



Deliverable DC6.2.1 EXECUTIVE SUMMARY / RESUMEN:

Estudio de VARIABILIDAD CLIMÁTICA. Áreas de intervención para la gestión adaptativa del paisaje y medio construido en Navarra | *CLIMATE VARIABILITY. Areas of intervention for the adaptive management of landscape and built environment in Navarra*  
*Action 6.2*

Grant Agreement nº. LIFE 16 IPC/ES/000001  
Towards an integrated, coherent and inclusive implementation of  
Climate Change Adaptation policy in a region: Navarre

(LIFE-IP NAdapta-CC)

LIFE 2016 INTEGRATED PROJECTS CLIMATE ACTIONS

Project start date: 2017-10-02

Project end date: 2025-12-31

Coordinator:

Partners:



DISSEMINATION LEVEL

- |    |   |                                     |
|----|---|-------------------------------------|
| PU | Public  | <input checked="" type="checkbox"/> |
| PP | Restricted to other programme participants (including the Commission Services)    | <input type="checkbox"/>            |
| RE | Restricted to a group specified by the consortium (including Commission Services) | <input type="checkbox"/>            |
| CC | Confidential, only for members of the consortium (including Commission Services)  | <input type="checkbox"/>            |

Autor: NASUVINSA, con la Asistencia Técnica de TECNALIA:

- N** Maialen Martija, Tecnalia Research and Innovation
- N** Sheila Carreño, Tecnalia Research and Innovation
- N** Roberto Hernandez, Tecnalia Research and Innovation



## Table of contents

0.	EXECUTIVE SUMMARY / RESUMEN .....	9
0.1	EXECUTIVE SUMMARY .....	9
0.2	RESUMEN EJECUTIVO .....	14
1.	ANÁLISIS METODOLÓGICO DE LA ADAPTACIÓN DE LOS DATOS CLIMATOLÓGICOS DISPONIBLES A LA REALIDAD NAVARRA DE DATOS HISTÓRICOS Y PROYECTADOS.....	19
1.1	Análisis metodológico de históricos.....	19
1.1.1	Fuente de datos históricos y del presente.....	19
1.1.2	Red manual y red automática .....	21
1.1.3	Gestión de las estaciones y de las series de datos .....	23
1.1.4	Control de calidad.....	25
1.1.5	Homogeneización.....	26
1.1.6	Series mensuales y anuales .....	28
1.2	Análisis metodológico proyecciones .....	28
1.2.1	Proyecciones en estaciones puntuales .....	28
1.2.2	Proyecciones en rejilla.....	33
2.	ESTABLECIMIENTO DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS NECESARIAS PARA DEFINIR LOS “CLIMAS PASADOS Y FUTUROS DE NAVARRA” MEDIANTE CLASIFICACIONES E ÍNDICES CLIMÁTICOS ESTÁNDAR.....	40
2.1	Datos en estaciones .....	40
2.2	Datos en rejilla.....	42
2.3	Índices climáticos y bioclimáticos .....	43
2.3.1	La clasificación climática de Koeppen.....	44
2.3.2	Índices de aridez.....	48
2.3.3	Índices de continentalidad / oceanidad .....	51
2.4	Índices de extremos climáticos.....	55
3.	ESTUDIO CLIMÁTICO (RESÚMENES CLIMÁTICOS POR PERIODOS CLIMÁTICOS) DE UNA SERIE DE ESTACIONES Y MODELOS.....	83
3.1	Normales climáticas .....	83
3.2	Resúmenes climáticos.....	84
3.2.1	Fichas climáticas.....	84
3.2.2	Diagramas bioclimáticos.....	86
3.2.3	Balances hídricos .....	92



3.3	Mapas climáticos.....	100
4.	CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA DE NAVARRA SEGÚN EL CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN 107	
4.1	Definición de los climas de referencia según el CTE .....	107
4.1.1	Severidad climática de invierno:.....	107
4.1.2	Severidad climática de verano:.....	108
4.2	Metodología para el cálculo de las severidades climáticas de Navarra según el CTE bajo escenarios de cambio climático.....	109
4.2.1	Consideraciones metodológicas previas.....	109
4.2.2	Cálculo.....	109
4.3	Resultados.....	111
4.3.1	Clasificación climática según el CTE para Pamplona .....	111
4.3.2	Clasificación climática según el CTE para Navarra.....	113
4.4	Resultados gráficos: Clasificación climática de Navarra según el CTE .....	113
4.4.1	Clasificación climática según el CTE para el conjunto de Navarra .....	114
4.4.2	Clasificación climática según el CTE para las entidades de población de Navarra 114	
4.4.3	Clasificación climática según el CTE para los municipios Navarra.....	115
5.	PREDIAGNÓSTICO QUE PERMITIRÁ ESTABLECER ÁREAS CLIMÁTICAS PARA LAS QUE SE ESTABLECERÁN LAS MEDIDAS DE GESTIÓN ADAPTATIVA DEL PAISAJE Y MEDIO CONSTRUIDO 116	
5.1	Variables climáticas temperatura y precipitación .....	116
5.2	Índices climáticos y bioclimáticos .....	117
5.3	Índices de extremos climáticos.....	118
5.4	Resúmenes climáticos.....	119
5.5	Clasificación climática según el CTE .....	119
5.6	El término municipal como unidad de análisis y planificación .....	119
6.	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y PRÓXIMOS PASOS.....	121
6.1	Análisis metodológico proyecciones .....	121
6.2	Análisis de resultados del estudio climático .....	122
6.3	Actualización de datos.....	123
6.4	Próximos pasos.....	124
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	126
8.	ANEXO 1. MAPAS CLIMÁTICOS MENSUALES .....	130





8.1	Red de estaciones meteorológicas de Navarra .....	130
8.2	Puntos de rejilla de los modelos numéricos AdapteCCa en Navarra.....	132
8.3	Temperatura media .....	135
8.4	Temperatura máxima media .....	141
8.5	Temperatura mínima media .....	147
8.6	Temperatura media de las mínimas absolutas .....	153
8.7	Precipitación total .....	159
8.8	ETP.....	164
9.	ANEXO 2. MAPAS DE ÍNDICES DE ARIDEZ .....	171
9.1	De Martonne.....	171
9.2	Emberger .....	172
9.3	Lang .....	173
9.4	Rivas-Martínez .....	174
10.	ANEXO 3. MAPAS DE ÍNDICES DE CONTINENTALIDAD.....	175
10.1	Amann .....	175
10.2	Gorzynski .....	176
10.3	Rivas-Martínez .....	177
11.	ANEXO 4. FICHAS CLIMÁTICAS.....	178
12.	ANEXO 5. DIAGRAMAS OMBROTÉRMICOS .....	190
13.	ANEXO 6. DIAGRAMAS DE BALANCE HÍDRICO .....	202
14.	ANEXO 7. MAPAS DE MEDIAS ANUALES .....	214

