



**Universidad**  
Zaragoza

# Trabajo Fin de Grado

El cambio climático en Aragón en el horizonte del  
año 2100

*Autor/es*

Jennifer Peligero Carvajal

*Director/es*

Jesús Beamonte San Agustín

Ciencias Ambientales  
Escuela Politécnica Superior de Huesca  
2015

# ÍNDICE

<b>1. OBJETIVOS</b> .....	<b>4</b>
<b>2. CAMBIOS CLIMÁTICOS</b> .....	<b>5</b>
2.1. Definición de clima y cambio climático .....	5
2.2. Evolución del concepto de cambio climático .....	5
2.3. Evolución histórica de los cambios climáticos naturales .....	6
2.4. Métodos de detección de los cambios climáticos .....	7
2.5. Causas de los cambios climáticos naturales .....	8
2.6. Últimos datos.....	9
<b>3. ¿QUÉ ES EL IPCC?</b> .....	<b>11</b>
3.1. IPCC.....	11
3.2. Forzamiento radiativo .....	11
3.3. Escenarios de emisiones.....	12
3.4. Tratamiento de las incertidumbres .....	19
<b>4. 4º INFORME DE EVALUACIÓN DEL IPCC</b> .....	<b>20</b>
4.1. Cambios observados en el clima y sus efectos .....	20
4.2. Causas del cambio .....	22
4.3. El cambio climático proyectado y sus impactos .....	25
4.4. Opciones de adaptación y mitigación.....	30
4.5. La perspectiva a largo plazo .....	31
4.6. Conclusiones sólidas, incertidumbres clave .....	32
<b>5. 5º INFORME DE EVALUACIÓN DEL IPCC</b> .....	<b>34</b>
5.1. Cambios observados en el Sistema Climático .....	34
5.2. Causantes del Cambio Climático .....	38
5.3. Comprensión del Sistema Climático y sus Cambios Recientes .....	39
5.4. Futuro del cambio climático global y regional.....	42
5.5. Adaptación y mitigación .....	48
<b>6. DIFERENCIAS ENTRE EL 4º INFORME DE EVALUACIÓN Y EL 5º INFORME DE EVALUACIÓN</b> .....	<b>52</b>
<b>7. REGIONALIZACIÓN DE LOS ESCENARIOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO</b> .....	<b>57</b>
7.1. Metodología basada en downscaling .....	57
7.2. Metodología basada en upscaling .....	58
<b>8. HISTÓRICO DE DATOS METEOROLÓGICOS DE ARAGÓN</b> .....	<b>59</b>
8.1. Datos extraídos de la Guía Resumida del Clima en España (1981-2010) de AEMET .....	59
<b>9. PROYECCIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO PREVISTO PARA ARAGÓN EN EL HORIZONTE DEL AÑO 2100</b> .....	<b>71</b>
9.1. Zonas climáticas consideradas .....	72
9.2. Temperatura máxima .....	73
9.3. Temperatura mínima.....	78
9.4. Precipitación .....	82
9.5. Resumen de los resultados (Aragón).....	86
9.6. Resumen de los resultados (Zonas) .....	89

<b>10. CONCLUSIONES</b> .....	<b>95</b>
10.1. Cambio climático mundial .....	95
10.2. Cambio climático en Aragón.....	95
<b>11. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>97</b>

# 1. OBJETIVOS

Los objetivos a alcanzar con el presente Trabajo Fin de Grado, han sido:

## **General:**

- Partiendo de las previsiones generales de cambio climático establecidas por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) en sus diferentes informes, especialmente en el Cuarto Informe de Evaluación (AR4) y en el Quinto Informe de Evaluación (AR5), proceder a un cambio de escala que permita intentar evaluar los efectos del cambio climático a nivel regional.

## **Específicos:**

- Detallar los diferentes escenarios de emisiones con los que trabaja el IPCC.
- Describir los cambios observados en el clima, los agentes causantes y las proyecciones elaboradas por el IPCC tanto en el AR4 como en el AR5.
- Realizar un análisis comparativo entre el AR4 (2007) y el AR5 (2014), para detectar los posibles cambios en las proyecciones o si se han confirmado en el AR5 las proyecciones a corto plazo del AR4.
- Describir los métodos para regionalizar los escenarios a escala global con los que trabaja el IPCC.
- Recopilar y analizar los datos históricos de temperatura y precipitación en las tres capitales aragonesas.
- Analizar la tendencia del cambio climático en Aragón durante el siglo XXI, a partir de los trabajos publicados por el Gobierno de Aragón.

## 2. CAMBIOS CLIMÁTICOS

### 2.1. DEFINICIÓN DE CLIMA Y CAMBIO CLIMÁTICO

El clima se puede definir según Hahn como “el conjunto de los fenómenos meteorológicos que caracterizan el estado medio de la atmósfera en un punto cualquiera de la Tierra” (Cuadrat y Pita, 2011), es decir, es una representación del tiempo atmosférico medio en base a ciertos valores estadísticos (medias, varianzas, frecuencias y probabilidades) de una serie de parámetros representativos (temperatura, presión, precipitación, viento, etc.) (Gobierno vasco, 2002) sobre una localidad o región dadas durante un periodo cronológico determinado que la Organización Meteorológica Mundial (OMM o WMO) establece en 30 años (Oroza, 2011).

Por otro lado, para el estudio del clima, el planeta se denomina “sistema climático”, el cual está formado por la atmósfera, la hidrosfera, la criosfera, la litosfera y la biosfera. De esta forma, cuando la energía solar llega a la Tierra, ésta se distribuye entre todos los subsistemas y se intercambia entre ellos, de tal manera que cada uno responde según su propia dinámica, lo que origina los diferentes climas existentes en el planeta. Así pues, el clima cambia porque el estado del sistema climático es imposible que sea inalterable (Oroza, 2011), sino que se mantiene en un equilibrio dinámico (Cuadrat y Pita, 2011).

Por ello mismo existen ciertas variabilidades climáticas, las cuales se conocen como cambios climáticos. El concepto de cambio climático ha ido variando con el tiempo, ya que durante la década de 1970 se consideraba como cambio climático a aquél que se daba a muy largo plazo (miles de años), posteriormente, en la década de 1980, se consideró como tal a las diferencias entre periodos promedio de 30 años. A partir de 1990, concretamente en 1992, tras la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), se entiende por cambio climático a aquel que puede ser inducido directa o indirectamente por la actividad humana, y que es superpuesta a la variabilidad natural (Oroza, 2011).

