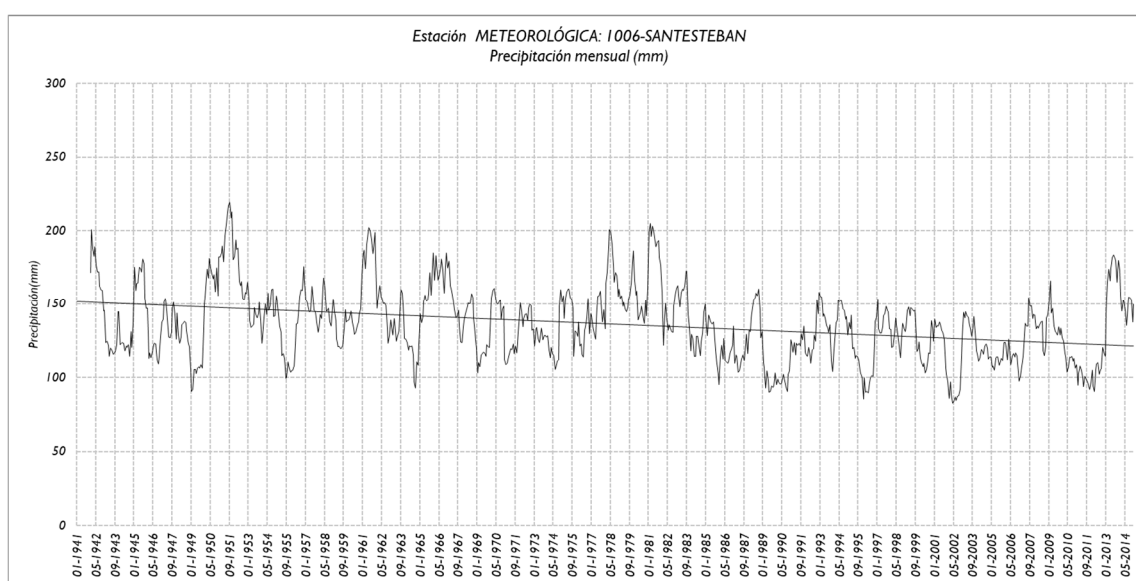


Figura 38 Tendencia de los datos mensuales de precipitación en la estación 1060-Santesteban. La línea de evolución muestra la media móvil a 12 meses, la tendencia está calculada en el período 1940-2015

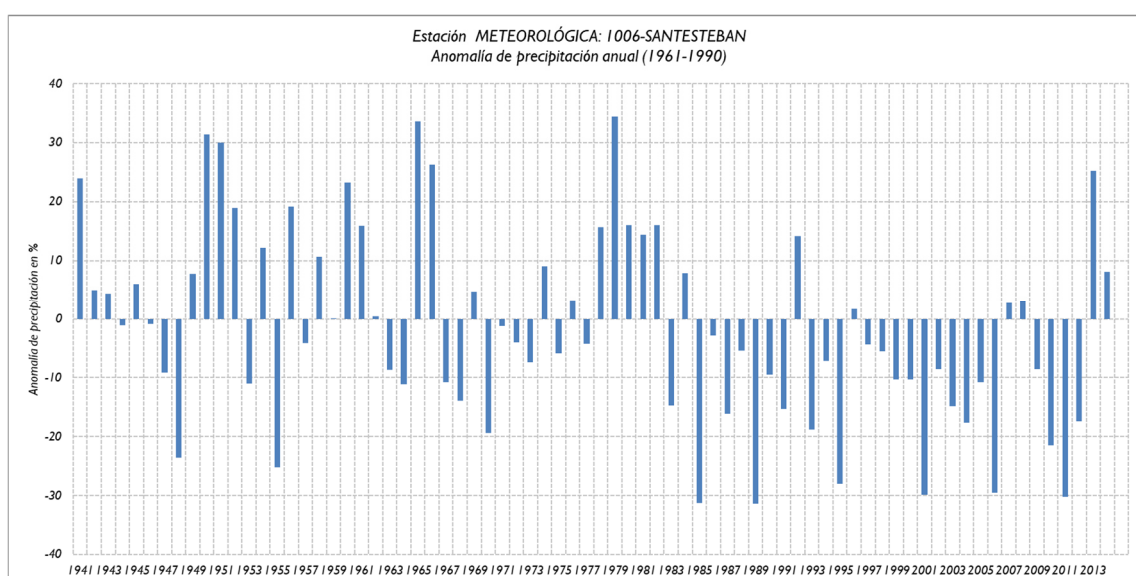


Figura 39 Anomalía anual de la precipitación anual en % de variación respecto el período de control, considerando este período la precipitación media entre los años 1961 y 1990

Zona Pirenaica: el comportamiento de esta zona queda bien representado por la evolución de precipitación en la estación 9198-Canfranc. En esta estación se puede observar una tendencia positiva para el intervalo temporal analizado entre 1940-2015 de +3,1%/decenio, esto es debido a la presencia de años extraordinariamente secos durante la década de los años 1940 y 1950, que condiciona el conjunto de la serie. Esta misma circunstancia queda reflejada en el gráfico de anomalías, en donde se aprecian unas anomalías anuales que pueden alcanzar -40% respecto del periodo de control.

A partir de la década de 1960 la precipitación es más elevada, manteniendo una cierta estabilidad que se refleja en las tendencias de los siguientes períodos analizados, con una tendencia negativa cercana al -0.5%/decenio.

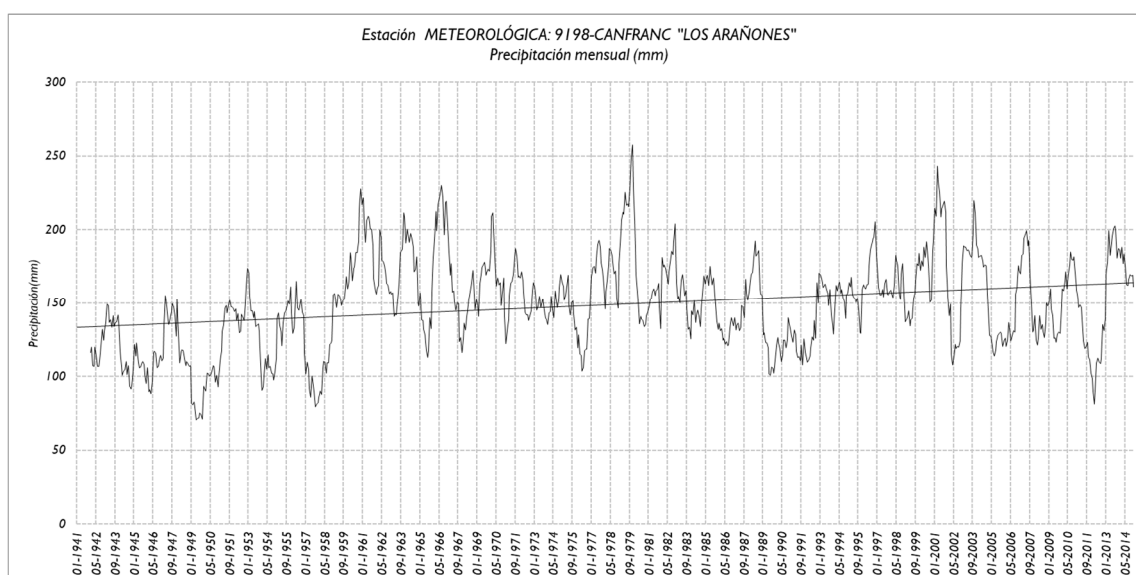


Figura 40 Tendencia de los datos mensuales de precipitación en la estación 9198-Canfranc. La línea de evolución muestra la media móvil a 12 meses, la tendencia está calculada en el período 1940-2015

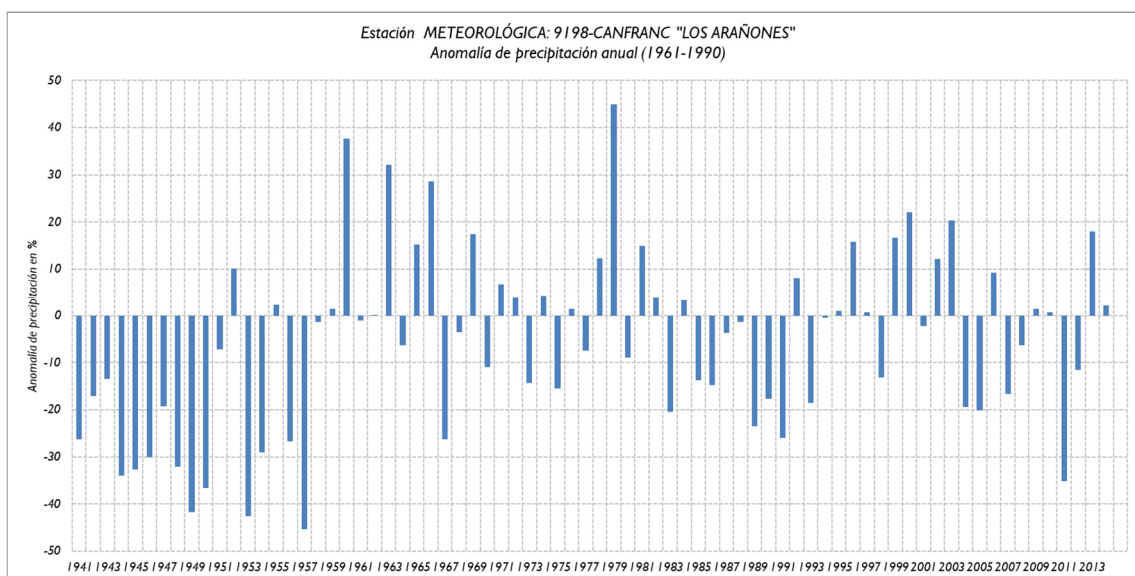


Figura 41 Anomalía anual de la precipitación anual en % de variación respecto el período de control, considerando este período la precipitación media entre los años 1961 y 1990

Zona central: en este ámbito se ha considerado que la estación 9262-Pamplona es la más representativa. En la figura 42 se muestra la evolución de la precipitación en la que se aprecia una tendencia positiva en el periodo 1940-2015. De la misma forma que sucede en otras regiones, se puede observar un periodo seco que se produce durante la primera década de la serie, condicionando la tendencia y de esta forma, obtener una pendiente positiva de +0,49%/decenio. Esta primera década más seca se ve reflejada en el gráfico de anomalías de la figura 43, donde se pueden apreciar valores que pueden alcanzar el -30% y el -40% respecto el periodo de control. A este primer periodo le sigue un periodo más húmedo entre los años 60 y 70, sucedidos por un paulatino descenso en las precipitaciones, que condiciona el valor de la tendencia, alcanzando el valor de -1,26%/decenio en el periodo 1970-2015. Esto mismo se ve reflejado por los valores negativos en el gráfico de anomalías anuales, donde en numerosos años se supera el -30% respecto el periodo de control. Es al final de la serie donde las anomalías se tornan claramente positivas.