## Tables

Tabla 1-1	Estaciones disponibles en AdapteCCa. En verde los modelos utilizados.....	28
Tabla 1-2	Estaciones disponibles en AdapteCCa.....	30
Tabla 1-3	Modelos regionales de AdapteCCa a los que se les ha agregado institución, GCM (modelo global de origen) y la técnica de regionalización estadística utilizada.....	32
Tabla 1-4	Proyecciones en rejilla disponibles en AdapteCCa.....	33
Tabla 1-5	Listado de modelos utilizados junto con la descripción del centro al que pertenecen. También se indica cuáles son los modelos global y regional utilizados en cada caso.....	35
Tabla 1-6	Selección de modelos adecuado (verde), intermedio (amarillo) y descartados (rojo) de cada variable tmax, tmin, pcp.....	38
Tabla 2-1	Temperaturas medias (°C) de datos observados y modelos regionales de AdapteCCa para diferentes periodos climatológicos normales.....	40





Tabla 2-2 Precipitaciones totales (mm) de datos observados y modelos regionales de AdapteCCa para diferentes periodos climatológicos normales.....	41
Tabla 2-3 Sistema de clasificación de Koeppen.....	45
Tabla 2-4 Clasificación de Koeppen de datos observados y modelos regionales de AdapteCCa para diferentes periodos climatológicos normales. ....	45
Tabla 2-5 Índice de aridez de Rivas-Martínez de datos observados y modelos regionales de AdapteCCa para diferentes periodos climatológicos normales.....	48
Tabla 2-6 Índice de continentalidad de Rivas-Martínez de datos observados y modelos regionales de AdapteCCa para diferentes periodos climatológicos normales. ....	52
Tabla 2-7 Selección de índices básicos de ET-SCI calculados (según lo acordado en julio de 2011; nombres y definiciones actualizados en mayo de 2016). ....	58
Tabla 2-8 Índice tmm (temperatura media). ....	65
Tabla 2-9 Índice fd (días de helada). ....	66
Tabla 2-10 Índice id (días de hielo). ....	67
Tabla 2-11 Índice su (días de verano). ....	68
Tabla 2-12 Índice tr (noches tropicales). ....	69
Tabla 2-13 Índice gsl (longitud de la estación de crecimiento). ....	70
Tabla 2-14 Índice wsdí (indicador de duración del period de calentamiento, 6 días). ....	71
Tabla 2-15 Índice csdi (indicador de duración del periodo de enfriamiento, 6 días). ....	72
Tabla 2-16 Índice hwn (indicador de número de olas de calor). ....	73
Tabla 2-17 Índice prcptot (indicador de precipitación total). ....	74
Tabla 3-1 Ficha de Pamplona para el periodo 1991-2017.....	84
Tabla 3-2 Parametros y sus abreviaturas. ....	85
Tabla 3-3: Ficha climática del punto 39 de rejilla [≈ Pamplona] para el periodo 2021-2050.....	83
Tabla 3-4: Ficha climática del punto 39 de rejilla [≈ Pamplona] para el periodo 2051-2080.....	84
Tabla 4-1 Clasificación climática de Pamplona para los periodos normales establecidos.....	110
Tabla 4-2 Clasificación climática para Navarra en función de altura que establece el CTE para los periodos normales establecidos.....	111

## Illustrations

Ilustración 1 Repositorio de datos meteorológicos del Gobierno de Navarra: <a href="http://meteo.navarra.es/estaciones/descargardatos.cfm">http://meteo.navarra.es/estaciones/descargardatos.cfm</a> .....	20
Ilustración 2 Ejemplo de ficheros descargados del repositorio de datos meteorológicos del Gobierno de Navarra. Arriba: estación manual, abajo: estación automática.....	21
Ilustración 3 Página web de consulta de datos meteorológicos del Gobierno de Navarra: <a href="http://meteo.navarra.es/estaciones/mapadeestaciones.cfm">http://meteo.navarra.es/estaciones/mapadeestaciones.cfm</a> .....	23





Ilustración 4 Página web de consulta de estaciones meteorológicas del Gobierno de Navarra: <http://meteo.navarra.es/estaciones/estacion.cfm?IDestacion=274>..... 24

Ilustración 5 Distribución geográfica de las estaciones disponibles en AdapteCCa. Precipitación en azul y temperatura en rojo..... 30

Ilustración 6 Diferencias de media, P5 y P95 entre la opción de tener en cuenta todos los modelos o solo los 6 modelos seleccionados de la variable temperatura máxima, para el periodo proyectado..... 33

Ilustración 7 Mapa con la orografía de rejilla de Spain02 girada en la zona de la Comunidad Foral de Navarra y alrededores..... 34

Ilustración 8 Diferencias entre modelos y Spain02 de medias, percentil 5 y percentil 95 en periodos de 10 años para el periodo 1971-2000. Para cada variable de estudio, tmax, tmin y pcp. .... 36

Ilustración 9 Diferencias entre Spain02 y los modelos MOHC-HadGEM2-ES-CLMcom-CCLM4-8-17-rcp85-r1i1p1 y CNRM-CERFACS-CNRM-CM5-CNRM-ALADIN53-rcp85-r1i1p1 para la media y percentiles 5 y 95 en el periodo 1971-2000 para todo el año (sin diferenciar en las estaciones del año). .... 37

Ilustración 10 Diferencias entre Spain02 y los modelos MOHC-HadGEM2-ES-CLMcom-CCLM4-8-17-rcp85-r1i1p1 y CNRM-CERFACS-CNRM-CM5-CNRM-ALADIN53-rcp85-r1i1p1 para la media, percentil 5 y percentil 95 en el periodo 1971-2000 para las estaciones del año (invierno, primavera, verano y otoño)..... 37

Ilustración 11 Mapas de Koeppen ..... 47

Ilustración 12 Mapas del índice de aridez de Rivas-Martínez..... 50

Ilustración 13 Mapas del índice de continentalidad de Rivas-Martínez..... 54

Ilustración 14 Series de cajas de precipitación, temperatura máxima, mínima y oscilación térmica diarias en la estación de Pamplona, con datos observados solapados por los modelos ANALOGOS-bcc-csm1-1-rcp85 (izq.) y SDSM-bcc-csm1-1-m-rcp85 (dcha.)..... 64