Han existido, por tanto, cambios climáticos en épocas pasadas y muy posiblemente volverá a haberlos en el futuro, lo que implica que la estabilidad de los climas tiene una validez limitada en el tiempo (Cuadrat y Pita, 2011).

### 2.2. EVOLUCIÓN DEL CONCEPTO DE CAMBIO CLIMÁTICO

Las concentraciones de los GEI en la atmósfera han variado a lo largo de la historia de la Tierra por causas naturales. Sin embargo, durante los mil años anteriores a la Revolución Industrial sus concentraciones fueron relativamente constantes. Pero tras ella, a mediados del siglo XVIII, las emisiones de GEI a la atmósfera han ido aumentando sin control debido fundamentalmente al uso de combustibles fósiles cuya combustión genera CO<sub>2</sub> que se emite a la atmósfera (Gobierno vasco, 2002).

Tal y como indica Oroza (2011), uno de los primeros que entendió el papel de la atmósfera fue Fourier, que a principios del siglo XIX introdujo la idea del efecto invernadero. Unos años más tarde Tindall identificó algunos de los gases atmosféricos responsables del mismo. Pero no fue hasta finales de dicho siglo cuando Arrhenius evaluó cómo los cambios de concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera podían alterar el clima. Calculó, muy acertadamente para la época, el efecto que tendría en la temperatura el duplicar la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera e indicó que sería de unos 5 o 6 °C.

Por otro lado, a mitad del siglo XIX, Croll planteó que el movimiento del Sol, la Luna y los planetas afectaban ligeramente al movimiento de la Tierra y que los cambios en la órbita e inclinación de su eje podrían ser la causa del inicio de una glaciación. Posteriormente, Milankovitch perfeccionó este

concepto y a día de hoy sus trabajos constituyen el punto de partida de la explicación de las glaciaciones.

A mediados de los años 70 del siglo XX, Budyko planteó un modelo muy simplificado para estudiar el balance de calor en la Tierra, que le permitió vislumbrar que podía haber diferentes estados de glaciación en la Tierra. Por otra parte, Sellers llegó aproximadamente a las mismas conclusiones y afirmó que el incremento de las actividades industriales podría conducir a un clima mucho más caluroso que el de la época.

A finales de la década de los 80, se realizaron experimentos de sondeo profundo en los hielos antárticos a partir de los cuales se pudo conocer la variación en la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera durante los últimos 160.000 años a través de las concentraciones del isótopo oxígeno 18 y su estrecha relación con la variación en la temperatura media del planeta, ya que a mayor concentración de dicho isótopo, mayor temperatura. Así, se calculó que la concentración de CO<sub>2</sub> al comienzo de la era industrial era del orden de 290 ppm y que nunca antes se habían registrado concentraciones superiores a los 300 ppm como ocurre en la actualidad (Gobierno vasco, 2002).

### 2.3. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CAMBIOS CLIMÁTICOS NATURALES

Como se ha dicho anteriormente, el clima de la Tierra ha ido variando continuamente desde la formación del planeta hace 4.600 millones de años, pasando periodos glaciares e interglaciares sucesivamente (conocidos como ice-house) y otros periodos carentes de glaciaciones (greenhouse). Aun así, según la paleoclimatología, la temperatura media del planeta no ha variado en más de 15°C (Martín, 1999).

Así pues, tal y como indican Cuadrat y Pita (2011) durante el **Precámbrico** (formado por los eones Arcaico y Proterozoico), y que se prolonga a lo largo de varios millones de años, se registran las primeras formas de vida en el planeta, y la predominancia de un clima cálido en toda la Tierra, aunque interrumpido por cuatro grandes glaciaciones (la primera del Arcaico al Proterozoico y las otras tres durante este último periodo).

En la **era Primaria o Paleozoico** los continentes actuales forman uno solo, Pangea, situado sobre el ecuador de forma simétrica y que se encuentra rodeado por un único océano, Panthalasa. Esta situación geológica, que se acompaña además de una gran eclosión y diversificación de la vida del planeta, se produce en un marco general de calor en toda la Tierra, sólo interrumpido por la existencia de dos periodos de ice-house con unas 40 glaciaciones, en las que tienen lugar periodos interglaciares que suponen una notable suavización del clima y que permiten un gran desarrollo de los bosques.

La **era Secundaria o Mesozoico** se caracteriza por el inicio de la fragmentación de Pangea, con la apertura del Océano Atlántico separando primero América del Norte de Europa y más adelante, América del Sur de África. Durante este periodo hay una ausencia de glaciaciones en el planeta (periodo de greenhouse), que goza en general de un clima cálido, de unos 20°C, con escasos cambios estacionales.

**Durante el Cenozoico**, concretamente en el **periodo Terciario**, se forman las grandes cordilleras actuales mediante la Orogenia Alpina. Por otro lado, la fragmentación de Pangea ya está culminada y la Tierra tiene una configuración similar a la actual. Estos cambios se acompañan de un enfriamiento gradual del clima, produciéndose además mayores cambios estacionales y una mayor diversidad de los climas, que da lugar a un crecimiento de la extensión de los hielos en la Antártida similar al actual.

Durante el **periodo Cuaternario**, que engloba los dos últimos millones de años, aparece el hombre y los continentes presentan su configuración actual. Además, se caracteriza por ser un periodo donde hay alternancia de glaciaciones de una duración aproximada de unos 100.000 años, interrumpidas por

periodos interglaciares de unos 10.000 años de duración, el último de los cuales es el que estamos viviendo en la actualidad.

En los últimos años de este periodo se han registrado, además, ciertas oscilaciones climáticas. Así, hace unos 6.000 años se produjo el Óptimo Climático del Holoceno, donde las temperaturas fueron 2 o 3 °C más altas que en la actualidad y supuso el desarrollo de las primeras grandes civilizaciones (Egipto y Mesopotamia). 500 años más tarde se produjo una etapa de enfriamiento, que acabaría hace 5.000 con un nuevo calentamiento que ocasionaría el máximo retroceso de los hielos y el mayor nivel del mar durante el Holoceno. Nuevamente, el clima volvió a enfriarse hace 3.500, lo que ocasionó la desaparición de las culturas de Oriente Medio debido a las hambrunas y las guerras. Tras este periodo, siguió un periodo cálido que coincidió con la duración del Imperio Romano, y que le siguió, a partir del siglo V, una época fría y seca (Pequeña Glaciación), para que de nuevo, en los siglos X y XI, subieran las temperaturas (Periodo Cálido Medieval). Por último, en los siglos XIII y XIV hubo un enfriamiento que perduró hasta el siglo XX y entre el que se encuentra la llamada Pequeña Edad de Hielo, donde la temperatura media fue uno o dos grados menos que en la actualidad y se debió a la ausencia de manchas solares en esos años (Martín, 1999).