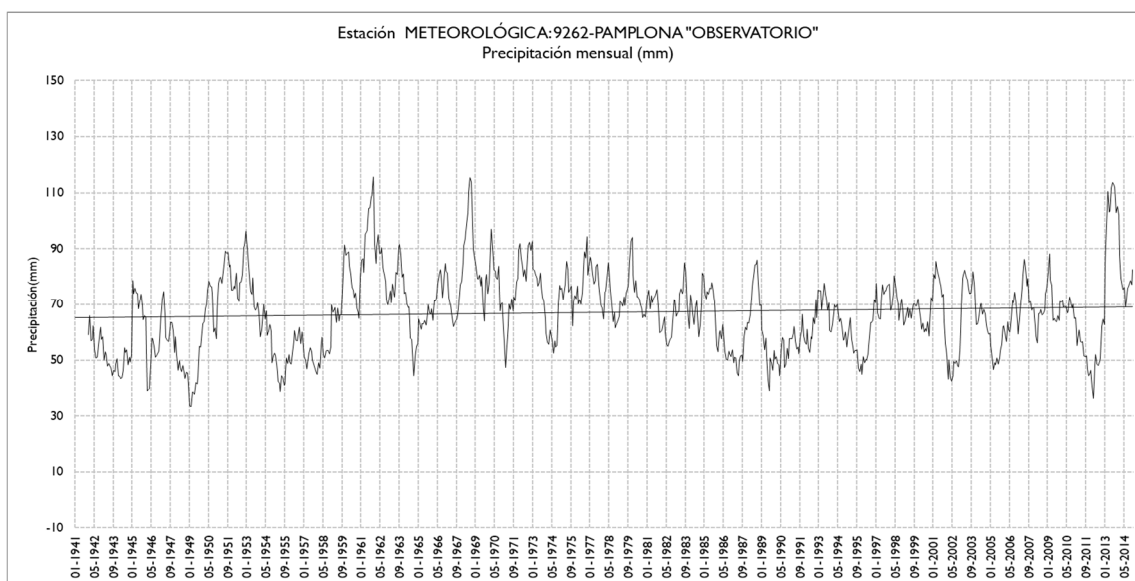


Figura 42 Tendencia de los datos mensuales de precipitación en la estación 9262-Pamplona. La línea de evolución muestra la media móvil a 12 meses, la tendencia está calculada en el período 1940-2015

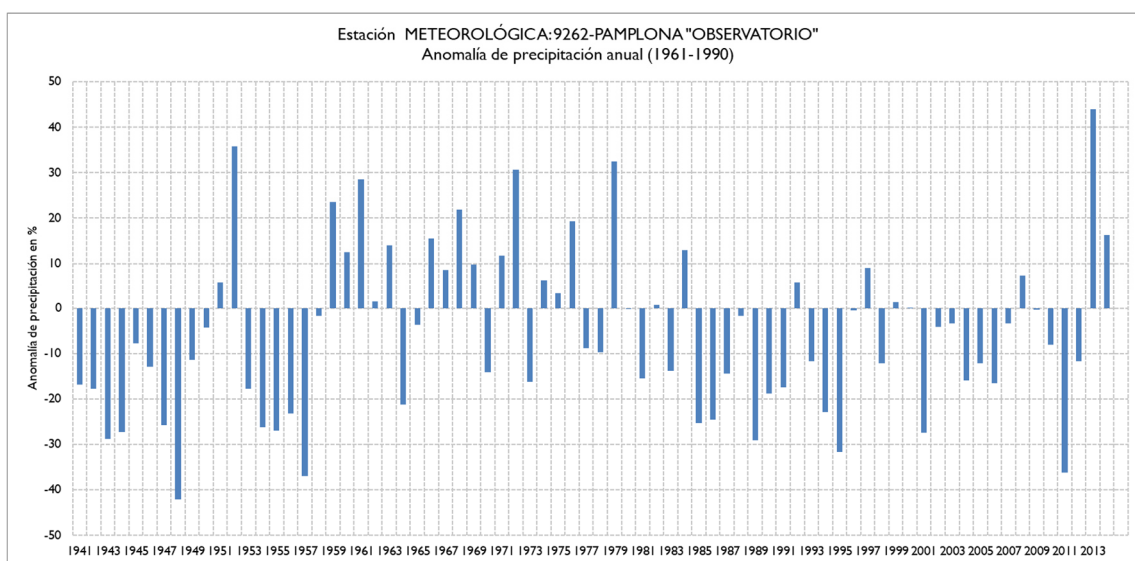


Figura 43 Anomalía anual de la precipitación anual en % de variación respecto el período de control, considerando este período la precipitación media entre los años 1961 y 1990

Vertiente de la cuenca del Ebro: el comportamiento de esta región se realiza en base al análisis de la estación 9301-Monteagudo, en esta estación se puede observar una tendencia negativa en los dos primeros periodos analizados, y positiva con un valor de +0,45%/decenio en el período 1970-2015, tal y como se puede consultar en la tabla 7 o en la figura 37. En el gráfico de anomalías se puede observar un corto periodo más húmedo al inicio de los años de la década

de 1960, que le sigue una reducción paulatina de la precipitación, mostrando en determinados años anomalías próximas al -40% respecto al período de control. Se aprecia una cierta variabilidad interanual con valores que pueden alcanzar +60% de anomalía anual en el año 2004.

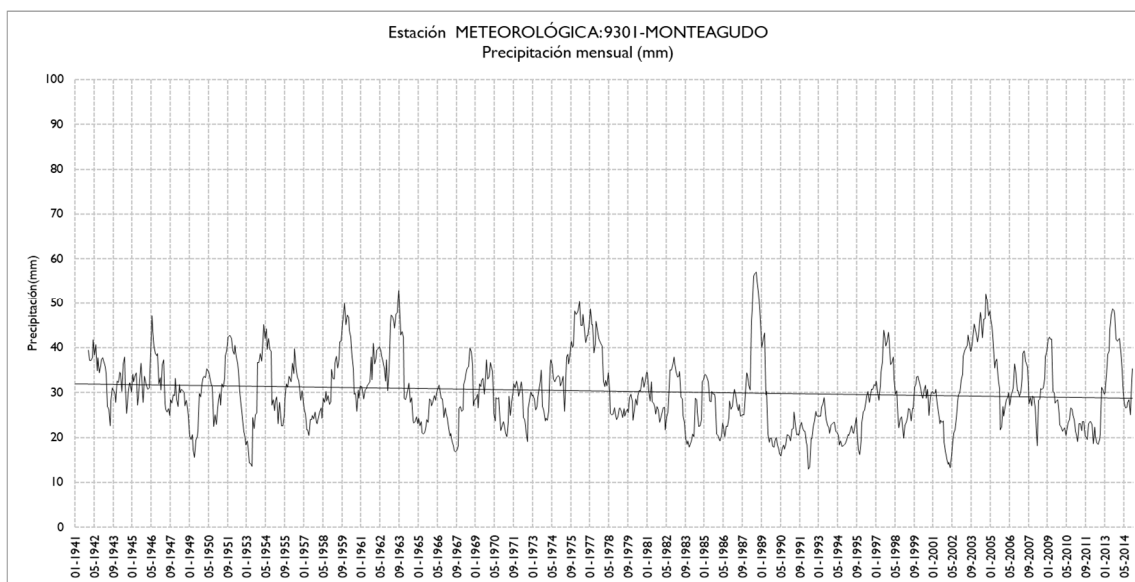


Figura 44 Tendencia de los datos mensuales de precipitación en la estación 9301-Monteagudo. La línea de evolución muestra la media móvil a 12 meses, la tendencia está calculada en el período 1940-2015

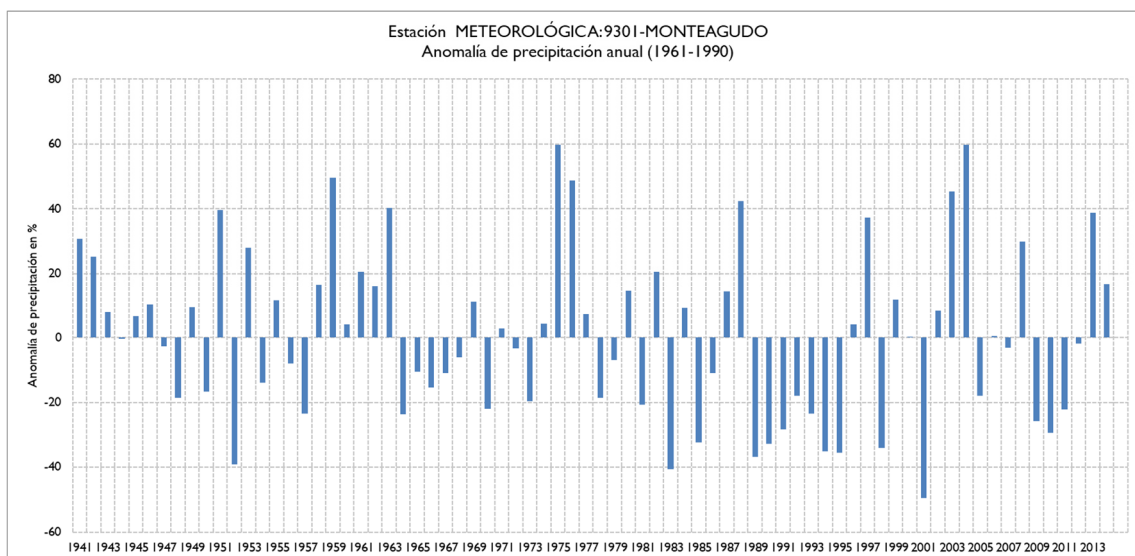


Figura 45 Anomalía anual de la precipitación anual en % de variación respecto el período de control, considerando este período la precipitación media entre los años 1961 y 1990

6. Análisis de tendencia de las aportaciones

El análisis de tendencias en las aportaciones se ha basado, del mismo modo que para las variables precipitación y temperaturas, en el método o test de Mann-Kendall [Kendall, 1956] y Sen [Sen, 1968].

Esta metodología se ha aplicado a tres periodos temporales distintos:

- el primero, entre los años 1940-2015, empleado para poder observar la evolución de las diferentes variables durante todo el período registrado en el BDH.
- el segundo periodo, entre los años 1954 – 2015, para poder realizar análisis comparativos mediante la utilización de un periodo común empleado en estudios previos [Oria, 2016] y así poder relacionar la tendencia de la precipitación y de las aportaciones.
- un tercer periodo, entre los años 1970-2015, caracterizado por la presencia mayoritaria de estaciones climáticas con registros homogéneos y continuos en el tiempo en las variables analizadas.

El análisis de estos tres períodos permite obtener una visión evolutiva a lo largo del tiempo de las tendencias predominantes en los recursos hídricos en la comunidad de Navarra.

El estudio de la evolución y tendencia de la aportación en régimen natural se ha basado en las series reconstruidas con motivo de la actualización del BDH [Gobierno de Navarra, 2017], de donde se han obtenido series continuas desde el año 1940 al 2015.

A partir de estos datos se realiza un análisis de tendencia para los tres periodos comentados anteriormente, utilizando la estimación de Sen [Sen, 1968]; al mismo tiempo se estudia el nivel de significancia estadística de la tendencia obtenida mediante la aplicación del test de Mann-Kendall [Kendall, 1956], considerando un umbral para el nivel de significancia por debajo del 5%.

El valor de la tendencia se expresa en % hm³/decenio y se calcula a partir de la recta de regresión obtenida. 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 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.

Las tendencias de las aportaciones observadas, en una relación de estaciones seleccionadas por la Dirección Técnica de los trabajos, se localizan en la figura 46 y se recogen en la siguiente tabla:

Tabla 8 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	6000*	-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	2000*	0.2%	9.18E-01	-6.2%	5.77E-02	-6.3%	2.78E-01

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 CANTÁBRICA	BIDASOA	Bidasoa en Enderlatza	9400K	-1.9%	<i>1.31E-01</i>	-3.0%	3.28E-02	-4.3%	4.49E-02
	URUMEA	Urumea en embalse de Añarbe	9520D	-0.7%	<i>6.08E-01</i>	-3.7%	2.80E-02	-5.1%	3.90E-02

