

El cambio climático visto desde un estudio local (Navarra)

Javier Colomo Ugarte

Doctor en Geografía

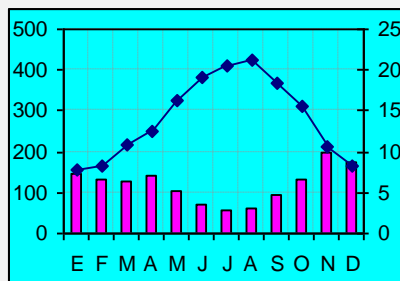
(Estudio realizado en el año 2004, actualizado en Febrero del 2013)



Climas del área geográfica de estudio (Navarra)

Tipos de clima en las estaciones meteorológicas de estudio en Climogramas del periodo (1993-2012)
y ambientes geográficos próximos a los puntos de registro

Santesteban
Océanico Templado.



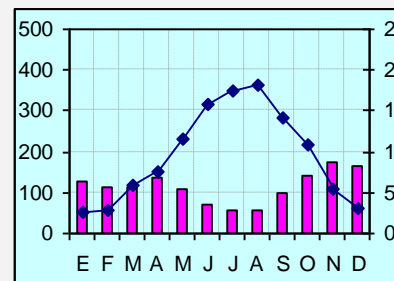
Anual: l/m² 1.441; 14,2 °C

Vertiente cantábrica 120 m



Coordenadas 43° 08' N 1° 40' W

Abaurrea Alta
Montaña Húmedo.



Anual: l/m² 1.370; 9,6 °C

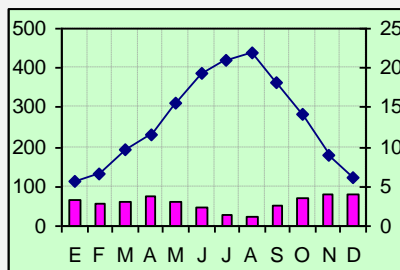
Pirineo navarro 1.032 m



Coordenadas 42° 54' N 1° 10' W

Pamplona

Transición montaña mediterráneo



Anual: l/m² 706; 13,3 °C

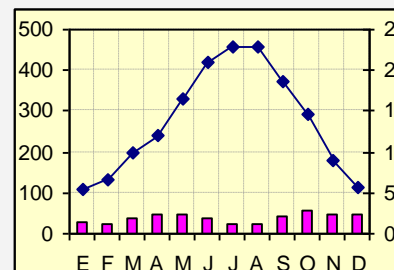
Cuenca pre-pirenaica 449 m



Coordenadas 42° 49' N 1° 39' W

Carcastillo

Continental mediterráneo semi-árido.



Anual: l/m² 459; 13,8 °C

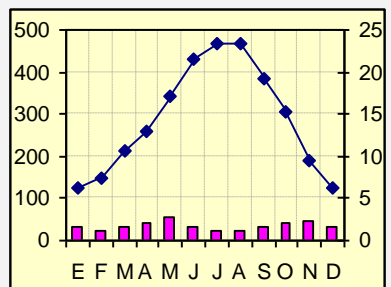
Desierto de las Bardenas 342 m



Coordenadas 42° 23' N 2° 03' W

Sartaguda

Continental mediterráneo río Ebro



Anual: l/m² 423; 14,4 °C

Ribera Navarra del Ebro 355 m

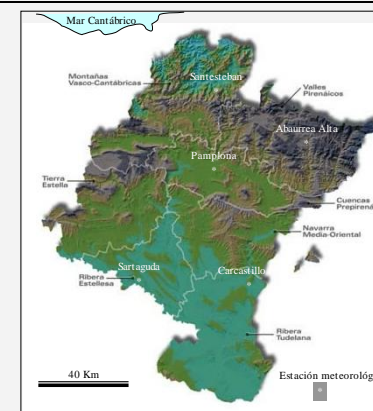


Coordenadas 42° 22' N 1° 28' W

Localización de las estaciones
meteorológicas
(Navarra)



Elaboración propia



Índice

1. Introducción
2. Objetivos de la investigación
3. Diversidad climática del área geográfica de las estaciones meteorológicas de estudio
3.1 Área geográfica (Navarra)
3.2 Precipitaciones
3.3 Temperaturas
4. Metodología y datos
4.1 Tiempo y clima
4.2 Ciclo climático y cambio climático
5. Evolución de las temperaturas
5.1 Ciclo térmico climático y cambio térmico climático
5.2 Variaciones térmicas según periodos de veinte años
6. Cuantificación del cambio térmico climático
6.1 Días de registro de temperatura mínima y máxima en la escala centígrada (°C) de (<-10) a (40>)
6.2 Variación térmica según meses del año
6.3 Conclusiones sobre la cuantificación del cambio térmico climático
7. Interpretación de la variación de las temperaturas en la teoría general de cambio climático
7.1 Forzamiento radiativo
7.2 Ciclo diario de radiación y temperatura
7.3 Interpretación de la variación térmica
8. Ritmo y alcance del cambio térmico climático
8.1 Estimación del cambio del promedio de temperaturas mínimas
8.2 Variación de los días de precipitación con helada y de las precipitaciones con helada (l/m ²)
8.3 Incidencia del cambio térmico climático en el régimen pluvionival de los ríos de montaña
9. Precipitaciones en el área de estudio
9.1 Disminución de las precipitaciones en el área de estudio
9.2 Interpretación de la disminución de las precipitaciones en el área de estudio (Navarra)
10. Conclusiones
Bibliografía

Anexos:

Anexo 1.

[Pamplona \(registros diarios en 60 años\);](#)

Anexo 2.

[Santesteban \(registros diarios en 60 años\);](#)

Anexo 3.

[Carcastillo \(registros diarios en 60 años\);](#)

Anexo 4.

[Sartaquda \(registros diarios en 60 años\);](#)

Anexo 5.

[Abaurrea Alta \(registros diarios en 40 años\);](#)

Anexo 6.

[Resumen anual y mensual;](#)

Anexo 7.

[Registros cada 10 minutos de temperatura \(°C\) y radiación solar \(w/m²\)](#)

Anexo 8.

[Anexo 8. Aforos de los ríos Arga en Eugi, Erro en Urroz, Irati en Aribe, Salazar en Aspurz y Eska en Sigües.](#)

Los datos de los Cuadros del presente estudio se basan en los datos de los anexos asegurando su trazabilidad.

1. Introducción

El Cambio Climático es y lo será más en el futuro un problema que está condicionando la vida en el planeta. La Humanidad va a tener que ir dando respuestas a una situación que no se conoce con exactitud su incidencia ni tampoco su evolución.

Las características de este cambio, si bien, son evidentes, no están cuantificadas en toda la diversidad de climas de las diferentes partes de la Tierra y con relativa frecuencia se observa en numerosas publicaciones extrapolaciones generales de la evolución climática sin que ésta evolución haya sido contrastada con datos empíricos meteorológicos de largas series históricas, que permitan clasificaciones climáticas rigurosas para determinar los cambios acontecidos y su ritmo de evolución.

Esta dimensión empírica del estudio del cambio climático precisa de la elaboración de un entramado de estudios locales que respondan a la diversidad climática terrestre y permitan comparar y precisar el cambio climático en la diferente tipología de climas de la Tierra. En ese sentido, este estudio local pretende ser una aportación, basado en un área geográfica de gran diversidad climática y en datos diarios meteorológicos de precipitación y temperatura desde 1953.

Esta investigación se realizó en el año 2004 y está de nuevo reformulada en el 2013 incorporando los datos registrados de la década 2003-2012

2. Objetivos de la investigación

Los objetivos de esta investigación han sido:

1. Cuantificar, en las estaciones meteorológicas de estudio, los cambios acontecidos en las temperaturas y las precipitaciones en los periodos de registro señalados.
2. Determinar el alcance del cambio de estas variables.
3. Interpretar los resultados en el cambio climático global.
4. Desarrollar una metodología de análisis para la interpretación de series largas de registro climático que permita diferenciar las variaciones en el registro de datos entre ciclo climático y cambio climático.

3. Diversidad climática del área geográfica de las estaciones meteorológicas de estudio

3.1 Área geográfica (Navarra)

Con el fin de determinar los cambios climáticos se han seleccionado de, entre varias, cinco estaciones meteorológicas que significativamente se ha considerado mejor representan a los climas netamente diferenciados en el área de estudio (Navarra):

A) Oceánico Templado (*Santesteban*)

B) Montaña Húmedo (*Abaurrea Alta*)

C) Transición de Montaña Húmedo a Continental Mediterráneo (*Pamplona*)

D) Continental – Mediterráneo Semi-árido (*Carcastillo*)

E) Continental – Mediterráneo Ribera del Ebro (*Sartaguda*)

El Cuadro 1 recoge los datos básicos de las estaciones seleccionadas y está ordenado según la latitud.

Cuadro 1

Características de las estaciones meteorológicas (Navarra)

Área geográfica:	Prox. Mar Cantábrico	Pirineo occidental	Cuenca pre-pirenaica	Depresión del Ebro	
Clima:	Oceánico templado	Montaña húmedo	Transición montaña	Mediterráneo continental Suavizado Semiárido	
Estación meteorológica:	Santesteban	Abaurrea	Pamplona	Sartaguda	Carcastillo
Abreviatura:	SAN	ABA	PAM	SAR	CAR
Latitud:	43° 08' N	42° 54' N	42° 49' N	42° 23' N	42° 22' N
Longitud:	1° 40' W	1° 10' W	1° 39' W	2° 03' W	1° 28' W
Altitud:	120	1032	449	355	342
Periodo:	73-12	73-12	73-12	73-12	73-12
Promedio °C:	13,9	9,1	12,9	14,1	13,6
Promedio anual l/m ² :	1.529	1.441	748	421	454

Fuente datos: registros diarios de las estaciones meteorológicas del G.N. Elaboración propia.

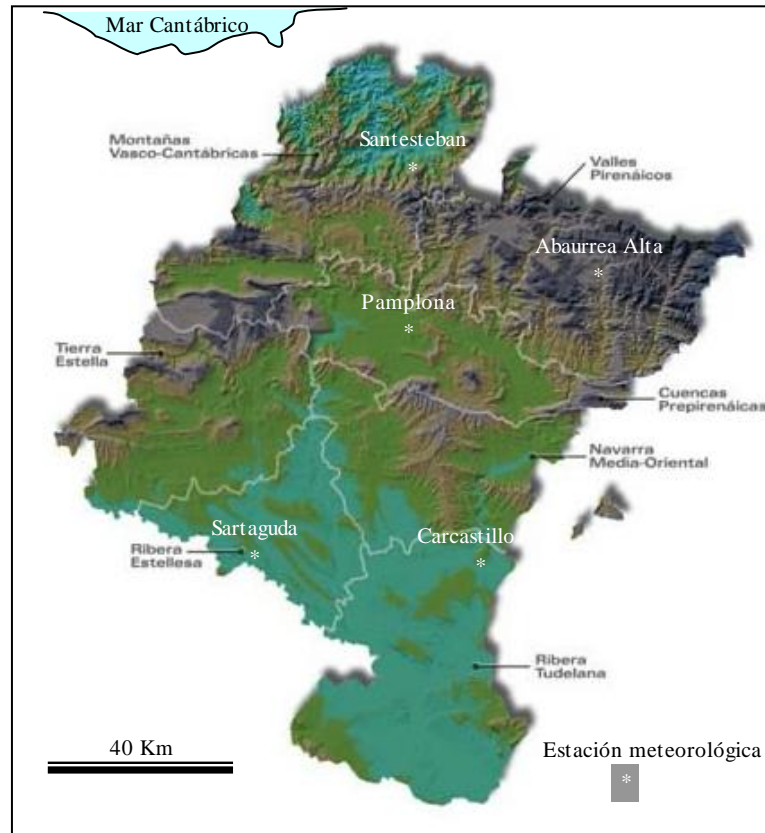
Su localización se puede apreciar en el *Mapa 1*.

Las estaciones seleccionadas a pesar de no estar muy alejadas entre sí, son representativas de la climatología descrita. Ello es debido a la singularidad climática de Navarra que en tan solo una distancia en latitud de 100 Km, se registran enormes contrastes climáticos.

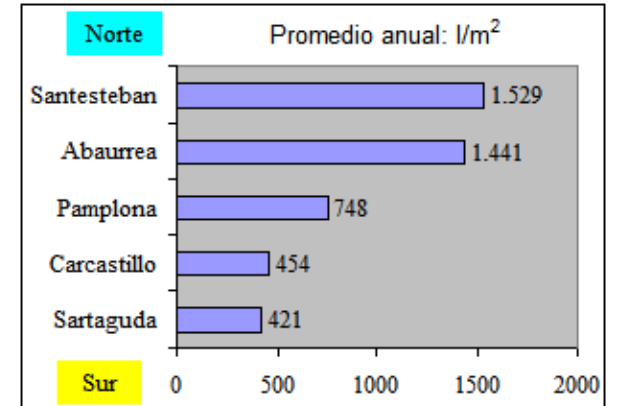
Estos contrastes vienen determinados por la situación geográfica de Navarra, localizada en la parte suroccidental en el continente europeo, entre el Mediterráneo y el Atlántico, por sus orografía montañosa que determina la existencia de dos vertientes geográficas, una volcada hacia el Atlántico y otra hacia la depresión del río Ebro, y por la posición que ocupa respecto a los grandes centros de acción atmosférica que rigen la climatología de las fachadas occidentales de la zona templada.

Mapa 1

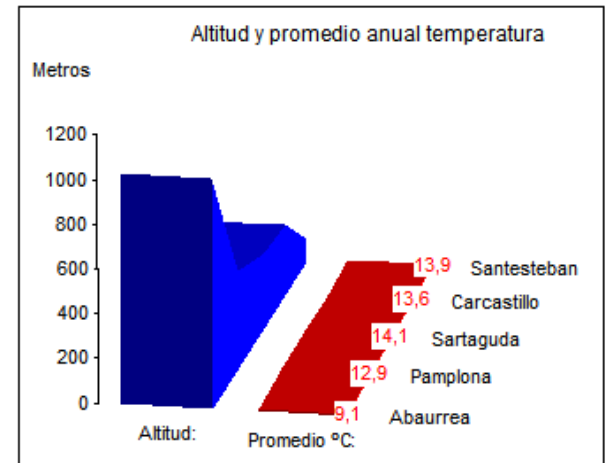
Localización de las estaciones meteorológicas (Navarra)



Relación: Precipitación y latitud Norte - sur



Relación: Promedio temperatura y altitud



3.2 Precipitaciones

En las precipitaciones, debido a la proximidad del norte de Navarra a la costa cantábrica (8,5 km) la hace proclive a ser barrida por los frentes atlánticos. La divisoria de las vertientes Atlántico-Mediterránea, localizada en la mitad septentrional de Navarra, debido a su pequeña altitud (ronda los 1.000 m en gran parte de su recorrido), tiene un efecto barrera atenuado y no supone una frontera pluviométrica, permitiendo que los sistemas nubosos que acompañan a los frentes del Cantábrico sobrepasen la divisoria sin descargar toda la humedad en las vertientes de barlovento, haciéndolo a sotavento en las vertientes mediterráneas pirenaicas.

La disposición orográfica de las sierras interiores y exteriores pre-pirenaicas ocasiona un gradiente de lluvias de noroeste a sureste. En este recorrido, las precipitaciones varían de los 1800-2000 l/m^2 en la divisoria a 1000 l/m^2 en el caso de las sierras exteriores y 800 l/m^2 en las cuencas de Pamplona y Lumbier-Aoiz. Al sur de las sierras exteriores debido al gradiente pluviométrico, y a una mayor influencia del anticiclón de las Azores, las precipitaciones siguen disminuyendo de manera gradual en la Zona Media y la Ribera Navarra. Las diversas transiciones pluviométricas guardan una correspondencia aproximada con las distintas unidades morfológicas: Montaña, Cuencas Pre-pirenaicas, Navarra Media, y Ribera (*Mapa 1*).

La altitud es otro factor que influye en la distribución de la pluviosidad, en las zonas de mayor altitud el efecto de pantalla a los frentes es mayor y favorece que éstos descarguen mayor cantidad de precipitaciones.

3.3 Temperaturas

Las temperaturas, además de tener una lógica relación con la altitud, la tienen también respecto de la distancia del mar Cantábrico y la cuenca del Ebro. En la parte oriental del Pirineo Navarro es donde se producen el mayor número de heladas, siendo diferente el registro de las mismas según vertientes. En la vertiente cantábrica, la proximidad del eje pirenaico al mar, y la disposición de esta vertiente a barlovento de los vientos marinos suaviza las temperaturas y determina que en pocos km, desde el eje pirenaico en dirección hacia el Cantábrico, se incremente ostensiblemente el número de los días del año *libres* de heladas.

En la vertiente mediterránea, debido a su situación a sotavento de los vientos marinos, se produce un gradiente menor.

Todos estos factores contribuyen a que en 100 Km en dirección norte-sur se produzca una acusada diversidad climática, pasando de un clima oceánico templado a una progresiva continentalización de tipo mediterráneo. Las variables climáticas de las estaciones de estudio guardan, pues, una estrecha relación con los condicionantes climáticos descritos de altitud y latitud.

El promedio de la precipitación anual relacionado con la latitud, y el promedio de temperaturas con la altitud, expresado en el índice de correlación (r) muestra la relación directa que tiene la disminución de la precipitación con la latitud (74%) en dirección norte-sur, y la relación inversa entre altitud y temperatura (92%) (*Cuadro 2*).

4. Metodología y datos

4.1 Tiempo y clima

Las diferencias entre *tiempo* y *clima* vienen determinadas porque *el tiempo* expresa el acontecer diario de las variaciones atmosféricas, extensibles a un mes, estación del año o registro anual de esas variaciones, mientras que, *el clima* se establece en base al tratamiento estadístico de series largas de datos de los registros del tiempo diario, principalmente las relacionadas con la precipitación y la temperatura.

No obstante, no existe un criterio estándar para definir una serie climática, hay autores que utilizan un lustro y quienes utilizan series más largas. Sería conveniente, desde el punto de vista de la clasificación climática, para su comparación en el tiempo, tener un modelo estándar, debidamente acreditado, de años y metodología de agrupación de datos, que permitiera una comparación entre estudios de diversos autores.

En el presente estudio se considera que el análisis climático, para su comparación en el tiempo, precisa de los siguientes requisitos:

- 1- Utilización de series continuadas de datos (décadas o agrupaciones superiores) para reducir la desviación propia de las incidencias del tiempo diario, estacional o anual en un clima.
- 2- Comparación entre series de datos de igual magnitud referidas a un mismo punto de registro diario.
- 3- Utilización de varios puntos de registro (estaciones meteorológicas) de diferente climatología.

En la selección de los periodos para la extracción de los promedios, se ha tenido en cuenta, por una parte, que sean suficientemente amplios para evitar dispersiones importantes de los datos, y por otra, adecuados para la comparación de tendencias y ritmo de cambio de las variables comparadas.

El promedio de *veinte años* es el periodo elegido como unidad de medida, aunque también se utilizan otros. En estos periodos, todos los días tienen sus registros de temperatura y precipitación completos. Los datos se han obtenido de la base de datos del Gobierno de Navarra, si bien, se ha tenido que realizar una labor de revisión de todos los registros y, en algunos casos, de corrección de datos mal anotados, como por ejemplo, cambios de anotación entre las temperaturas máximas y mínimas.

La utilización con carácter preferente del periodo 1973-2012 para el estudio de las temperaturas, se debe a la existencia de series de datos completas de registro diario de las estaciones meteorológicas consideradas de interés, y por ser el periodo cuando más se acentúa el cambio térmico, aunque también se utiliza según casos el periodo 1953-2012. En el estudio de las precipitaciones se utiliza el periodo 1953-2012.

Las variables utilizadas son:

1ª Temperatura mínima (°C)

2ª Temperatura máxima (°C)

3ª Promedio temperatura (°C)

4ª Día de helada

5ª Día de precipitación con helada

6ª Precipitación (l/m^2)

7ª Precipitación con temperatura igual o menor de 0 °C

Otros datos de los registros diarios utilizados han sido:

Promedio mensual de temperaturas (°C) y radiación (W/m^2) cada 30 minutos, elaborado a partir de los registros diarios cada 10 minutos de todo el año 2003, de temperatura y radiación de la estación meteorológica automática de Pamplona.

La elaboración de todas las series de datos, ha precisado de un tratamiento informático, de ordenación y cálculo de cerca de un millón de datos, ello ha permitido sistematizar resúmenes y obtener conclusiones.

Todos los cuadros de datos y gráficos del presente estudio son de *elaboración propia* basados en los datos de los *anexos*, que tienen su fuente en el registro diario de precipitación y temperatura de las estaciones meteorológicas del Gobierno de Navarra (G.N).

4.2 Ciclo climático y cambio climático

Se considera que se está ante un cambio de la variable o variables climáticas sí:

1- Los cambios observados, acontecen en todos los puntos de registro (estación meteorológica)

2- Las diferencias de los cambios entre puntos de registro, son debidas al diferente clima de los mismos.

3- Existe una tendencia progresiva de cambio (no cíclica) en las variables de temperaturas, así como de otras relacionadas directamente con las mismas, por ejemplo: días de helada, que representaría *el cambio térmico climático*.

5. Evolución de las temperaturas

5.1 Ciclo térmico climático y cambio térmico climático

Conceptualmente la diferencia entre *ciclo* y *cambio climático* se diferencia:

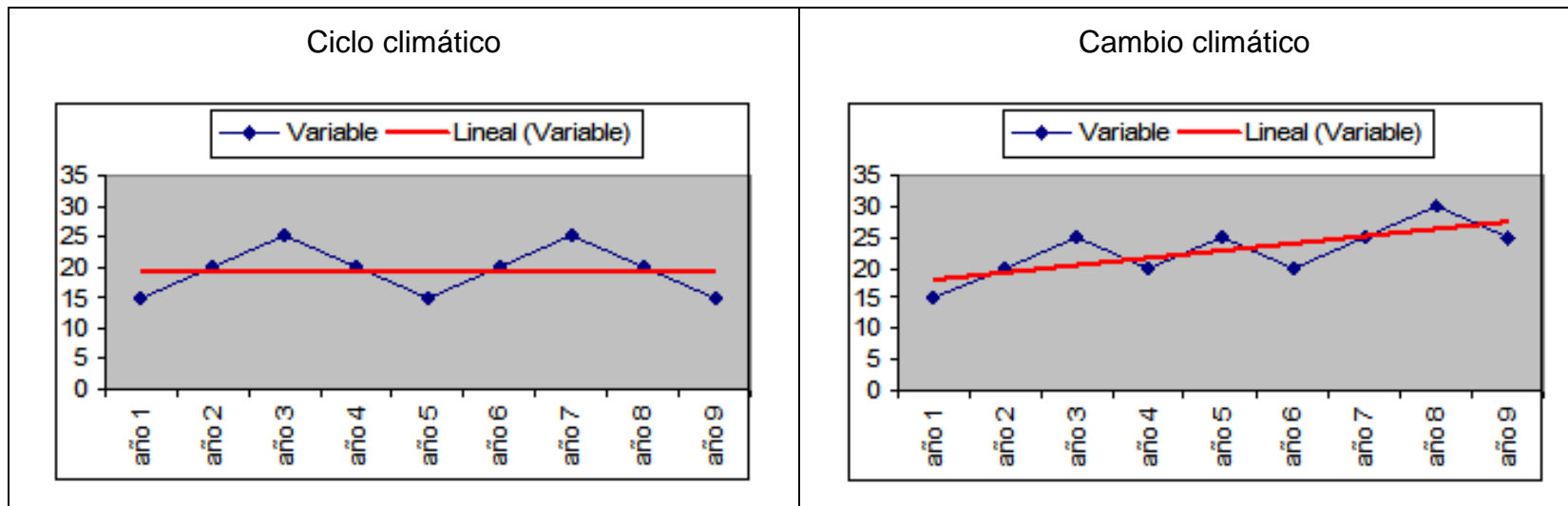
En el *ciclo climático*, las variaciones climáticas son reversibles en un periodo de tiempo.