Como ya se ha dicho, actualmente nos encontramos inmersos en un periodo interglaciar, la situación menos frecuente y más anómala de toda la historia geológica de la Tierra, lo cual hace pensar que, si el clima del planeta sigue comportándose como hasta ahora, esta situación no debe perdurar mucho, sobre todo si se tiene en cuenta que el interglaciar comenzó hace unos 10.000 años, los mismos años que tiene la duración media de estos periodos en el Cuaternario. Lo que resulta de más difícil pronóstico es la dirección del cambio, bien hacia una fase glacial, lo que continuaría la trayectoria habitual del Cuaternario, bien hacia la instauración de un nuevo periodo cálido, lo que supondría la finalización de las glaciaciones cuaternarias (Cuadrat y Pita, 2011).

## 2.4. MÉTODOS DE DETECCIÓN DE LOS CAMBIOS CLIMÁTICOS

Para conocer todos estos cambios acontecidos en el pasado es necesario conocer los datos climáticos pasados, pero los registros meteorológicos fiables se remontan sólo hasta mediados del siglo XIX. Es por ello que la paleoclimatología, mediante medidas indirectas de los cambios atmosféricos que han quedado reflejados en la naturaleza, es capaz de ofrecer estimaciones del clima pasado a largo plazo. Algunas técnicas utilizadas por la paleoclimatología son (Rohli y Vega, 2008):

- **Fechado radiométrico:** consiste en determinar la edad de una muestra a partir de la rapidez con la que se produce la desintegración nuclear de ciertos isótopos. Así, sabiendo la vida media de cada uno se puede saber el tiempo que transcurrió desde que se formó dicho material dependiendo de la cantidad que quede en la muestra. Algunos de estos isótopos son el uranio-238 con una vida media de 4.460 millones de años, el potasio-40 con una vida media de 1.300 millones de años, y el carbono-14 con una vida media de 5.730 años.
- **Evidencias litosféricas:** permite estimar la edad de las muestras que se encuentren dentro de las rocas sedimentarias atendiendo al principio de superposición, en el que las muestras más antiguas son las que están en los niveles inferiores.
- **Evidencias criosféricas:** a través de las evidencias dejadas por los glaciares en el pasado se puede conocer el clima que hubo. Además las actuales masas de hielo también permiten hacer esta estimación a través de las perforaciones de los hielos perpetuos, ya que en él quedaron atrapadas las burbujas de aire con la composición atmosférica de aquel momento.
- **Evidencias biológicas:** las rocas con fósiles permiten conocer las condiciones climáticas de hasta hace 500.000 años. Por ejemplo se utilizan el polen y las esporas, ya que son resistentes al paso del

tiempo y revelan el tipo de vegetación que existía, otro caso serían los anillos de crecimiento anual de los árboles, pudiéndose remontar a cientos o miles de años.

- **Datos históricos:** son todos aquellos informes escritos tales como periódicos, cuadernos de bitácora, diarios, etc, que dan información acerca del clima, aunque de una forma un tanto subjetiva y son menos abundantes conforme nos alejamos de la época actual (Cuadrat y Pita, 2011).

No obstante, también según Cuadrat y Pita (2011) el análisis climático del pasado presenta una serie de problemas:

- **Escasa abundancia:** se consideran buenos indicativos únicamente a aquellos restos (rocas o fósiles) que tienen una dependencia estrecha con el clima, no así los que tienen una amplia tolerancia ambiental.
- **Movimientos epirogénicos:** pudieron alterar la altitud de un lugar varios miles de metros, por lo que habría una modificación climática del mismo.
- **Deriva continental y expansión de los océanos:** supusieron variaciones latitudinales importantes en el emplazamiento de algunos lugares y se produjeron en consecuencia modificaciones climáticas.
- **Actualismo:** se basa en que se asume que las especies de seres vivos empleadas en la paleoclimatología necesitaron en el pasado las mismas condiciones climáticas que las actuales. Pero en realidad no se puede asegurar que las relaciones ecológicas actuales estuvieron vigentes en el pasado.

A pesar de todo, las estimaciones paleoclimáticas son muy fiables, ya que suele haber una alta coincidencia entre los resultados procedentes de métodos distintos (Cuadrat y Pita, 2011).

## 2.5. CAUSAS DE LOS CAMBIOS CLIMÁTICOS NATURALES

Por otro lado, dichos cambios climáticos acontecidos a lo largo de la historia del planeta se han debido a varios factores de origen natural. Éstos pueden ser de dos tipos:

### 2.5.1. VARIABLES EXTERNAS AL SISTEMA

- **Tasa de emisión de la radiación solar:** la cantidad de energía emitida por el Sol varía según un ciclo de aproximadamente once años, que se debe a la variación de la cantidad de manchas solares. De esta forma, cuantas más manchas aparezcan, mayor actividad solar, y por tanto, mayor radiación llega a la Tierra (Cuadrat y Pita, 2011).
- **Ciclos de Milankovitch:** existen ciertos ciclos de la Tierra que afectan a sus caracteres orbitales atendiendo a tres parámetros distintos:
  - **Excentricidad de la órbita:** que pasa de ser casi circular a adoptar una forma elíptica (Cuadrat y Pita, 2011) en ciclos de unos 100.000 años, lo cual se debe a la influencia gravitatoria de otros cuerpos celestes (Rohli y Vega, 2008). Estos cambios afectan a la redistribución del calor sobre la Tierra, así, cuando la órbita es circular la redistribución de calor a lo largo del año es más uniforme (Cuadrat y Pita, 2011).
  - **Inclinación del eje de la Tierra:** que oscila entre 21,6° y 24,5° en ciclos de unos 40.000 años. De esta forma cuanto mayor sea la inclinación, más extremas son las estaciones (Rohli y Vega, 2008).
  - **Precesión de los equinoccios:** se debe a la modificación relativa de los solsticios y equinoccios respecto al afelio (distancia más lejana entre la Tierra y el Sol) y perihelio (distancia más cercana entre la Tierra y el Sol) en ciclos de unos 26.000 años (Cuadrat y Pita, 2011).