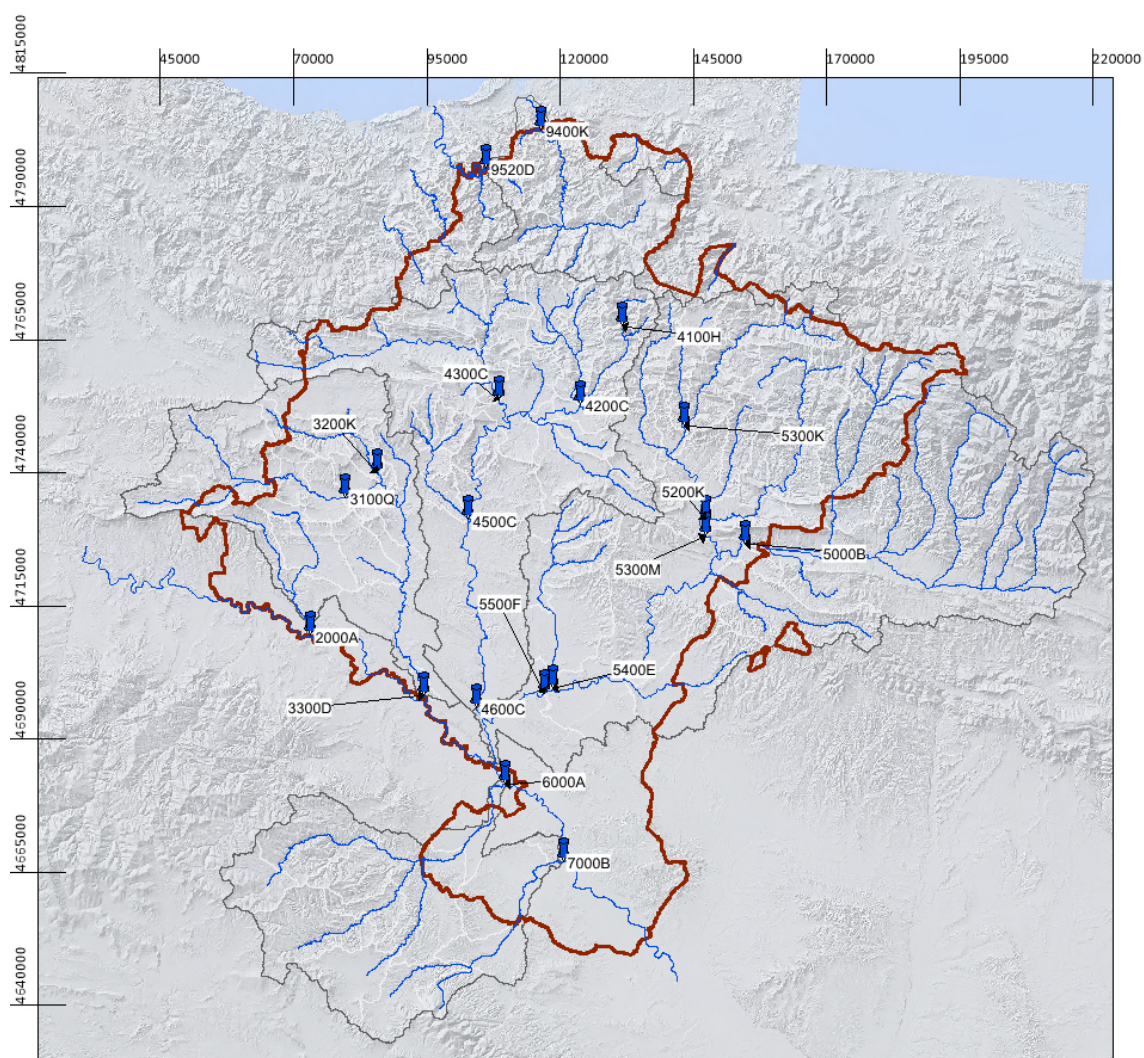


Figura 46 Localización de los principales puntos de interés donde estudiar la evolución de las aportaciones

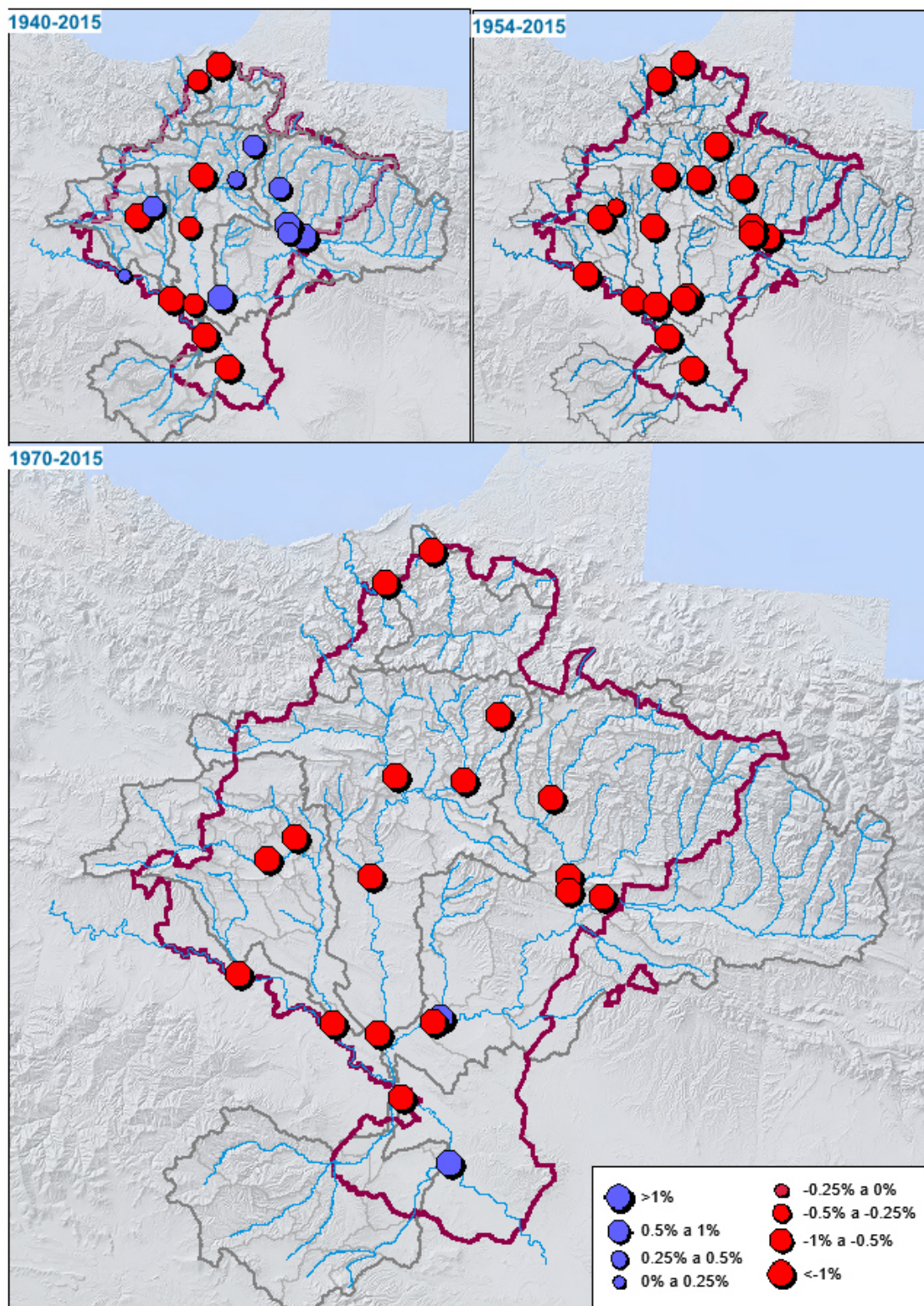


Figura 47 Tendencias para las aportaciones en %/decenio para las estaciones pertenecientes a la red básica

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 constreñido [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.

Seguidamente se presenta, para determinadas subcuencas, tanto de la vertiente mediterránea como de la cantábrica, la evolución de las aportaciones mensuales observadas y de las anomalías respecto de la aportación media del período de control seleccionado [de 1961 a 1990], adoptándose así el mismo intervalo que el aplicado en el estudio anterior [Oria, 2016].

Vertiente mediterránea: Cuenca del río EGA

En la figura 48 se muestra la evolución de las aportaciones apreciándose una tendencia ligeramente negativa desde el inicio de la serie [-1%/decenio en el periodo 40-15]. De la misma forma que sucede en otras regiones se puede observar un periodo inicial seco entre los años 40 y final de los 50. Esta situación se ve reflejada en el gráfico de anomalías respecto del periodo de control que descienden en numerosas ocasiones más del 20%. A este primer periodo le sigue un periodo considerablemente más húmedo -entre los años 60 y 80- de anomalías mayoritariamente positivas, para terminar -entre los años 80 y 12- con un claro descenso de las aportaciones tal y como reflejan las anomalías a lo largo de esos años. Esto hace que se alcancen tendencias medias negativas para los periodos 54/15 y 70/15 de -3,8%/decenio y -4,1%/decenio respectivamente. Cabe destacar los últimos años de la serie donde la tendencia global se invierte presentándose anomalías claramente positivas que en el año 2013 llegan a duplicar el valor medio del período de control. Hay que señalar a este respecto, que dicho año corresponde a uno de los más húmedos registrados en el presente siglo en Navarra, tal y como recogen los estadísticos publicados de los observatorios en el Portal Web de Meteonavarra.

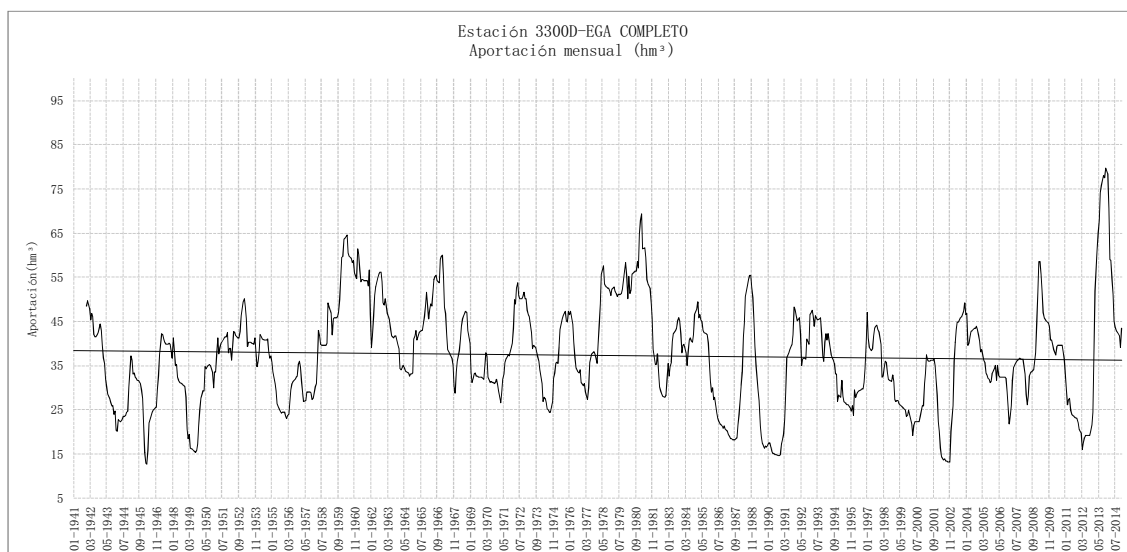


Figura 48 Tendencia de los datos mensuales de aportación en la estación 3300D [Ega completo]. La línea de evolución muestra la media móvil a 12 meses, la tendencia está calculada en el período 1940-2015

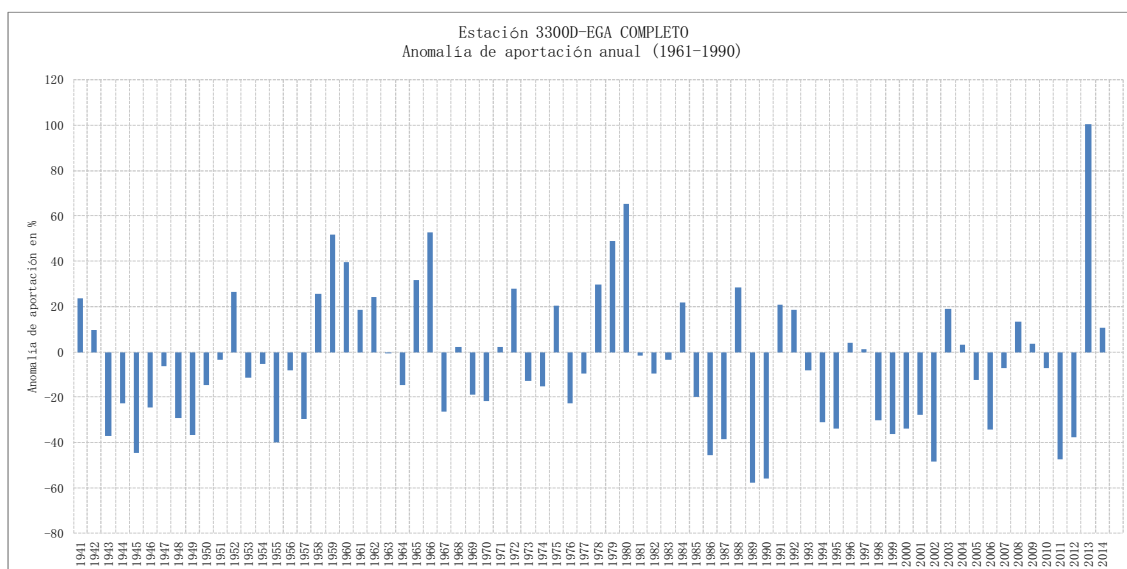


Figura 49 Anomalia anual de la aportación anual en % de variación respecto el período de control, considerando este período la aportación media entre los años 1961 y 1990

Vertiente mediterránea: Cuenca del río ARGA

En la cuenca del río Arga se identifica un ligero descenso de las aportaciones a lo largo del periodo analizado [-0,6%/decenio en el periodo 40-15]. Analizando la tendencia por tramos, se observa un periodo inicial seco desde la década de los 40 hasta final de los 50 [con excepción del año 41 y los tres primeros años de la década de los 50]. Esta situación se ve

reflejada en el gráfico de anomalías anuales que descienden en numerosas ocasiones más del 20%. A este primer periodo le sigue un periodo ligeramente más húmedo -entre los años 60 y 80- de anomalías mayoritariamente positivas, para terminar -entre los años 80 y 12- con un claro descenso de las aportaciones tal y como reflejan las anomalías a lo largo de esos años. Esto hace que se alcancen tendencias medias negativas para los periodos 54/15 y 70/15 de -2,9%/decenio y -4,5%/decenio respectivamente. Cabe destacar los últimos años de la serie donde la tendencia global se invierte presentándose anomalías claramente positivas que en el año 2013 representan un aumento de las aportaciones del 80% respecto del valor medio del período de control.