En el *cambio climático* las variaciones climáticas se mantienen constantes en el tiempo.

Esta diferencia en una serie larga de datos viene determinada por la línea de tendencia que gráficamente se expresaría en el caso de ciclo climático y del cambio climático de la siguiente manera.

Cuadro 3

Línea de tendencia del ciclo climático y del cambio climático

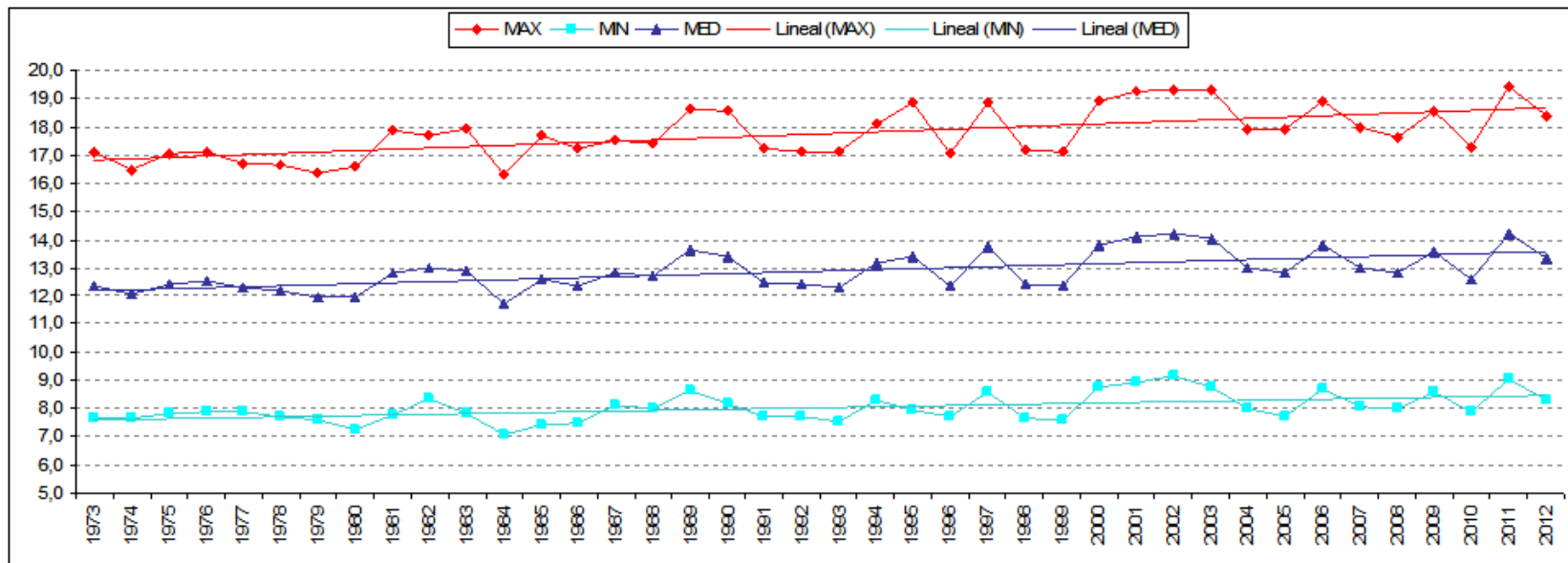


En las estaciones meteorológicas de estudio, los promedios anuales de temperatura máxima, mínima y promedio de ambas, en la serie de cuarenta años del periodo 1973-2012 presentan la siguiente evolución.

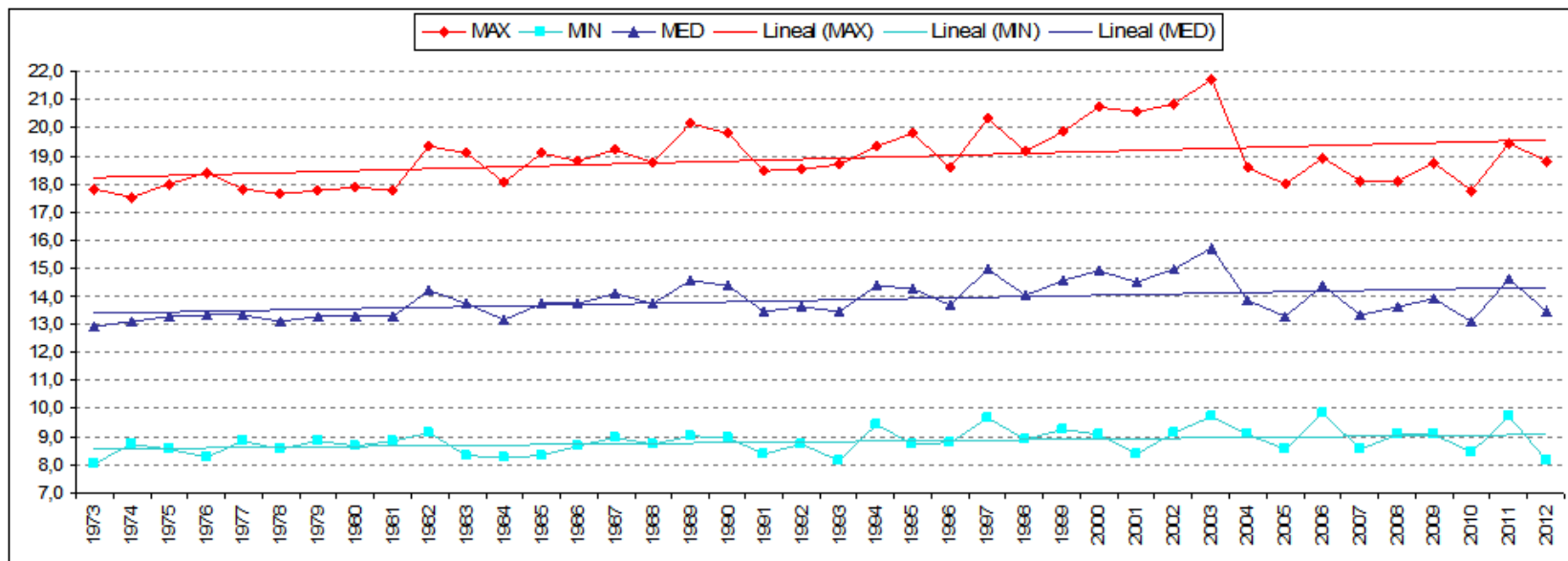
Cuadro 4

Evolución de las temperaturas anuales (máximas, mínimas, promedio) en el periodo 1973-2012 en las estaciones meteorológicas de estudio

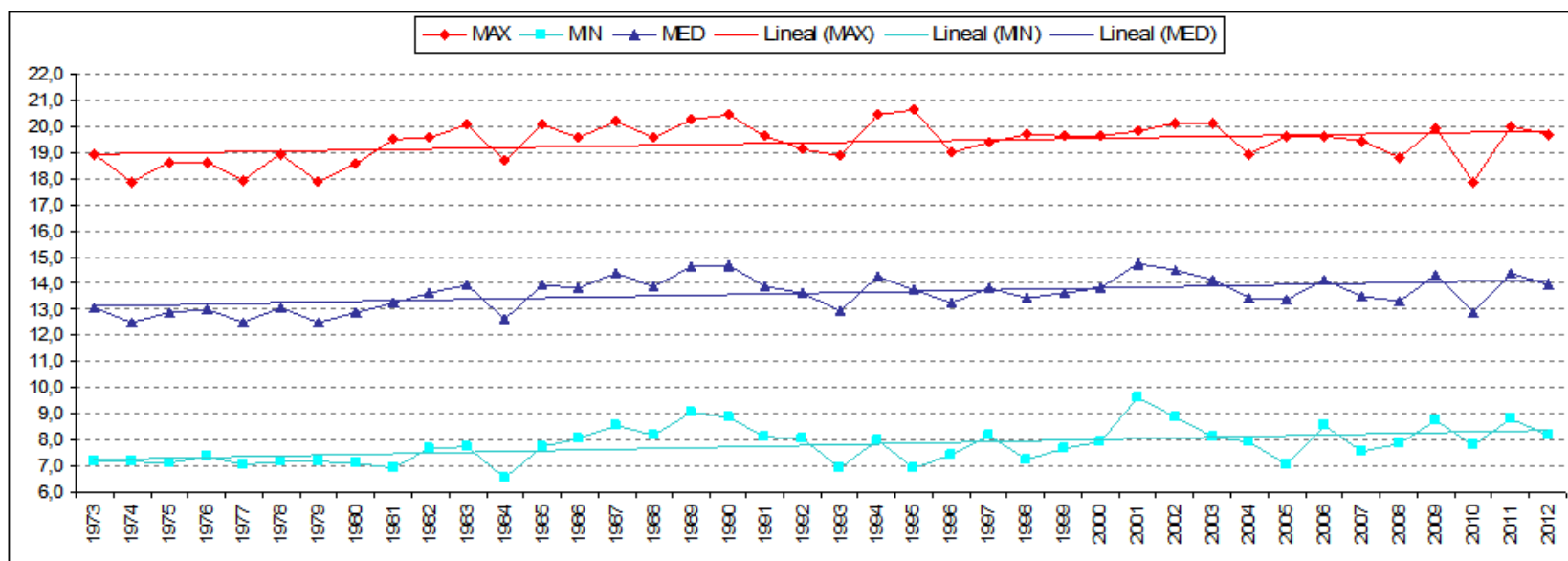
Evolución de las temperaturas en la estación meteorológica de Pamplona en el periodo 1973-2012



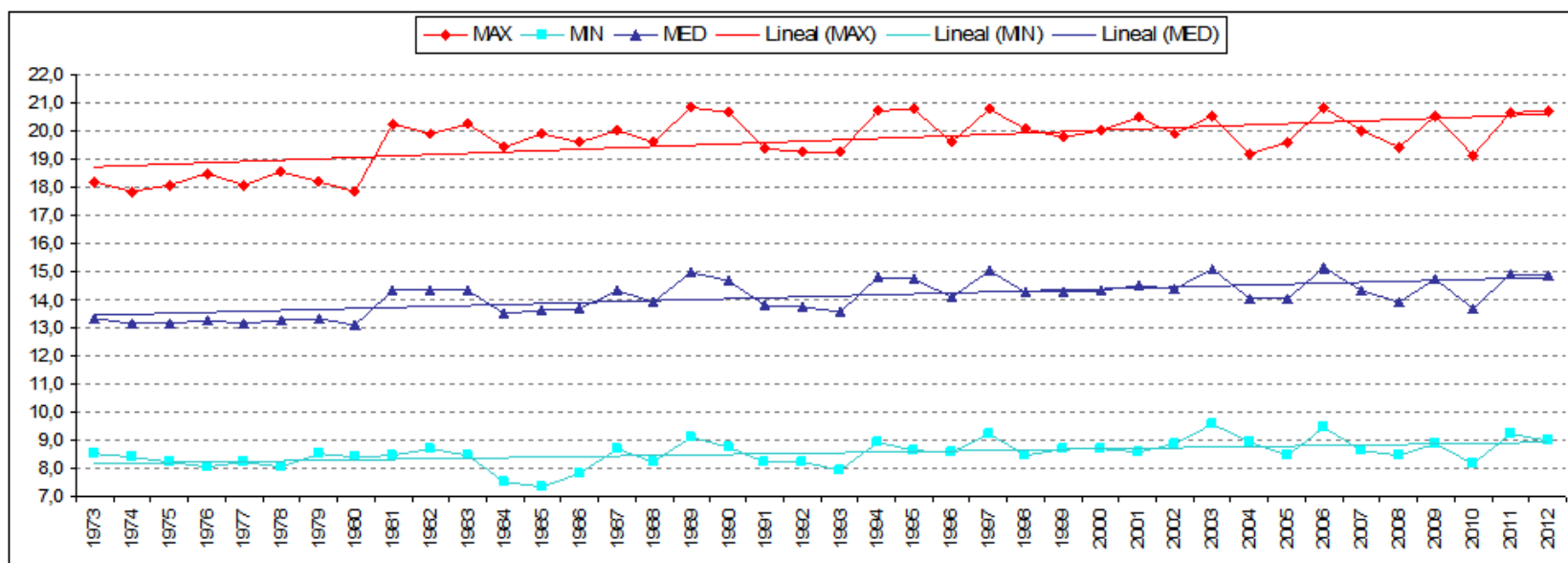
Evolución de las temperaturas en la estación meteorológica de Santesteban en el periodo 1973-2012



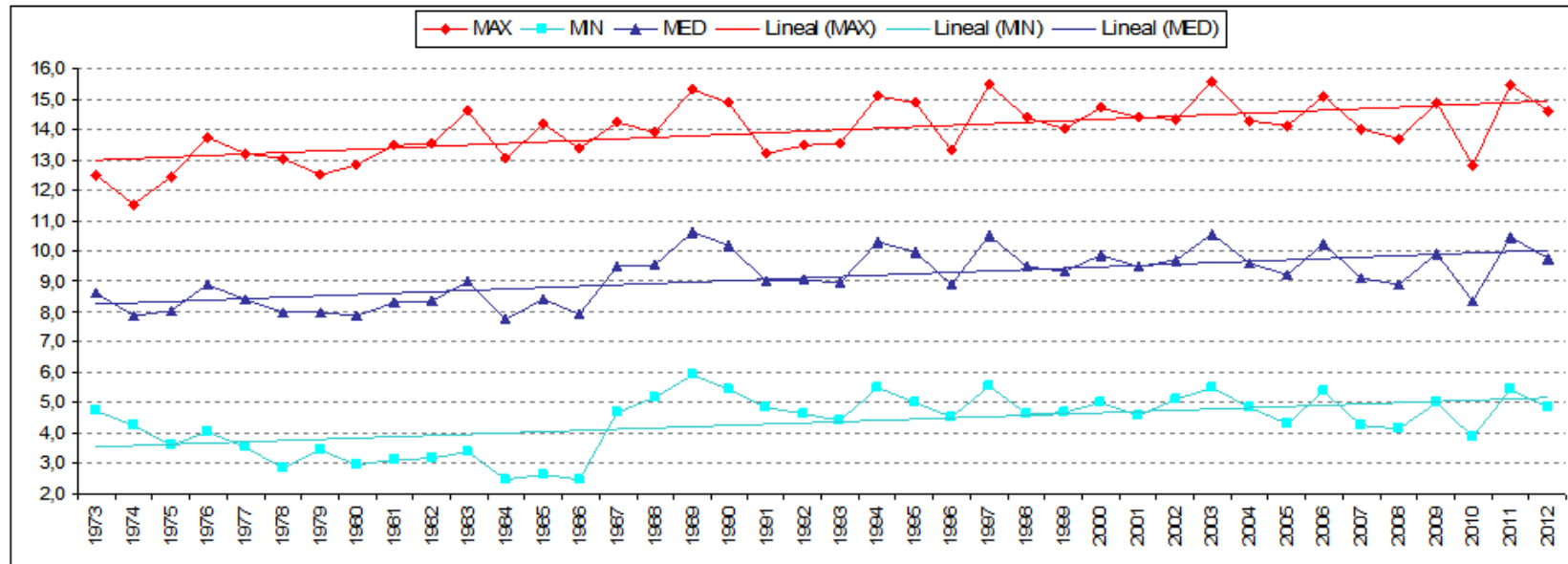
Evolución de las temperaturas en la estación meteorológica de Carcastillo en el periodo 1973-2012



Evolución de las temperaturas en la estación meteorológica de Sartaguda en el periodo 1973-2012



Evolución de las temperaturas en la estación meteorológica de Abaurrea Alta en el periodo 1973-2012



Fuente datos. G.N. Elaboración propia

Lectura gráficos del Cuadro 4

En las cinco estaciones meteorológicas de referencia se puede observar como las promedios anuales de temperatura máxima y mínima y por lo tanto del promedio de ambas, a pesar de las variaciones anuales, la línea de tendencia es en todos los casos ascendente, por lo que se debe descartar que los cambios térmicos se deban a un *ciclo climático*, cumpliéndose la condición de estar ante un cambio térmico climático por ser constante en el tiempo, que se corresponde con un incremento progresivo de las temperaturas medias anuales.

5.2 Variaciones térmicas según periodos de veinte años

La unidad de medida temporal tomada para medir las variaciones térmicas climáticas ha sido los *veinte años*, por considerar que es un rango de años suficiente para incluir las oscilaciones temporales propias de las diferencias de *tiempo y clima*, y porque series muy largas ofrecerían promedios que ocultarían los cambios térmicos no sujetos a las diferencias de *tiempo y clima*.

La serie utilizada de cuarenta años, se ha tomado por disponer de datos diarios completos para el periodo (1973-2012) de las estaciones meteorológicas consideradas representativas de los diferentes climas del área de estudio, y porque hasta la fecha de edición de esta

investigación, es el periodo desde la época preindustrial que más rápidamente se ha incrementado la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera terrestre (ver Cuadro 12).

En base a estas consideraciones, en el Cuadro 5 se muestran:

- 1- Los resultados de la comparación de los periodos de veinte años con relación al promedio general de la serie de cuarenta años en cada estación meteorológica.
- 2- La variación térmica del periodo (1993-2012) respecto del periodo (1973-1992).
- 3- La correlación entre los valores del periodo 1973-2012 (Máximas, Mínimas, Promedio), con la tasa de variación térmica respectiva.

Cuadro 5

Variación media de los promedios de temperatura (mínimas-máximas-promedio) del periodo 1973-2012 en periodos de 20 años (1973-1992) (1993-2012)

Periodos (20 años)::		Mínimas °C		Tasa Variación		Media °C	Máximas °C		Tasa Variación		Media	Promedio °C		Tasa Variación		Media °C	
		73-92	93-12	°C	%		73-12	73-92	93-12	°C		%	73-12	73-92	93-12		°C
Altitud	Estación																
120	Santesteban	8,7	9,0	0,34	4%	8,8	18,5	19,3	0,81	4%	18,9	13,6	14,2	0,58	4%	13,9	
342	Carcastillo	7,7	8,0	0,33	4%	7,8	19,2	19,6	0,36	2%	19,4	13,4	13,8	0,35	3%	13,6	
355	Sartaguda	8,3	8,8	0,48	6%	8,5	19,2	20,1	0,88	4%	19,7	13,8	14,4	0,68	5%	14,1	
449	Pamplona	7,8	8,3	0,47	6%	8,0	17,2	18,2	0,99	6%	17,7	12,5	13,3	0,73	6%	12,9	
1032	Abaurrea Alta	3,9	4,8	0,95	22%	4,4	13,4	14,4	0,98	7%	13,9	8,7	9,6	0,97	11%	9,1	
		r =		-0,98	-0,94		r =		-0,81	-0,52		r =		-0,93	-0,77		
		r ² =		95%	88%		r ² =		65%	27%		r ² =		87%	60%		
Todas las estaciones				0,5	6,8%	7,5			0,8	4,5%	17,9			0,7	5,2%	12,7	

Fuente datos: registros diarios de las estaciones meteorológicas del G.N. Elaboración propia.

Lectura del Cuadro 5

En la comparación de los promedios de los periodos (1973-1992) y (1993-2012) con el promedio respectivo de todo el periodo (1973-2012), se observa que los valores del periodo (1993-2012) en *rojo y cursiva* son los más altos, lo que indica la progresión ascendente del cambio térmico

La diferencia de los promedios de temperatura (máxima, mínima y promedio) de cada estación meteorológica del periodo más reciente (1993-2012) con el anterior (1973-1992), representa:

<< La tasa de variación media en veinte años en el periodo 1973-2012>>.

La relación entre la mayor o menor variación térmica, con el mayor o menor promedio de temperaturas de cada estación meteorológica, se puede observar en los valores del índice de correlación (r) que relaciona los promedios de temperatura (Máxima, Mínima, Promedio) de los cuarenta años del periodo 1973-2012, con la tasa de variación respectiva entre los dos periodos de veinte años.

En todos los casos la correlación se muestra de manera inversa, es decir, a menor promedio de temperatura, mayor es la tasa media de variación; siendo la correlación *muy alta* entre ambas variables en las temperaturas mínimas (88%); *alta* en el caso del promedio general de las temperaturas (60%), *baja* en el caso de las máximas (27%). Este diferente comportamiento de las temperaturas mínimas y máximas se explica más adelante en el *apartado 7.3 (Interpretación de la variación térmica)*.

En la variación relativa (%) se muestra como la incidencia del cambio térmico climático afecta principalmente a los climas más fríos y especialmente a las temperaturas mínimas como es el caso de Abaurrea Alta que presenta un incremento del **22%** sobre el promedio de temperatura mínima, **lo que revela que a menor promedio de temperaturas mínimas, más acusado es el cambio térmico climático.**

En el conjunto de las estaciones meteorológicas representativas de la diversidad climática del área de estudio (Navarra) la variación térmica relativa del promedio de temperatura para el periodo (1993-2012) representa el 5,2%.

6. Cuantificación del cambio térmico climático

6.1 Días de registro de temperatura mínima y máxima en la escala centígrada (°C) de (<-15=) a (=40>)

Considerando que el incremento de las temperaturas es más acusado en los ambientes climáticos con los registros más bajos de las mismas, para poder concretar en que rango de temperatura se produce este cambio, se ha elaborado para cada estación meteorológica de estudio, una matriz en la que se ha sumado en las series de veinte años el número de días con registro de temperatura en bloques de cinco °C en una escala centígrada de (<-10) a (=40>).

(Esquema matriz)

°C	<-10	=-10>	=-5>	=0>	=5>	=10>	=15>	=20>	=25>	=30>	=35>	=40>
<u>Periodos</u>	Número de días de temperaturas mínima máxima											
53-62												
63-72												
73-82												

En el *Cuadro 6*, se presenta la agrupación de días de registro de las temperaturas mínimas y máximas en la escala centígrada de (<-10) a (=40>) °C agrupada en intervalos de 5 °C en cinco estaciones meteorológicas de todos los días de cada uno de los periodos de veinte años de estudio.