Cabe citar que el origen del periodo interglaciar actual se produjo cuando la órbita era más circular que la actual, la inclinación del eje de la Tierra era máxima y el perihelio coincidía con el verano del Hemisferio Norte. Actualmente todos estos factores son menos favorables, ya que la órbita es elíptica, la inclinación del eje de la Tierra disminuye y el perihelio coincide con el invierno en el Hemisferio Norte (Cuadrat y Pita, 2011).

## 2.5.2. VARIABLES INTERNAS AL SISTEMA

Según Cuadrat y Pita (2011) existen distintas variables internas al sistema:

- **Composición atmosférica:** la atmósfera es el primer filtro que condiciona el balance energético del sistema de la Tierra, por lo que una variación de sus componentes puede alterar este balance y propiciar cambios climáticos significativos. Existen varias causas naturales (además de las causas antrópicas):
  - **La actividad solar:** es capaz de proteger a la atmósfera de los rayos cósmicos procedentes del exterior del sistema solar. Así, en las fases de alta actividad solar, el sistema terrestre es protegido de dichos rayos, pero en las fases de baja actividad, la atmósfera queda abierta a su presencia y a su capacidad refrigerante.
  - **El magnetismo terrestre:** el cual no es fijo sino que varía en intensidad y dirección de manera cíclica. Se ha observado que durante las inversiones geomagnéticas ocurre un enfriamiento de la Tierra debido a que éste tiene la capacidad de protegerla de los rayos cósmicos.
  - **Las erupciones volcánicas:** que inyectan a la atmósfera grandes cantidades de partículas y gases. Cuando son poco violentas, las partículas sólidas (aerosoles) quedan retenidas en la troposfera y son eliminadas en poco tiempo por la fuerza de la gravedad o las precipitaciones y su efecto climático es reducido. Sin embargo, cuando son más violentas, quedan retenidos en la estratosfera y pueden permanecer en ella varios años, enfriando la superficie terrestre.
- **Naturaleza de la superficie terrestre:** interviene en el clima tanto por la cantidad de radiación que es absorbida por la superficie como por la cantidad que se pierde. Por ejemplo, el hielo tiene un alto albedo, lo que la convierte en una de las superficies con mayor capacidad de intervención en el balance energético.
- **Circulaciones atmosférica y oceánica:** son las responsables del traspaso de calor de las latitudes bajas a las altas, por lo que un cambio en su dirección e intensidad podrían alterar el actual equilibrio térmico latitudinal. Dichos cambios en la circulación atmosférica se deben a las propias variaciones climáticas, mientras que la circulación oceánica depende del clima y de la configuración de los continentes.
- **Deriva continental:** el movimiento de las placas tectónicas origina que el clima esté condicionado a la posición en la que se encuentre el continente respecto a los polos. Además como ya se ha mencionado en el punto anterior, la posición de los continentes modifica la circulación oceánica.

## 2.6. ÚLTIMOS DATOS

Como se verá más adelante en el propio análisis de este trabajo, es evidente que la actividad antrópica está acelerando el cambio climático y así ha quedado reflejado en las temperaturas registradas en los últimos años. De esta forma, según el AR4, de los 12 años más calurosos desde que existen registros hasta 2006, 10 corresponden a los últimos años del siglo XX y todos los del siglo XXI hasta entonces. Según Oroza (2011), los años más calurosos ordenados atendiendo a dicho incremento de la temperatura media son: 1998, 2005, 2003, 2002, 2004, 2006, 2001, 1997, 1995, 1999, 1990 y 2000.

Pero si nos acercamos hasta nuestros días, 2013 fue considerado por la Organización Meteorológica Mundial como “uno de los diez años más cálidos de los que se tiene registro”. Así, junto con 2007 fue el

sexto más cálido, con una temperatura media mundial 0,5°C superior a la media de 1961-1990 y 0,03°C a la media decenal de 2001-2010. De esta forma, trece de los catorce años más cálidos se registran en el siglo XXI, con los años 2010 y 2005 al frente (OMM, 2014b).

Por último según la OMM (2015), 2014 ha pasado a ser el año más cálido jamás registrado, y en el cual se ha presentado un calor oceánico sin precedentes, temperaturas de la superficie terrestre elevadas y fuertes inundaciones. Por lo que, a día de hoy, se han dado en el presente siglo catorce de los quince años más calurosos desde que se tiene registro.

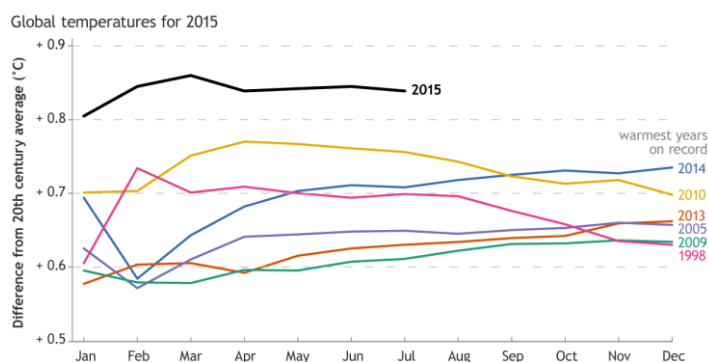
Además, estas evidencias acontecidas en el 2014 se explican por el aumento de la concentración de GEI en la atmósfera, y además el calentamiento del océano se está incrementando y está llegando a profundidades más bajas, lo cual tendrá repercusiones en el futuro.

Así pues, algunos de los aspectos que destaca la Declaración de la OMM sobre el estado del clima actual en 2014 es la temperatura, de la que afirma que el año pasado la temperatura media mundial fue 0,57°C mayor a la media del periodo 1961-1990, lo que lo convertiría en el año más cálido registrado, y también lo sería en la mayoría de países (a excepción de extensas zonas de Estados Unidos y Canadá). Además la temperatura oceánica también se incrementó a nivel mundial, sobre todo en el Hemisferio Norte.