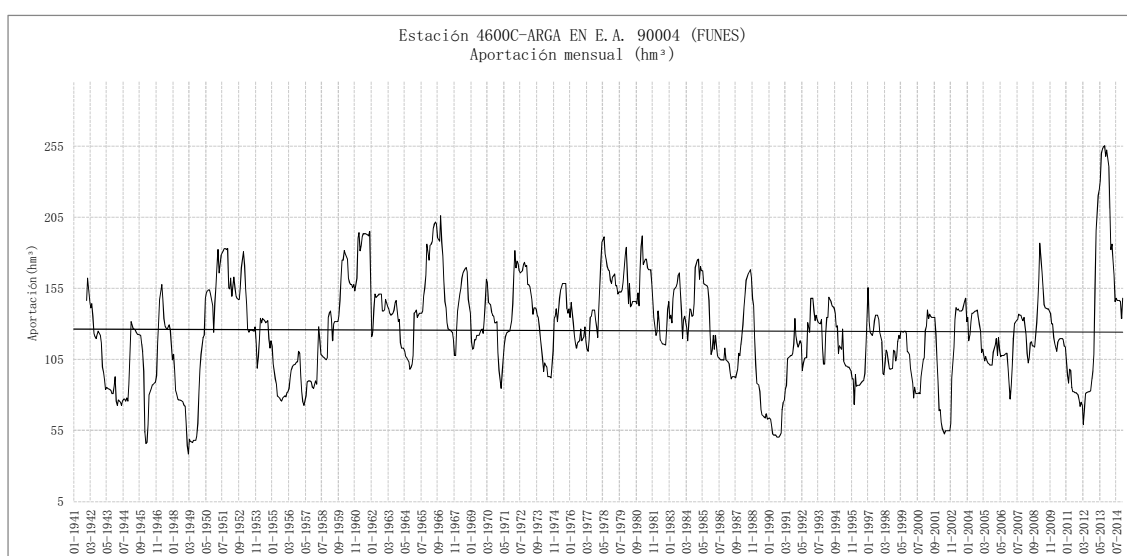


Figura 50 Tendencia de los datos mensuales de aportación en la estación 4600C [Arga en Funes]. La línea de evolución muestra la media móvil a 12 meses, la tendencia está calculada en el período 1940-2015

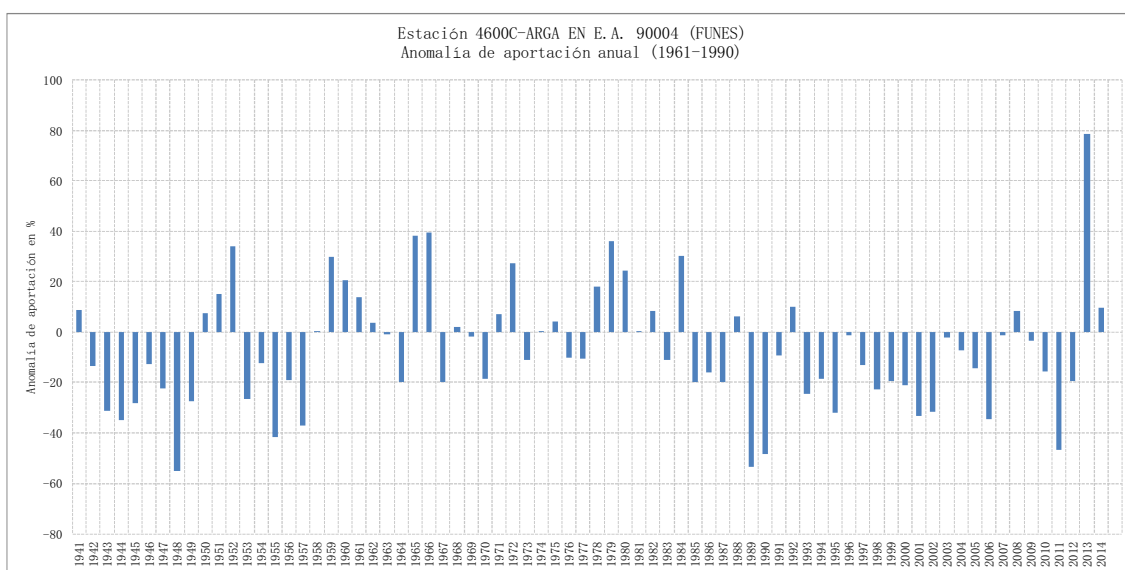


Figura 51 Anomalía anual de la aportación anual en % de variación respecto el período de control, considerando este período la aportación media entre los años 1961 y 1990

Vertiente mediterránea: Cuenca del río ARAGÓN

En la cuenca del río Aragón se identifica un aumento de las aportaciones a lo largo del periodo completo analizado [+1,7%/decenio en el periodo 40-15]. Analizando la tendencia por tramos, se observa un periodo inicial seco entre los años 40 y final de los 50. Esta situación se ve reflejada en el gráfico de anomalías anuales que descienden frecuentemente más del 20% alcanzándose algunos años descensos próximos al 60%. A este primer periodo le sigue un periodo más húmedo -entre los años 60 y 90-, de anomalías frecuentemente positivas, para terminar - entre los años 90 y 12- con un claro descenso de las aportaciones tal y como reflejan las anomalías a lo largo de esos años. En esta estación se obtienen unas tendencias medias negativas para los periodos 54/15 y 70/15 de -2,1%/decenio y -3,6%/decenio respectivamente. Cabe destacar los últimos años de la serie donde la tendencia global se invierte presentándose anomalías claramente positivas que en el año 2013 representan un aumento de las aportaciones del 60% respecto del valor medio del período de control.

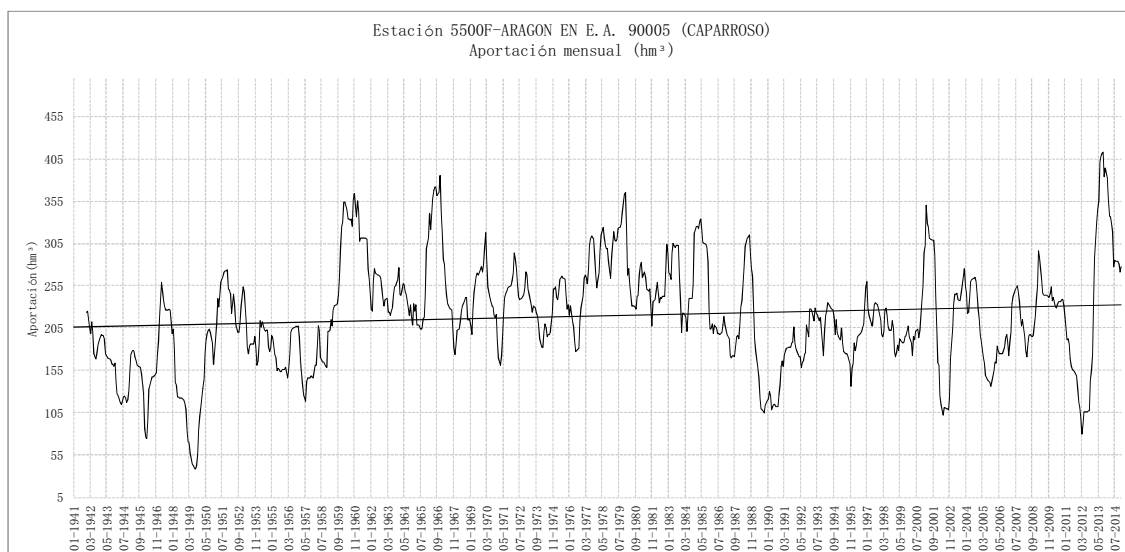


Figura 52 Tendencia de los datos mensuales de aportación en la estación 5500F [Aragón en Caparros]. La línea de evolución muestra la media móvil a 12 meses, la tendencia está calculada en el período 1940-2015

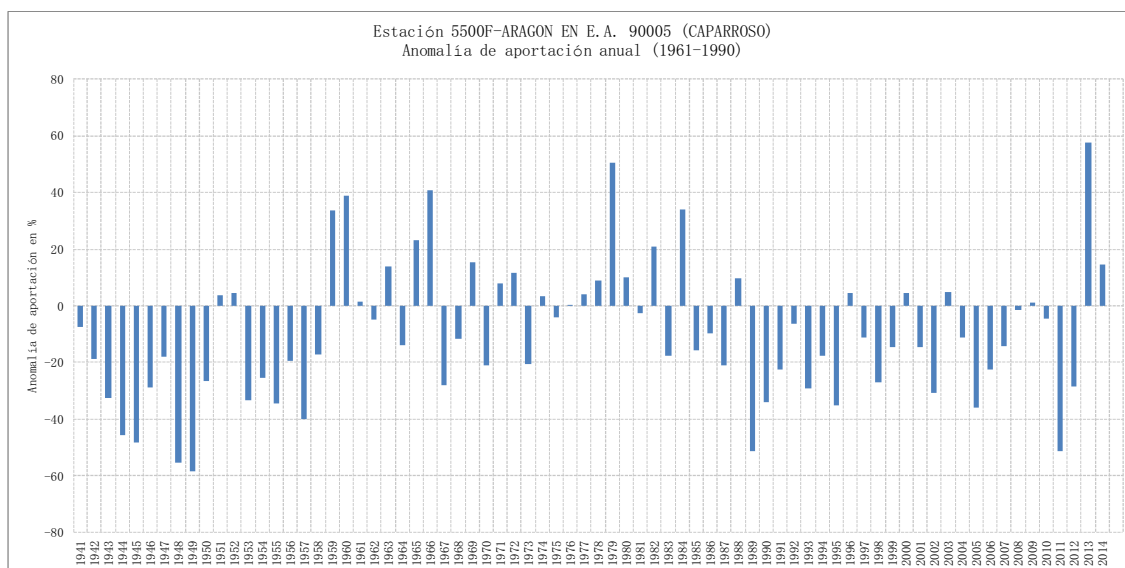


Figura 53 Anomalía anual de la aportación anual en % de variación respecto el período de control, considerando este período la aportación media entre los años 1961 y 1990

Vertiente mediterránea: Cuenca del río ALHAMA

En la Figura 54 se muestra la evolución de las aportaciones apreciándose una tendencia ligeramente descendiente desde el inicio de la serie [-1,4%/decenio en el periodo 40-15]. De

la representación de anomalías [Figura 55] cabe destacar los años de aportación excepcionalmente superior a la aportación media del periodo de control (años 41, 46, 77, 88 y 97), donde se duplican [y en algunos casos casi triplican] las aportaciones medias del periodo de referencia. Descartando dichas excepciones puede observarse, al igual que en otras regiones, un periodo inicial seco –si bien más constreñido–, entre los años 43 y 53. Esta situación se ve reflejada en el gráfico de anomalías donde las aportaciones se reducen en numerosas ocasiones más del 50%. A este primer periodo le sigue un periodo sin diferencias significativas y es partir de los años 80 cuando se produce, de forma generalizada, un descenso de las aportaciones tal y como reflejan las anomalías a lo largo de esos años. Dichas anomalías se revierten en algunos años donde las aportaciones son excepcionalmente altas (años 77, 88, 97 y 2003). Esto hace que se alcancen tendencias medias negativas para los periodos 54/15 y 70/15 de -4,9%/decenio y -3,7%/decenio respectivamente. A diferencia de las cuencas anteriores, en este caso el año 2013 no presenta aportaciones excepcionalmente altas.