Cuadro 6
Número de días registrados según temperaturas mínimas y escala °C

°C	Número de días registrados según temperaturas mínimas escala °C									Escala °C	Número de días registrados según temperaturas máximas escala °C											°C
	< -10	= -10>	= -5>	= 0>	= 5>	= 10>	= 15>	= 20>	= 25>		< -5	= -5>	= 0>	= 5>	= 10>	= 15>	= 20>	= 25>	= 30>	= 35>	= 40>	
Días	Pamplona																				Días	
7305	16	79	645	1890	2010	1979	668	18	53-72	3	22	312	1087	1490	1466	1360	890	566	108	1	7305	
7305	4	31	485	1836	2186	1960	782	20	1	73-92	13	239	1119	1832	1473	1209	894	434	89	3	7305	
7305		33	463	1703	2124	1968	971	42	1	93-12	14	210	997	1639	1415	1392	949	517	169	3	7305	
	-8	-23	-91	-94	57	-6	152	12	1	<Variación>	-2	-4	-51	-45	75	-26	16	30	-25	31	1	
7305	7	48	531	1810	2107	1969	807	27	1	Promedio	1	16	254	1068	1654	1451	1320	911	506	122	2	7305
	Santesteban																					
7305	5	53	420	1339	2073	2204	1151	60	53-72	10	101	610	1483	1675	1677	1124	460	158	7	7305		
7305	6	22	355	1400	2214	2217	1068	23	73-92	6	105	623	1751	1700	1585	1020	415	95	5	7305		
7305	1	32	362	1286	2174	2161	1189	100	93-12		80	533	1413	1742	1833	1155	421	114	14	7305		
	-2	-11	-29	-27	51	-22	19	20	<Variación>		-5	-11	-39	-35	34	78	16	-20	-22	4		
7305	4	36	379	1342	2154	2194	1136	61	Promedio	5	95	589	1549	1706	1698	1100	432	122	9	7305		
	Carcastillo																					
7305	10	125	893	1734	1879	1910	715	38	1	53-72	19	190	881	1538	1306	1213	1080	819	250	9	7305	
7305		56	715	1791	1914	1715	989	125	73-92	15	153	784	1771	1280	1125	1076	863	231	7	7305		
7305		61	669	1666	1870	1798	1106	134	1	93-12	10	159	735	1568	1368	1233	1172	802	257	1	7305	
	-5	-32	-112	-34	-5	-56	196	48	<Variación>		-5	-16	-73	15	31	10	46	-9	4	-4		
7305	3	81	759	1730	1888	1808	937	99	1	Promedio	15	167	800	1626	1318	1190	1109	828	246	6	7305	
	Sartaguda																					
7305	1	33	459	1795	1929	1969	1067	52	53-72	21	191	921	1547	1478	1329	1092	663	63	7305			
7305		19	349	1718	2210	1809	1120	79	1	73-92	10	131	661	1804	1436	1117	1191	752	195	8	7305	
7305	1	23	443	1604	1975	1802	1328	128	1	93-12	12	125	699	1455	1362	1294	1188	898	264	8	7305	
		-5	-8	-96	23	-84	131	38	1	<Variación>		-5	-33	-111	-46	-58	-18	48	118	101	4	
7305	1	25	417	1706	2038	1860	1172	86	1	Promedio	14	149	760	1602	1425	1247	1157	771	174	5	7305	
	Abaurrea A																					
7305										53-72												7305
7305	55	261	1395	2242	2005	1156	181	10	73-92	20	149	887	1605	1567	1238	943	651	226	19	7305		
7305	25	210	1121	2158	2091	1426	253	20	1	93-12	11	146	689	1481	1465	1460	1032	682	310	29	7305	
	-30	-51	-274	-84	86	270	72	10	1	<Variación>	-9	-3	-198	-124	-102	222	89	31	84	10		
7305	40	236	1258	2200	2048	1291	217	15	1	Promedio	16	148	788	1543	1516	1349	988	667	268	24	7305	

Fuente datos: registros diarios de las estaciones meteorológicas del G.N. Elaboración propia.

<p>Información que contiene el Cuadro 6 sobre las cinco estaciones meteorológicas de estudio.</p> <p>1º Número de días en el registro de temperaturas mínimas y máximas según intervalos de 5 °C, en periodos de veinte años.</p> <p>2º Relación de los días de registro de cada periodo de veinte años con el del periodo total respectivo; en Abaurrea Alta: 1973-2012; en el resto de estaciones meteorológicas: 1953-2012. En rojo están marcados los registros que se sitúan por encima del promedio respectivo de todo el periodo.</p> <p>3º Tasas medias de variación del número de días de registro según escala centígrada para veinte años. Los datos de las <i>tasas de variación</i> con fondo verde representan el rango de la escala centígrada que <i>pierde</i> días de registro y los de fondo representan el rango de la escala centígrada que <i>aumenta</i> los días de registro.</p> <p>4º Con el paso del tiempo, los rangos que ganan días de registro se van situando en negro, y los que pierden se van situando en rojo.</p>	<p>Lectura del Cuadro 6</p> <p>El aumento de las temperaturas mínimas se expresa en el <i>Cuadro 6</i>, en la disminución del número de días de registro <i>de temperatura mínima</i> por debajo de los 0 °C, que aparecen en general con tasas negativas <i>medias de variación</i> en todos los rangos de la escala centígrada por debajo de ese valor. La pérdida de días de registro en esa parte de la escala centígrada se compensa con un incremento por encima de los 0 °C (tasas positivas de variación).</p> <p>Este desplazamiento de días de registro de las temperaturas mínimas hacia valores más altos ocasiona a su vez un desplazamiento de las <i>temperaturas máximas</i> también hacia valores más altos, que hace que se pierdan días de registro por debajo de los 5 °C (tasas negativas) y se incrementen por encima de los 5 a 10 C (tasas positivas).</p> <p>El cambio de la estructura de los días de registro en el rango de temperaturas por debajo de los 5 °C es significativo porque tiene especial relevancia en el ciclo vegetativo, y el cambio en el rango por debajo de los 0 °C porque afecta al número de días de helada y a la retención en forma sólida de las precipitaciones.</p> <p>La estación meteorológica que pierde más días de registro en el rango de la escala inferior a los 0 °C es Abaurrea Alta y la menor Santesteban y Sartaguda, cuestión que indica de nuevo que el mayor ascenso térmico coincide con el promedio de temperaturas mínimas más bajo.</p>
---	--

Las particularidades de cómo se conforman, en la estructura del registro de la escala centígrada, las temperaturas mínimas y máximas en los meses centrales de las estaciones del año se puede ver en el *Cuadro 7*, donde se ofrecen, agrupados por décadas del periodo 1953-2002, los registros de los meses de invierno, primavera, verano y otoño en la estación meteorológica de Carcastillo.

Cuadro 7

Estación meteorológica de Carcastillo (periodo 1953-2012) sesenta años
 Número de días de registro de temperaturas mínimas y máximas según escala °C, en periodos de 20 años,
 en los meses de las estaciones del año: (dic-ene-feb) (mar-abr-may) (jun-jul-ago) (sep-oct-nov)

Días	Número de días registrados según temperaturas mínimas y escala °C									Estaciones del año en periodos de 20 años	Número de días registrados según temperaturas máximas y escala °C										Días
	<-10	=-10>	=-5>	=0>	=5>	=10>	=15>	=20>	=25>		Periodos	=-5>	=0>	=5>	=10>	=15>	=20>	=25>	=30>	=35>	
1.805	10	114	629	807	232	13				D-E-F 53-72	19	177	684	737	179	8	1				1.805
1.805		48	489	853	383	32				D-E-F 73-92	15	143	559	876	206	6					1.805
1.805		56	541	832	360	16				D-E-F 93-12	10	144	586	853	208	4					1.805
Prom	3	73	553	831	325	20				D-E-F 53-12	15	155	610	822	198	6	0				Prom
	-5	-29	-44	13	64	2				Variación	-5	-17	-49	58	15	-2	-1				
1.840		6	154	548	808	312	12			M-A-M 53-72	10	92	424	640	430	197	45	2			1.840
1.840		3	124	565	768	337	43			M-A-M 73-92		138	519	523	396	222	42				1.840
1.840		2	65	521	789	410	53			M-A-M 93-12	8	59	353	617	514	249	37	3			1.840
Prom		4	114	545	788	353	36			M-A-M 53-12	6	96	432	593	447	223	41	2			Prom
		-2	-45	-14	-10	49	21			Variación		-1	-17	-36	-12	42	26	-4	1		
1.840				5	214	1.012	574	34	1	J-J-A 53-72				4	69	317	572	634	235	9	1.840
1.840				5	150	799	769	117		J-J-A 73-92				1	61	299	536	717	219	7	1.840
1.840				2	87	747	872	131	1	J-J-A 93-12				3	42	274	573	695	252	1	1.840
Prom				4	150	853	738	94	1	J-J-A 53-12				3	57	297	560	682	235	6	Prom
				-2	-64	-133	149	49		Variación				-1	-14	-22	1	31	9	-4	
1.820		5	110	374	625	573	129	4		S-O-N 53-72	3	105	373	418	458	310	140	13			1.820
1.820		5	102	368	613	547	177	8		S-O-N 73-92	10	87	375	490	424	318	104	12			1.820
1.820		3	63	311	634	625	181	3		S-O-N 93-12	7	90	359	501	441	350	70	2			1.820
Prom		4	92	351	624	582	162	5		J-J-A 53-12	7	94	369	470	441	326	105	9			Prom
		-1	-24	-32	5	26	26	-1		Variación		2	-8	-7	42	-9	20	-35	-6		

Fuente datos: registros diarios de las estaciones meteorológicas del G.N. Elaboración propia.

Lectura del Cuadro 7

La evolución en el tiempo del registro de días, según rango de temperaturas y periodos de veinte años, se puede ver en la comparación con el promedio del periodo 1953-2012 (valores en rojo y negro). Con el paso del tiempo, los rangos que ganan días de registro se van situando en negro, y los que pierden se van situando en rojo.

Las variaciones más significativas en el registro de de las temperaturas mínimas y máximas en el periodo 1953-2012 en los meses centrales de las estaciones del año son:

En los meses de diciembre, enero, febrero, en las temperaturas mínimas se pierden 78 días de registro por debajo de los 0 °C y se ganan por encima de ese valor en el rango de ($=0 >$ °C a <15 °C); en las temperaturas máximas se pierden 70 días de registro por debajo de los 10 °C.

En los meses de marzo, abril, mayo, se pierden 70 días de registro de temperatura mínima por debajo de los 10 °C; en las máximas por debajo de lo 20 °C se pierden 65 días de registro.

En los meses de junio, julio, agosto, en las temperaturas mínimas por debajo de los 15 °C se contabilizan un total de 198 días menos; en las máximas por debajo de 25 °C, se registran 36 días menos.

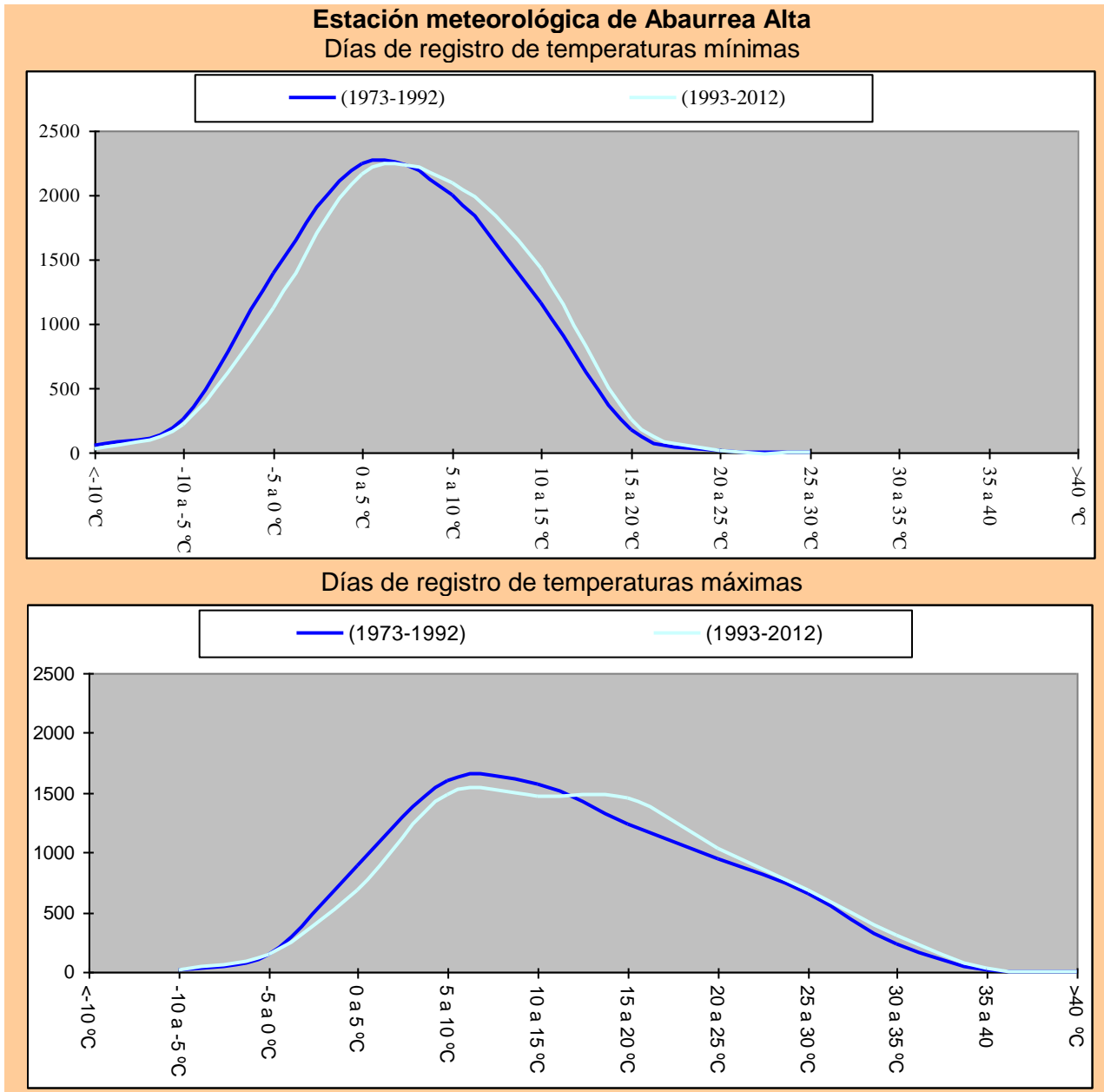
En los meses de septiembre, octubre , noviembre, en las temperaturas mínimas por debajo de los 5 °C, se registran 56 días menos, y en las máximas la variación en el registro de la escala centígrada se realiza de forma irregular.

En general, se puede considerar, que el registro de las temperaturas máximas y mínimas está cambiando con el paso del tiempo, de tal manera que la estructura de registro de días en la escala centígrada está experimentando un desplazamiento hacia valores más altos.

Este desplazamiento se puede observar en el *Cuadro 8*. Este cuadro reúne dos gráficos, en el primero se comparan las estructuras de los días de registro de las temperaturas mínimas del periodo (1973-1992), y (1993-2012) de la estación meteorológica de Abaurrea Alta; en el segundo gráfico se establece la misma comparación con los días de registro de las temperaturas máximas.

Cuadro 8

Estructura de los días de registro de temperaturas mínimas y máximas en la escala centígrada (<-10 a >40 °C) de los periodos (1973-1992) y (1993-2012)



Lectura gráficos del Cuadro 8

En las temperaturas mínimas, se aprecia el desplazamiento de la curva del periodo (1993-2012) hacia la derecha en la escala centígrada, respecto del periodo (1973-1992). Este desplazamiento acusa la pérdida de días de registro en los valores más bajos de la escala centígrada y refuerza el rango de la escala entre los 5 y los 15 °C. En el caso de las temperaturas máximas, el desplazamiento acusa también la pérdida de días de registro en el rango de la escala centígrada inferior a los 10 °C y se refuerza principalmente el rango entre los 10 °C y 20 °C, y en menor medida el rango por encima de los 20 °C.

Elaboración propia.

Una de las repercusiones importantes de la pérdida de días de registro en los rangos más bajos de la escala centígrada (°C) es la disminución del día del número de heladas. En *el Cuadro 9*, se compara el número de días de registro igual o inferior a 0 °C, agrupados en periodos de veinte años

Cuadro 9

Días de helada según periodos de veinte años y variación según periodos de referencia

Periodos (20 años)::		53-72	73-92	93-12	Promedio	Variación
Altitud	Estación				Periodo	media (días)
120	Santesteban	597	518	540	552	-29
342	Carcastillo	1.268	923	914	1.035	-177
355	Sartaguda	741	530	599	623	-71
449	Pamplona	890	607	569	689	-161
1032	Abaurrea Alta		2.302	1.819	2.061	-483

Los valores en color rojo son los promedios por debajo del promedio del periodo correspondiente

Fuente datos: registros diarios de las estaciones meteorológicas del G.N. Elaboración propia.

Lectura de datos del Cuadro 9

Comparando el registro de días de helada de los periodos de veinte años con el promedio general del periodo respectivo se observa una tendencia hacia la disminución de los días de helada en los últimos cuarenta años. En el caso de la estación meteorológica de Abaurrea Alta, la comparación del periodo (1973-1992) con el periodo (1993-2012) presenta una disminución de 483 días de helada.

6.2 Variación térmica según meses del año

Para observar la forma en la que se produce la variación térmica en los meses del año se ha extraído para cada mes del año en las estaciones meteorológicas de referencia, el promedio de temperatura mínima, máxima y promedio de ambas de los periodos (1973-1992) y (1993-2012) y se ha calculado la variación de las mismas entre ambos periodos. En el Cuadro 10, se presentan los promedios respectivos para cada mes del año del periodo (1973-1992) y (1993-2012) comparando la variación entre ambos.

Cuadro 10

Comparación de los Promedios de temperatura mínima, máxima y promedio de ambas de los periodos (1973-1992) y (1993-2012)

Estación Meses	Santesteban			Abaurrea			Pamplona			Carcastillo			Sartaguda		
	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	MED
ene	10,4	3,0	6,7	5,7	-1,8	1,9	8,7	1,9	5,3	9,3	1,1	5,2	10,2	2,5	6,4
feb	12,9	4,4	8,7	6,5	-1,2	2,6	10,6	2,8	6,7	11,7	2,2	6,9	12,2	3,2	7,7
mar	14,5	4,7	9,6	8,3	-0,1	4,1	13,0	4,1	8,5	13,7	3,3	8,5	14,4	4,3	9,3
abr	16,4	6,5	11,4	9,7	1,1	5,4	14,6	5,6	10,1	16,8	5,6	11,2	16,9	6,3	11,6
may	20,2	9,5	14,9	14,6	4,9	9,7	18,7	8,8	13,8	22,3	9,5	15,9	22,2	9,5	15,8
jun	23,3	12,5	17,9	18,8	7,9	13,4	23,0	11,9	17,4	26,6	12,7	19,6	25,9	13,0	19,5
jul	26,3	14,7	20,5	22,9	10,3	16,6	26,6	14,3	20,5	30,8	15,4	23,1	30,0	15,3	22,7
ago	26,3	14,8	20,5	23,7	10,7	17,2	27,0	14,5	20,7	30,3	15,1	22,7	29,5	15,7	22,6
sep	24,8	12,8	18,8	20,7	8,6	14,6	24,2	12,5	18,3	25,9	12,3	19,1	26,0	12,8	19,4
oct	20,0	10,3	15,1	14,3	5,1	9,7	18,0	8,8	13,4	19,2	7,9	13,5	19,2	8,5	13,9
nov	14,2	5,9	10,0	9,4	1,6	5,5	12,6	5,0	8,8	13,6	4,3	8,9	13,6	4,8	9,2
dic	12,2	4,5	8,3	6,3	-0,9	2,7	9,6	3,0	6,3	9,8	2,2	6,0	10,1	3,2	6,6
AÑO	18,5	8,7	13,6	13,4	3,9	8,7	17,2	7,8	12,5	19,2	7,7	13,4	19,2	8,3	13,8

Periodo (1993-2012)

Estación Meses	Santesteban			Abaurrea			Pamplona			Carcastillo			Sartaguda		
	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	MED
ene	12,0	3,6	7,8	6,0	-0,9	2,5	9,2	2,3	5,7	9,6	1,3	5,5	10,1	2,3	6,2
feb	13,1	3,4	8,2	6,8	-1,2	2,8	10,8	2,3	6,6	11,7	1,4	6,6	12,2	2,5	7,3
mar	16,6	5,2	10,9	10,5	1,4	5,9	14,8	4,6	9,7	15,9	4,0	10,0	16,7	4,8	10,7
abr	18,1	7,0	12,5	12,1	2,9	7,5	16,6	6,4	11,5	18,1	6,2	12,1	19,0	7,1	13,0
may	22,0	10,4	16,2	17,0	6,4	11,7	21,2	9,8	15,5	22,8	10,2	16,5	23,4	10,8	17,1
jun	24,6	13,4	19,0	21,7	9,7	15,7	25,5	13,3	19,4	28,0	13,8	20,9	28,4	14,5	21,5
jul	25,9	15,1	20,5	23,9	11,1	17,5	27,4	14,7	21,0	30,1	15,4	22,8	30,4	16,2	23,3
ago	27,0	15,7	21,3	24,6	11,7	18,1	28,3	15,5	21,9	30,1	15,7	22,9	30,4	16,4	23,4
sep	24,2	12,8	18,5	19,7	8,6	14,1	23,7	12,4	18,1	25,0	12,3	18,7	25,7	12,9	19,3
oct	20,7	10,5	15,6	15,2	6,3	10,8	18,9	9,6	14,2	19,9	9,2	14,5	20,6	9,8	15,2
nov	14,8	6,3	10,6	9,1	2,0	5,5	12,5	5,3	8,9	13,3	4,5	8,9	13,7	5,3	9,5
dic	12,2	4,2	8,2	6,3	-0,4	2,9	9,4	2,7	6,0	9,6	1,5	5,6	10,0	2,4	6,2
AÑO	19,3	9,0	14,2	14,4	4,8	9,6	18,2	8,3	13,3	19,6	8,0	13,8	20,1	8,8	14,4

Diferencia de la variación térmica (°C) entre los periodos (1973-1992) y (1993-2012)

Meses	Santesteban			Abaurrea			Pamplona			Carcastillo			Sartaguda		
	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	MED
ene	1,60	0,55	1,07	0,30	0,92	0,61	0,46	0,36	0,41	0,31	0,19	0,25	-0,09	-0,22	-0,15
feb	0,17	-1,00	-0,41	0,31	-0,01	0,15	0,17	-0,52	-0,18	0,01	-0,78	-0,38	0,04	-0,76	-0,36
mar	2,06	0,50	1,28	2,22	1,45	1,83	1,82	0,56	1,19	2,16	0,71	1,43	2,29	0,44	1,37
abr	1,69	0,46	1,08	2,41	1,83	2,12	1,99	0,83	1,41	1,33	0,60	0,96	2,02	0,73	1,38
may	1,79	0,86	1,32	2,40	1,53	1,96	2,50	0,97	1,74	0,54	0,66	0,60	1,26	1,31	1,28
jun	1,30	0,89	1,09	2,83	1,88	2,35	2,58	1,44	2,01	1,41	1,08	1,25	2,50	1,50	2,00
jul	-0,34	0,43	0,05	0,94	0,75	0,85	0,78	0,35	0,57	-0,71	0,03	-0,34	0,43	0,82	0,62
ago	0,72	0,88	0,80	0,84	0,93	0,89	1,32	0,98	1,15	-0,13	0,63	0,25	0,95	0,68	0,81
sep	-0,57	-0,01	-0,29	-0,99	-0,02	-0,51	-0,46	-0,12	-0,29	-0,86	-0,02	-0,44	-0,27	0,10	-0,09
oct	0,61	0,29	0,45	0,90	1,29	1,09	0,94	0,78	0,86	0,73	1,27	1,00	1,39	1,26	1,32
nov	0,65	0,43	0,54	-0,39	0,38	-0,01	-0,08	0,30	0,11	-0,28	0,25	-0,01	0,12	0,54	0,33
dic	0,03	-0,29	-0,13	-0,02	0,45	0,22	-0,18	-0,38	-0,28	-0,19	-0,73	-0,46	-0,10	-0,78	-0,44
Año	0,81	0,34	0,58	0,98	0,95	0,97	0,99	0,47	0,73	0,36	0,33	0,35	0,88	0,48	0,68

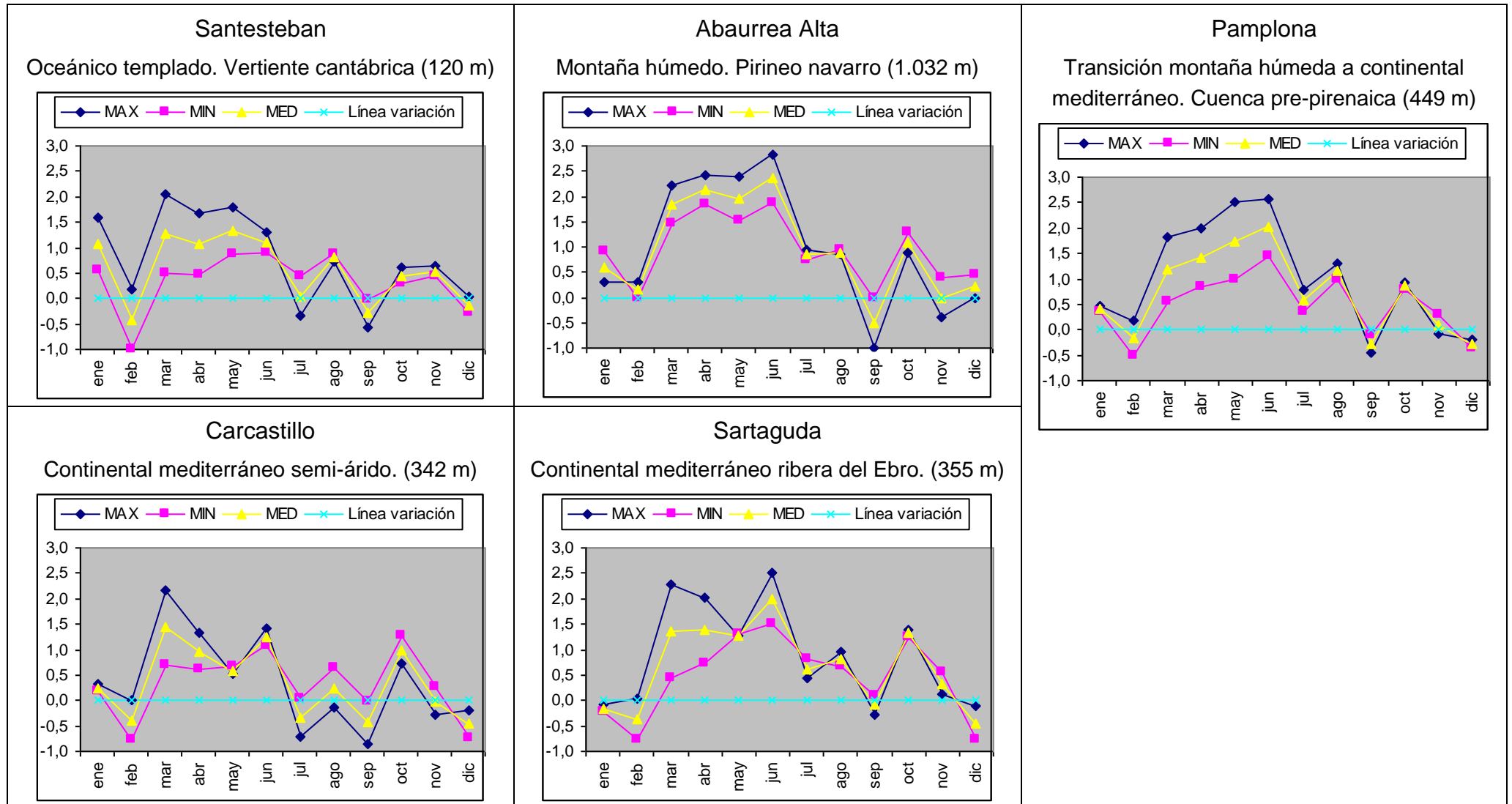
Fuente datos: registros diarios de las estaciones meteorológicas del G.N. Elaboración propia.