En cuanto a la precipitación, cabe destacar que se han producido varias sequias muy severas en el sureste de EUA, noreste de China, oeste de Brasil y algunos países de América Central, e inundaciones en la península de los Balcanes, así como lluvias intensas en el sur de Asia, África y zonas de Sudamérica, lo que indica que ha habido una elevada incidencia de inundaciones debida a una aceleración del ciclo hidrológico como consecuencia de la energía atrapada en la atmósfera por los GEI.

También destaca la reducción de la extensión de hielo, que según el Centro Nacional de Datos sobre Nieve y Hielos de Estados Unidos de América (2014), llegó a abarcar 5,02 millones de km<sup>2</sup>, la sexta más reducida de todos los datos registrados. Además, en verano el manto de hielo de Groenlandia se redujo en una cifra mayor a la media del periodo 1981-2010 y a su vez, la nieve y el hielo fueron más oscuros que en 2013, lo que propició un albedo más débil, que hizo que aumentara su fusión. Como excepción, cabe mencionar, que el hielo marino de la Antártida se mantuvo en niveles máximos sin precedentes alcanzando una extensión record por tercer año consecutivo. También es de reseñar que se registraron un número menor de ciclones tropicales (78) que en el año 2013 (94) e inferior a la media del periodo 1981-2010 (89).

Por último, en septiembre de 2015, la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) ha emitido un comunicado en el que se afirma que, con un 97% de probabilidades, el año 2015 va a ser el más cálido a nivel global desde que se tienen registros (Arguez, Applequist, Kruk, Squires y Vose, 2015).



**Gráfico 1.** Temperaturas mensuales de 2015 hasta la fecha en comparación con el promedio del siglo XX (línea de color negro). Fuente: (Arguez *et al.*, 2015).

## 3. ¿QUÉ ES EL IPCC?

### 3.1. IPCC

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) es el principal organismo internacional encargado de la evaluación del cambio climático. Fue establecido conjuntamente por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM) en 1988 con la finalidad de analizar la información científica necesaria para abordar el problema del cambio climático y evaluar sus consecuencias medioambientales y socioeconómicas, y de formular estrategias de respuesta realistas (IPCC, 2013a).

De esta forma, el IPCC es un organismo científico que, bajo los pronósticos de las Naciones Unidas (ONU), revisa y evalúa la información científica, técnica y socio-económica más reciente de todo el mundo para una mejor comprensión del cambio climático (IPCC, 2015).

El IPCC está formado por centenares de científicos de todo el mundo que contribuyen a la labor de forma voluntaria (IPCC, 2013a) y cuya revisión es una parte esencial del proceso del IPCC, para asegurar una evaluación objetiva y completa de la información actual de tal forma que queden reflejados distintos puntos de vista (IPCC, 2015).

Además, el IPCC es un organismo intergubernamental, por lo que está abierto a todos los países miembros de las Naciones Unidas (ONU) y la OMM. Actualmente 195 países son miembros del IPCC, cuyos gobiernos participan en el proceso de revisión y las sesiones plenarias (IPCC, 2013a). Al aprobar los informes del IPCC, los gobiernos reconocen la autoridad de su contenido científico (IPCC, 2015).

Desde su establecimiento, las evaluaciones del IPCC, publicadas en varios volúmenes, han desempeñado un papel primordial ayudando a los gobiernos a adoptar y aplicar políticas de respuesta al cambio climático, y particularmente en respuesta a las necesidades de asesoramiento fidedigno de la Conferencia de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC), constituida en 1992, y del Protocolo de Kyoto de 1997 (IPCC, 2007).

Algunos de estos informes que ha publicado el IPCC son los informes de evaluación (1990, 1995, 2001, 2007 y 2013), Informes Especiales, Documentos Técnicos y Guías Metodológicas, ampliamente utilizadas por responsables de políticas, científicos, y otros expertos (IPCC, 2000).

### 3.2. FORZAMIENTO RADIATIVO

El sistema climático está influenciado por diferentes tipos de perturbaciones, tales como los cambios en la cantidad de radiación solar entrante, la composición de la atmósfera, la topografía de la superficie, etc. Con el fin de comparar la magnitud de estas perturbaciones y evaluar su efecto en el clima se analiza su impacto en el balance radiativo de la Tierra a través del forzamiento radiativo (FR) (Goosse, Barriat, Lefebvre, Loutre y Zunz, 2010).

Por tanto, el FR se define como el cambio neto en el balance radiativo de la Tierra causado por una perturbación (Goosse *et al.*, 2010), dicho cambio es, la diferencia de insolación absorbida por la Tierra y la energía irradiada de nuevo al espacio, que es medido en la tropopausa y se expresa en vatios por metro cuadrado ( $W/m^2$ ) de superficie de la Tierra. Es importante mencionar que el FR puede ser positivo (entra más energía de la que sale y por tanto, calienta el sistema) o negativo (entra menos energía de la que sale en el sistema y por lo tanto, se enfría), lo cual convierte a este índice en un importante mecanismo para conocer mejor un potencial cambio climático (IPCC, 2007).

Así pues, esta diferencia en el balance se debe a que cuando hay una modificación al alza o a la baja de los flujos radiativos, las temperaturas estratosféricas deben alcanzar un nuevo equilibrio radiativo mientras que la superficie y las temperaturas troposféricas se mantienen imperturbables. La razón que permite dichos cambios en la temperatura estratosférica es el rápido ajuste de la estratosfera a la perturbación frente a la de la troposfera. El forzamiento en la tropopausa, por tanto, representa la influencia de la perturbación en más de un año. Así pues, el forzamiento radiativo se asocia a una perturbación dada a una media anual y global y el interés de esta medida es dependiente de la naturaleza de la perturbación (Goosse *et al.*, 2010).

El FR se puede estimar de diversas formas según el componente al que se haga referencia. Es decir, en el caso de la radiación solar, el FR simplemente es el cambio en la cantidad promedio de energía absorbida por metro cuadrado de superficie de la Tierra. Pero en el caso de un GEI es necesario realizar una serie de cálculos en función del cambio de sus concentraciones (Wikipedia, 2015).

### 3.3. ESCENARIOS DE EMISIONES

Los escenarios de emisiones son representaciones de las futuras emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), de aerosoles y otros contaminantes en la atmósfera (OMM, 2014a) basándose en datos e información presentes en estudios publicados y en un proceso abierto, de tal forma que su finalidad es la de poder analizar el cambio climático y crear modelos climáticos con los que evaluar los posibles impactos, así como las opciones existentes de adaptación y mitigación (IPCC, 2000).