Ilustración 15. Indicadores derivados de la temperatura mínima. .... 77

Ilustración 16. Indicadores derivados de la temperatura máxima. .... 78

Ilustración 17. Indicadores derivados de la temperatura media, olas de calor. .... 79

Ilustración 18. Indicadores derivados de la temperatura media, estación de crecimiento..... 79

Ilustración 19. indicadores derivados de la precipitación, número de días con precipitación. 80

Ilustración 20. indicadores derivados de la precipitación, máximas en 1 y 5 días. .... 81

Ilustración 21. indicadores derivados de la precipitación, días secos consecutivos. .... 82

Ilustración 22. Diagramas ombrotérmicos de Arizkun para los periodos normales: 1991-2017 (arriba), 2021-2050 (abajo izq.) y 2051-2080 (abajo dcha.)..... 87

Ilustración 23. Diagramas ombrotérmicos de Pamplona para los periodos normales: 1961-1990 (arriba izq), 1991-2017 (arriba drcha.), 2021-2050 (abajo izq.) y 2051-2080 (abajo dcha.)..... 88

Ilustración 24. Diagramas ombrotérmicos de Buñuel para los periodos normales: 1961-1990 (arriba izq.), 1991-2017 (arriba dcha.), 2021-2050 (abajo izq.) y 2051-2080 (abajo dcha.)..... 89

Ilustración 25. diagramas ombrotérmicos del punto 59 de rejilla ( $\approx$  Arizkun) para los periodos 2021-2050 (izq.) y 2051-2080 (dcha.)..... 90







Ilustración 26. Diagramas ombrotérmicos del punto 39 de rejilla (≈ Pamplona) para los periodos 2021-2050 (izq.) y 2051-2080 (dcha.).....	91
Ilustración 27. Diagramas ombrotérmicos del punto 31 de rejilla (≈ Buñuel) para los periodos 2021-2050 (izq.) y 2051-2080 (dcha.).....	91
Ilustración 28. Diagramas de balance hídrico de Arizkun para los periodos normales: 1991-2017 (arriba), 2021-2050 (abajo izq.) y 2051-2080 (abajo dcha.).....	95
Ilustración 29. Diagramas de balance hídrico de Pamplona para los periodos normales: 1961-1990 (arriba izq.), 1991-2017 (arriba dcha.), 2021-2050 (abajo izq.) y 2051-2080 (abajo dcha.).....	96
Ilustración 30. Diagramas de balance hídrico de Buñuel para los periodos normales: 1961-1990 (arriba izq.), 1991-2017 (arriba dcha.), 2021-2050 (abajo izq.) y 2051-2080 (abajo dcha.).....	97
Ilustración 31. diagramas de balance hídrico del punto 59 de rejilla [≈ Arizkun] para los periodos 2021-2050 (izq.) y 2051-2080 (dcha.).....	98
Ilustración 32. diagramas de balance hídrico del punto 39 de rejilla [≈ Pamplona] para los periodos 2021-2050 (izq.) y 2051-2080 (dcha.).....	98
<b>Ilustración 33.</b> diagramas de balance hídrico del punto 31 de rejilla [≈ Buñuel] para los periodos 2021-2050 (izq.) y 2051-2080 (dcha.).....	99
Ilustración 34. Mapas de precipitación total.....	101
Ilustración 35. Mapas de temperatura media.....	102
Ilustración 36. Mapas de temperatura máxima media.....	103
Ilustración 37. Mapas de temperatura mínima media.....	104
Ilustración 38. Mapas de temperatura de las mínimas absolutas.....	105
Ilustración 39. Mapas de ETP (Thornthwaite).....	106
Ilustración 40. Valores de grados día de invierno en los periodos normales de estudio utilizados para el cálculo.....	110
Ilustración 41. Valores de grados día de verano en los periodos normales de estudio utilizados para el cálculo.....	110
Ilustración 42. Valores de horas de sol/horas de sol máxima observados en la estación de Pamplona para los años disponibles.....	111
Ilustración 43. Clasificación climática de Navarra según el CTE para el presente (izquierda), el periodo futuro próximo (centro) y finales de siglo (derecha).....	114
Ilustración 44. Clasificación climática de las entidades de población de Navarra según el CTE para el presente (izquierda), el periodo futuro próximo (centro) y finales de siglo (derecha).....	114
Ilustración 45. clasificación climática de los municipios Navarra según el CTE para el presente (izquierda), el periodo futuro próximo (centro) y finales de siglo (derecha).....	115
Ilustración 46. Flujo de las fases de trabajo y relación de entregables.....	124





## 0. EXECUTIVE SUMMARY / RESUMEN

### 0.1 EXECUTIVE SUMMARY

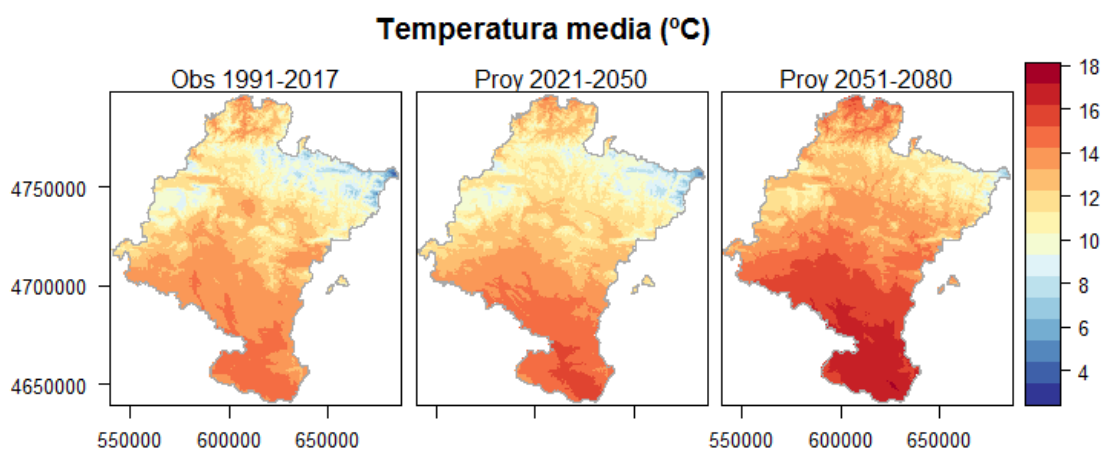
The current study “Climate variability. Areas of intervention for the adaptive management of landscape and built environment in Navarra” corresponds to the phase 1 of the Technical Assistance “Climate Change and measures for the adaptative management of landscape and built environment in Navarra”.