Los valores en rojo del periodo (1993-2012) indican la variación positiva respecto del promedio del periodo (1973-1992), en el que se observa un incremento de las temperaturas, excepto en septiembre, en el resto de los meses del año en el periodo más reciente de 1993-2012.

En el apartado que se muestra la diferencia de la variación térmica, la variación negativa se muestra *en negro*; la variación positiva hasta 1 °C *en azul*; por encima de >1 °C *en rojo*.

La particularidad de cómo se produce esta variación térmica se puede ver en el *Cuadro 11* en los gráficos relativos a cada estación meteorológica, que recoge la variación térmica de los promedios de temperatura mínima, máxima y promedio entre los periodos (1973-1992) y (1993-2012).

Representación gráfica de la variación térmica de los promedios de temperatura mínima, máxima y promedio según meses



Elaboración propia.

Cuadro 11

Correlación de la variación del promedio de temperatura (°C) en los meses del año

Meses	Santesteban Promedio (°C)	Abaurrea Promedio (°C)	Pamplona Promedio (°C)	Carcastillo Promedio (°C)	Sartaguda Promedio (°C)
Enero	1,07	0,61	0,41	0,25	-0,15
Febrero	-0,41	0,15	-0,18	-0,38	-0,36
Marzo	1,28	1,83	1,19	1,43	1,37
Abril	1,08	2,12	1,41	0,96	1,38
Mayo	1,32	1,96	1,74	0,60	1,28
Junio	1,09	2,35	2,01	1,25	2,00
Julio	0,05	0,85	0,57	-0,34	0,62
Agosto	0,80	0,89	1,15	0,25	0,81
Septiembre	-0,29	-0,51	-0,29	-0,44	-0,09
Octubre	0,45	1,09	0,86	1,00	1,32
Noviembre	0,54	-0,01	0,11	-0,01	0,33
Diciembre	-0,13	0,22	-0,28	-0,46	-0,44

Matriz de Correlaciones ®

r =					0,71
r =				0,81	0,89
r =			0,83	0,86	0,93
r =		0,80	0,95	0,83	0,88

Elaboración propia.

Lectura gráficos y Cuadro 11

En todas las estaciones meteorológicas de estudio, a pesar de sus variedades climáticas, el ascenso térmico más acusado se produce en los meses de marzo, abril mayo y de junio; siendo el mes de junio el de mayor incremento del promedio de las temperaturas, excepto Santesteban que lo tiene en marzo.

Las temperaturas mínimas tienen su mayor incremento en el mes de junio al igual que las máximas excepto Santesteban y Carcastillo que lo tienen en marzo. La relación de incremento de las temperaturas mínimas y de las máximas guarda una cierta simetría en los meses del año en todas las estaciones meteorológicas con la excepción de los meses de marzo y abril en los que las temperaturas máximas se incrementan más acentuadamente que las mínimas.

El mes de septiembre, en todas las estaciones meteorológicas experimenta un ligero descenso de las temperaturas en el periodo (1993-2012) respecto del periodo (1973-1992).

La matriz de correlaciones de la variación del promedio de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) en los meses del año en todas las estaciones meteorológicas de estudio expresa, con una alta correlación, como esta variación se produce de manera muy parecida en los diferentes climas que representan cada estación meteorológica.

6.3 Conclusiones sobre la cuantificación del cambio térmico climático

1^o El cambio térmico tiene su origen principal en el incremento de las temperaturas mínimas y se sitúa básicamente en el rango por debajo de los 9°C .

2^o Este cambio es mayor en los climas que tienen más días de registro en las temperaturas mínimas por debajo de los 9°C .

3^o El cambio de las temperaturas mínimas afecta principalmente a los valores más bajos del registro.

4^o El incremento de los días de registro de las temperaturas mínimas por encima de los 9°C origina un desplazamiento en los días de registro de las temperaturas máximas en unos 5°C .

5^o La consecuencia más importante de este cambio es la fuerte disminución de los días de helada pues este factor es el que más consecuencias climáticas tiene tanto desde el punto de vista vegetativo como en la conservación de nieve y posteriores deshielos.

6^o Los cambios térmicos, en los climas con promedios de temperatura mínima anual por encima de los 9°C , son de menor significación.

7^o Los meses del año que más acusan el cambio térmico climático son marzo; abril, mayo y junio

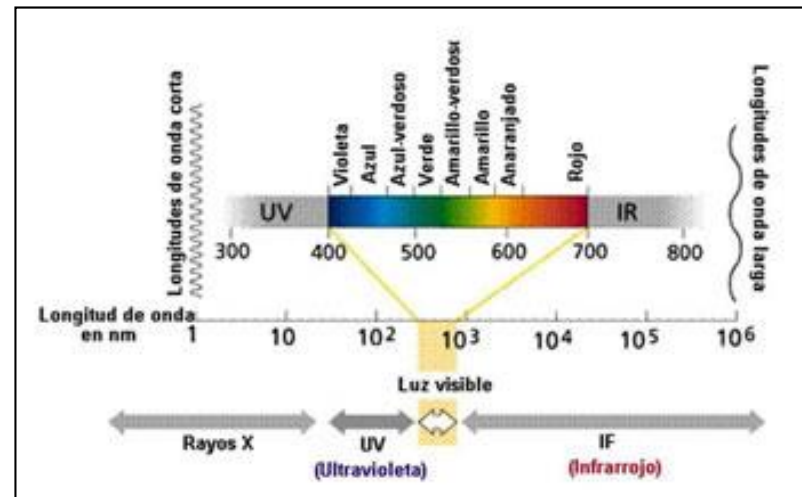
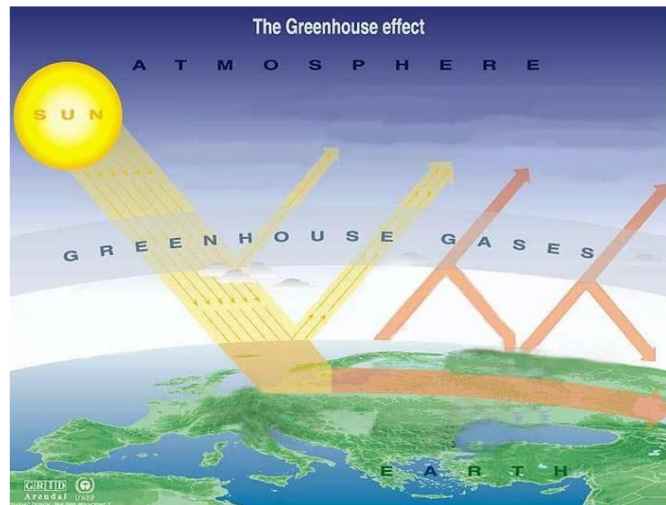
7. Interpretación de la variación de las temperaturas en la teoría general de cambio climático

Tal y como se desarrolla el ciclo diario térmico terrestre las temperaturas diurnas y nocturnas se atienen a dos aspectos básicos; en el caso de las diurnas, a la absorción y reflexión de la radiación solar por la superficie terrestre y por distintos componentes de la atmósfera, dependiendo ello, de la latitud y estación del año, y en el caso de las nocturnas, a la capacidad de estos mismos elementos para retener durante la noche parte del calor recibido durante el día.

De la radiación solar que llega a la Tierra se considera que el 31% es reflejada de nuevo hacia el espacio exterior, el resto es absorbida por la tierra y reemitida de nuevo.

La dinámica de la atmósfera, océanos y distintas capas terrestres permite una redistribución de la energía capturada. Las superficies de océanos y continentes pierden constantemente energía irradiando en diversas longitudes de onda larga dependiendo éstas de sus respectivas temperaturas.

La radiación de onda larga emitida por la superficie terrestre hacia la atmósfera es casi ignorada por gases elementales como el oxígeno o el nitrógeno que son prácticamente transparentes a la radiación térmica, pero es absorbida y vuelta a emitir en todas direcciones, por los gases de la atmósfera terrestre con propiedades de opacidad para absorber la radiación en longitudes de onda larga (especialmente vapor de agua, dióxido de carbono, metano, clorofluorocarbonos y ozono).



7.1 Forzamiento radiativo

La presencia de estos gases reduce la pérdida de calor de la superficie terrestre hacia el espacio exterior. El incremento de estos gases por causas antropogénicas provoca una mayor concentración de los mismos dotándoles de una mayor opacidad a la radiación emitida en longitudes de onda larga de rango menor a las precedentes históricas, y por lo tanto contribuye a un incremento de la energía acumulada^[1].

Esta característica ha venido a denominarse por la Organización Meteorológica del Mundo (WMO) en el panel intergubernamental del cambio del clima ^[2] (IPCC) como “*forzamiento radiativo*”, tal y como se puede ver en el *Cuadro 12* donde se presenta los datos del incremento en la atmósfera de éstos gases.

Cuadro 12

Forzamiento radiativo desde el inicio de la era industrial					
Gas Invernadero	Concentración 1750	Concentración 1992	Concentración 1999	Incremento fuerza Irradiativa (W/m ²) respecto de 1750	Contribución al forzamiento radiativo (%)
Dióxido de Carbono	280 ppmv	355 ppmv	367 ppmv	1,56	59,8%
Metano	0,8 ppmv	1,72 ppmv	1,77 ppmv	0,5	19,2%
Oxido Nitroso	275 ppbv	310 ppbv	460 ppbv	0,1	3,8%
CFC-11	0	280 pptv	Regulado protocolo de Montreal 1989	.	(todos los CFCs)
CFC-12	0	484 pptv	Regulado protocolo de Montreal 1989	0,3	
HCFCs/HFCs	0	Sin datos		0,05	1,9%
Ozono Troposférico	Sin datos	Variable	Variable	0,2	-0,6
Ozono Estratosférico	Sin datos	300 unidad. dobson		-0,1	-3,8%
Total				2,61 (W/m ²)	100%

Fuente: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Elaboración propia.

¹ Este proceso es comúnmente conocido como “efecto invernadero”, pero, para algunos autores no es un término adecuado, pues, el vidrio o capa de un invernadero es transparente a la luz solar, y opaca a la radiación terrestre, pero a diferencia del fenómeno atmosférico donde existe una redistribución de calor por convección hacia el aire que lo rodea, el invernadero confina el aire en su interior, evitando que se pueda escapar el aire caliente, pues el vidrio o capa inhibe su circulación. Por ello, el fenómeno atmosférico se basa en un proceso distinto al de un invernadero, pero el término está ya suficientemente adoptado en diferentes ámbitos del conocimiento, lo que hace necesario su adopción.

² Reconociendo el problema del cambio global potencial del clima, la Organización Meteorológica del Mundo (WMO) y el Programa del Ambiente de Naciones Unidas (UNEP) establecieron el panel intergubernamental en el cambio del clima (Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC) en 1988.

7.2 Ciclo diario de radiación y temperatura

El ciclo diario de temperaturas se desarrolla según la siguiente secuencia:

1º Mañana

La cantidad de energía absorbida por unidad de área de suelo aumenta a lo largo de la mañana según asciende el Sol sobre el horizonte. La superficie terrestre transfiere energía y calienta el aire inmediatamente por encima. En los primeros metros de la atmósfera puede formarse un gradiente térmico muy pronunciado. El aire muy próximo a la superficie puede estar mucho más caliente que el que se encuentra a un metro de la misma. El aire caliente próximo a la superficie se mezcla con el de alrededor. Se comienza a calentar la baja troposfera.

2º Mediodía

La máxima entrada de radiación solar se produce al mediodía solar.

3º Tarde

En todo este proceso se está produciendo un balance energético. Mientras la radiación de entrada sea superior a la de salida existe un incremento de la temperatura. La temperatura máxima normalmente no coincide con el mediodía solar, pues durante unas horas a pesar de que comienza a declinar la entrada de radiación, la existente, se acumula con la entrante y la temperatura sigue subiendo.

4º Final de la Tarde

A partir del momento en que sale al espacio exterior más energía de la que entra, la temperatura disminuye.

5º Noche

Por la noche el suelo terrestre radia mucho más eficientemente que la atmósfera, por este motivo el suelo se enfría mucho más rápidamente. El aire en contacto con el suelo se enfría más rápidamente que el resto de la atmósfera. Conforme desciende la temperatura la emisión de radiación de longitud de onda larga aumenta. Las longitudes de onda más largas *coinciden con las temperaturas más bajas*. Los gases que muestran más opacidad a las mismas contribuyen a mitigar el descenso de las temperaturas. Al finalizar la noche se registran habitualmente las temperaturas mínimas del ciclo diario.

A continuación, de nuevo, se repite el ciclo diario.

El *Cuadro 13*, muestra de manera resumida, con datos reales de tomas de radiación solar y temperaturas cada 10 minutos de todo el año 2003 de la estación meteorológica de Pamplona, la secuencia descrita anteriormente. El equipo que mide la radiación solar es el Piranómetro. Su rango de trabajo se expresa en w/m^2 y su rango espectral se sitúa entre los 305 y 2.800 nm, [3] es decir mide la radiación de longitud de onda emitida por el sol en todo su espectro visible que se sitúa entre los 400 y 700 nm, colores: azul, verde y rojo; el infrarrojo próximo entre 700 y 1.300 nm y se adentra en la longitud de onda del infrarrojo medio hasta los 2.800 nm. [4]

El *Cuadro 13* resume 78.000 registros de radiación solar y temperatura. Los datos registrados cada 10 minutos se han promediado en intervalos de 30 minutos para los 12 meses del año (Ver [Anexo 7](#)).

El cuadro se ha ordenado, para cada mes, según el ciclo de 24 horas en varias vistas:

- 1ª) Vista previa del amanecer, normalmente coincide con las temperaturas más bajas
- 2ª) Vista del ciclo matinal, presenta el ascenso de la radiación solar y de las temperaturas
- 3ª) Vista del mediodía solar, hora aproximada de la máxima radiación del día
- 4ª) Vista de las primeras horas de la tarde, que coincide con el momento que aunque la energía entrante disminuye el balance energético entre la radiación entrante y saliente es positivo y la temperatura asciende.
- 5ª) Vista de las horas centrales de la tarde, donde la radiación solar continúa su descenso y las temperaturas comienzan a descender
- 6ª) Vista de la última hora del día, donde la radiación y la temperatura comienza a descender rápidamente.

³ (nm) Abreviatura de nanómetro que es igual a la mil millonésima parte del metro.

Teniendo en cuenta las características del piranómetro, se considera ciclo diurno cuando los valores del promedio mensual superan los $9 w/m^2$

⁴ El infrarrojo medio que llega hasta los 8.000 nm. El infrarrojo lejano o térmico de 8.000 a 14.000 nm que incluye la porción emisiva más importante del espectro terrestre. Siendo en esta longitud de onda donde se produce el cambio más importante en el proceso de absorción de energía.

Cuadro 13

Matriz anual de promedio mensual de radiación solar (W/m²) y temperatura (°C) cada media hora (Pamplona)

Amanecer	MIN °C		Día	Mediodía		MAX W/m ²		Radiación desc.; temperatura asc.								Tarde		MAX °C		Atardecer		Noche		
Mes:	Enero		Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio		Julio		Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre	
Hora	RAD	TEM	RAD	TEM	RAD	TEM	RAD	TEM	RAD	TEM	RAD	TEM	RAD	TEM	RAD	TEM	RAD	TEM	RAD	TEM	RAD	TEM	RAD	TEM
solar	W/m ²	°C	W/m ²	°C	W/m ²	°C	W/m ²	°C	W/m ²	°C	W/m ²	°C	W/m ²	°C	W/m ²	°C	W/m ²	°C	W/m ²	°C	W/m ²	°C	W/m ²	°C
4:30																								
5:00											15,4	18,01	11,2	16,94										
5:30									38,1	10,70	52,8	17,97	39,8	16,93	11,8	19,59								
6:00							21,8	9,35	95,8	10,77	110,4	18,17	99,2	17,09	42,3	19,56	10,0	14,53						
6:30					13,4	6,86	55,9	9,40	165,4	11,13	181,8	18,59	171,2	17,45	101,3	19,67	34,3	14,62	9,7	10,80				
7:00					35,4	7,10	104,7	9,75	232,1	11,93	248,2	19,21	257,4	18,12	177,9	20,21	88,0	14,97	27,3	10,73	9,4	7,58		
7:30			15,1	2,99	86,6	7,40	166,7	10,33	311,7	12,90	331,0	20,37	358,9	19,28	249,4	21,13	153,5	15,81	62,0	11,02	22,8	7,77		
8:00	15,8	3,75	48,3	3,14	142,9	8,28	223,3	11,02	368,0	13,75	421,6	21,39	439,3	20,21	323,9	22,17	225,5	16,79	110,9	11,51	58,4	7,96	16,8	5,33
8:30	50,2	3,97	92,9	3,51	207,7	9,23	295,2	11,73	435,5	14,71	481,8	22,35	507,8	21,19	386,9	23,19	271,6	17,63	148,3	11,98	102,0	8,50	44,9	5,52
9:00	99,1	4,48	134,3	4,15	272,8	10,04	329,6	12,53	477,1	15,66	552,2	23,39	579,0	22,26	447,0	24,28	333,5	18,35	196,9	12,51	147,2	9,08	73,6	5,82
9:30	149,3	4,96	170,0	4,69	352,7	11,05	373,4	13,18	516,2	16,55	628,9	24,50	637,7	23,33	500,7	25,59	375,0	19,08	227,1	12,97	193,3	9,66	95,2	6,14
10:00	177,6	5,54	219,6	5,18	414,9	12,10	463,6	13,94	587,2	17,42	660,3	25,50	684,1	24,40	573,1	26,69	473,1	19,90	281,7	13,64	234,1	10,48	119,4	6,59
10:30	213,2	6,05	259,0	5,80	459,1	13,10	534,9	14,73	616,7	18,15	720,5	26,26	762,4	25,41	623,9	27,73	514,8	20,67	300,7	14,13	259,7	11,02	153,9	7,11
11:00	244,8	6,49	280,6	6,24	503,6	13,90	564,1	15,33	639,7	18,71	768,5	27,16	790,4	26,39	659,7	28,66	516,6	21,29	314,9	14,56	274,2	11,61	181,8	7,54
11:30	259,2	6,89	297,7	6,62	544,9	14,68	617,5	15,88	684,3	19,41	846,0	27,98	837,0	27,20	704,8	29,48	485,8	21,59	344,4	15,08	291,3	12,11	194,8	7,90
12:00	259,7	7,29	293,9	6,95	548,9	15,32	606,2	16,15	703,6	19,89	810,8	28,53	859,2	27,85	737,7	30,26	512,9	22,14	377,1	15,57	279,1	12,48	205,0	8,23
12:30	254,1	7,42	287,2	7,20	550,5	15,75	613,4	16,42	720,3	20,37	819,0	28,96	839,4	28,38	719,7	30,83	520,4	22,68	381,4	15,90	280,7	12,95	203,8	8,45
13:00	277,6	7,80	284,2	7,42	540,6	16,34	661,3	16,80	709,9	20,79	793,1	29,28	837,4	28,90	719,0	31,29	491,5	23,00	320,9	16,02	284,5	13,57	206,4	8,74
13:30	246,9	8,06	279,4	7,58	549,9	16,65	643,6	17,13	693,8	21,14	710,0	29,38	833,2	29,27	696,0	31,77	453,0	23,24	335,7	16,25	258,4	13,82	209,0	9,03
14:00	221,0	8,16	270,5	7,73	517,7	17,21	607,4	17,37	664,9	21,33	689,2	29,44	799,5	29,64	661,2	32,11	469,8	23,56	307,7	16,30	236,3	14,02	181,6	9,11
14:30	189,0	8,18	247,4	7,77	467,5	17,39	556,6	17,55	605,7	21,41	644,3	29,51	751,7	29,89	592,2	32,25	449,3	23,83	270,5	16,42	203,8	14,00	156,8	9,12
15:00	149,4	8,14	204,7	7,79	445,7	17,73	472,3	17,51	578,4	21,53	619,1	29,44	713,8	29,77	532,3	32,34	408,7	23,97	226,2	16,51	172,8	14,05	110,7	8,92
15:30	117,3	8,07	169,7	7,79	366,5	17,69	422,2	17,62	500,2	21,27	548,2	29,13	624,2	29,42	488,5	32,25	348,6	23,86	186,2	16,45	114,9	13,95	80,8	8,69
16:00	83,1	8,01	132,8	7,77	293,7	17,49	363,8	17,51	425,7	21,10	442,6	28,76	541,4	29,05	415,4	32,07	315,4	23,70	128,2	16,15	71,0	13,65	44,5	8,39
16:30	43,4	7,66	84,5	7,51	219,3	17,17	263,4	17,16	365,6	20,85	387,0	28,31	482,7	28,56	335,4	31,65	247,4	23,36	72,7	15,72	31,1	13,13	18,1	8,06
17:00	15,7	7,12	44,5	7,15	144,9	16,56	199,9	16,81	287,9	20,57	335,7	28,02	393,6	27,83	266,8	31,16	172,7	22,85	38,1	15,05	9,9	12,47		
17:30			19,5	6,79	82,0	15,78	142,7	16,30	206,3	19,87	236,9	27,52	303,9	26,83	183,8	30,32	100,0	22,16	14,8	14,49				
18:00			10,2	6,27	33,0	14,90	81,5	15,76	147,6	19,36	168,7	26,98	215,3	25,91	112,3	29,44	44,2	21,42						
18:30					11,5	14,46	34,0	15,06	97,1	18,72	111,0	26,33	137,0	24,98	63,4	28,48	16,9	20,78						
19:00							12,1	14,88	43,8	17,80	62,2	25,56	76,1	23,90	25,0	27,42								
19:30									13,5	16,92	25,6	24,58	27,5	22,85	10,8	28,52								
20:00											10,1	23,78	9,7	22,07										

Fuente datos: registros diarios de las estaciones meteorológicas del G.N. Elaboración propia.