Debido a la elevada incertidumbre de los niveles de emisión futuros, estos escenarios han de cubrir todo el rango de posibilidades que puedan tener lugar en el futuro (OMM, 2014a). Por ello mismo ningún escenario proporciona una mejor respuesta frente a los demás ni existe una probabilidad determinada de que la proyección de cierto escenario pueda cumplirse. Por tanto, para predecir un posible clima futuro (en el siglo XXI o más allá) es necesario estimar los cambios futuros del forzamiento externo a través de los escenarios (Goosse *et al.*, 2010).

Se han propuesto varios tipos de escenarios en los últimos años. En el Informe de Evaluación de 2007 (AR4) las proyecciones estaban basadas en el Informe Especial de Escenarios de Emisiones (SRES), que cubrían por completo el siglo XXI y cuyas fuerzas determinantes eran las emisiones ligadas al desarrollo social, demográfico y económico, lo que implica estimaciones del crecimiento demográfico, futuros niveles de actividad económica, etc (Goosse *et al.*, 2010).

En el Informe de Evaluación de 2013 (AR5) hay una ligera diferencia. Existen cuatro Trayectorias Representativas de Concentración (RCPs) que cubren todo el rango de futuros cambios en el forzamiento radiativo. Las emisiones de GEI correspondientes a estos cuatro RCPs vienen dados por la modelización climática, por lo que pueden llevar a cabo las proyecciones climáticas. Además hay escenarios socioeconómicos compatibles con estos RCPs, dando diferentes alternativas socioeconómicas a un mismo escenario RCP. Las proyecciones del modelo climático pueden ser usadas en los escenarios socioeconómicos, lo que permite evaluar el impacto del cambio climático en la sociedad. Otra ventaja de estos nuevos escenarios es que incluyen tanto detalles a corto plazo (2035) como estimaciones hasta 2300, además de estimaciones en el horizonte del año 2100 proporcionadas por los escenarios SRES (Goosse *et al.*, 2010).

### 3.2.1. SRES

Según el IPCC (2000), en el AR4, para describir las relaciones entre las fuerzas determinantes de las emisiones y para poder cuantificar los escenarios, se desarrollan cuatro líneas evolutivas en las que cada una de ellas representa un cambio, bien sea demográfico, socioeconómico, tecnológico o medioambiental.

Los escenarios abarcan un gran número de las principales fuerzas determinantes demográficas, económicas y tecnológicas de las emisiones antropogénicas de GEI, que incluyen el CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFC, PFC, SF<sub>6</sub>, HCFC, CFC, SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> y COVDM. Así, cada escenario representa una interpretación cuantitativa específica de cada una de las cuatro líneas evolutivas, y el conjunto de escenarios basados en una misma línea evolutiva se denomina “familia de escenarios”.

Para cada línea evolutiva se desarrollaron varios escenarios basados en diferentes planteamientos de los modelos con el fin de examinar todos los posibles resultados basados en unos supuestos similares sobre los factores determinantes.

Se utilizan 6 modelos representativos, los cuales abarcan un total de 40 escenarios diferentes, lo que permite abarcar todos los valores de incertidumbre de los GEI de los modelos. De estos 40 escenarios, en 13 se exploran las distintas variaciones de los supuestos relativos a las tecnologías de la energía.

Dentro de cada familia se han desarrollado dos clases principales de escenarios:

- **Basados en supuestos armonizados:** son 26 escenarios con supuestos comunes de la población mundial, el crecimiento económico y el uso final de la energía, y no son independientes entre sí.
- **Basados en una cuantificación alternativa de la línea evolutiva:** son 14 escenarios que exploran las incertidumbres adicionales de los escenarios y están relacionadas entre sí dentro de cada familia, aun cuando no compartan supuestos comunes con respecto a algunas fuerzas determinantes.

Hay 6 grupos de escenarios que abarcan diversos valores de incertidumbre y que abarcan 4 combinaciones de cambios demográficos y de evoluciones sociales y económicas y tecnológicas, que son correspondientes a las cuatro familias (A1, A2, B1 y B2), cada una de ellas acompañadas de un escenario de referencia (ilustrativo). Además, dos de los grupos de la familia A1 (A1FI, A1T) estudian las evoluciones alternativas de las tecnologías de la energía manteniendo constantes las demás fuerzas determinantes.

Existe un escenario de referencia para cada uno de los cuatro grupos de escenarios, basándose en sus líneas evolutivas. La elección de dichos escenarios se basa en que sea aquel que mejor refleje la línea evolutiva que le corresponde, pero eso no significa que sean más probables que otros escenarios. Además se eligieron otros dos escenarios ilustrativos de los otros dos grupos de escenarios, quedando en el presente informe con un escenario ilustrativo por cada uno de los seis grupos de escenarios.

## Principales características de las cuatro líneas evolutivas y familias de escenarios

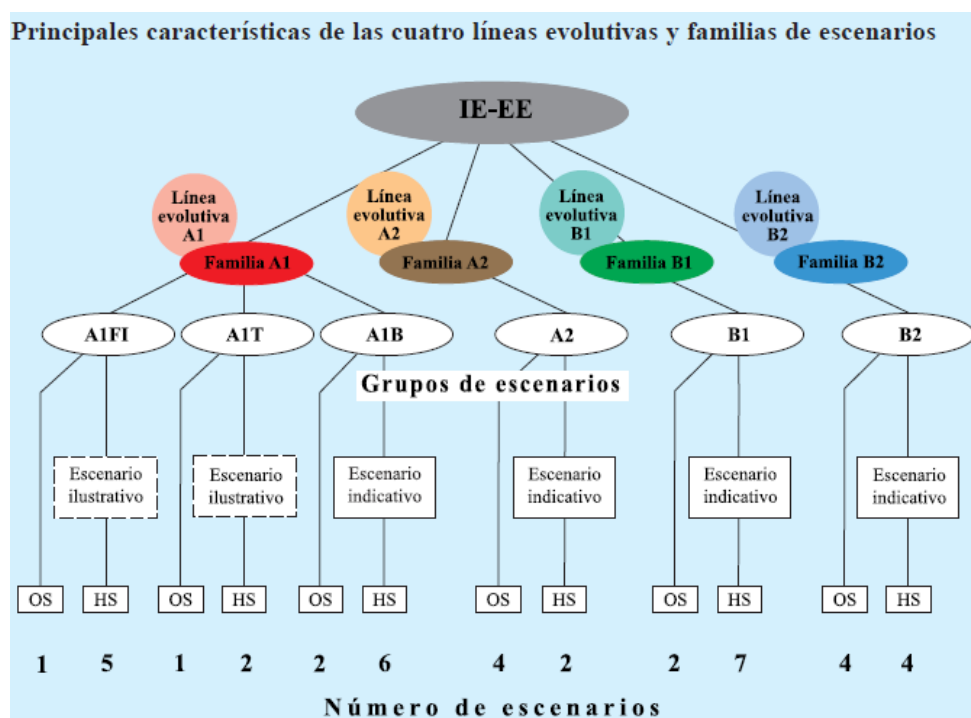


Figura 1. Ilustración esquemática de los escenarios SRES.