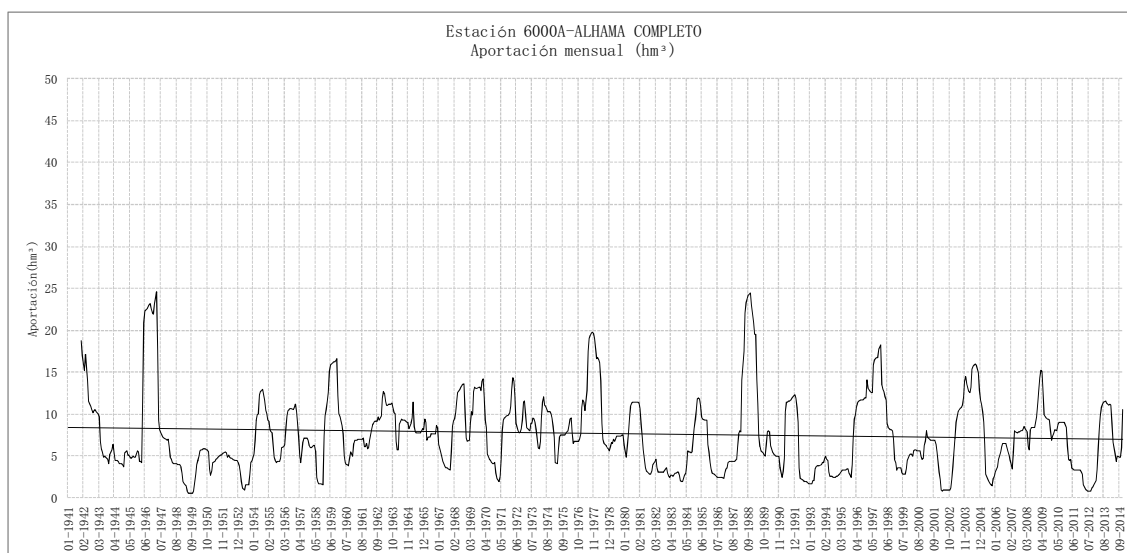


Figura 54 Tendencia de los datos mensuales de aportación en la estación 6000A [Alhama completo]. La línea de evolución muestra la media móvil a 12 meses, la tendencia está calculada en el período 1940-2015

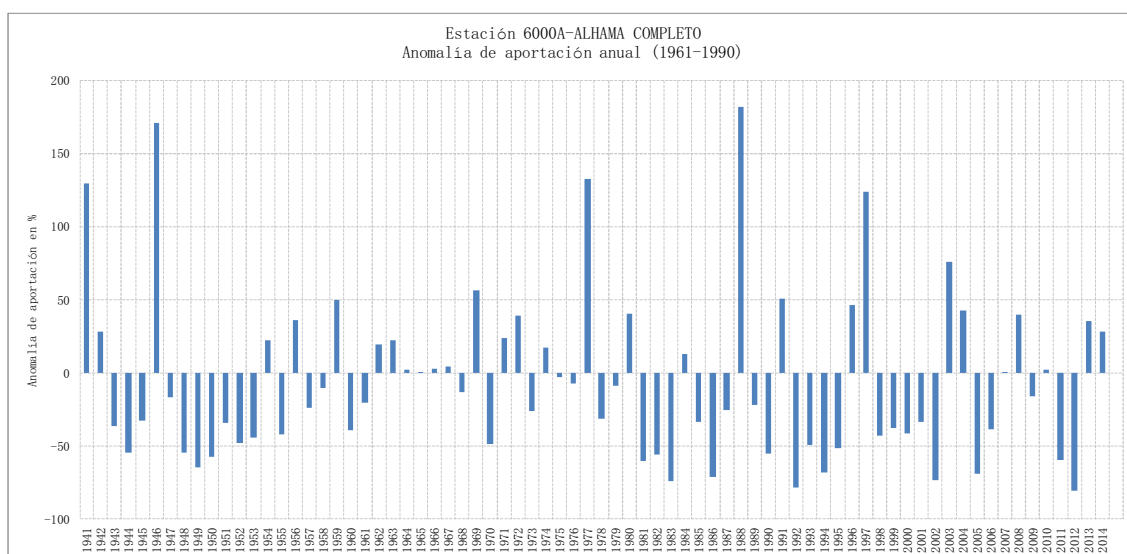


Figura 55 Anomalia anual de la aportación anual en % de variación respecto el período de control, considerando este período la aportación media entre los años 1961 y 1990

Vertiente mediterránea: Cuenca del río Queiles

En la Figura 57 se muestra la evolución de las aportaciones apreciándose una tendencia ligeramente descendiente desde el inicio de la serie [-2,8%/decenio en el periodo 40-15]. De la representación de anomalías [Figura 57] únicamente podría concluirse la existencia de un periodo seco desde el año 78 hasta el final, periodo salpicado por años de aportaciones excepcionalmente anómalas y superiores a la media anual del periodo de referencia [años 77, 88, 97, 2004 y 2013], al igual que sucedía en la cuenca del río Alhama. Finalmente, las tendencias medias son negativas para los periodos 54/15 y 70/15 de -3,6%/decenio y -1,9%/decenio respectivamente.

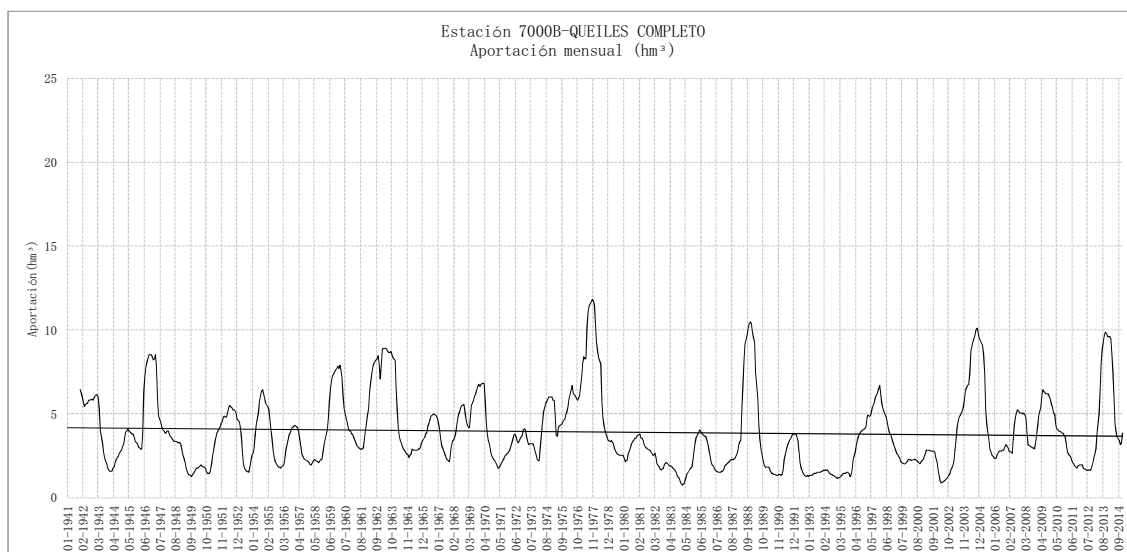


Figura 56 Tendencia de los datos mensuales de aportación en la estación 7000B [Queiles completo]. La línea de evolución muestra la media móvil a 12 meses, la tendencia está calculada en el período 1940-2015

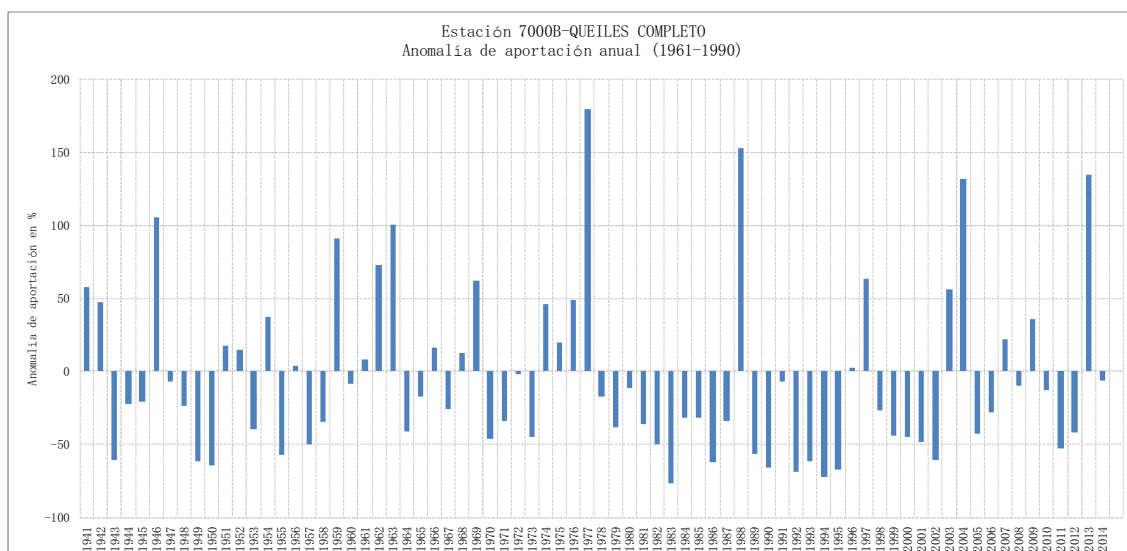


Figura 57 Anomalía anual de la aportación anual en % de variación respecto al período de control, considerando este período la aportación media entre los años 1961 y 1990

Vertiente mediterránea: Cuenca del río Linares

En la cuenca del río Linares se identifica un ligerísimo aumento de las aportaciones a lo largo del periodo completo analizado [+0,2%/decenio en el periodo 40-15]. Analizando la tendencia por tramos, se observa un periodo inicial seco entre los años 40 y final de los 50. Esta situación se ve reflejada en el gráfico de anomalías anuales que descienden casi todos los años del

periodo más del 50%. A este primer periodo le sigue un periodo considerablemente más húmedo -entre los años 60 y 80-, de anomalías frecuentemente positivas, revertiéndose esta situación a partir de la década de los 80, donde predomina un claro descenso de las aportaciones tal y como reflejan las anomalías a lo largo de esos años. Dichas anomalías, especialmente intensas en ambos periodos secos [superan descensos del 50% en las aportaciones con respecto a la media del periodo de referencia], hacen que se alcancen tendencias especialmente decrecientes para los periodos 54/15 y 70/15, -6,2%/decenio y -6,3%/decenio respectivamente, que representan los descensos más acusados en las aportaciones del ámbito de estudio. Cabe destacar los últimos años de la serie donde la tendencia global se invierte presentándose anomalías claramente positivas que en el año 2013 duplican sobradamente las aportaciones con respecto al valor medio del período de control.

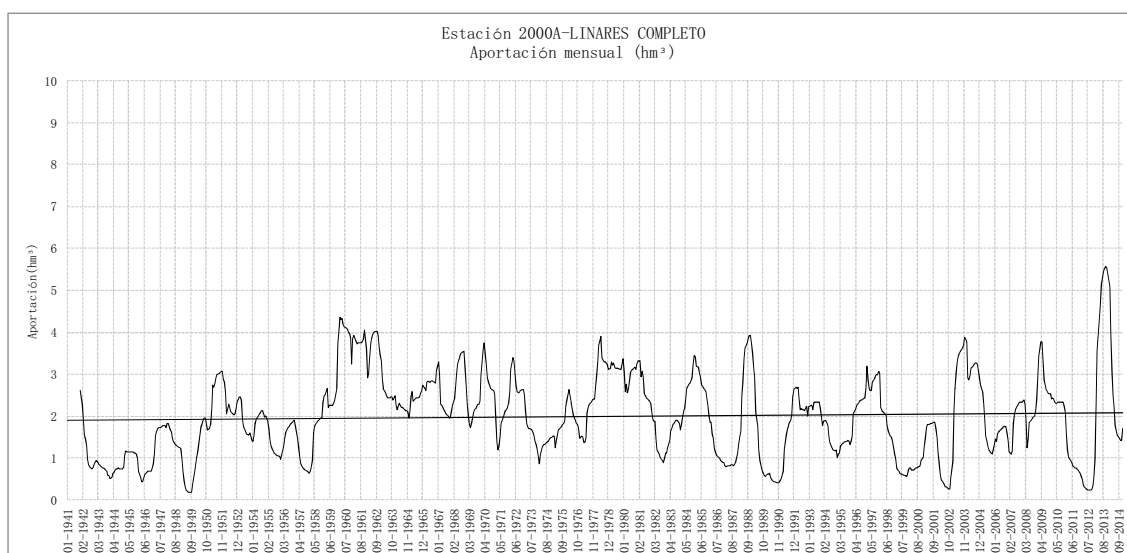


Figura 58 Tendencia de los datos mensuales de aportación en la estación 2000A [Linares completo]. La línea de evolución muestra la media móvil a 12 meses, la tendencia está calculada en el período 1940-2015