Relación entre temperatura (°C) y radiación (W/m²)

Mes:	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Relación de la radiación solar con la temperatura desde el amanecer hasta el inicio del declive de la radiación												
r =	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,99	0,99	0,95	0,97
Relación desde el inicio del declive de la radiación hasta el inicio del declive de la temperatura												
r =	-0,91	-0,73	-0,92	-0,85	-0,89	-0,80	-0,84	-0,83	-0,82	-0,81	-0,77	-1,0
Relación desde el inicio del declive de la temperatura hasta la puesta de Sol												
r =	0,91	0,93	0,96	0,97	0,95	0,95	0,98	0,96	0,98	0,95	0,95	0,99

Lectura del Cuadro 13

El *Cuadro 13* conforma la **Matriz anual** de promedio mensual de radiación solar (W/m²) y temperatura (°C) cada media hora en horario solar natural del punto de registro (Pamplona).

Las altas correlaciones (r) expresan claramente el ciclo diario en todos los meses del año.

En un primer momento, a partir del amanecer el ascenso de la radiación se **relaciona directamente** con el ascenso de la temperatura hasta primera hora de la tarde. Después, la radiación comienza a declinar pero la temperatura sigue subiendo hasta media tarde, ello debido al fenómeno de descompensación entre radiación entrante y saliente, de tal manera, que el superávit se transforma en una elevación de las temperaturas, en ese momento se produce una **alta correlación** entre la variable de radiación y la de temperaturas pero *de carácter inverso*, al entrar menos radiación solar y subir las temperaturas. Una vez avanzada la tarde de nuevo y hasta el atardecer se vuelve a establecer una **alta correlación directa** entre las dos variables al corresponderse el descenso de la radiación entrante con la disminución de la temperatura.

7.3 Interpretación de la variación térmica

El *forzamiento radiativo*, al establecerse por el incremento de la opacidad por mayor saturación de los gases que contribuye al calentamiento térmico, se sitúa en longitudes de onda del espectro que anteriormente eran transparentes, y por lo tanto se convierte en una constante que añade mayor capacidad a la atmósfera para retener calor durante todo el ciclo térmico diario.

No obstante, los efectos del *forzamiento radiativo* a lo largo de las 24 horas del día, es diferente.

Esta diferencia viene determinada porque la incidencia del *forzamiento radiativo*, al mediodía solar es relativamente muy pequeña, mientras que al amanecer su peso relativo sobre la radiación existente es mayor, como se explica a continuación.

Tal y como se desarrolla el ciclo térmico diario, el *forzamiento radiativo* debe comenzar a cobrar importancia a partir del inicio de la tarde que es la hora en la que el aumento normal de las temperaturas se produce por la coincidencia de la mayor acumulación de energía de la troposfera con la radiación solar entrante.

Al incrementarse la capacidad de la troposfera para la retención de energía por el efecto invernadero, el diferencial entre radiación de entrada y salida se reduce, lo que debe producir un ligero incremento del pico de las máximas por encima de valores históricamente precedentes, aunque la consecuencia más importante del efecto invernadero se prolongará hasta el amanecer.

La Tierra una vez finalizada la radiación solar comienza a emitir la energía almacenada hacia el espacio exterior pero, debido a la acumulación de gases de efecto invernadero, parte de la radiación emitida en longitudes de onda larga que anteriormente alcanzaban el espacio exterior porque eran transparentes en la atmósfera, en la nueva situación quedan atrapadas en la tupida red de los gases de efecto invernadero y es absorbida en la troposfera. Es por ello por lo que en los climas más fríos, donde las longitudes de onda larga son mayores, donde la retención y absorción de la energía debido al efecto invernadero es mayor.

En resumen, el aumento histórico de las temperaturas mínimas máximas se produce, pues, por dos fenómenos combinados:

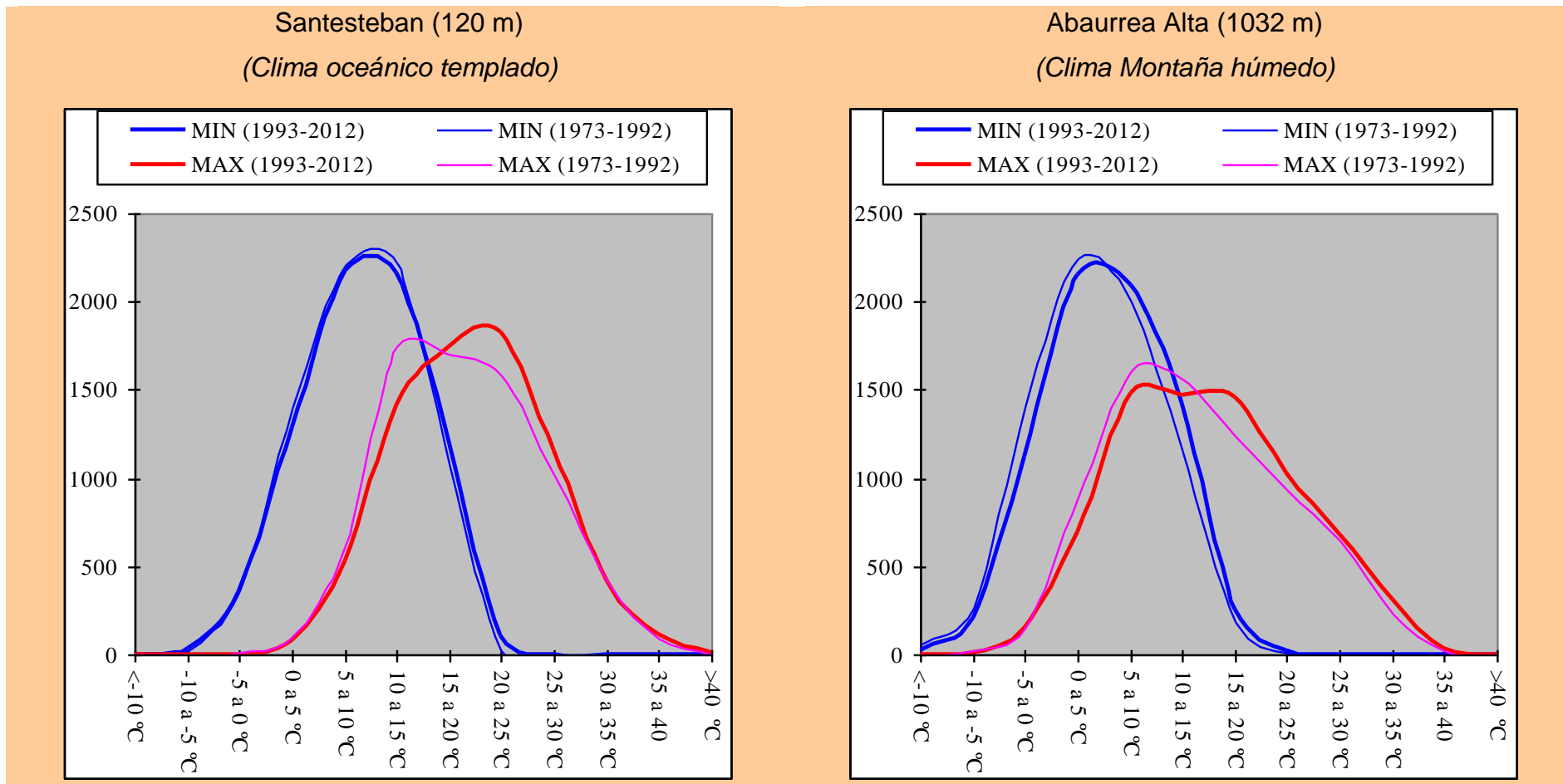
El incremento de las temperaturas mínimas es debido a que, de los diferentes factores que determinan la temperatura mínima en un punto geográfico, el valor diferencial del incremento histórico de las mínimas se establece por la menor emisión de radiación nocturna al espacio exterior.

El aumento histórico de las temperaturas máximas se produce porque la radiación entrante a la atmósfera desde primeras horas de la mañana opera sobre valores de temperatura mínima más altos; a este factor hay que añadir la mayor retención de la energía saliente en las primeras horas de la tarde del ciclo diario.

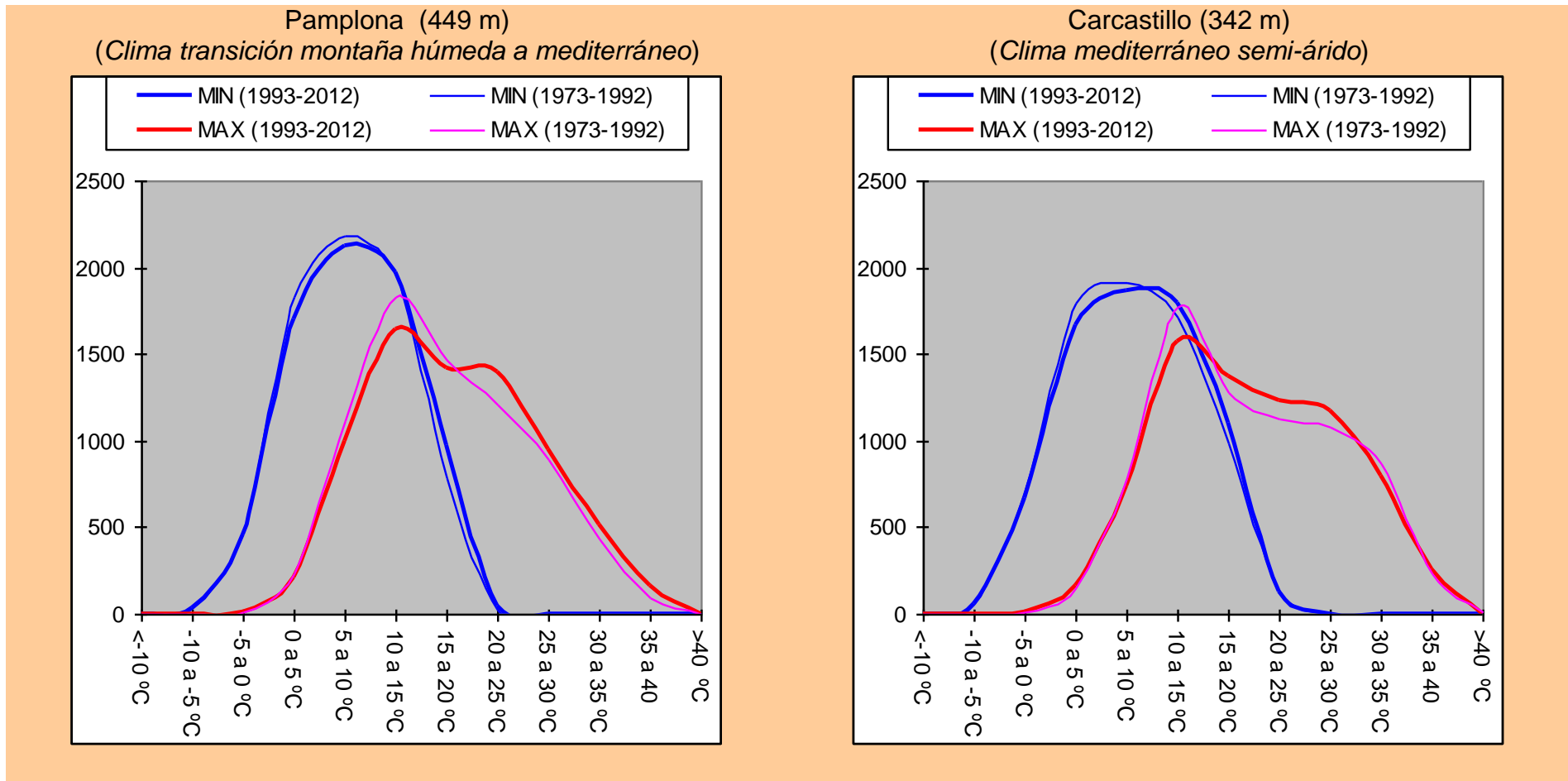
Los gráficos del *Cuadro 14* permiten observar el incremento histórico en la temperaturas máximas y mínimas en las estaciones meteorológica de Santesteban, Pamplona, Carcastillo y Abaurrea Alta.

Cuadro 14

Estructura de los días de registro de temperaturas mínimas y máximas en la escala (<10 °C a >40 °C)
del periodo 1973-1992 y el periodo 1993-2012



Estructura de los días de registro de temperaturas mínimas y máximas en la escala (<10 °C a >40 °C) del periodo 1973-1992 y 1993-2012



Elaboración propia.

Lectura Cuadro 14

La comparación de los días de registro en la escala (<-10C a >40 °C) entre el periodo (1973-1992) y (1993-2012), muestra como en Santesteban el desplazamiento de la curva de los días de registro de las temperaturas máximas del periodo (1993-2012) es mayor que la de las mínimas y puede obedecer al carácter oceánico de su clima por su proximidad al mar; sin embargo, en el resto de estaciones tanto la línea de las máximas como la de las mínimas del periodo (1993-2012) tienen un desplazamiento más equilibrado hacia valores térmicos más altos. En el caso de Abaurrea Alta el desplazamiento de los días de de registro de las mínimas es superior al del resto de estaciones.

Si bien, las variaciones térmicas reales son las concernientes al punto geográfico del registro, se puede estimar una variación teórica media para el área geográfica que comprenden las estaciones meteorológicas de estudio. Ello se puede ver en el *Cuadro 15*.

Cuadro 15

Variaciones térmicas en las estaciones meteorológicas de estudio entre el periodo (1973-1992) y (1993-2012) y promedio del conjunto de las estaciones (*Valores extraídos del Cuadro 5*)

Periodos comparados (1973-1992) - (1993-2012)		Varia-ción MIN	Varia-ción MIN	Varia-ción MAX	Varia-ción MAX	Varia-ción MED	Varia-ción MED
Altitud	Estación	°C	%	°C	%	°C	%
120	Santesteban	0,34	4%	0,81	4%	0,58	4%
342	Carcastillo	0,33	4%	0,36	2%	0,35	3%
355	Sartaguda	0,48	6%	0,88	4%	0,68	5%
449	Pamplona	0,47	6%	0,99	6%	0,73	6%
1032	Abaurrea Alta	0,95	22%	0,98	7%	0,97	11%
Promedio estaciones		0,51	6,8%	0,81	4,5%	0,66	5,2%

Elaboración propia.

En el promedio de las estaciones meteorológicas, el incremento medio de las temperaturas mínimas es de 0,51 °C en los veinte años del periodo (1993-2012) respecto del periodo (1973-1992), si bien, las diferencias según los ámbitos geográficos son notables; mientras que Santesteban tiene un incremento de 0,34 °C Abaurrea Alta lo tiene de 0,95 °C que en términos relativos supone en el caso de Santesteban un 4%, y en el caso de Abaurrea Alta un 22%. En las temperaturas máximas las diferencias más notorias las registran Pamplona con un incremento de 0,98 °C y Carcastillo con 0,36 °C; en el promedio de todas las estaciones el incremento es de 0,81 °C. El mayor aumento del promedio de temperatura lo tiene Abaurrea Alta con 0,97 °C y el menor Carcastillo con 0,35 °C

En el promedio del conjunto de las estaciones meteorológicas, que son representativas de una parte importante del área geográfica de Navarra, por reunir la diversidad climática anteriormente descrita, se puede considerar que se ha producido en los últimos veinte años un incremento de la temperatura media de 0,66 °C, lo supone un incremento del 5% del promedio de temperatura del conjunto del área geográfica.

8. Ritmo y alcance del cambio térmico climático

8.1 Estimación del cambio del promedio de temperaturas mínimas

Teniendo en cuenta la incidencia del cambio climático en las temperaturas mínimas, se ha calculado, para esta variable, una recta de regresión para estimar el alcance del cambio térmico en diferentes valores en la escala de grados °C, según un promedio dado de temperaturas mínimas para los veinte años del periodo (1993-2012).

Los pasos se resumen en los *Cuadros 16, 17 y 18.*

Paso 1º: Conocidas la *variación* del promedio de temperaturas mínimas de cinco estaciones meteorológicas, se ha hallado la correlación entre esta variable y la variable del promedio de temperaturas mínimas del periodo 1973-2012 (*Cuadro 16*).

Paso 2º: Considerando que la correlación es alta, se ha calculado los valores de **pendiente** y **constante** de una recta de regresión:

Esta recta de regresión permite estimar la variación media de la temperatura para los veinte años del periodo (1993-2012) para un valor que represente el promedio de temperaturas mínimas de ese periodo.

Cuadro 16

Paso 1º		
Estación meteorológica	Promedio temperaturas mínimas del periodo 1973-2012	Variación (°C) para el periodo 1993-2012 del promedio de temperaturas mínimas
Santesteban	8,8	0,34
Carcastillo	7,8	0,33
Sartaguda	8,5	0,48
Pamplona	8,0	0,47
Abaurrea	4,4	0,95
	r =	-0,940
Promedios:	7,52	0,51

Paso 2º	
Recta de regresión de variación del promedio de temperatura mínima para periodo el 1993-2012	
	Pendiente media:
Fórmula estimación: (Promedio: mínimo veinte años)	-0,13
x pendiente + constante	Constante: 1,51

Elaboración propia.

Paso 3º: Para verificar la fiabilidad de estos cálculos se ha aplicado la recta de regresión al promedio de temperaturas mínimas de las estaciones meteorológicas con menor y mayor promedio histórico de temperaturas: Abaurrea Alta y Santesteban.

Tal y como se puede observar en el *Cuadro 17*, la estimación de variación térmica °C del promedio de temperatura mínima es muy coincidente con la real.

Cuadro 17

Altitud	Paso 3º		Variación para periodo (1993-2012)		
	Estación	Promedio	Valor estimado	Valor real	Diferencia
	Meteorológica	Mínimas	°C	°C	°C
120	Santesteban	1973-2012 8,8	0,34	0,34	0,00
1032	Abaurrea Alta	4,4	0,93	0,95	-0,02

Elaboración propia.

En la aplicación de la recta de regresión, se desconoce el alcance de la fiabilidad de la misma a los valores de temperatura mínima inferiores al del promedio de temperatura mínima registrada en Abaurrea Alta. No obstante, se pueden considerar fiables las estimaciones para un rango de valores por debajo del promedio de temperaturas mínimas de Abaurrea Alta, igual a los que se sitúan por encima, es decir, a la diferencia entre el promedio de temperaturas mínimas de Abaurrea Alta y Santesteban.

El valor más bajo del grado de confianza de la estimación sería, pues, el resultado de la diferencia del promedio de temperaturas mínimas de Abaurrea Alta menos el valor de la diferencia entre el promedio de temperaturas mínimas de Santesteban (8,8 °C) y Abaurrea Alta (4,4 °C) = (8,8 °C) - (4,4 °C) = **4,4 °C**, luego (4,4 °C) – (4,4 °C) = **0 °C**. El valor de confianza de la recta de regresión probablemente vaya más allá de los 0 °C, pero al carecer en este estudio de una base empírica hay que considerar su aplicación de dudosa fiabilidad.

En el *Cuadro 18* se ha calculado una estimación de variación térmica de las temperaturas mínimas para los promedios de temperatura mínima del periodo (1993-2012) en una escala entre -6 °C y 8,8 °C.

Cuadro 18

Paso 4º			
Promedio temperatura mínima °C de referencia	Estimación variación para el periodo 1993-2012 (°C)		
-6,0	2,30	Estimación con grado de fiabilidad dudoso	Tramo 3
-5,0	2,17		
-4,0	2,04		
-3,0	1,90		
-2,0	1,77		
-1,0	1,64	Estimación con grado de fiabilidad alto	Tramo 2
0,0	1,51		
1,0	1,38		
2,0	1,24		
3,0	1,11		
ABA	4,4	Estimación con grado de fiabilidad muy alto	Tramo 1
	0,93		
	0,85		
	0,71		
	0,58		
	0,45		
SAN	8,8		
	0,34		

Lectura del Cuadro 18

Paso 4º: Tomando el rango de la escala de grados comprendido entre - 6 °C y los 8,8 °C, se ha elaborado una tabla con estimaciones para 16 valores que representarían promedios de temperatura mínima de un periodo de veinte años o más.

Las estimaciones del **tramo 1** corresponden a valores entre el promedio de Santesteban y Abaurrea Alta y se consideran muy fiables.

Las del **tramo 2**, con valores entre -1 °C y el valor de Abaurrea Alta 4,4 °C se considera que tienen un grado de fiabilidad alto.

Las estimaciones del **tramo 3** con valores por debajo de -2 °C no se tiene certeza de su fiabilidad. En este tercer tramo, se ha llegado hasta el valor de -6 °C para evaluar la posible incidencia del cambio térmico climático correspondiente a climas extremos de alta montaña y tundra.

La tabla recoge, pues, las variaciones para el periodo (1993-2012), del promedio de temperaturas mínimas de una gran variedad de climas existentes. Siendo acusado el cambio para los climas de <<taiga y tundra>> y en los de <<media y alta montaña>>, que pueden pasar a ser más benignos, pero de consecuencias imprevisibles en cuanto a la repercusión que puede tener en la disminución de la formación de hielo en latitudes de clima frío y altitudes de media y alta montaña.

Elaboración propia.

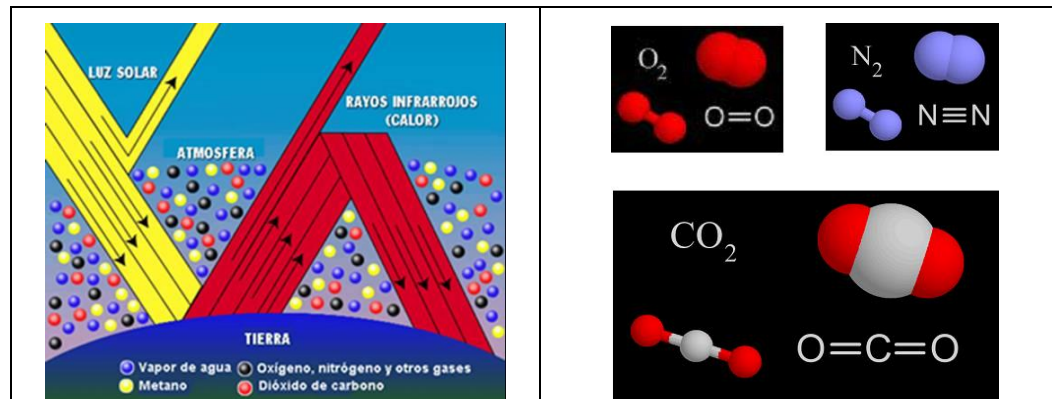
Proyección de la recta de regresión en ámbitos climáticos y periodos de tiempo

Los cambios térmicos expresados en la *recta de regresión* son consecuencia del incremento de las ppm de CO₂ y resto de gases de efecto invernadero en la proporción expresada en el *Cuadro 12*, en la atmósfera en los veinte años del periodo 1993-2012.