Las cuatro líneas evolutivas proporcionan cuatro conjuntos de escenarios (familias), que son A1, A2, B1 y B2, y que en el caso de la familia A1 se divide en tres grupos de escenarios (A1FI, A1B y A1T) dependiendo del desarrollo alternativo de las tecnologías de energía, y dicho conjunto está formado por un total de 40 escenarios.

Algunos de esos 40 escenarios comparten supuestos armonizados con otros de su familia y grupo acerca de la población mundial, el producto interior bruto y la energía final. Así pues los escenarios marcados como "HS" son los escenarios armonizados, mientras que los denominados "OS" son aquellos que exploran incertidumbres asociadas a las fuerzas determinantes más allá de los escenarios armonizados. Además, para cada uno de los seis grupos de escenarios hay un escenario ilustrativo, que siempre será armonizado.

Cada familia se basa en una dirección distinta de los acontecimientos previstos para el año 2100, por lo que describen futuros divergentes que cubren buena parte de las incertidumbres de las fuerzas determinantes. Dichas líneas evolutivas o familias son:

- **A1:** describe un mundo con un rápido crecimiento económico y demográfico, alcanzando éste último su máximo a mediados de siglo para disminuir posteriormente, y una rápida introducción de nuevas y eficientes tecnologías, así como una convergencia entre regiones y el aumento de las interacciones culturales y sociales. Se divide a su vez en tres grupos según la tecnología empleada:
  - A1FI: utilización intensiva de combustibles de origen fósil
  - A1T: utilización de fuentes de energía de origen no fósil
  - A1B: utilización equilibrada de todo tipo de fuentes
- **A2:** describe un mundo muy heterogéneo donde destaca la autosuficiencia y la conservación de las identidades locales además del continuo crecimiento de la población. El desarrollo económico está orientado a las regiones, y el cambio tecnológico y el crecimiento económico por habitante son más lentos que los de otras líneas evolutivas.

- **B1:** describe un mundo convergente con una población mundial que alcanza su máximo hacia mediados de siglo y que posteriormente desciende, y con una estructura económica orientada a la economía de servicios e información. Se caracteriza por el uso de tecnologías limpias con un mayor aprovechamiento de los recursos y se da una mayor importancia a las soluciones de orden mundial encaminadas al desarrollo sostenible, así como una mayor igualdad.
- **B2:** describe un mundo en el que predominan las soluciones locales al desarrollo sostenible y donde la población aumenta progresivamente a un ritmo menor que en A2, con unos niveles de desarrollo económico intermedios y un cambio tecnológico más lento y diverso que en A1 y B1. Se centra en los niveles locales y regionales de la protección del medio ambiente y la igualdad social.

Ninguna de estas líneas evolutivas involucra iniciativas climáticas concretas o reglamentos relacionados con el clima, aunque las decisiones políticas incluidas en los escenarios pueden tener un impacto sustancial en las emisiones de GEI y aerosoles.

Atendiendo a las fuerzas determinantes de las que dependen estos escenarios, estas son el cambio demográfico, el desarrollo social y económico, y la rapidez y dirección del cambio tecnológico.

- **Cambio demográfico:** se han tomado tres trayectorias de población distintas:
  - A1 y B1: representan la trayectoria más baja, que aumenta hasta los 8.700 millones de aquí a 2050 y disminuye hasta 7.000 millones en los 50 años siguientes debido a una baja fertilidad y mortalidad.
  - B2: está proyectado que la población alcance los 10.400 millones en el año 2100.
  - A2: está proyectado que la población sufra un crecimiento muy elevado alcanzando en 2100 los 15.000 millones, debido a una disminución de la fertilidad en la mayoría de las regiones, seguido de una estabilización en niveles superiores a los de crecimiento vegetativo.
- **Economía:** todos los escenarios describen un futuro próspero llegando a superar en 10 veces el PIB actual en 2100 en el escenario más modesto y hasta 26 veces el más optimista. Además en los escenarios A1 y B1 se exploran trayectorias que reducen las diferencias económicas entre las distintas regiones del mundo
- **Tecnología:** debido a la existencia de incertidumbres sobre el futuro del combustible de origen fósil y el cambio tecnológico, los escenarios abarcan todas las direcciones de cambio posibles.
- **Extensión forestal:** en la mayoría de los escenarios la extensión forestal mundial sigue disminuyendo debido al aumento de la población y de los ingresos, pero esta tendencia terminan invirtiéndose en la mayoría de los escenarios, sobre todo en las familias B1 y B2. Estos cambios pueden darse por la variación en la demanda de alimentos, así como por otros factores que afecten a las tierras agrícolas y bosques.