The study analyses the evolution of temperature, precipitation and evapotranspiration patterns in Navarra. .

The study period has been defined based on historical data and future climate projections. Two analysis has been undertaken in that connection:

- i) the analysis of historical data series to set the baseline of the past climate conditions. The historical data series cover from 1961 to 2017 and it has been divided into two sub-periods: the first period goes from 1961 to 1990, and it is used as control period, and the second period covers from 1991 to 2017.
- ii) the analysis of future projections to establish the distribution of climate areas in Navarra until the end of the 21<sup>st</sup> century. For the future projections, two sub-periods are considered, the first one between 2021 and 2050, corresponding to the horizon of the HCCN-KLINA roadmap, and the second from 2051 to 2080.

The analysis of the climate maps for the evolution of the mean **temperatures**, shows that there is a clear positive trend throughout the study period. This increase is homogeneous distributed along the territory, although it could be more significant in the east of the Pyrenees, in the Sakana and towards Ribera. When comparing the maps corresponding to the observed and the projected data for the overlap period 2006-2017, it seems that the latter underestimates the temperature increase, mainly due to the bigger anomaly of the maximum temperatures.



**Illustration 35** Mean temperature maps of the normal observed period 1991-2017 and projected 2021-2050, 2051-2080.

Regarding the analysis of the minimum temperature it can be assumed that the number of frost days would be reduced by almost half in the period 2021-2050, and tropical nights would increase according to the increase of the percentage of warm nights (they would double in the second projected period 2051-2080).

A similar pattern can be observed in the analysis of the indicators related to maximum temperature. The number of days would decrease and the number of summer days would increase for the study period. The percentage of cold and warm days indicate that the southern regions of Navarre would suffer the highest temperature variation.

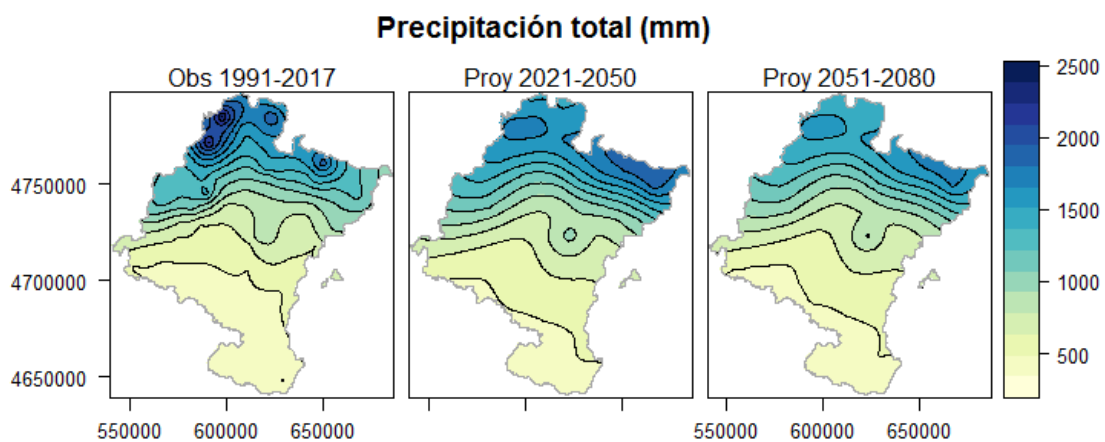
The results related to the analysis of heat waves strengthen the mentioned trend. Both frequency and magnitude of the heat waves would significantly increase. The duration of the biggest heat wave increases from 15 days in 1991-2017 to 30 and 40 days in the future projected periods, mainly in the region of the Ribera. According to the increase of mean temperatures, the growing period of vegetation would also increase.

In the case of **precipitation**, the analysis shows a progressive increase, and particularly high in the second projected period. Making a comparison between the observed and projected maps of the overlap period 2006-2017, it can be shown that the latter overestimate precipitation.

Regarding the number of wet days, it seems that they would decrease along the second half of the 21st century. The same could happen with the number of days of severe rainfalls ( $\geq 10$  mm). Finally, the number of days of heavy rainfalls ( $\geq 20$  mm) would increase in the future. The increase of the maximum rainfall both in one day and in five days would be more evident.

The indicator of consecutive dry days, as the index of the number of rainy days  $\geq 1$  mm, increases slightly in the period 2051-2080.

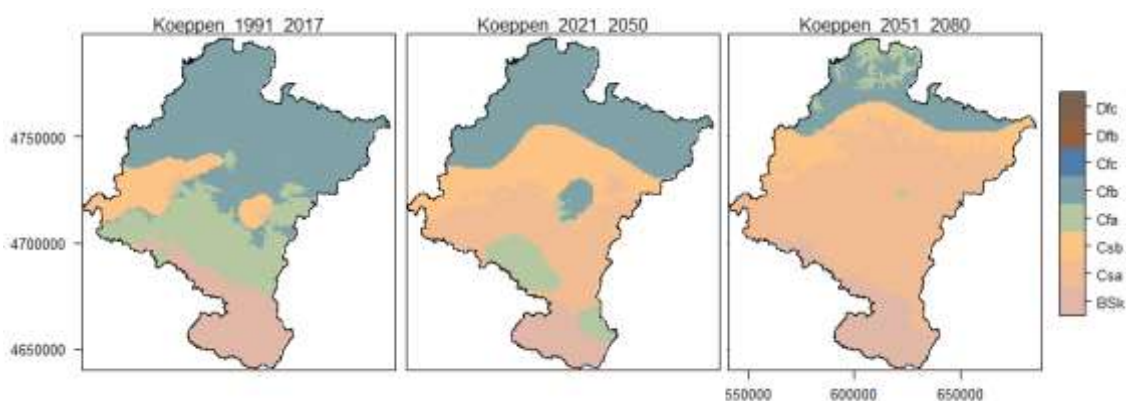
To summarize, the results seem to indicate that in the future, mainly in the second half of the 21st century, rainfall events would be more intense, followed by longer periods of drought.



**Illustration 34** Total precipitation maps for the normal observed period of 1991-2017 and the projected periods 2021-2050 and 2051-2080.

The **potential evapotranspiration** (ETP) has been obtained from the mean temperature values using the Thornthwaite method. Thus, the ETP would increase along the 21st century as the evolution of the thermal anomaly.