En ese periodo, la concentración de CO₂ ha pasado de 355 ppm en 1992, a 392 ppm en 2011, lo que supone un incremento de 37 ppm CO₂, en esos veinte años.

La *recta de regresión* es aplicable para esos veinte años a diferentes ámbitos climáticos pues la concentración de los gases de *efecto invernadero* en la atmósfera tienden a realizarse homogéneamente, por ello, las mediciones de las partes por millón de los diferentes gases que componen la atmósfera se expresan con un único valor terrestre.

Los ambientes climáticos de la Tierra en los que se puede aplicar la *recta de regresión* son aquellos con promedios anuales de temperatura mínima de 9 °C a los 0 °C, aunque es probable que se pueda extrapolar a promedios de temperatura mínima más bajos debido a que, en la radiación terrestre, a menor temperatura corresponde mayor longitud de onda, y el efecto invernadero actúa reteniendo la radiación de las ondas más largas, mientras que las de menor longitud siguen siendo transparentes en la atmósfera saliendo al espacio exterior. [5]

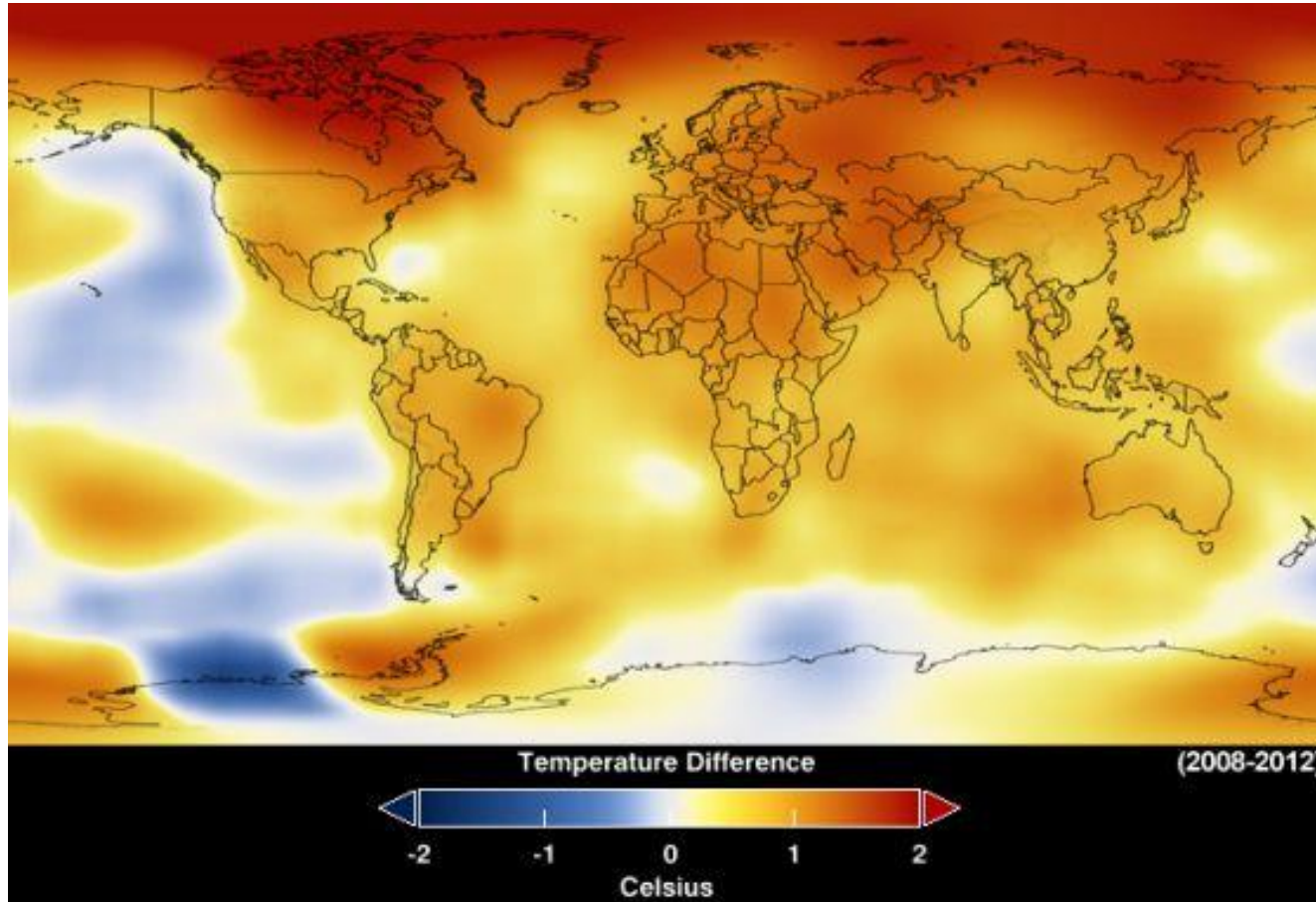


⁵ Los gases elementales como el oxígeno o el nitrógeno, cuyas moléculas son simétricas, son prácticamente transparentes a la radiación térmica, pero no ocurre igual con los gases combinados como el anhídrido carbónico y el vapor de agua, cuyas moléculas son asimétricas, y que tienen una absorbancia significativa para la radiación infrarroja.

En el estudio del intercambio de radiación entre superficies en el caso de los gases, por su relativa transparencia, los fenómenos de absorción y emisión se realiza en su seno, siendo muy significativa la mayor o menor concentración considerada.

Este principio queda reflejado en la siguiente imagen realizada y publicada por la NASA sobre la distribución global del incremento térmico. Los ámbitos más fríos particularmente en latitud norte son los que más acusan el incremento térmico.

Representación gráfica y consecuencias demostradas globalmente del efecto invernadero atmosférico



La aplicación de la *recta de regresión* como proyección en el tiempo del *cambio térmico atmosférico* está sujeta a que continúe el aumento de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera.

En el *Cuadro 19* se puede ver la tendencia de incremento de las ppm de CO₂ en el aire atmosférico.

Cuadro 19

Evolución de la concentración de Dióxido de Carbono en el aire atmosférico

Años	1750	1992	1999	2008	2011
ppm CO ₂	280	355	367	385	392
Periodos contabilizados		175 a 1992	1992 a 1999	1999 al 2008	2008 al 2011
Diferencia años		242	7	9	3
Diferencia ppm CO ₂		75	12	18	7
Incremento ppm CO ₂ por año		0,31	1,71	2,00	2,33

Fuente: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Elaboración propia.

El consumo de combustibles fósiles y la libre emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera se ha realizado principalmente en los últimos cincuenta años debido al enorme desarrollo económico mundial. Desde la época preindustrial en 1750 hasta el año 1992 el CO₂ en el aire atmosférico se incremento en 242 ppm lo que supone un promedio de 0,31 ppm por año, pero la tendencia creciente se puede ver en los periodos siguientes: entre 1992 y 1997 el incremento promedio anual fue de 1,71 ppm; en el periodo 1999-2008 fue de 2 ppm por año, y entre el 2008 y el 2011 de 2,33 ppm por año.

Teniendo en cuenta esta tendencia, la recta de regresión sería extrapolable a un periodo futuro equivalente en años al incremento de 37 ppm CO₂, y del resto de gases de efecto invernadero en la proporción ya descrita.

8.2 Variación de los días de precipitación con helada y de las precipitaciones con helada (l/m²)

Como ya se vio en el Cuadro 9, el aumento de las temperaturas mínimas tiene una repercusión directa en la disminución del número de días de helada. A este factor que disminuye la permanencia de las reservas de nieve hay que añadir otra incidencia del cambio térmico: La *disminución de los días de precipitación con temperatura igual o menor de 0 °C*.

La evolución de esta variable en valores absolutos y relativos en las cinco estaciones meteorológicas de estudio se puede ver en el Cuadro 20, en el que se presenta agrupados en periodos de veinte años:

- 1º El número de días de precipitación
- 2º El número de días de precipitación con temperatura mínima ≤ 0 °C
- 3º El porcentaje de cada periodo del número de días de precipitación con temperatura mínima $= < 0$ °C respecto del total de días de precipitación del periodo respectivo.

Cuadro 20

Variación del número de días de precipitación con helada ($\leq 0^{\circ}\text{C}$) en periodos de veinte años y relación con el número total de días de precipitación

Estación:	Santesteban	Abaurrea Alta	Pamplona	Carcastillo	Sartaguda	
Periodo	Total días de precipitación					Días periodo
1953-1972	3.447		2.401	1.759	1.190	7.305
1973-1992	3.303	2.709	2.762	1.639	1.688	7.305
1993-2012	3.404	2.883	2.646	1.808	1.781	7.305
Promedio periodo:	3.385	2.796	2.603	1.735	1.553	
Días precipitación con temperatura ≤ 0 °C						
1953-1972	198		232	276	86	7.305
1973-1992	129	956	181	149	88	7.305
1993-2012	163	834	168	191	106	7.305
Promedio periodo:	163	895	194	205	93	
Variación media (días):	-18	-122	-32	-43	10	
(%) Días de precipitación con temperatura ≤ 0 °C / Días precipitación						
53-62	5,7		9,7	15,7	7,2	
63-72	3,9	35,3	6,6	9,1	5,2	
73-82	4,8	28,9	6,3	10,6	6,0	
Promedio periodo	4,8	32,0	7,4	11,8	6,0	
Variación media (%):	-0,5	-6,4	-1,7	-2,6	-0,6	

Fuente datos: registros diarios de las estaciones meteorológicas del G.N. Elaboración propia.

Lectura Cuadro 20 [6]

Se produce una tendencia general a la disminución de los días de precipitación con helada, siendo acusada en el caso de Abaurrea Alta que pasa de 956 días en el periodo (1973-1992) a 834 en el periodo (1993-2012) disminuyendo en 122 los días de precipitación con helada. Santesteban disminuye de media 18 días; Pamplona 32; Carcastillo 43, y Sartaguda gana 10.

La participación de los días de precipitación con helada respecto del total de días de precipitación, disminuye en todas las estaciones meteorológicas, siendo de un 6,4% en Abaurrea Alta; un 2,6% en Carcastillo; 1,7% en Pamplona; 0,6% en Sartaguda, y 0,5% en Santesteban.

Esta disminución de la precipitación con helada implica una disminución de la precipitación en forma de nieve. Su evolución en valores absolutos y relativos en las cinco estaciones meteorológicas de estudio se puede ver en el *Cuadro 21*, en el que se presenta agrupados en periodos de veinte años:

1º La precipitación total de cada periodo (l/m^2)

2º La precipitación (l/m^2) con temperatura mínima ≤ 0 °C

3º El porcentaje de cada periodo de la precipitación (l/m^2) con temperatura mínima ≤ 0 °C, respecto de la precipitación total de cada periodo (l/m^2).

⁶ Es probable que en Abaurrea Alta en el caso de una serie de datos que alcanzara hasta el año 1953 la disminución tanto de los días de helada (Cuadro 7) de los días de precipitación con helada (Cuadro 17) y la precipitación l/m^2 con helada (Cuadro 18) sea mayor, pues, en el resto estaciones meteorológicas con series de 60 años, la variación es más acusada comparando los tres periodos de (1953-1972) (1973-1992) (1993-2012), que en la comparación de los dos periodos más recientes de (1973-1992) (1993-2012), utilizados para Abaurrea Alta.

Cuadro 21

Variación de la precipitación con helada ($=<0\text{ }^{\circ}\text{C}$) en periodos de veinte años y relación con la precipitación total (l/m^2).

Estación:	Santesteban		Abaurrea Alta		Pamplona		Carcastillo		Sartaguda	
Precipitación total l/m^2										
Periodo	Total	Anual	Total	Anual	Total	Anual	Total	Anual	Total	Anual
1953-1972	33.910	1.695			16.728	836	10.334	517	11.034	552
1973-1992	32.345	1.617	30.111	1.506	15.798	790	8.973	449	8.388	419
1993-2012	28.829	1.441	27.392	1.370	14.117	706	9.176	459	8.463	423
Promedio periodo:	31.695	1.585	28.751	1.438	15.548	777	9.494	475	9.295	465
Precipitación l/m^2 con temperatura $= < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$										
1953-1972	1.823	91			1.592	80	992	50	679	34
1973-1992	917	46	10.627	531	1.108	55	533	27	254	13
1993-2012	1.303	65	8.797	440	1.032	52	740	37	377	19
Promedio periodo:	1.348	67	9.712	486	1.244	62	755	38	437	22
Variación media (L/m^2):	-260	-13	-1830	-91	-280	-14	-126	-6	-151	-8
Relación entre precipitación total y precipitación con temperatura $=<0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Prom. $=<0\text{ }^{\circ}\text{C}$ / prom. Total) (%)										
53-62	5,4				9,5		9,6		6,2	
63-72	2,8		35,3		7,0		5,9		3,0	
73-82	4,5		32,1		7,3		8,1		4,5	
Promedio periodo	4,3		33,8		8,0		8,0		4,7	
Variación media (%):	-0,4		-3,2		-1,1		-0,8		-0,8	

Fuente datos: registros diarios de las estaciones meteorológicas del G.N. Elaboración propia.

Lectura Cuadro 21

La importancia de la precipitación en forma de nieve respecto de la precipitación total en cada estación meteorológica está en función de tipo de clima que representan.

Santesteban con un clima *oceánico templado* registra la precipitación más abundante con un promedio histórico de 1.585 l/m² año, pero tiene el porcentaje más bajo de precipitación en forma de nieve respecto de la precipitación total (4,3%), si bien, debido a ser la estación que registra mayor precipitación, es la segunda en que la acumula en forma de nieve con 67 l/m² año.

Sartaguda, localizada en el otro extremo de la geografía Navarra con un clima *continental mediterráneo suavizado por la ribera del Ebro*, registra un 4,7% de precipitación en forma de nieve respecto de la total, pero con un promedio histórico de precipitación anual de 465 l/m², la precipitación en forma de nieve es de 22 l/m² año.

Pamplona y Carcastillo tienen un 8% de precipitación en forma de nieve pero debido a la diferente pluviosidad, Pamplona registra 62 l/m² año en forma de nieve, mientras que Carcastillo tiene 38 l/m² año.

Abaurrea Alta con un clima de *montaña húmeda* es la estación meteorológica que acumula mayor precipitación en forma de nieve tanto en cifras relativas como absolutas. El 33,8% de la precipitación es en forma de nieve, lo que supone 486 l/m² año del total anual de 1.438 l/m².

La reducción de precipitación en forma de nieve por el ascenso térmico guarda relación con el incremento térmico que es mayor en las estaciones meteorológicas con menor promedio histórico de temperaturas mínimas, las cuales, a su vez guardan relación en general con la altitud de la estación. La estación meteorológica de Abaurrea Alta es la que más cantidad de precipitación en forma de nieve pierde tanto en cifras absolutas como relativas. En los dos periodos comparados de veinte años (1973-1992) y (1993-2012). En el periodo (1993-2012) respecto del periodo (1973-1992) disminuye la precipitación en forma de nieve en 1830 l/m², que en cifras relativas supone un 3,2%.

En el resto de estaciones meteorológicas la variación media para veinte años en los sesenta años de referencia en términos porcentuales supone una disminución de -0,4% para Santesteban; -1,1% para Pamplona; -0,8 en Carcastillo, y -0,8% en Sartaguda.

Tanto la disminución del número de días de helada como de la precipitación en forma de nieve tiene que tener su reflejo en el régimen fluvial de los ríos de montaña. A tal efecto en el siguiente apartado se realiza un estudio comparado entre los periodos (1968-1969 a 1987-1988) y (1988-1989 al 2007-2008) del régimen pluvionival de los ríos más importantes del Pirineo Oriental de Navarra

8.3 Análisis de la incidencia del cambio térmico climático en el régimen pluvionival de los ríos principales del Pirineo Oriental de Navarra

La red fluvial del Pirineo Oriental de Navarra se articula de este a oeste en base a cinco ríos de montaña, el Arga en el valle de Esteribar; el Erro en el valle de Erro, el Iratí en el valle de Aezkoa; el Salazar en el valle del Salazar, y el Eska en el valle del Roncal. El Arga es afluente del Ebro; el Erro y el Salazar son afluentes del Iratí y éste y el Eska del Aragón.

Las estaciones de aforo de estos ríos registran los caudales naturales antes de los embalses que regulan los mismos, como son el de Eugi en el caso del Arga; de Itoiz en el del Irati, y de Yesa en el del Eska.

Características de las estaciones de aforo

Estación	Corriente	Lugar	Altura estación (m)	Altura máxima cauce (m)	Cuenca hasta estación (km ²)
9152	Arga	Eugi	582	1.459	69
9079	Erro	Urroz	483	1.279	180
9066	Irati	Aribe	700	2.021	236
9064	Salazar	Aspurz	547	1.656	396
9063	Eska	Sigües	595	2.100	506

Fuente. Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE). Elaboración propia.

Red Fluvial del Pirineo Oriental de Navarra



Elaboración propia.

Con el fin de observar la incidencia del cambio térmico climático en las últimas cuatro décadas en el régimen de los ríos de estudio, se han promediado los valores de aforo de cada una de las estaciones en dos periodos de veinte años (1968-1969 a 1987-1988) (1988-1989 al 2007-2008) comparando el más reciente con el anterior. Los resultados se muestran en el *Cuadro 22*.

Cuadro 22

Promedios de aforo y régimen de los ríos de estudio

Promedios aforo y régimen del río del periodo 1968-1969 a 1987-1988

Mes	Arga en Eugi		Erro en Urroz		Irati en Aribe		Salazar en Aspurz		Eska en Sigües	
	m ³ /s	Régimen	m ³ /s	Régimen	m ³ /s	Régimen	m ³ /s	Régimen	m ³ /s	Régimen
O	1,60	0,52	1,77	0,37	7,12	0,59	3,89	0,38	5,80	0,50
N	2,83	0,93	4,53	0,94	11,29	0,94	7,69	0,75	10,45	0,90
D	4,13	1,36	7,81	1,63	16,92	1,41	14,54	1,42	15,86	1,37
E	4,36	1,43	9,36	1,95	15,64	1,30	18,56	1,82	18,79	1,62
F	6,25	2,05	11,99	2,50	22,54	1,88	24,45	2,39	24,94	2,15
M	4,83	1,59	7,37	1,54	17,50	1,46	16,52	1,62	17,55	1,51
A	4,91	1,61	6,80	1,42	21,22	1,77	16,53	1,62	18,92	1,63
M	3,08	1,01	4,26	0,89	14,26	1,19	10,43	1,02	13,67	1,18
J	1,58	0,52	2,14	0,44	6,85	0,57	5,71	0,56	7,02	0,60
JL	0,95	0,31	0,62	0,13	3,95	0,33	1,96	0,19	2,61	0,22
A	0,97	0,32	0,41	0,08	3,28	0,27	1,16	0,11	1,75	0,15
S	1,06	0,35	0,56	0,12	3,37	0,28	1,25	0,12	2,06	0,18
Año	3,05	1,00	4,80	1,00	12,00	1,00	10,22	1,00	11,62	1,00

Promedios aforo y régimen del río del periodo 1988-1989 al 2007-2008

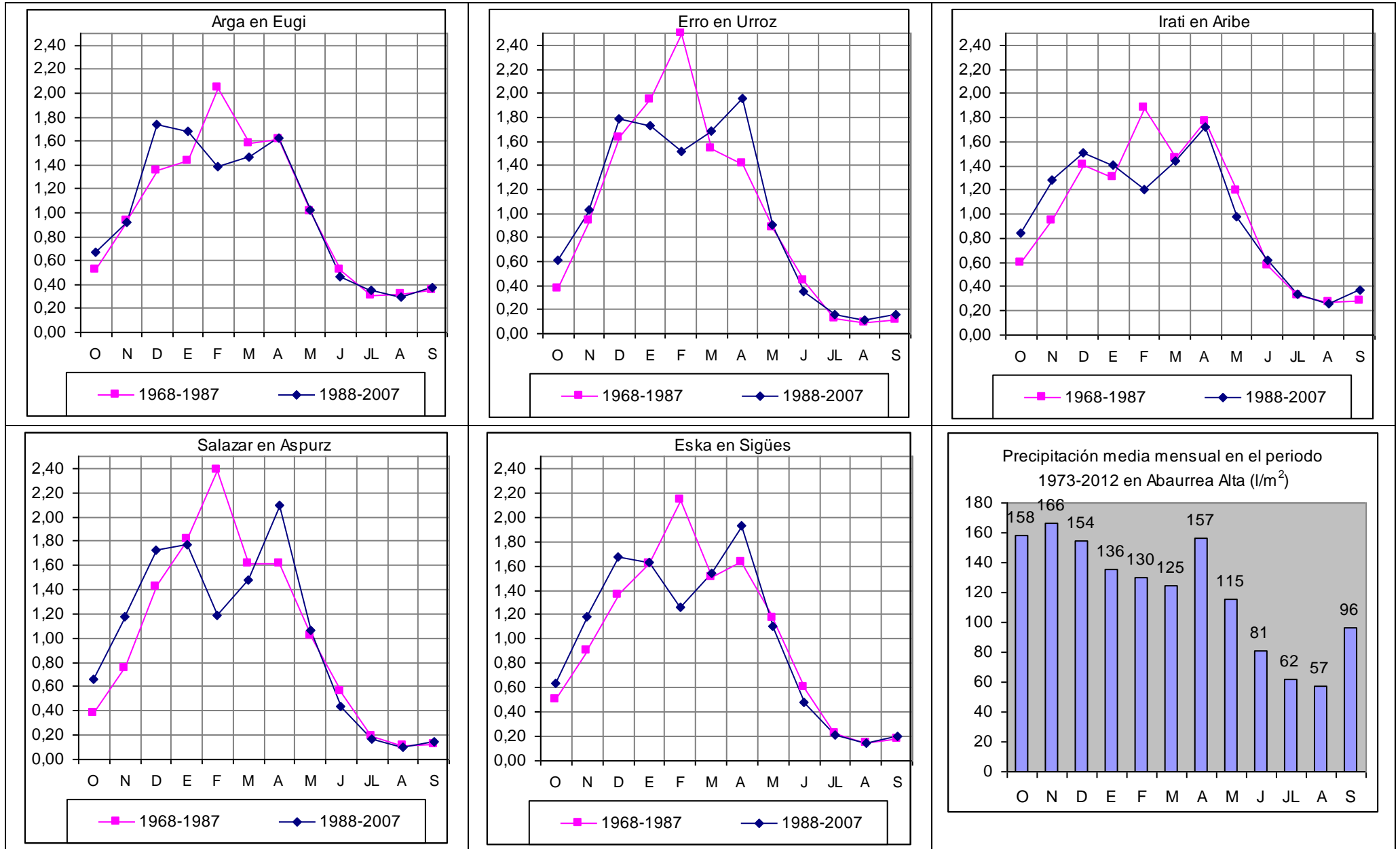
Mes	Arga en Eugi		Erro en Urroz		Irati en Aribe		Salazar en Aspurz		Eska en Sigües	
	m ³ /s	Régimen	m ³ /s	Régimen	m ³ /s	Régimen	m ³ /s	Régimen	m ³ /s	Régimen
O	1,46	0,67	1,81	0,61	7,68	0,85	4,95	0,66	4,89	0,64
N	2,01	0,92	3,04	1,03	11,63	1,29	8,76	1,18	9,05	1,18
D	3,80	1,74	5,27	1,78	13,70	1,51	12,83	1,72	12,83	1,68
E	3,67	1,68	5,13	1,74	12,78	1,41	13,15	1,77	12,51	1,63
F	3,03	1,39	4,47	1,51	10,93	1,21	8,82	1,18	9,66	1,26
M	3,19	1,46	4,96	1,68	13,04	1,44	11,02	1,48	11,83	1,54
A	3,56	1,63	5,79	1,96	15,62	1,73	15,57	2,09	14,76	1,93
M	2,24	1,03	2,68	0,91	8,84	0,98	7,92	1,06	8,43	1,10
J	1,01	0,46	1,05	0,35	5,64	0,62	3,28	0,44	3,67	0,48
JL	0,78	0,36	0,46	0,15	3,01	0,33	1,23	0,17	1,62	0,21
A	0,65	0,30	0,33	0,11	2,32	0,26	0,73	0,10	1,10	0,14
S	0,82	0,38	0,46	0,16	3,35	0,37	1,09	0,15	1,55	0,20
Año	2,19	1,00	2,95	1,00	9,05	1,00	7,44	1,00	7,66	1,00

Fuente datos. Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE). Elaboración propia.