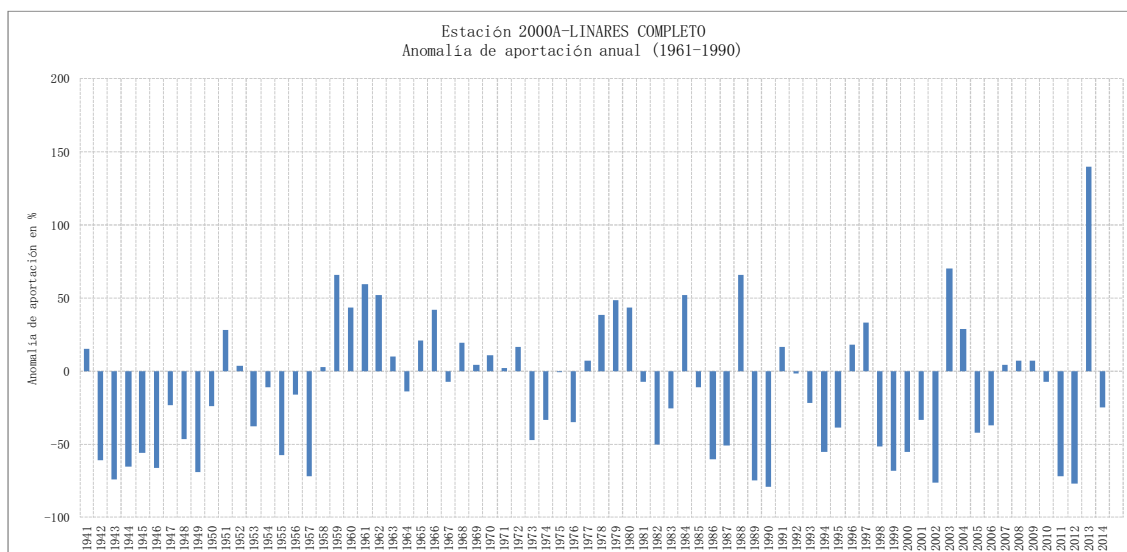


Figura 59 Anomalía anual de la aportación anual en % de variación respecto el período de control, considerando este período la aportación media entre los años 1961 y 1990

Vertiente cantábrica: Cuenca del río Bidasoa

En la cuenca del río Bidasoa se identifica un descenso de las aportaciones a lo largo del periodo completo analizado [-1,9%/decenio en el periodo 40-15]. Analizando la tendencia por tramos, se observa un periodo inicial seco entre los años 40 y 50. Esta situación se ve reflejada en el gráfico de anomalías anuales que descienden en este periodo una media de 20%. A este primer periodo le sigue un periodo más húmedo -entre los años 50 y 80-, caracterizado por anomalías frecuentemente positivas, revertiéndose esta situación a partir de la década de los 80 [año 83], produciéndose un claro descenso de las aportaciones tal y como reflejan las anomalías a lo largo de esos años. Dichas anomalías son continuadas y quizás más intensas en este segundo periodo seco. Ello hace que se alcancen tendencias decrecientes significativas para los periodos 54/15 y 70/15, de -3,0%/decenio y -4,3%/decenio respectivamente. Cabe destacar los últimos años de la serie donde la tendencia global se invierte presentándose anomalías claramente positivas que en el año 2013 representan unas aportaciones superiores en un 50% con respecto al valor medio del período de control.

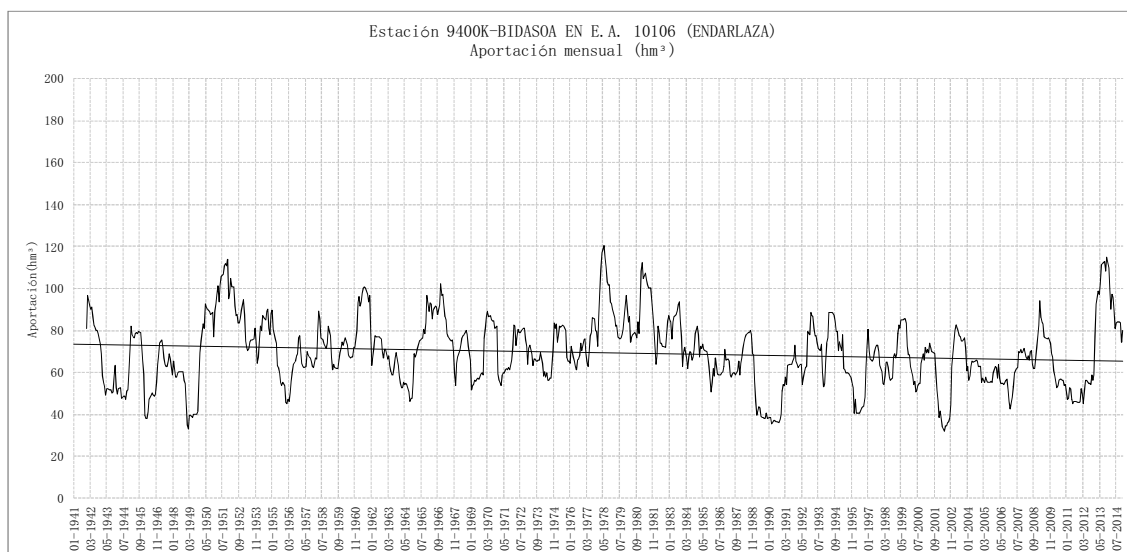


Figura 60 Tendencia de los datos mensuales de aportación en la estación 9400K [Bidasoa en Endarlatza]. La línea de evolución muestra la media móvil a 12 meses, la tendencia está calculada en el período 1940-2015

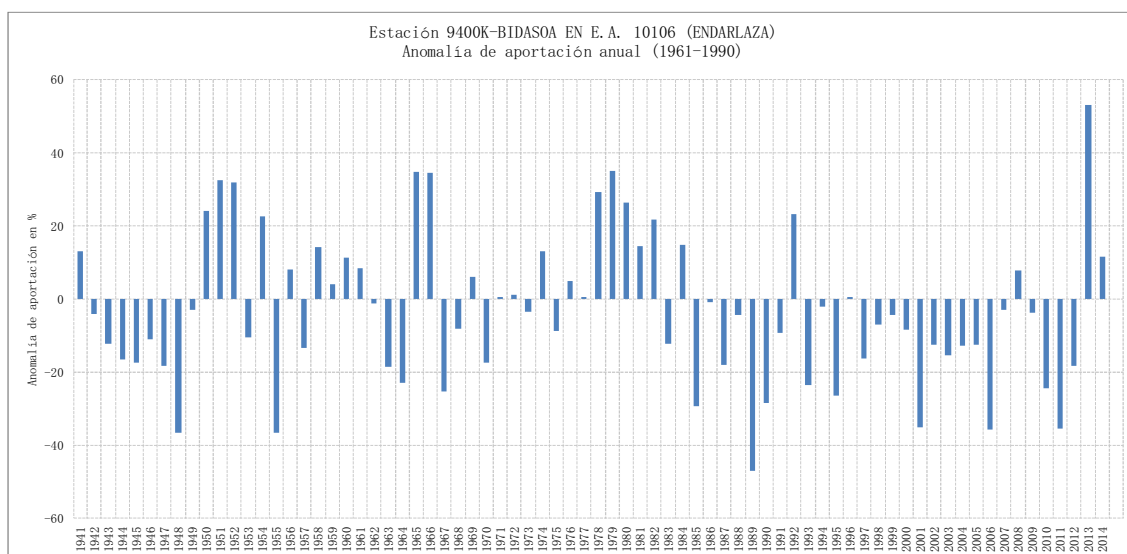


Figura 61 Anomalía anual de la aportación anual en % de variación respecto el período de control, considerando este período la aportación media entre los años 1961 y 1990

Vertiente cantábrica: Cuenca del río Urumea

En la cuenca del río Urumea se identifica un ligero descenso de las aportaciones a lo largo del periodo completo analizado [-0,7%/decenio en el periodo 40-15]. Analizando la tendencia por tramos, se observa un periodo inicial seco entre los años 40 y 50. Esta situación se ve reflejada en el gráfico de anomalías anuales que descienden todos los años al menos el 20%. A este primer periodo le sigue un periodo más húmedo -entre los años 50 y segunda mitad de los 80-, de anomalías frecuentemente positivas y negativas, revertiéndose esta situación a partir de

la segunda mitad de los 80 donde se produce un claro descenso de las aportaciones tal y como reflejan las anomalías a lo largo de esos años. Dichas anomalías son continuadas y de gran intensidad en este segundo periodo seco. Ello hace que se alcancen tendencias decrecientes significativas para los periodos 54/15 y 70/15, de $-3,0\%/decenio$ y $-4,3\%/decenio$ respectivamente. Cabe destacar los últimos años de la serie donde la tendencia global se invierte presentándose anomalías claramente positivas que se acentúan en el año 2013.

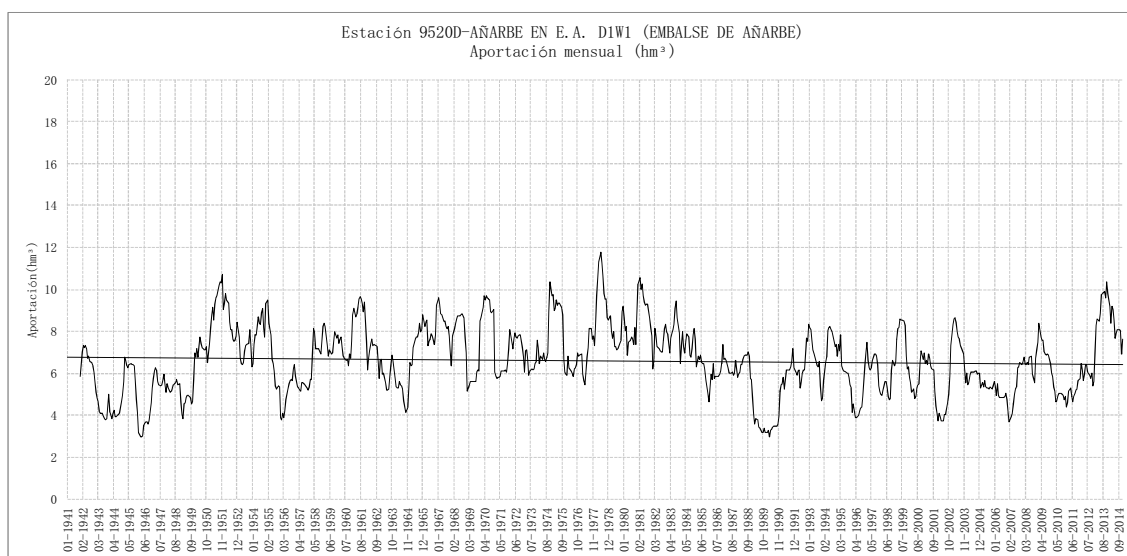


Figura 62 Tendencia de los datos mensuales de aportación en la estación 9520D [Urumea en embalse de Añarbe]. La línea de evolución muestra la media móvil a 12 meses, la tendencia está calculada en el período 1940-2015

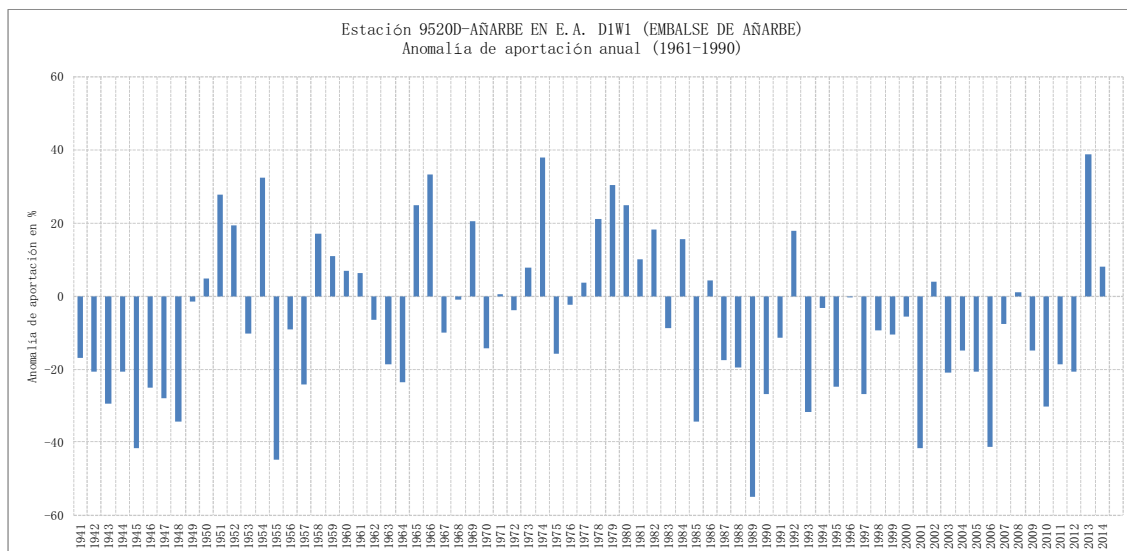


Figura 63 Anomalía anual de la aportación anual en % de variación respecto el período de control, considerando este período la aportación media entre los años 1961 y 1990

7. Análisis y evolución de fenómenos extremos

Uno de los componentes adicionales del estudio consiste en realizar un análisis del impacto del cambio climático tanto en los episodios extremos de lluvia como en los episodios de sequía.