Regarding the Köppen classification, it is undeniable that the oceanic climate (Cfb) gradually moves toward North, and it is replaced by the Mediterranean climate of fresh summers (Csb) and the Mediterranean (Csa). The humid subtropical climate (Cfa) also reduces significantly its presence, retreating to the Ribera Alta in the period 2021-2050, and by then disappearing in the following period, jumping to reappearing in the north of Navarra, combining with the oceanic climate. In turn, the cold steppe climate (BSk) is the most stable, characterizing the southern half of the Ribera. Although anecdotic, group D, the continental climate of very cold winters also disappears, that is currently typical in the surroundings of La mesa de los Tres Reyes. The results for the future are not totally reliable attending to the comparison of maps in the overlap period 2006-2017. In a general way, the Csa climate is not identified correctly because its place is occupied by Cfa. Besides, BSk climate appears too displaced towards the south of the Ribera.



**Illustration 11** Köppen maps of the normal observed period 1991-2017 and projected 2021-2050, 2051-2080.

Concerning the **aridity**, it seems that it changes progressively towards lower values, with the increase of dry and semiarid categories. This is especially noticeable in the period 2051-2080, when the changes are more significant, deepening towards more arid values. The results for the future seem fairly reliable attending to the comparison of maps in the overlap period 2006-2017, with the exception of the Pyrenees area, where the index is overestimated.

Regarding **oceanity**, the progressive trend to lose that character, within an oceanic context, is evident. Indeed, the south of the Autonomous Community is approaching towards the semi continental category. The results for the future seem reasonably reliable attending to the comparison of maps in the overlap period 2006-2017, although somewhat softened.

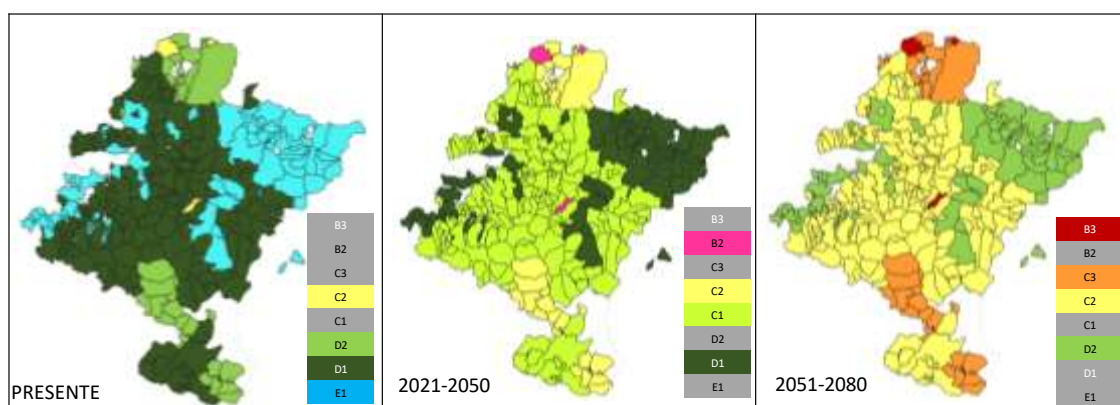
To conclude, it is highlighted that the differences among the climate models of the meteorological stations are important. The models based on the lineal regression technique (SDSM) project higher temperatures and lower precipitations than the ones based on analogous.

Those based on the SDSM technique project higher temperatures and lower precipitations than those based on analogues. In particular, the differences in precipitation are more than noticeable. Perhaps it would have been a good option to discard those models for that variable.

However, important differences among the climate models of the stations are to be considered. In general, it is noted that the models based on lineal regression project higher temperatures and lower precipitations than the ones based on analogous.

In addition to the climate study, the temperature projections under climate change scenarios have been used to assess the climate classification of Navarra according to the Technical Building Code. The increase of temperatures (in accordance with the projections of climate change) will cause a change in the climate zone of Pamplona, and as a consequence also in the rest of the municipalities of Navarra, in accordance with climate zones that establish the Technical Building Code. Pamplona would change from the current climate zone "D" for winter in the period 2021/2050 to zone "C". For summer, Pamplona would move from the current zone "1", to zone "2" in the period 2051/2080, and to zone "3" in the last decade of this period.

Attending to figure 4, it can be seen that in the present period the classifications range goes from E1 to C2, in the period 2021-2050 the classifications ranges from D1 to B2 and by the end of the century from D2 to B3.



**Illustration 15.** Climatic classification according to the CTE for the municipalities of Navarra in the normal observed period 1991-2017 and projected 2021-2050, 2051-2080.

The methodological process carried out in this climate study of Navarra has been analogous to the one of AdapteCCA<sup>1</sup> platform, which takes data from two main data sources from Scenarios-PNACC 2017: i) point projections, obtained by applying statistical regionalisation techniques to data from local series and ii) grid projections, coming from the dynamic regionalisations generated in the international Euro-CORDEX initiative, which provide data in a grid of approximately 10 km resolution.

Therefore, complementary climatological products have been generated. Those carried out with punctual projections have been presented in tables and graphs. Spatial estimation has been not made to produce the maps because there are not many points in Navarra. Those

<sup>1</sup> Platform for the exchange and consultation of information on adaptation to climate change in Spain.



carried out with grid projections have been presented in maps. Climatic sheets, ombrothermic and hydric balance diagrams have also been elaborated for each points of the grid.

The future climate projections have been made under the RCP 8.4 emissions scenario<sup>2</sup> as established the fifth IPCC report<sup>3</sup>, which represents the most pessimistic scenario and at the same time close to current emission trends.

The conclusions provided of the present and future climate situation of Navarre have been obtained from the treatment and processing of the observed and projected information. Firstly, it is important to consider that the analysis has been carried out with two types of information sources for the future, therefore the abovementioned disparities are unavoidable. (for example, between climate sheets and temperature and precipitation maps).

---

<sup>2</sup> Representative Concentration Pathway

<sup>3</sup> Intergovernmental Panel of Climate Change

## 0.2 RESUMEN EJECUTIVO

El presente “Estudio de variabilidad climática. Áreas de intervención para la gestión adaptativa del paisaje y medio construido en Navarra” corresponde a la Fase 1 de la asistencia técnica, de “Cambio Climático y medidas de gestión adaptativa del paisaje y medio construido en Navarra”. El estudio comprende el análisis de series históricas para establecer una línea base del clima pasado en Navarra, y el análisis de proyecciones futuras para dibujar cómo se distribuirán las áreas climáticas en Navarra hasta finales de siglo.

El periodo histórico comprende desde el año 1961 a 2017, y se divide en dos sub-periodos, uno de control ente el 1961 y 1990 y otro hasta la actualidad que comprende de 1991 a 2017. En el futuro se establecen dos periodos, el primero entre 2021-2050 que se corresponde con el horizonte de la hoja de ruta HCCN-KLINA y el segundo ente 2051 y 2080.