Los aforos medios por mes se ofrecen en m³/s, el régimen del río refleja el aporte relativo de cada mes al caudal total anual. En los coeficientes mensuales los valores por encima de 1 están por encima de la media anual y los inferiores por debajo de la misma.

En los siguientes gráficos, se compara el régimen que presentaban cada uno de los ríos de estudio en el periodo (1968-1969 a 1987-1988) y el periodo (1988-1989 al 2007-2008) para comprobar el impacto del ascenso térmico climático en el régimen pluvionival de los mismos.

Gráficos del régimen de los ríos Arga, Erro, Irati, Salazar y Eska en las estaciones de aforo



Fuente afloros (CHE). Fuente precipitaciones GN. Elaboración propia.

Lectura Cuadro 22 y gráficos

En el periodo (1968-69 a 1987-88) los ríos presentan un régimen pluvionival con un máximo en febrero y mínimo en agosto, con un factor nival en los meses de noviembre, diciembre y enero, donde parte de las abundantes precipitaciones de esos meses, como se puede *ver en el gráfico precipitaciones por meses* de la estación de Aburrea Alta (localizada próxima a Arike), se retienen en forma de nieve lo que ocasiona en febrero con menor registro de precipitaciones, coincidiendo con el deshielo, se produzca un pico en el caudal.

El periodo (1988-89 al 2007-2008) presenta un régimen pluvionival con un máximo en abril y mínimo en agosto, con un factor nival también en los meses de noviembre, diciembre y enero, pero con un caudal por deshielo inferior en el mes de febrero.

Los meses donde se experimenta un crecimiento diferencial es en octubre, noviembre y particularmente diciembre. Estas diferencias se explican en el cambio térmico climático de la siguiente manera:

Parte de las precipitaciones que en los meses de octubre, noviembre y diciembre en el periodo (1968-69 a 1987-88) eran en forma de nieve y se mantenían de esa forma hasta febrero, en el periodo (1988-89 al 2007-2008) son en forma de lluvia o bien experimentan un rápido deshielo, lo que contribuye a incrementar el caudal del río en esos meses. Esta falta de aprovisionamiento nival hace que en el mes de febrero descienda la aportación por deshielo, siendo el repunte en abril por ser un mes más pluvioso.

Si bien el cambio térmico climático esta produciendo un cambio en el régimen de los ríos de montaña que se manifiesta en un cambio en el registro de aforos por meses, un dato que destaca singularmente y que no tiene que ver con la distribución mensual de los aforos, es la disminución del caudal medio anual en todos los ríos en el periodo (1988-89 al 2007-2008), respecto del periodo (1968-69 a 1987-88).

Variación de los promedios de aforo anual del periodo 1968-1969 a 1987-1988 con el periodo 1988-1989 al 2007-2008

Ríos y estaciones de aforo	Arga en Eugi	Erro en Urroz	Irati en Aribe	Salazar en Aspurz	Eska en Sigües
Media anual (1968-69 a 1987-88) (m ³ /s)	3,05	4,80	12,00	10,22	11,62
Media anual (1988-99 al 2007-2008) (m ³ /s)	2,19	2,95	9,05	7,44	7,66
Variación entre periodos (m ³ /s)	-0,86	-1,85	-2,95	-2,78	-3,96
Variación entre periodos (%)	-28,2	-38,5	-24,6	-27,2	-34,1

Fuente: aforos (CHE). Elaboración propia.

Variaciones del caudal medio anual

El río Arga en Eugi registraba en el periodo (1968-69 a 1987-88) un caudal medio anual de 3,05 m³/s, y en el periodo (1988-89 al 2007-2008) registró un caudal medio anual de 2,19 m³/s, un 28,2% menos.

El río Erro en Urroz pasó de 4,8 m³/s, en el primer periodo, a 2,95 m³/s en el segundo, un 38,5% menos.

El río Irati en Aribe de 12 m³/s, a 9,05 m³/s, un 24,6% menos.

El río Salazar en Aspurz de 10,22 m³/s, a 7,44 m³/s, un 27,2% menos.

El río Eska en Sigües de 11,62 m³/s, a 7,66 m³/s, un 34,1% menos.

La disminución de los caudales medios anuales no guarda relación directa con el incremento térmico climático, pues éste solamente afecta al cambio del régimen de los ríos de montaña en la distribución de los aforos mensuales, sino que tiene que ver, como se verá en el siguiente apartado, con una disminución generalizada de las precipitaciones en el área de estudio.

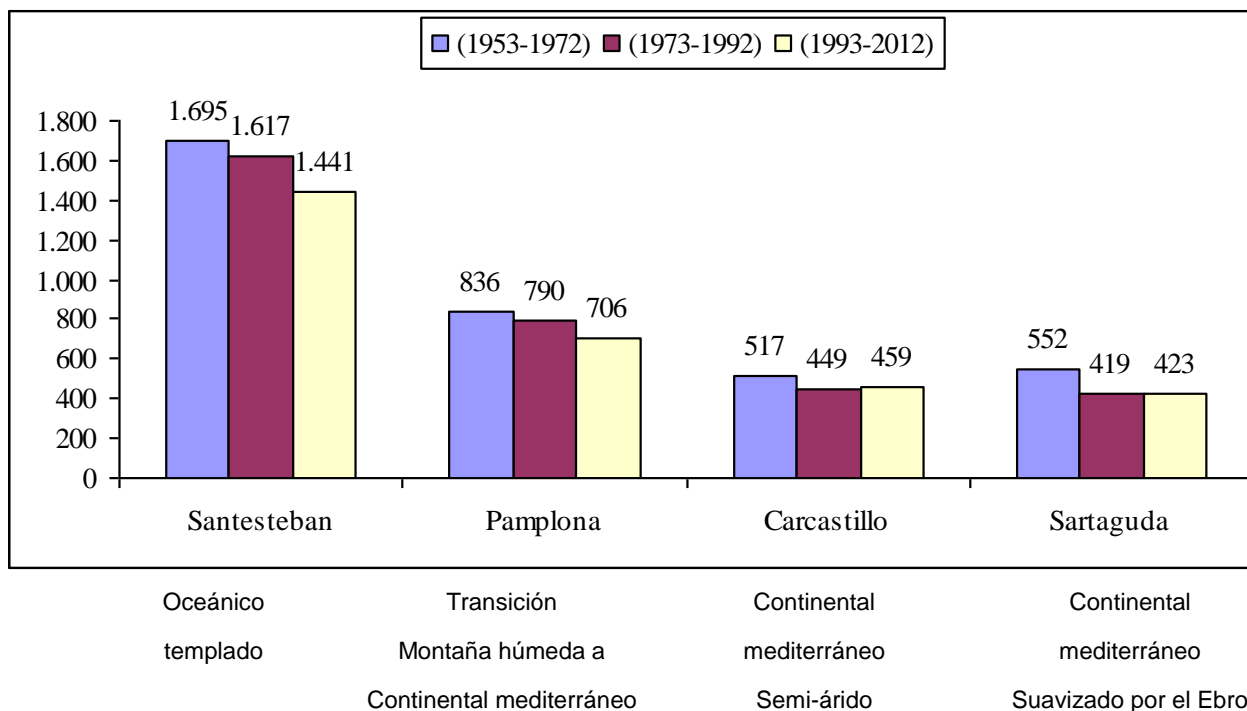
9. Precipitaciones en el área de estudio

9.1 Disminución de las precipitaciones en el área de estudio

Como se ha podido observar en el *Cuadro 21*, las precipitaciones (l/m^2) experimentan un progresivo descenso en todas las estaciones meteorológicas a lo largo de las series de datos históricos agrupados en periodos de veinte años, que se pueden observar en el *Gráfico 1* y el *Cuadro 23* en las estaciones meteorológicas de Santesteban, Pamplona, Carcastillo y Sartaguda, las cuales, por disponer de series de datos completas de registro diario de precipitación desde el año 1953 hasta el final del 2012 serán las que se tomen como referencia para el análisis de la evolución de las precipitaciones en el área de Estudio (Navarra) en periodos de veinte años (1953-1972) (1973-1992) (1993-2012).

Gráfico 1

Evolución de las precipitaciones (l/m^2) según promedio anual de los periodos (1953-1972) (1973-1992) (1993-2012)



Elaboración propia.

Cuadro 23

Evolución de las precipitaciones en cuatro estaciones meteorológicas según periodos de veinte años (1953-2012)

Estación:	Santesteban		Pamplona		Carcastillo		Sartaguda	
Precipitación total L/m ²								
Periodo	Total	Anual	Total	Anual	Total	Anual	Total	Anual
1953-1972	33.910	1.695	16.728	836	10.334	517	11.034	552
1973-1992	32.345	1.617	15.798	790	8.973	449	8.388	419
1993-2012	28.829	1.441	14.117	706	9.176	459	8.463	423
Promedio periodo:	31.695	1.585	15.548	777	9.494	475	9.295	465
Variación media cada veinte años: (l/m ²)								
	-2.540	-127	-1.305	-65	-579	-29	-1.285	-64

(% precipitación de cada periodo sobre el total del periodo 1953-2012)				
Total periodo	95.084	46.643	28.483	27.885
1953-1972	35,7 %	35,9 %	36,3 %	39,6 %
1973-1992	34,0 %	33,9 %	31,5 %	30,1 %
1993-2012	30,3 %	30,3 %	32,2 %	30,4 %
Variación media cada veinte años: (%)				
	-2,7 %	-2,8 %	-2,0 %	-4,6 %

Fuente datos: registros diarios de las estaciones meteorológicas del G.N. Elaboración propia.

(Lectura cuadro 23)

En valores relativos (%), tomando el total de precipitación (l/m^2) en 60 años (1953-2012), registrados en las estaciones meteorológicas de Santesteban, Pamplona; Carcastillo y Sartaguda, que suponen: (95.584), (38.929), (46.643), (28.483) y (27.885) l/m^2 respectivamente, y calculando el porcentaje que cada periodo de veinte años aporta a ese total, se observa una disminución progresiva en el tiempo del porcentaje de participación de cada periodo, respecto del total precipitado en los 60 años.

En valores absolutos, la variación media (l/m^2) para veinte años, en la estación meteorológica de Santesteban de *clima oceánico* y localizada (en el área de estudio) en la zona de mayor influencia de los frentes atlánticos es la que experimenta mayor variación de descenso (-2.540 l/m^2), pero en valores relativos (%), la estación meteorológica de Sartaguda de *clima continental mediterráneo* y localizada (en el área de estudio) en la zona de mayor influencia del anticiclón de las Azores es la que tiene mayor variación media negativa (-4,6%).

La particularidad de cómo se manifiesta la progresiva disminución de las precipitaciones en los meses del año en las estaciones meteorológicas de Santesteban, Pamplona; Carcastillo y Sartaguda en el periodo 1953-2012, según promedios de l/m² año de los periodos (1953-1972) (1973-1992) (1993-2012) se puede observar en el Cuadro 24.

Cuadro 24
Variación de las precipitaciones l/m² en el periodo 1953-2012 según meses del año

Santesteban							Pamplona					
Periodos:	1953-1972	1973-1992	1993-2012	1953-2012	Variación (l/m ²)	% variación sobre 1953-2012	1953-1972	1973-1992	1993-2012	1953-2012	Variación (l/m ²)	% variación sobre 1953-2012
Enero	188	191	147	176	-20,6	-12	82	77	65	75	-8,4	-11
Febrero	146	149	133	143	-6,5	-5	66	65	59	63	-3,4	-5
Marzo	132	174	126	144	-3,4	-2	66	72	61	66	-2,6	-4
Abril	157	185	142	162	-7,1	-4	75	81	74	76	-0,7	-1
Mayo	128	133	105	122	-11,5	-9	59	76	62	66	1,5	2
Junio	98	86	72	85	-13,0	-15	63	50	49	54	-7,2	-13
Julio	61	74	58	64	-1,4	-2	35	38	27	33	-3,6	-11
Agosto	88	85	63	78	-12,6	-16	38	42	24	35	-7,2	-21
Septiembre	117	88	96	100	-10,4	-10	64	41	54	53	-5,5	-10
Octubre	157	141	131	143	-12,8	-9	79	86	71	79	-4,1	-5
Noviembre	192	182	197	190	2,0	1	105	92	81	93	-12,4	-13
Diciembre	233	129	173	178	-29,7	-17	103	69	80	84	-11,6	-14
AÑO	1.695	1.617	1.441	1.585	-127,0	-8	836	790	706	777	-65,3	-8

Carcastillo							Sartaguda					
Periodos:	1953-1972	1973-1992	1993-2012	1953-2012	Variación (l/m ²)	% variación sobre 1953-2012	1953-1972	1973-1992	1993-2012	1953-2012	Variación (l/m ²)	% variación sobre 1953-2012
Enero	43	23	31	32	-6,4	-20	45	20	34	33	-5,3	-16
Febrero	37	33	24	31	-6,2	-20	35	32	23	30	-6,1	-21
Marzo	38	37	36	37	-0,8	-2	44	34	31	36	-6,5	-18
Abril	45	51	48	48	1,6	3	45	64	43	51	-0,7	-1
Mayo	51	53	45	50	-3,0	-6	62	56	58	59	-1,9	-3
Junio	51	33	36	40	-7,5	-19	57	46	33	45	-11,9	-26
Julio	22	17	25	21	1,6	8	24	20	24	23	-0,1	0
Agosto	23	30	24	26	0,3	1	20	25	22	22	1,3	6
Septiembre	55	43	43	47	-6,1	-13	56	23	34	38	-11,1	-29
Octubre	50	46	57	51	3,4	7	49	35	41	42	-4,2	-10
Noviembre	63	50	45	53	-9,0	-17	70	33	45	49	-12,4	-25
Diciembre	39	32	45	39	3,1	8	45	33	34	37	-5,3	-14
AÑO	517	449	459	475	-29,0	-6	552	419	423	465	-64,3	-14

Fuente datos: registros diarios de las estaciones meteorológicas del G.N. Elaboración propia.

(Lectura cuadro 24)

La variación del promedio de las precipitaciones anuales según meses del año para periodos de veinte años tienen un comportamiento diferente principalmente entre las estaciones meteorológicas de Carcastillo y Sartaguda respecto de las de Pamplona y Santesteban, mientras que las pertenecientes al clima continental mediterráneo (Sartaguda y Carcastillo) acusan más el descenso en los meses de invierno, en las que tienen mayor influencia los frentes atlánticos (Pamplona y Santesteban) lo tienen en verano. La variación relativa (%) respecto del promedio de precipitación anual en cada mes del año de todo el periodo 1953-2012, se puede ver en los valores que superan el 10% marcados en rojo.

Los meses con un comportamiento similar en la *disminución* de las precipitaciones respecto del promedio de todo el periodo (1953-2012) en las cuatro estaciones meteorológicas de estudios son Enero y junio. En enero con: un 12% en Santesteban (-20,6 l/m²); un 11% en Pamplona (-8,4 l/m²); 20% en Carcastillo (-6,4 l/m²), y 16% en Sartaguda (-5,3 l/m²). En Junio disminuye la precipitación: un 15% en Santesteban (-13 l/m²); un 13% en Pamplona (-7,2 l/m²); 19% en Carcastillo (-7,5 l/m²), y 26% en Sartaguda (-11,9 l/m²).

9.2 Interpretación de la disminución de las precipitaciones en el área de estudio (Navarra)

Evidentemente, el progresivo cambio climático por descenso progresivo de las precipitaciones que registran las diferentes estaciones meteorológicas, no tiene una relación directa con el incremento térmico de las temperaturas analizados en los apartados anteriores, sino que necesariamente tiene que ver con el progresivo cambio que está experimentado *la circulación atmosférica* en el ámbito de estudio.

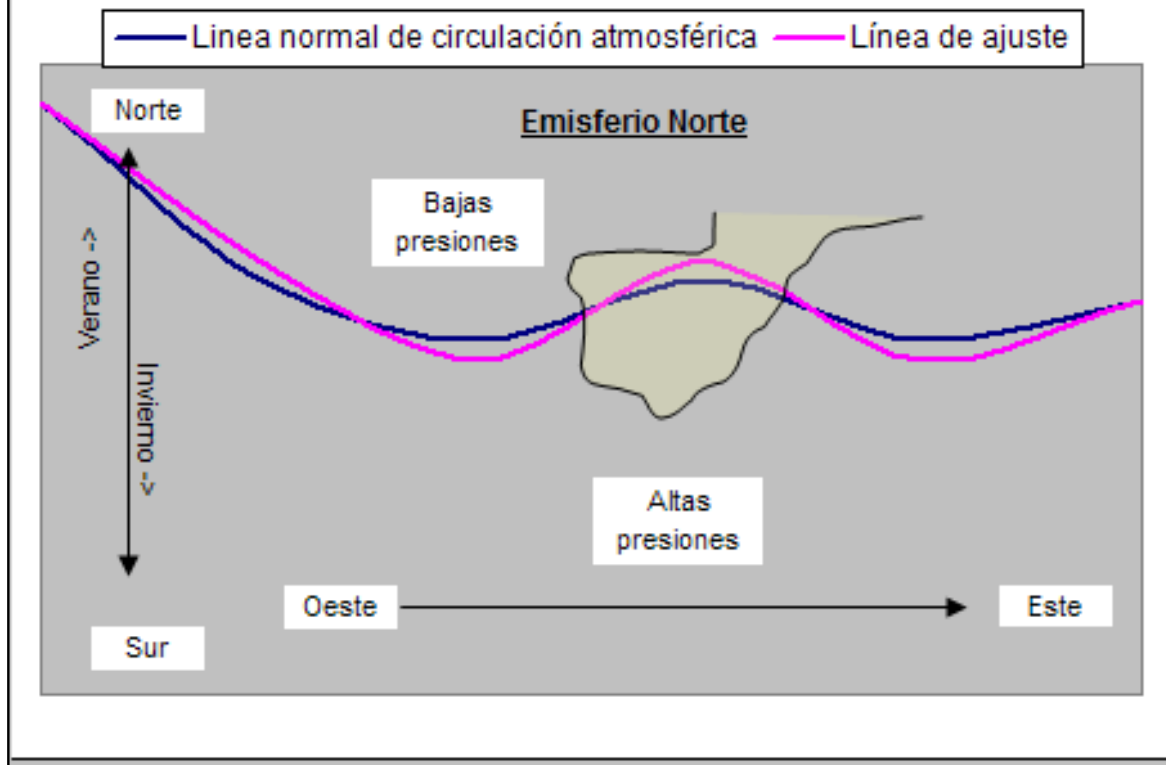
La geografía de Navarra se caracteriza por estar situada en la línea de *circulación atmosférica* que delimita la influencia del Anticiclón de las Azores y la acción de los frentes atlánticos, dando lugar a la diferencia de precipitaciones entre el Norte y Sur de Navarra, de tal manera que la frontera pluviométrica delimita lo que ha venido en denominarse la España húmeda de la España seca.

En esta zona límite entre estos dos grandes centros de acción meteorológica, el reforzamiento del anticiclón de las Azores, estaría incidiendo en un desplazamiento en latitud de los frentes atlánticos lo que se manifiesta en una disminución progresiva del total de las precipitaciones.

Hipótesis de ajuste de la circulación atmosférica

Las posibles repercusiones que el incremento térmico puede estar teniendo en la conformación de las masas de aire en la troposfera y la incidencia de este fenómeno en la circulación general atmosférica se puede considerar que es de tránsito de una situación antigua a otra nueva. Si bien la incidencia de esa transición es difícil conocerla, si se puede deducir que la característica que debe acompañar a una situación de transición climática es la <<inestabilidad>> provocada por el reajuste de las masas térmicas del aire atmosférico. Esta inestabilidad con toda probabilidad debe provocar, en altura, un reforzamiento de las dorsales y vaguadas y, en superficie, de los anticiclones y áreas de baja presión. Esta hipótesis se recoge en la siguiente imagen.

Representación gráfica de la hipótesis de ajuste de la circulación atmosférica



Elaboración propia.

Una característica de la situación de ajuste de la circulación atmosférica por su carácter caótico es que se debe realizar de forma convulsa dando lugar a situaciones *climáticas extremas* que deben tender a repetirse con mayor frecuencia. Si se tiene en cuenta que en el área geográfica de Navarra la tendencia es al reforzamiento del anticiclón de las Azores lógicamente la tendencia debe ser también al incremento de los años secos en las décadas más recientes.

El Cuadro 25 refleja esa situación en cuatro estaciones meteorológicas.

Cuadro 25

Precipitación (l/m²) de los diez años más secos y diez más lluviosos en cuatro estaciones meteorológicas de Navarra (60 años)

Años	Secos				Lluviosos				Años	Secos				Lluviosos			
	Santes-teban	Pam-plona	Carcas-tillo	Sarta-guda	Santes-teban	Pam-plona	Carcas-tillo	Sarta-guda		Santes-teban	Pam-plona	Carcas-tillo	Sarta-guda	Santes-teban	Pam-plona	Carcas-tillo	Sarta-guda
1953		548							1983	1.162		333					
1954		629	357						1984				1.869	963	584		
1955	1.267	622							1985	1.162		333	302				
1956					1.964				1986			374	299				
1957		538	363	301					1987								
1958									1988								
1959						1.053	834	784	1989	1.137	605						
1960					2.074	959	608		1990								
1961					1.919	1.096	640	871	1991								
1962								634	1992				1.901				
1963						972			1993								
1964									1994							263	
1965					2.225				1995	1.198	583	374					
1966					2.099	984		629	1996								
1967								664	1997		470					597	
1968						1.041			1998		497		281				
1969						930	560	604	1999								
1970			362						2000								
1971							620	600	2001	1.167	530	321	269				
1972						1.113			2002								
1973			358	257					2003						726	615	
1974									2004							636	
1975							570		2005								
1976									2006	1.173							
1977									2007								
1978			358		1.866				2008						603		
1979				257	2.235	1.129			2009								
1980	1.241						570		2010	1.305			282				
1981					2.235				2011	1.161	544		315				
1982									2012								

Fuente datos: registros diarios de las estaciones meteorológicas del G.N. Elaboración propia.

Cuadro 26

Número de años más secos y más lluviosos según periodos de veinte años

Periodo	Posición de los años más secos				Total Estaciones	Posición de los años más lluviosos				Total Estaciones
	Santesteban	Pamplona	Carcastillo	Sartaguda		Santesteban	Pamplona	Carcastillo	Sartaguda	
53-72	1	4	3	1	9	5	8	5	7	25
73-92	4	1	5	4	14	5	2	3	0	10
93-12	5	5	2	5	17	0	0	2	3	5
Total:	10	10	10	10	40	10	10	10	10	40

Elaboración propia.