Los episodios extremos de precipitación se han estudiado a partir de las precipitaciones máximas diarias, obteniendo los cuantiles de excedencia de precipitación en las estaciones meteorológicas que disponen de un mayor número de datos registrados.

Los episodios de sequía se han estudiado a partir de las precipitaciones mínimas, mediante la obtención del índice normalizado de precipitación [SPI].

A continuación, se explica con más detalle el tratamiento realizado y los resultados obtenidos para cada uno de los análisis de extremos realizados.

7.1 Precipitaciones máximas

El estudio de precipitaciones máximas se ha realizado obteniendo los cuantiles de excedencia para 10, 100 y 500 años de período de retorno.

Se ha trabajado con tres períodos temporales distribuidos de tal forma que cada uno de ellos contemplara aproximadamente 30 años: 1940-1970, 1970-2000 y 1985-2015.

Para estos tres períodos se ha aplicado la distribución General para Valores extremos [GEV] en base a L-momentos, ley ampliamente utilizada en diversos lugares del mundo [Garijo & Mediero, 2019][Svensson & Jones, 2010] y concretamente en España [Polo & López, 1994]. El resultado obtenido está sujeto a una gran incertidumbre, la cual va asociada a la propia distribución escogida y a la longitud de la serie analizada. Debido a la incertidumbre comentada, se muestra como resultado la anomalía o incremento y no el resultado del cuantil.

Los resultados se han comparado con los obtenidos en el periodo completo de la serie registrada 1940-2015, para de esta forma poder obtener el valor de las anomalías expresado como (ΔT) [Garijo & Mediero, 2019]. Este valor es adimensional e indica la relación entre el periodo de control y los periodos seleccionados. Multiplicando la siguiente expresión por 100 se obtiene la anomalía en porcentaje:

$$\Delta T = \left(\frac{P_{T,i} - P_{T,con}}{P_{T,con}} \right)$$

7.1.1 Resultados obtenidos para el primer periodo [1940-1970]

Los resultados obtenidos para el primer intervalo estudiado, comprendido entre 1940 y 1970, se presentan en la Tabla 9. Se puede observar en él, de forma generalizada, un aumento de los cuantiles respecto el periodo de referencia. Este aumento es creciente a medida que aumenta el período de retorno, llegando al extremo en la estación de 9290-Fitero donde T para 500 años de período de retorno supera el valor de 58%.

En promedio, para el conjunto de estaciones analizadas el T oscila entre el +6% para 10 años de período de retorno y +16% para 500, donde se muestra por tanto un incremento ostensible de los cuantiles respecto al período de referencia o control. Si bien ésta representa la tendencia general, se aprecian excepciones en la estación 1021 Articutza y 9198 Canfranc, donde se produce una reducción de los cuantiles respecto el periodo de control.

Tabla 9 Variación de los cuantiles (ΔT) del periodo 1940-1970 respecto el periodo de control 1940-2015

Código	Estación	ΔT Tr = 10 años	ΔT Tr = 50 años	ΔT Tr = 100 años	ΔT Tr = 500 años
1006	SANTESTEBAN	3%	12%	17%	34%
1021	ARTICUTZA	0%	-3%	-4%	-8%
1024	SAN SEBASTIAN (ATEGORRIETA)	11%	14%	13%	11%
9145	CENICERO "BODEGAS"	-3%	-5%	-7%	-9%
9174	SARTAGUDA	30%	23%	19%	11%
9198	CANFRANC "LOS ARAÑONES"	-5%	-9%	-11%	-16%
9223	YESA "EMBALSE"	-7%	-6%	-6%	-5%
9246	CARCASTILLO "LA OLIVA"	2%	6%	8%	14%
9252	OLITE	9%	13%	16%	22%
9255	CAPARROSO	11%	16%	19%	25%
9262	PAMPLONA "OBSERVATORIO"	18%	19%	19%	17%
9269	ALSASUA	7%	25%	36%	75%
9290	FITERO	6%	19%	28%	58%
9301	MONTEAGUDO	3%	0%	-1%	-4%
9305	BUÑUEL	11%	8%	8%	8%

7.1.2 Resultados obtenidos para el segundo periodo (1970-2000)

En el segundo periodo analizado, comprendido entre los años 1970 y 2000, tal y como se puede observar en la tabla 10, se aprecia una clara reducción de los cuantiles respecto al conjunto de la serie.

En promedio, para el conjunto de estaciones analizadas, se obtiene una reducción de los cuantiles del -8% para 10 años y -7% para 500 años. Esta aparente similitud muestra a su vez diferencias importantes cuando se analizan las estaciones de forma particular, donde destaca la estación 9223 Yesa, con un T de +11% para 10 años de periodo de retorno y +14% para 500.

Tabla 10 Variación de los cuantiles (ΔT) del periodo 1970-2000 respecto el periodo de control 1940-2015

Código	Estación	ΔT Tr = 10 años	ΔT Tr = 50 años	ΔT Tr = 100 años	ΔT Tr = 500 años
1006	SANTESTEBAN	-7%	-7%	-8%	-8%
1021	ARTICUTZA	-3%	4%	8%	19%
1024	SAN SEBASTIAN (ATEGORRIETA)	-16%	-25%	-29%	-36%
9145	CENICERO "BODEGAS"	7%	12%	15%	23%
9174	SARTAGUDA	-19%	-12%	-7%	10%
9198	CANFRANC "LOS ARAÑONES"	-1%	-6%	-9%	-15%
9223	YESA "EMBALSE"	11%	11%	12%	14%
9246	CARCASTILLO "LA OLIVA"	-15%	-13%	-11%	-6%
9252	OLITE	-12%	-11%	-11%	-9%
9255	CAPARROSO	-12%	-22%	-26%	-35%
9262	PAMPLONA "OBSERVATORIO"	-6%	0%	4%	14%
9269	ALSASUA	-4%	-6%	-7%	-10%
9290	FITERO	-11%	-12%	-13%	-14%
9301	MONTEAGUDO	-13%	-16%	-17%	-19%
9305	BUÑUEL	-23%	-30%	-33%	-39%

7.1.3 Resultados obtenidos para el tercer periodo [1985-2015]

Por último, para el tercer período comparado comprendido entre los años 1985 y 2015, se puede observar una leve reducción de los cuantiles respecto al periodo de referencia, únicamente para un El promedio de T para 500 años de periodo de retorno muestra un valor positivo de +2%, para el resto de periodos de retorno el T es negativo, alcanzando un valor de -5% para 10 años de periodo de retorno.

La dispersión de los resultados es apreciable, para el mismo periodo de retorno se puede obtener valores muy diferentes, como es el caso para el periodo de retorno de 500 años donde en la estación de Canfranc se obtiene un valor +48% en la y Satagurda de -48% de. Por tanto, es difícil extraer conclusiones definitivas tomando como base estos resultados. Se deben tomar de forma orientativa.

Tabla 11 Variación de los cuantiles [ΔT] del periodo 1985-2015 respecto el periodo de control 1940-2015

Código	Estación	ΔT Tr = 10 años	ΔT Tr = 50 años	ΔT Tr = 100 años	ΔT Tr = 500 años
1006	SANTESTEBAN	-5%	-3%	-2%	-1%
1021	ARTICUTZA	-9%	-6%	-4%	1%
1024	SAN SEBASTIAN (ATEGORRIETA)	5%	9%	10%	15%
9145	CENICERO "BODEGAS"	0%	10%	15%	29%
9174	SARTAGUDA	-24%	-35%	-39%	-48%
9198	CANFRANC "LOS ARAÑONES"	6%	19%	26%	48%
9223	YESA "EMBALSE"	0%	10%	16%	35%
9246	CARCASTILLO "LA OLIVA"	1%	0%	0%	-1%
9252	OLITE	-8%	-13%	-15%	-19%
9255	CAPARROSO	-4%	-8%	-10%	-14%

Código	Estación	ΔT Tr = 10 años	ΔT Tr = 50 años	ΔT Tr = 100 años	ΔT Tr = 500 años
9262	PAMPLONA "OBSERVATORIO"	-12%	-21%	-24%	-32%
9269	ALSASUA	-2%	-7%	-10%	-17%
9290	FITERO	-9%	-10%	-11%	-13%
9301	MONTEAGUDO	-4%	5%	10%	24%
9305	BUÑUEL	-14%	0%	7%	29%

7.2 Precipitaciones mínimas, análisis de sequías

El análisis de la evolución de las precipitaciones mínimas se ha realizado en base al estudio de las sequías acaecidas durante el periodo 1940-2015, periodo registrado en el BDH.

Entre las diferentes tipologías de sequías a analizar se ha optado por estudiar la sequía meteorológica a través del índice de sequía normalizado [SPI]. Entre los diferentes índices meteorológicos existentes se ha seleccionado éste por ser considerado por la OMM como punto de partida del estudio de sequías [GWP & WMO, 2016], por su fácil manejo y por la existencia de diferentes aplicativos informáticos que facilitan su cálculo.

El SPI puede obtenerse para diferentes pasos de agregación [1, 3, 6, 9, 12, ... meses], lo cual permite evaluar la duración de las condiciones de sequía y superávit para diferentes escalas de tiempo. En este estudio se ha optado por calcular el SPI a 12 meses ya que es el que mejor se vincula a cauces fluviales, niveles de embalses y reservas de aguas subterráneas pues se caracterizan por escalas temporales más largas [Organización Meteorológica Mundial - OMM, 2012].

El cálculo del SPI se ha realizado mediante la utilización del programa *SPI generator* generado por el *National Drought Mitigation Center* - UNL

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 sequías considerando la siguiente clasificación propuesta por [McKee, Doesken, & Kleist, 1993].

Tabla 12 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

Teniendo en consideración la clasificación de la tabla 12 y para poder observar la evolución de las sequías a lo largo del periodo histórico, se ha obtenido el número de sequías severas y extremas en tres intervalos de aproximadamente 30 años: 1940 – 1970, 1961–1990 y 1985–2015. Como norma general, se asigna la sequía a un período determinado cuando la fecha de inicio de la misma se produce dentro del intervalo considerado. Además, se calcula la duración de la sequía como el tiempo transcurrido entre el mes en el que se entra en un estado determinado -severa o extrema en este caso - y se sale de ese mismo estado.

De la aplicación de la metodología explicada anteriormente se han contabilizado tanto las sequías severas como las extremas mediante el análisis de la evolución del índice SPI a lo largo del tiempo.

En el gráfico de la figura 64 se muestra, a modo de ejemplo, la evolución de este índice en la estación 1006-Santesteban. En él pueden detectarse claramente los instantes donde el SPI supera el umbral tanto de sequía severa como extrema.