Del análisis de los mapas climáticos se deduce que, en el caso de las **temperaturas** medias, hay una clara tendencia positiva a lo largo de todo el periodo de estudio. Este incremento sería bastante homogéneo espacialmente, aunque algo más marcado quizá al este de Pirineos, en la Sakana y hacia la Ribera. El contraste de los mapas de datos observados y proyectados en el periodo de solape 2006-2017 señala que estos últimos están algo subestimados, debido en mayor medida a la mayor anomalía de las temperaturas máximas.

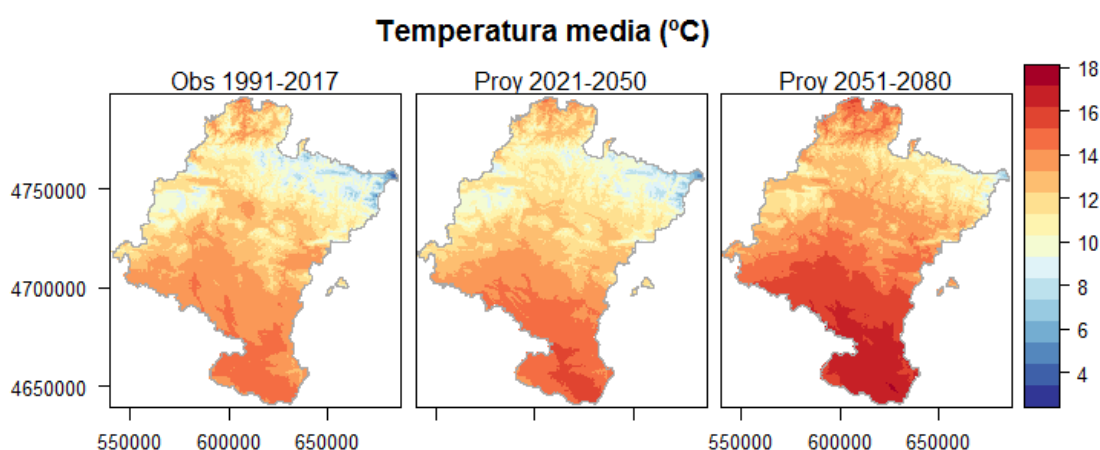


Ilustración 34: mapas de temperatura media del periodo normal observado 1991-2017 y proyectados 2021-2050, 2051-2080.

De los indicadores de temperaturas mínimas se deduce que los días de helada se reducirían, hasta prácticamente la mitad en el periodo 2021-2050, y las noches tropicales aumentarían, en consonancia con el aumento del porcentaje de noches cálidas (pasarían a doblarse en el segundo periodo proyectado).



Otro tanto se puede decir de los indicadores asociados a las temperaturas máximas. De este modo, disminuirían los días de hielo y aumentarían los días de verano. El porcentaje de días fríos y de días cálidos nos señalaría que las comarcas del sur de Navarra serían las que experimentarían una mayor tasa de cambio.

Las olas de calor reforzarían esa última idea. Aumentaría significativamente tanto la frecuencia de las olas de calor, como su magnitud. La duración de la mayor ola de calor pasaría de 15 días en 1991-2017 a unos 30 y 40 días en los periodos proyectados, que golpearían a la comarca de la Ribera. En consonancia con el incremento en las temperaturas medias, el periodo de tiempo en el cual las plantas pueden crecer también aumentaría.

En el caso de la **precipitación**, el cambio es progresivo, más acentuado en el segundo periodo proyectado. En la comparación entre los mapas de datos observados y proyectados del periodo de solape 2006-2017 se observa que estos últimos sobreestiman la precipitación.

En cuanto al número de días húmedos, parece que descienden a medida que avanza la segunda mitad el siglo XXI. Otro tanto sucedería con el número de días de precipitaciones abundantes ( $\geq 10$  mm). Finalmente, el número de días de precipitaciones intensas ( $\geq 20$  mm) aumentaría en el futuro. Más evidente sería el aumento de las precipitaciones máximas en un día y en cinco días.

El indicador de días secos consecutivos, al igual que en el índice del número de días con lluvia  $\geq 1$  mm, en el periodo 2051-2080 sí que se aprecia un ligero aumento.

En definitiva, estos resultados parecen indicar que en el futuro, sobre todo en la segunda mitad del siglo XXI, cabría esperar episodios de precipitaciones más intensas, seguidos de periodos de sequía ligeramente más largos.

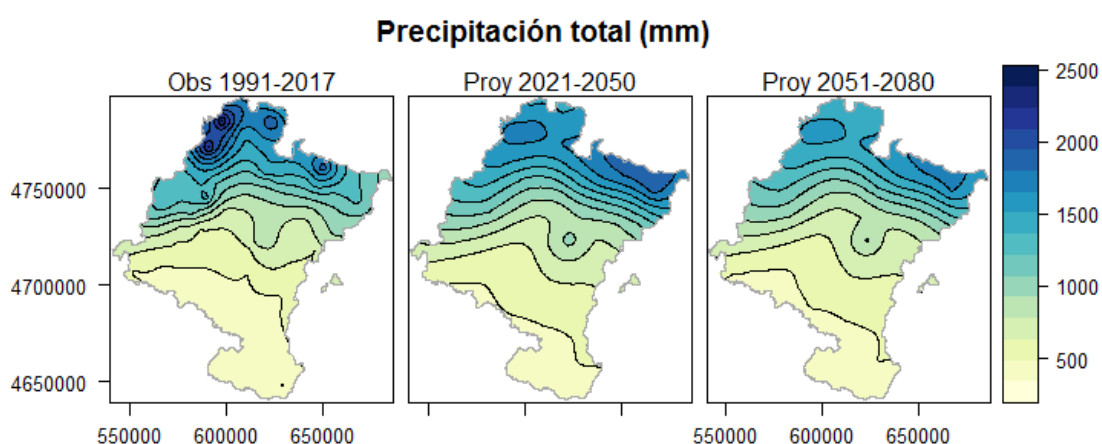


Ilustración 35: Total precipitation maps for the normal observed period of 1991-2017 and the projected periods 2021-2050 and 2051-2080.

La **evapotranspiración potencial** (ETP) se ha obtenido de a partir de los valores de temperatura media, mediante el método de Thornthwaite. Así, al igual que ocurriera con la



evolución de la anomalía térmica, también cabría esperar un incremento en la ETP a lo largo del siglo.