Lectura del Cuadro 25 y 26

En la estación meteorológica de Santesteban de los 10 años más secos del periodo (1953-2012) uno corresponde al periodo (1953-1972) cuatro al periodo (1973-1992) y cinco al periodo (1993-2012); Pamplona concentra cinco de los 10 más secos en el periodo (1993-2012); Sartaguda tiene también los cinco más secos en el periodo en el periodo (1993-2012), y Carcastillo los tiene promediados en los sesenta años de la serie de datos. Si se tiene en cuenta el conjunto de los años secos en todas las estaciones meteorológicas de estudio, la progresión hacia la repetición de los años más secos en los periodos más recientes es notoria, siendo 9 en el periodo (1953-1972), 14 en el periodo (1973-1992) y 17 en el de (1993-2012).

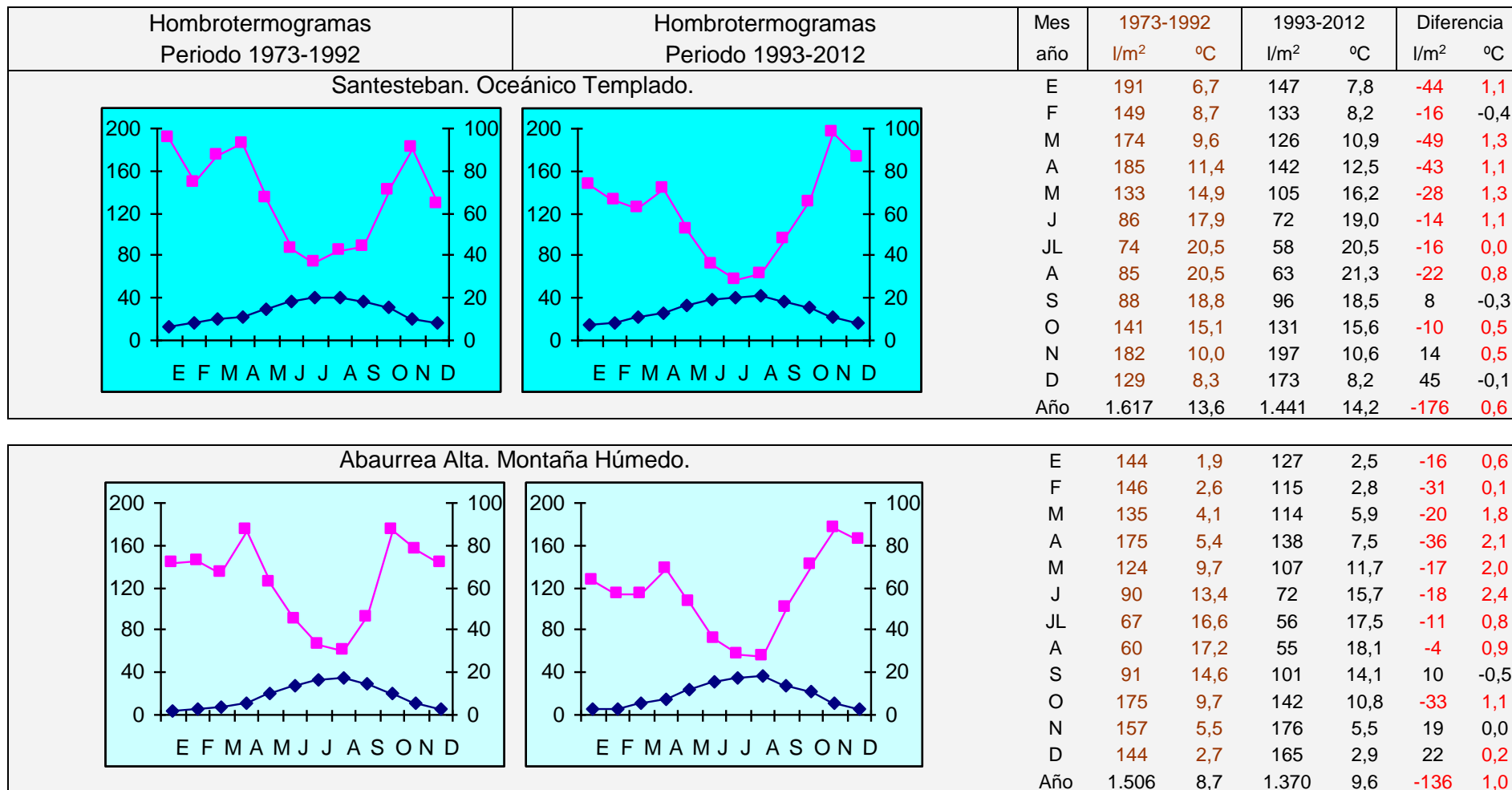
La posición de los años más lluviosos es inversa a la de los años más secos, Santesteban y Pamplona no tienen ninguno de los diez de toda la serie de registros en el periodo más reciente de (1993-2012) y Carcastillo y Sartaguda 2 y 3 respectivamente. En el conjunto de estaciones meteorológicas la disminución de los años más lluviosos es también evidente concentrándose 25 de los más lluviosos en el periodo (1953-1972), 10 en el periodo (1973-1992) y 5 entre 1993 y el 2012.

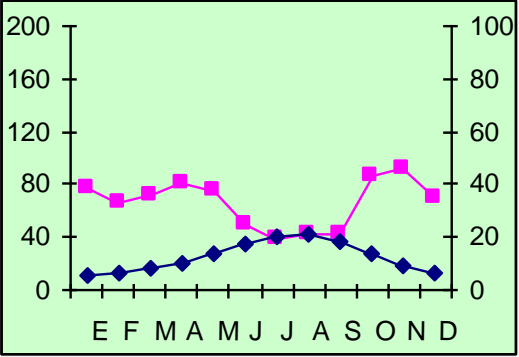
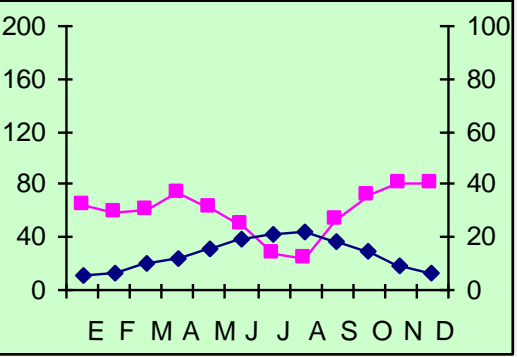
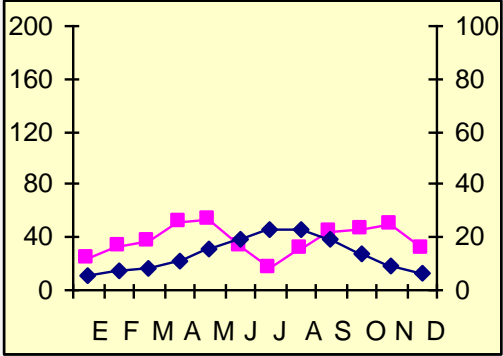
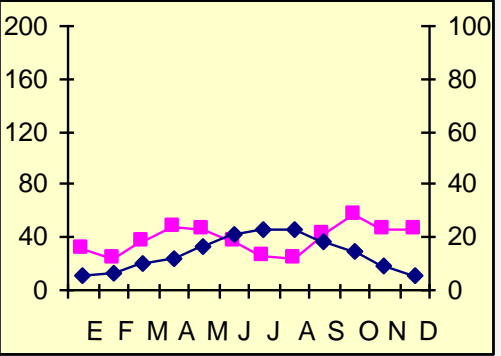
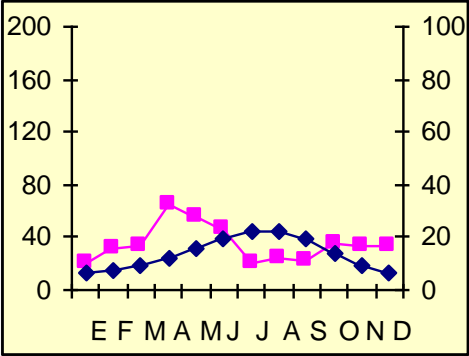
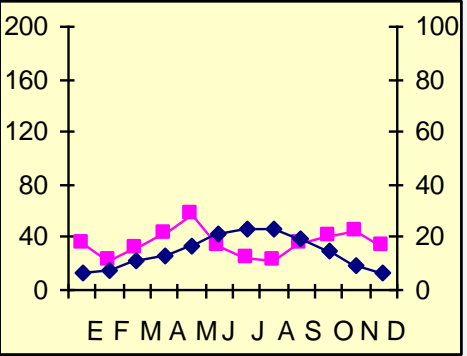
De esta evolución hacia el incremento de los años más secos y disminución de los lluviosos la incidencia mayor se acusa en las estaciones con mayor pluviosidad como son las de Santesteban y Pamplona, por lo tanto su efecto sobre el conjunto de la pluviosidad es más acusado.

En resumen, se puede concluir que en el transcurso del periodo 1953-2012, se produce una tendencia progresiva a una mayor influencia del anticiclón de las Azores, desplazando en latitud norte a los frentes atlánticos, que son los que aportan la mayor parte de la pluviosidad en el área de estudio (Navarra). Esta tendencia se ve reforzada con el paso del tiempo, por lo que es probable que la misma continúe.

La combinación del incremento histórico de las temperaturas y la disminución de las precipitaciones, implica una tendencia a un aumento de la sequedad relativa según el tipo de clima de cada estación meteorológica. Ello se puede observar en el *Cuadro 27*, en la comparación de los hombrotermogramas de Gausssen elaborados con los promedios mensuales de las series de datos de precipitación y temperatura de los periodos (1973-1992) y (1993-2012)

Cuadro 27
Hombrotermogramas de Gausssen de las estaciones meteorológicas de estudio



Hombrotermogramas Periodo 1973-1992		Hombrotermogramas Periodo 1993-2012		Mes	1973-1992		1993-2012		Diferencia	
				año	l/m ²	°C	l/m ²	°C	l/m ²	°C
Pamplona. Transición montaña mediterráneo.				E	77	5,3	65	5,7	-12	0,4
				F	65	6,7	59	6,6	-6	-0,2
				M	72	8,5	61	9,7	-11	1,2
				A	81	10,1	74	11,5	-7	1,4
				M	76	13,8	62	15,5	-14	1,7
				J	50	17,4	49	19,4	-1	2,0
				JL	38	20,5	27	21,0	-11	0,6
				A	42	20,7	24	21,9	-18	1,1
				S	41	18,3	54	18,1	12	-0,3
				O	86	13,4	71	14,2	-15	0,9
				N	92	8,8	81	8,9	-11	0,1
				D	69	6,3	80	6,0	11	-0,3
				Año	790	12,5	706	13,3	-84	0,7
Carcastillo. Continental mediterráneo semi-árido.				E	23	5,2	31	5,5	7	0,3
				F	33	6,9	24	6,6	-9	-0,4
				M	37	8,5	36	10,0	-1	1,4
				A	51	11,2	48	12,1	-3	1,0
				M	53	15,9	45	16,5	-8	0,6
				J	33	19,6	36	20,9	3	1,2
				JL	17	23,1	25	22,8	8	-0,3
				A	30	22,7	24	22,9	-7	0,3
				S	43	19,1	43	18,7	0	-0,4
				O	46	13,5	57	14,5	11	1,0
				N	50	8,9	45	8,9	-4	0,0
				D	32	6,0	45	5,6	13	-0,5
				Año	449	13,4	459	13,8	10	0,3
Sartaguda. Continental mediterráneo Ribera río Ebro				E	20	6,4	34	6,2	14	-0,2
				F	32	7,7	23	7,3	-9	-0,4
				M	34	9,3	31	10,7	-3	1,4
				A	64	11,6	43	13,0	-21	1,4
				M	56	15,8	58	17,1	2	1,3
				J	46	19,5	33	21,5	-12	2,0
				JL	20	22,7	24	23,3	4	0,6
				A	25	22,6	22	23,4	-3	0,8
				S	23	19,4	34	19,3	11	-0,1
				O	35	13,9	41	15,2	7	1,3
				N	33	9,2	45	9,5	13	0,3
				D	33	6,6	34	6,2	1	-0,4
				Año	419	13,8	423	14,4	4	0,7

Fuente datos: registros diarios de las estaciones meteorológicas del G.N. Elaboración propia.

Lectura del Cuadro 27

Los diagramas ombrotérmicos (o termo-pluviométricos), siguiendo el método de Gausson se expresan por medio de dos líneas sobre un gráfico con dos ejes de coordenadas y uno de abscisas. En uno de los ejes de coordenadas se leen las precipitaciones y en el otro las temperaturas; la escala de los ejes de ordenadas es de: precipitaciones igual a dos veces la temperatura ($P=2T$.); en el eje de abscisas se leen los 12 meses del año.

Esta estructura del gráfico se basa en la consideración de Gausson que cuando las precipitaciones caídas en un mes expresadas en milímetros son inferiores al doble de la temperatura media de ese mes expresada en grados centígrados, hay sequedad. En esa situación la línea que marca en el gráfico las precipitaciones se sitúa por debajo de la de las temperaturas, indicando los meses secos.

La disminución de las precipitaciones y el incremento de las temperaturas entre los periodos comparados (1973-1992) (1993-2012) en casi todos los meses del año de las cinco estaciones meteorológicas de estudio está produciendo un cambio en la conformación de los ombrotermogramas de Gausson, observándose en los del periodo (1993-2012) una tendencia hacia la sequedad relativa de los diferentes climas, siendo significativo el impacto en Pamplona que pasa (en la consideración de Gausson) de no tener ningún mes seco en el periodo (1973-1992) a tener dos, julio y agosto en el periodo (1993-2012).

10. Conclusiones

Los puntos más relevantes que se pueden deducir del presente estudio son:

1º Se produce un incremento en el rango de temperaturas mínimas inferior a los 9 °C, siendo mayor este incremento a menor promedio anual de la temperatura mínima, de tal manera que el cambio climático térmico se acentúa en los climas fríos y se suaviza en los templados y cálidos.

2º La correlación entre el promedio histórico anual de las temperaturas mínimas en un rango estimado entre 4,4 °C y 9 °C y su variación media para veinte años, ha permitido establecer una recta de regresión para calcular, para el periodo (1993-2012), la tasa media de variación del promedio de temperaturas mínimas para un promedio histórico anual entre los 0 °C y 9º C.

3º En la misma latitud y altitud, disminuyen respecto a periodos precedentes: los días de helada; las precipitaciones en forma de nieve; la conservación de masas heladas, se aceleran los deshielos, siendo la primavera la estación del año que más acusa el cambio térmico, todo ello ocasiona un cambio en el régimen de los ríos pluvionivales reforzándose la componente pluvial.

4º Las variables tratadas en el análisis del cambio térmico climático: *variación temperatura mínima °C*; *variación días de helada*; *variación días de precipitación con helada*; *variación de la precipitación l/m² con helada*, se relacionan estrechamente entre ellas, como muestra la matriz de correlación (r) del siguiente cuadro.

		Variables				
		1ª	2ª	3ª	4ª	5ª
		Matriz de datos				
Altitud	Estación meteorológica	Promedio temperaturas mínimas (1973-2012)	Variación: temperatura mínima °C (en 20 años)	Variación: días de helada (en 20 años)	Variación: días de precipitación =<0°C (en 20 años)	Variación: precipitación l/m ² =<0°C (en 20 años)
120	Santesteban	8,83	0,34	-29	-18	-260
355	Sartaguda	8,54	0,48	-71	10	-151
342	Carcastillo	7,82	0,33	-177	-43	-126
449	Pamplona	8,03	0,47	-161	-32	-280
1032	Abaurrea Alta	4,36	0,95	-483	-122	-1.830
		Matriz de correlaciones				
	r =					
	r =					0,92
	r =				0,96	0,93
	r =			-0,91	-0,83	-0,96
	r =		-0,94	0,99	0,96	0,97

Elaboración propia.

5º Los cambios térmicos en la troposfera pueden estar produciendo un ajuste de las masas térmicas de aire que regulan la circulación general atmosférica, variando los centros de acción meteorológica de bajas y altas presiones y dando lugar a fenómenos climáticos extremos que en el área de estudio se manifiesta en una disminución general de las precipitaciones y de los años pluviosos y un incremento de los años secos.

Con carácter general se puede concluir:

El incremento de las temperaturas mínimas en periodos recientes respecto de anteriores, se realiza porque de los diferentes factores que contribuyen a la formación de la temperatura mínima en un punto geográfico determinado, el factor diferencial añadido es principalmente el incremento de las ppm de CO₂ en el aire atmosférico, lo que ocasiona la retención de la radiación nocturna terrestre en longitudes de onda larga que en décadas anteriores a los cambios introducidos por el hombre en la atmósfera, por la emisión de gases de efecto invernadero, resultaban transparentes en la misma.

Este incremento afecta principalmente a los climas con promedios históricos de temperatura mínima anual por debajo de los 9 °C y con escasa repercusión en los que están por encima de ese valor. La repercusión del cambio climático tiene ya una gran importancia, pues afecta a la formación de hielo y a los deshielos, de tal manera que disminuyen las masas de hielo y se acentúan los deshielos.

Este fenómeno afectaría también a la disminución de la reflexión de la radiación solar, pues al disminuir la superficie de plataformas de reflexión de superficies heladas la captación de energía en la troposfera se incrementa lo que puede dar lugar a un aumento de las temperaturas diurnas y la consiguiente alteración de todo el ciclo térmico diario. Otro aspecto al que afecta este cambio, es al régimen de los ríos pluvionivales, que en el caso de los grandes ríos de las zonas templadas con un gran componente pluvionival puede provocar inundaciones desconocidas.

Aunque se desconoce el alcance que los cambios térmicos pueden tener en los grandes centros de acción que regulan la circulación general atmosférica, un dato que parece firme es el reforzamiento de determinadas masas térmicas de aire que regulan esta circulación como es el caso del anticiclón de las Azores, que tiende a ampliar sus límites de acción acentuando la sequedad de los climas localizados en esa nueva área de influencia, pero en general, el aspecto más convulso de estos cambios va a estar en la situación derivada del periodo de ajuste que se tiene que estar produciendo en la circulación general atmosférica, lo que puede dar lugar a la creación de profundas vaguadas alternadas con fuertes dorsales en altura que darían lugar en superficie a fenómenos climáticos extremos, que en el caso de las bajas presiones correspondería con huracanes, borrascas o tifones de fuerza desconocida, y el caso de las altas presiones a sequías prolongadas.

La duración del periodo de transición climática por ajuste de la circulación general atmosférica es una incógnita, pero que como mínimo tiene que durar lo mismo que dure la modificación de la variable térmica en la troposfera por causas antropogénicas.

Anexos en archivos Excel:

Los anexos del 1 al 5, de las estaciones meteorológicas: 1. Pamplona; 2. Santesteban; 3. Carcastillo; 4. Sartaguda, y 5. Abaurrea Alta, contienen la siguiente información:

-Registros diarios de la estación meteorológica del periodo 1953-2012, (1973-2012 en Abaurrea Alta) de las variables: temperatura mínima (°C); temperatura máxima (°C); promedio temperatura (°C); precipitación (l/m²); día de helada; día de precipitación; día de precipitación con helada.

-Los promedios anuales para cada uno de los años del periodo 1953-2012 (1973-2012 en Abaurrea Alta), de temperatura mínima (°C); temperatura máxima (°C); promedio temperatura (°C), y totales de precipitación (l/m²); días de helada; días de precipitación; días de precipitación con helada.

-Los días de registro de temperatura mínima, máxima y promedio de ambas, en tramos de cinco grados en una escala de <-10 °C a >40 °C.

[Anexo 1. Pamplona \(registros diarios en 60 años\)](#)

[Anexo 2. Santesteban \(registros diarios en 60 años\)](#)

[Anexo 3. Carcastillo \(registros diarios en 60 años\)](#)

[Anexo 4. Sartaguda \(registros diarios en 60 años\)](#)

[Anexo 5. Abaurrea Alta \(registros diarios en 40 años\)](#)

[Anexo 6. Resumen anual y mensual](#): Anexos: 1; 2; 3; 4; 5, y comparación de los años más secos y lluviosos del periodo 1953-2012.

[Anexo 7. Registros cada 10 minutos de radiación solar](#) (W/m²) y temperatura (°C) de la estación meteorológica automática de Pamplona de todos los días del año 2003.

[Anexo 8. Aforos de los ríos Arga en Eugi, Erro en Urroz, Irati en Aribe, Salazar en Aspurz y Eska en Sigües.](#)

Bibliografía:

Almarza, C. (1998): La variabilidad de un recurso natural: el clima, en Energía y cambios climáticos. Madrid, Ministerio de Medio Ambiente (INM), pp. 38,

Balairón, L. (1998): Escenarios climáticos, en Energía y cambios climáticos. Madrid, Ministerio de Medio Ambiente (INM), pp. 38,

Cuadrat, José M^a; Fernanda Pita, M^a: Climatología. Ediciones Cátedra. Madrid. 496 pp.

Enric Llebot, Josep: (1998). El cambio climático. Rubes Editorial S.L. Barcelona. 160 pp.

Escudero, J. (1998): Cambio climático: el estado de la cuestión, en Energía y cambios climáticos. Madrid, Ministerio de Medio Ambiente. INM. Pp. 57-77,

Fernández García, F. (1994): Los cambios climáticos recientes. Tendencias metodológicas y estado de la cuestión en "España peninsular". En Cambios y Variaciones Climáticas en España. Universidad de Sevilla-Fundación El Monte.

Floristán Samanes, A. (1996): Geografía de Navarra (El solar. Tomos 1 y 2). Caja de Ahorros de Navarra, Diario de Navarra.

Folland, C.K., Karl, T. R. y Vinnikov, K. Ya. (1992). "Variaciones y cambios climáticos observados" en Cambio climático. Evaluación científica del IPCC. Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el cambio climático. Versión Española del IPCC (1990). Madrid, INM, vol. 1, pp. 215-279,

Font, I (1988). Historia del clima de España. Cambios climáticos y sus causas. Madrid, INM, 297 pp.

González Rouco, F. Et alts. (1998): Cambio climático en la precipitación peninsular: predicciones y observaciones en Clima y ambiente urbano en ciudades ibéricas e iberoamericanas (Fernández García et. alts. Coor.). Madrid, Parterluz.

Gribbin, J. (1986). El clima Futuro, Barcelona, Salvat, 240 pp.

Hartmann, D. L. (1990): Modeling climate Change en Global climate and ecosystem change (MacDonald and Sertorio ed.). Plenum Press. NATO ASI Series.

Houghton, J. T., Jenkins, G. J. y Ephraum, J.J. edit. (1990). Climate Change: The IPCC Scientific Assessment. Ginebra, WMO/UNEP (Versión Española. INM, 1992 (3 vols)).

Gobierno de Navarra: (1986). Caracterización Agroclimática de Navarra. Instituto Navarro del Suelo.

Linés, A. (1990). Cambios en el sistema climático. Una aproximación al problema. Madrid, INM, 125 pp.

Pejenaute Goñi J.M., (1990): Tipos de Tiempo y Clima en las comarcas de Navarra. Gobierno de Navarra, Departamento de Educación Cultura y Deporte, Institución Príncipe de Viana, 545 p.

Uriarte Cantolla, Antón: (2003). Historia del clima de la Tierra. Departamento de transportes y Obras Públicas del Gobierno Vasco, 306 pp.

Nota: La bibliografía es la utilizada en la primera edición del presente estudio en el año 2004