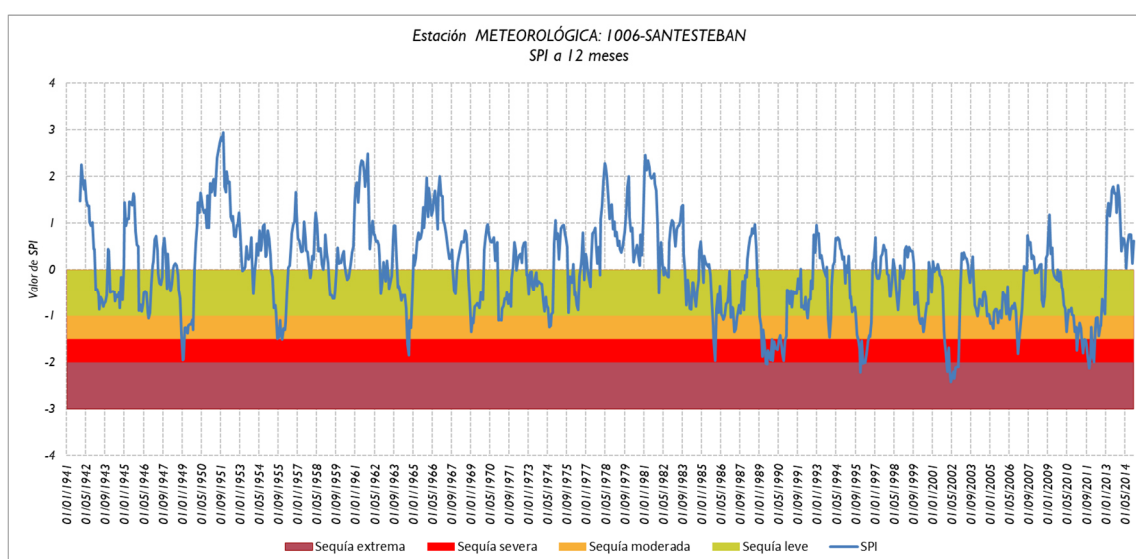


Figura 64 Evolución del índice SPI a 12 meses en la estación 1006-Santesteban

Este análisis se ha realizado para el conjunto de las 40 estaciones que pertenecen a la red básica pluviométrica, y como resultado se obtiene la tabla 13 y la tabla 14, donde se muestra el número de sequías y su duración media para cada uno de los periodos considerados.

Del análisis de estos resultados referentes a las **sequías severas**, cabe destacar que en términos generales se aprecia un número de sequías elevado en los periodos 1940-1970 y 1985-2015; en promedio se obtienen 4 y 5 episodios de sequía severa respectivamente, con duraciones medias similares en estos periodos de 18 y 16 meses. El periodo utilizado de control comprendido entre 1961 y 1990 es claramente más húmedo y en él se identifica un único episodio de media en el periodo.

Este mismo patrón de comportamiento fue detectado en los estudios antecedentes donde 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]

A esta visión regional se le contrapone una perspectiva más individual apreciándose en algunas estaciones un patrón diferente al anterior explicado. Este es el caso de la estación 9290-Fitero, donde se aprecia un número creciente de sequías a lo largo del tiempo, 1, 3 y 4 sequías en los tres periodos analizados, tal y como se puede observar en la figura 65.

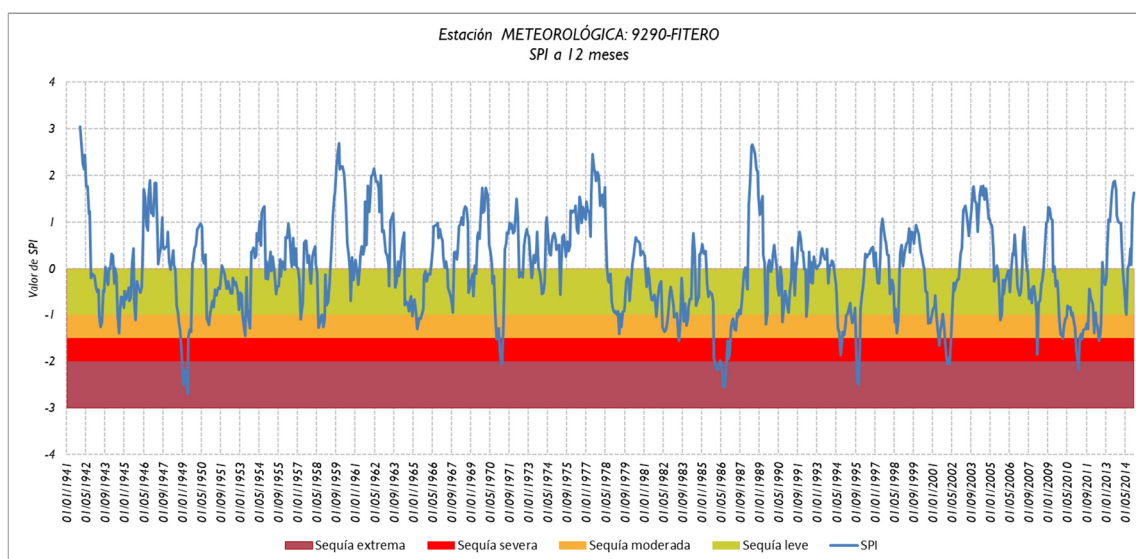


Figura 65 Evolución del índice SPI a 12 meses en la estación 9290-Fitero

Tabla 13 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 VILLASVERDE "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

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
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
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

Las **sequías extremas**, muestran un comportamiento similar al observado para las sequías severas, el primer periodo 1940-1970 registra un promedio de 2 sequías por estación y el periodo 1985-2015 un total de 3. Aunque son valores muy similares entre sí, en términos relativos existe un incremento de las sequías entre estos periodos del 50%.

Respecto a la duración de las sequías, también se aprecia una gran similitud entre el primer y último periodo analizado 17 y 16 meses de duración respectivamente.

Tabla 14 Contabilización de las sequías extremas 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	0	0	0	0	4	16
1014	FUENTERRABIA "AEROPUERTO"	2	42	0	0	3	17
1021	ARTICUTZA	2	33	0	0	2	21
1024E	SAN SEBASTIAN "IGUELDO"	3	29	0	0	2	17
1024	SAN SEBASTIAN [ATEGORRIETA]	3	32	0	0	2	12
1031	ELDUAYEN	2	28	0	0	4	15
1037	LEGAZPIA	2	12	0	0	2	26
64092	BANCA	3	9	1	12	3	19
64274	IROULEGUY	3	9	0	0	2	23
9074C	ARRIOLA	2	13	0	0	2	17
9145A	CENICERO "INDUSTRIAL"	2	8	0	0	5	15
9145	CENICERO "BODEGAS"	3	10	0	0	4	17
9170	LOGROÑO "AGONCILLO"	1	9	1	16	2	15
9174	SARTAGUDA	0	0	1	16	2	17
9175	LA GRAN VILLAYERDE "IB"	1	25	1	28	2	17
9182I	ARRONIZ	3	14	0	0	4	9
9198	CANFRANC "LOS ARAÑONES"	4	21	0	0	1	11
9199A	VILLANUA "CENTRAL ELECTRICA"	3	22	0	0	2	29

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
9200	BESCOS DE GARCIPOLLERA	3	18	0	0	2	11
9207	HECHO	2	30	0	0	1	10
9210	JAVIERREGAY	2	13	0	0	2	15
9215	ARTIEDA	3	11	0	0	3	22
9223	YESA "EMBALSE"	2	30	0	0	3	11
9236	ABAURREA ALTA	3	12	0	0	1	11
9246	CARCASTILLO "LA OLIVA"	2	24	0	0	3	13
9252	OLITE	1	12	0	0	4	13
9255	CAPARROSO	2	25	2	29	0	0
9256	MARCILLA "AZUCARERA"	2	20	1	23	1	13
9257E	EUGUI "ESTERIBAR"	2	14	0	0	2	16
9262C	PAMPLONA "GRANJA"	3	10	0	0	3	14
9262	PAMPLONA "OBSERVATORIO"	3	24	0	0	2	20
9269	ALSASUA	3	14	1	20	3	13
9279	ALLOZ "EMBALSE"	3	10	0	0	3	20
9290	FITERO	1	8	2	14	3	12
9301	MONTEAGUDO	2	6	0	0	2	42
9305	BUÑUEL	0	0	1	24	4	16
9322	BIEL	3	18	0	0	2	13
9329	UNCASTILLO	2	22	0	0	4	12
9330	SADABA	2	30	0	0	4	17
9332	BIOTA "EL BAYO"	1	10	0	0	3	12

A modo de resumen (ver tabla 15), se aprecian dos periodos donde se concentran el número de sequías, que son los comprendidos entre 1940 – 1970 y 1985 y 2015; la duración media de las sequías en estos periodos también es mayor entre 16 y 18 meses. El período comprendido

entre 1961-1990 es un periodo húmedo con escasez de sequías, y la duración media de las mismas es también inferior.

Tabla 15 media del número de sequías extremas y severas, y su correspondiente duración

Tipo de sequía	Sequías entre 1940-1970	Duración media de las sequías en el periodo 1940-1970	Sequías entre 1961-1990	Duración media de las sequías en el periodo 1961-1990	Sequías entre 1985-2015	Duración media de las sequías en el periodo 1985-2015
Severa	4	18	1	14	5	16
Extrema	2	17	0,3	5	3	16

8. Síntesis y Conclusiones-

El objetivo en esta etapa de los trabajos era conocer la evolución y tendencia de las variables climáticas históricas de precipitación y temperatura a lo largo del periodo 1940-2015, con el fin de evaluar, a su vez, cómo estas tendencias afectan a los recursos hídricos en régimen natural en la Comunidad de Navarra.

Como punto de partida se ha utilizado el estudio de recursos en régimen natural elaborado por el Gobierno de Navarra en el año 2017 [Gobierno de Navarra, 2017] y por tanto toda la información climática empleada procede del Banco de Datos Hidrológico [BDH], actualizado hasta el año 2015 con motivo de la elaboración de dicho estudio. La aplicación BDH contiene tanto la información de las variables climáticas como de las aportaciones hídricas en régimen natural calculadas en la misma aplicación mediante la ejecución del modelo *Sacramento Soil Moisture Accounting model* [SSMA].

Los trabajos de esta fase han atravesado tres etapas bien diferenciadas:

1. La primera se ha centrado en completar el banco de datos del estudio antes citado, introduciendo los datos de temperatura máxima y mínima que no fueron implementados en el momento de realizar el estudio anterior. Dada la heterogeneidad de los formatos asociados a los datos a importar, ha sido preciso programar diferentes *scripts* para realizar su importación. Adicionalmente se realizó un análisis de calidad de la información comprobando que, en términos generales, los datos de temperatura máxima, mínima y media eran consistentes entre sí. Finalmente se realizó el completado de las series termométricas en la misma línea seguida en el estudio anterior [Gobierno de Navarra, 2017].
2. La segunda etapa ha consistido en realizar un análisis de tendencia de las variables climáticas, precipitación y temperatura a lo largo del tiempo. Las tendencias se han calculado en tres periodos diferentes: 1940 – 2015 [Periodo coincidente con los datos registrados en el BDH], 1954 – 2015 [periodo similar al de Oria, 2016] y 1970 – 2015 [periodo altamente homogéneo y continuo].

Para analizar la tendencia de las variables climáticas se ha aplicado el test de Mann-Kendall, con un nivel de significancia del 5%. El objetivo de este test es identificar la existencia de una tendencia monótonica ascendente o descendente en la variable analizada. Para la obtención de la tendencia, con posterioridad al test de Man-Kendall, se realiza la estimación de Sen [Sen, 1968].

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.

3. La tercera etapa de análisis de las variables climáticas ha consistido en un análisis de tendencia en las aportaciones en régimen natural calculadas en el estudio Actualización del Banco de datos hidrológico para el periodo 2007-2015 [Gobierno de Navarra 2015]. El análisis de tendencias en las aportaciones se ha basado, del mismo modo que para las variables precipitación y temperaturas, en el método o test de Mann-Kendall [Kendall, 1956] y Sen [Sen, 1968].

La primera cuestión a destacar es nuevamente la elevada variabilidad 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 transcurren 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.

El descenso de las aportaciones viene provocado principalmente por la disminución observada en las precipitaciones, si bien, como se ha dicho anteriormente, en ninguno de los dos casos se han obtenido tendencias estadísticamente significativas. Esta reducción

ha sido prácticamente generalizada en todo el territorio estudiado para el caso de las aportaciones, probablemente provocada por el efecto combinado de la disminución de las precipitaciones y el aumento significativo de la temperatura, que tiene un efecto directo en el incremento de la evapotranspiración.

4. Por último se ha realizado un análisis de la evolución de los eventos extremos, precipitaciones máximas y mínimas.

Respecto a las **precipitaciones máximas** se han estudiado los cuantiles de excedencia obtenidos tras la aplicación de la distribución General de Valores Extremos [GEV] en base a los L-Momentos. Estos cuantiles se han obtenido para diferentes periodos (distribuidos en intervalos de 30 años), y se han contrastado con el periodo que incluye el conjunto de la serie comprendido entre los años 1940-2015, con el objetivo de poder realizar un análisis evolutivo e identificar posibles tendencias. Como resultado de este análisis se obtiene nuevamente un comportamiento diferente de los cuantiles en función del periodo analizado. 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 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 sequías [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 muy considerable del número de sequías en los últimos 30 años.

9. Referencias

CEIWR-HEC. (1971). HEC-4 Monthly Streamflow Simulation User ' s Manual.

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.*
- 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>