Respecto a la **clasificación de Köppen**, es evidente el paulatino retroceso hacia el norte del clima oceánico (Cfb) y su substitución por el clima mediterráneo de veranos frescos (Csb) y el mediterráneo (Csa). El clima subtropical húmedo (Cfa) reduce también significativamente su presencia. Es algo que ya ha ocurrido en el presente siglo, siendo substituido en buena parte por el mediterráneo (Csa). Las proyecciones en rejilla indican que se retira hacia la Ribera Alta en el periodo 2021-2050, para en el siguiente 2051-2080 desaparecer de ahí y saltar al norte de Navarra, compartiendo espacio con el oceánico. Por su parte, el clima estepario frío (BSk) es el más estable, caracterizando la mitad sur de la Ribera. Aunque anecdótico, también desaparece el grupo D, el clima continental, de inviernos muy fríos, presente actualmente en las inmediaciones de la Mesa de los Tres Reyes. Si atendemos a la comparación de los mapas en el periodo de solape 2006-2017, los resultados para el futuro no son totalmente confiables. En términos generales, el clima Csa no aparece correctamente identificado, su lugar lo ocupa el Cfa. Además, el clima BSk aparece excesivamente retirado hacia el sur de la Ribera.

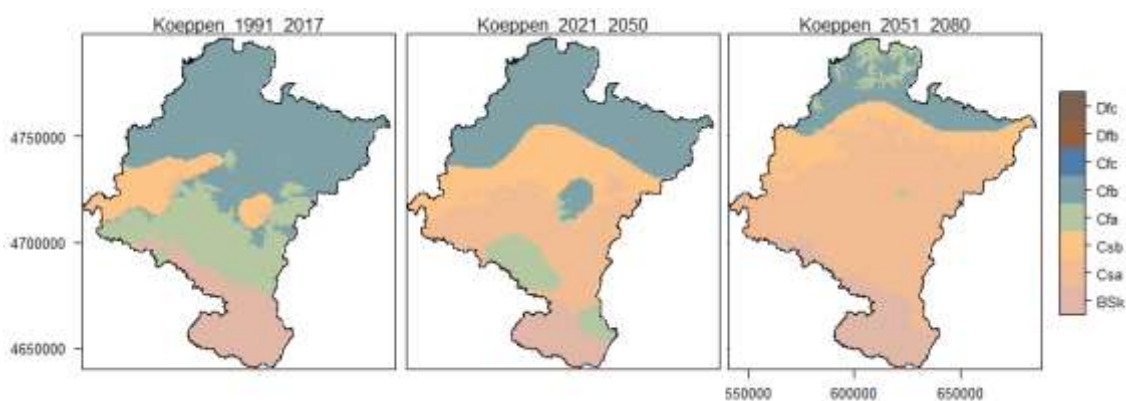


Ilustración 11: mapas de Köppen del periodo normal observado 1991-2017 y proyectados 2021-2050, 2051-2080.

En cuanto a la **aridez**, parece que evoluciona progresivamente hacia valores más bajos, con las categorías seco y semiárido ganando terreno. Esto sería especialmente así en el periodo 2051-2080, que es cuando se aprecian más los cambios, con una profundización hacia valores más áridos. Si atendemos a la comparación de los mapas en el periodo de solape 2006-2017, los resultados para el futuro parecen bastante confiables, a excepción de la zona de Pirineos, donde se sobreestima el índice.

Respecto a la **oceanidad**, aunque dentro de un contexto oceánico, se aprecia claramente que hay una tendencia progresiva a ir perdiendo ese carácter, acercándose el sur de la Comunidad Foral hacia la categoría semicontinental. Si atendemos a la comparación de los mapas en el periodo de solape 2006-2017, los resultados para el futuro parecen razonablemente confiables, aunque un tanto suavizados.

Para finalizar, comentar que la disparidad entre modelos climáticos de estaciones es grande. Los basados en la técnica de regresión lineal SDSM proyectan temperaturas más altas y precipitaciones más bajas que aquellos basados en análogos. En especial, las diferencias en la precipitación son más que notables. Quizá hubiera sido una buena opción descartar de partida esos modelos para dicha variable.

Adicionalmente al estudio climático, las proyecciones de temperatura bajo escenarios de cambio climático se han utilizado para evaluar la adscripción climática de Navarra según establece el Código Técnico de la Edificación. La evolución de las temperaturas, de acuerdo con las previsiones derivadas del cambio climático, va a suponer un cambio de zona climática para Pamplona, y por tanto para el resto de los municipios de Navarra, en la adscripción a las zonas climáticas del código técnico. Pamplona pasaría de la actual adscripción a la zona climática “D” para invierno, a adscribirse, en el periodo 2021/2050 a la zona “C”. Respecto del verano, Pamplona pasaría de la zona “1” actual, a la zona “2” en el periodo 2051/2080, y a la zona “3” en la última década de este período.

Atendiendo a la representación gráfica de los resultados se observa que en el presente las clasificaciones abarcan desde E1 hasta C2, en el periodo 2021 - 2050 el rango de clasificaciones abarca desde D1 a B2 y para finales de siglo desde D2 a B3.

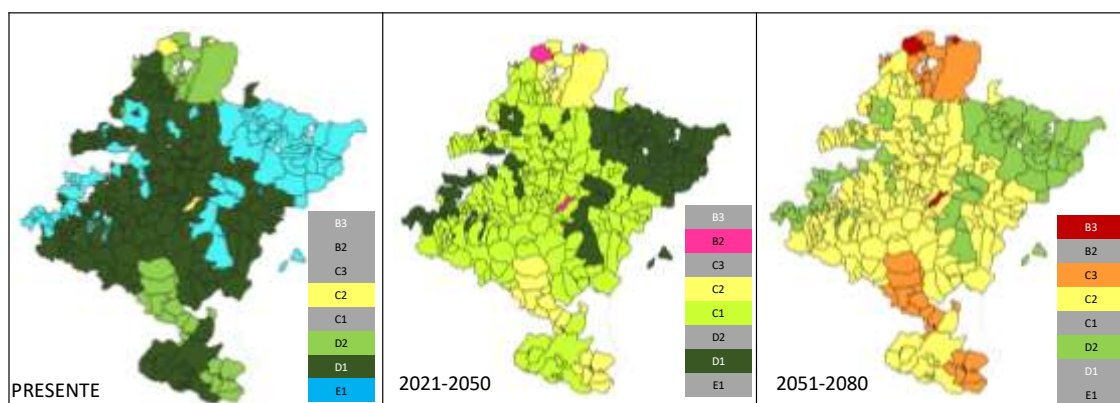


Ilustración 45: Clasificación climática según el CTE para los municipios de Navarra en el periodo normal observado 1991-2017 y proyectados 2021-2050, 2051-2080.

El proceso metodológico realizado en este estudio climático de Navarra ha sido simétrico al de la plataforma AdapteCCA<sup>4</sup> que se nutre de dos fuentes de datos principales de Escenarios-PNACC 2017: i) proyecciones puntuales, obtenidas aplicando técnicas estadísticas de regionalización a los datos de series locales y ii) proyecciones en rejilla, provenientes de las regionalizaciones dinámicas generadas en la iniciativa internacional Euro-CORDEX, que proporcionan datos en una rejilla de aproximadamente 10 km de resolución.

Por tanto, se han generado productos climatológicos complementarios. Los realizados con las proyecciones puntuales se han presentado en tablas y gráficos. Dado que no se dispone de

<sup>4</sup> Plataforma de Intercambio y consulta de información sobre adaptación al cambio climático en España.



demasiados puntos en territorio navarro, no se han hecho estimaciones espaciales para componer mapas. Los realizados con las proyecciones en rejilla sí que se han presentado en forma de mapas, por su propia naturaleza. También se han elaborado las fichas climáticas, diagramas ombrotérmicos y de balance hídrico para cada uno de los puntos de rejilla.

Las proyecciones climáticas futuras se han realizado con el escenario de emisiones RCP 8.4<sup>5</sup> según establece el quinto informe del IPCC<sup>6</sup>, que representa el escenario más pesimista y a la vez cercano a las tendencias de emisiones actuales.

A partir del tratamiento y procesado de toda la información observada y proyectada se han obtenido las conclusiones presentadas sobre la situación climática presente y futura de Navarra. Antes, hay que tener presente que se ha trabajado con dos tipos de fuentes de información para el futuro, por lo que necesariamente surgen disparidades (por ejemplo, entre fichas climáticas y mapas de temperatura y precipitación).

---

<sup>5</sup> *Representative Concentration Pathway*. Trayectorias (proyecciones) Representativas de Concentración

<sup>6</sup> *Intergovernmental Panel on Climate Change*. Grupo Intergubernamental de Cambio climático.





Px24	11.6	9.7	9.7	9.1	8.6	8.7	7.4	7	6.8	9.2	8.7	10.7	13
dr	11.6	11	12	13	11	9.9	8.2	8.2	9.4	12.5	13.9	13.1	133.9
dn	0.2	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4
AbsTx	18	22.2	25.9	29.7	34.1	37.9	40.3	38.3	34.5	29.7	22.6	18.6	40.5
Tx	9.7	11.2	13.5	15.9	19.4	23.8	27.6	27.5	23.3	17.8	12.9	10.6	17.8
Tm	6.5	7.4	9	10.9	13.9	18	21.3	21.3	17.8	13.4	9.4	7.5	13
Tn	3.2	3.5	4.5	6	8.4	12.1	15.1	15.1	12.2	8.9	5.9	4.3	8.3
AbsTn	-6.3	-4.5	-3.4	-1.2	1.5	4	8.2	8.4	5.5	1.9	-1.2	-2.8	-6.8
dh	3.6	3	2.2	0.5	0	0	0	0	0	0	0.5	1.6	11.4
AbsTnm	-1.5	-1.2	-0.5	1.1	3.4	6.6	10.5	10.7	7.6	4.4	1.4	-0.1	3.5
etp	16.4	19.7	32.3	46.1	71.5	102.5	130.4	120.9	82	51.1	27.2	18.9	719

## Proyectados 2021-2050

Parámetro	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	año
P	33.9	29.2	33	33.8	31.9	27.1	23.5	22.6	24.6	31.6	36.9	37.3	365.4
Px24	11.8	12	12	12.6	10.7	9.8	8.3	8	9.1	10.6	11.5	12	14.3
dr	11.7	10.3	11.6	11.7	11	9.1	8.1	8	8.8	11.7	13	13	127.9
dn	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.3
AbsTx	20.3	23.9	27.9	32.7	36.5	41.1	43.7	41.8	38.5	32.2	25	19.9	44.6
Tx	10.8	12	14.4	17.2	20.5	25.8	29.3	28.6	25.1	19.2	14	11.1	19
Tm	7.4	8	9.8	12	14.8	19.6	22.7	22.3	19.4	14.6	10.3	7.9	14.1
Tn	4	4.1	5.2	6.7	9.2	13.4	16.2	15.9	13.6	9.9	6.7	4.8	9.1
AbsTn	-5.2	-5	-3.8	-1.1	1.6	4.8	8.5	8.6	5.6	1.7	-1.2	-3.5	-5.8
dh	2.3	2.1	1.3	0.3	0	0	0	0	0	0	0.4	1.6	8
AbsTnm	-0.6	-0.7	0.1	1.7	4.2	7.9	11.6	11.4	8.7	5.1	2.1	0.1	4.3
etp	17.2	19.7	32.6	47.7	73.5	111.6	139.6	125.7	89	53.8	28	18.2	756.6

## Proyectados 2051-2080

Parámetro	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	año
P	35	30	32.3	33.9	29.6	25.3	22	22.2	25.4	30.9	35	34.1	355.7
Px24	13	12.1	11.4	10.6	9.6	11.4	8.4	9.6	10.3	11.2	11	12.1	15.8
dr	12	10.4	11.3	11.5	9.8	8.4	7.1	7.3	8.9	11.3	12.5	12.3	122.8
dn	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2
AbsTx	21.3	25.4	29.1	34.5	37.9	42.9	46	44	40.4	34.9	27.2	21.9	46.2
Tx	11.9	13.2	15.8	18.8	22.7	27.9	31.8	31.2	27.5	21.1	15.5	12.6	20.8
Tm	8.5	9.2	11.1	13.3	16.8	21.4	24.9	24.6	21.5	16.3	11.7	9.2	15.7
Tn	5	5.1	6.3	8	10.8	15	18	17.9	15.5	11.4	8	5.9	10.6
AbsTn	-4.5	-3.8	-2	0.4	2.4	6.2	9.8	9.9	7.4	3.1	0.1	-2.7	-5
dh	1.3	1.5	0.6	0.1	0	0	0	0	0	0	0.1	0.6	4.2
AbsTnm	0.5	0.4	1.3	2.9	5.3	9.5	13.1	13.3	10.5	6.6	3.5	1.5	5.7
etp	17	19.6	33.1	49.8	80.5	122.2	157	142.7	99.7	57.8	29.1	18.7	827.2