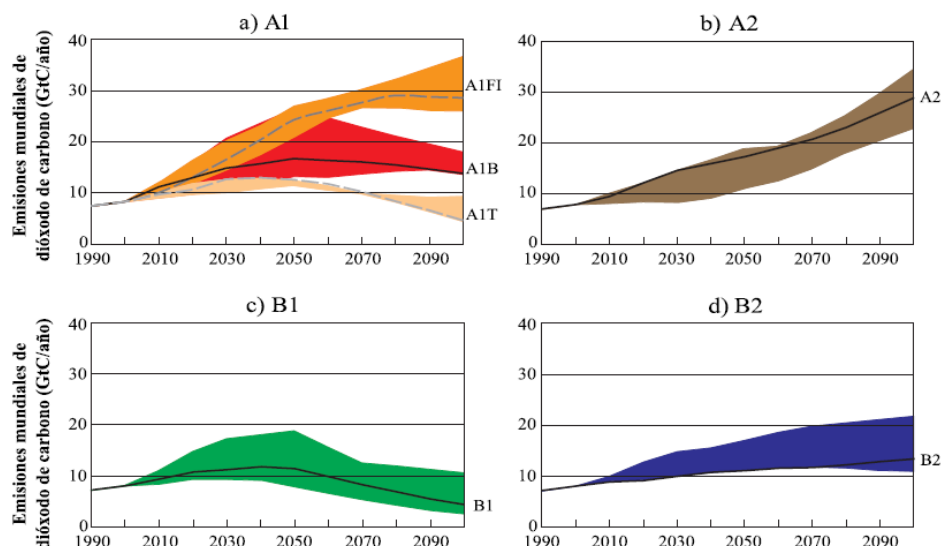
Estas fuerzas determinantes no solo influyen en las emisiones de CO<sub>2</sub>, sino también en las de otros gases de efecto invernadero, pero dichas relaciones suelen ser más complejas.

Los escenarios abarcan la mayor parte de los valores de las emisiones de CO<sub>2</sub>, de otros GEI y de azufre donde los seis grupos de escenarios abarcan valores de emisiones muy diversificados y que se amplían con el paso del tiempo en el caso de los GEI, siendo a partir del 2050 cuando se ensancha más por las diferentes tendencias de desarrollo socioeconómico.

En muchos escenarios las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de la pérdida de bosques alcanzan un máximo al cabo de varios decenios y disminuye progresivamente debido a una disminución del crecimiento de población y a un aumento de la productividad agrícola y mayor escasez de tierras boscosas. Esto queda patente sobre todo en la familia B1, y solo en la familia A2 hay un aumento de las emisiones de CO<sub>2</sub> por el cambio de uso de tierra hasta 2100.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> vinculadas con el cambio de uso de tierra abarcan una mayor diversidad en la familia A1 y dicha diversidad aumenta debido a un elevado crecimiento económico, mayor diversidad de alternativas, las diferentes metodologías de modelización y la forma en que se tratan estas tecnologías.

Las emisiones acumulativas totales de carbono emitidas hasta 2100 son de entre 770 a 2540 GtC.



**Figura 2.** Emisiones anuales totales de CO<sub>2</sub> provenientes de todas las fuentes (energía, industria y cambio del uso de la tierra) entre 1990-2100 para las familias y los seis grupos de escenarios. Los 40 escenarios aparecen clasificados según familias (A1, A2, B1 y B2). Cada franja de emisiones coloreada indica los escenarios armonizados y no armonizados de cada grupo. Se ofrece un escenario ilustrativo para cada uno de los seis grupos de escenarios en líneas de trazo continuo, o discontinuo en el caso de A1FI y A1T.

Las emisiones antropogénicas de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O abarcan un amplio intervalo de valores hasta 2100 y en varios escenarios, las emisiones de estos gases decaen a partir de 2050. Dichas emisiones incluyen las provenientes del uso de la tierra, los sistemas de energía, la industria y la gestión de desechos. Las emisiones provenientes del uso de la tierra están limitadas en las familias A1 y B1 por un menor crecimiento de la población y su disminución y por un aumento de la productividad agraria, de esta forma las emisiones alcanzan un máximo y posteriormente decaen. En la familia B2 las emisiones siguen aumentando, aunque muy lentamente. En la familia A2 hay un crecimiento rápido y continuo de las emisiones debido al rápido crecimiento de la población y de la productividad agraria.

En el caso de las emisiones de HFCs, a pesar de la presencia de sustitutivos, en las familias A1 y B1 aumentan rápidamente en la segunda mitad de siglo, mientras que en las familias A2 y B2 el crecimiento de las emisiones se atenúa o se invierte en ese periodo.

Las emisiones de azufre, debido a la legislación de control de emisiones del mismo en varios países del mundo, permite que haya variaciones según los escenarios y las regiones. Está previsto que después de aumentar, las emisiones de azufre durante los próximos dos o tres decenios, disminuyan.

Hay que citar que evoluciones socioeconómicas diferentes pueden dar emisiones futuras de GEI muy similares y evoluciones similares de distintas fuerzas determinantes pueden dar lugar a emisiones futuras de GEI diferentes. Es importante tener en cuenta que los ingresos regionales por habitante pueden dar un aumento o disminución de las emisiones de GEI, pero hay que tener en cuenta otras fuerzas determinantes que influyen más en las emisiones de GEI.



### 3.2.2. RCPs

Tal y como indica Bjørnæs (2013), para la elaboración del AR5 se desarrolló un nuevo enfoque para la creación y uso de los escenarios del cambio climático. Dicho enfoque fue propiciado por la creciente necesidad e interés por parte de las responsabilidades políticas en lo relativo a los distintos objetivos a lograr en el ámbito del cambio climático, así como la “gestión de riesgo” combinada con la reducción de emisiones y la adaptación al cambio climático. Por otro lado, los avances científicos exigían de unos nuevos escenarios, ya que desde el AR4 ha habido mejoras en los modelos climáticos, haciéndolos más detallados.

De esta forma, este nuevo enfoque está basado en las Trayectorias Representativas de Concentración (RCP), las cuales dependen de las trayectorias de las concentraciones de GEI y de los contaminantes resultantes de las actividades humanas, además del uso del suelo. Así, los RCP proporcionan una descripción cuantitativa de dichas concentraciones en la atmósfera a lo largo del tiempo, así como su forzamiento radiativo en 2100.

La principal diferencia entre estos nuevos escenarios y los SRES radica en que los RCPs no utilizan supuestos relacionados con el crecimiento demográfico, el desarrollo económico o el tecnológico. Esto lleva a que haya diversos futuros socioeconómicos posibles que conduzcan a un mismo nivel de FR y, por tanto, permite a los investigadores que puedan escoger, por ejemplo, un escenario RCP que sea compatible con el objetivo de 2°C y evaluar distintas opciones tecnológicas y políticas para lograr que las emisiones sean consistentes con la trayectoria y el objetivo mencionado.

Otra diferencia importante es que los RCP proporcionan información en cuadrícula con una resolución de 60km, lo que aporta información espacial y temporal sobre la ubicación de las distintas emisiones y el cambio de uso de la tierra y, por tanto, es una mejora importante a nivel regional así como por el hecho de que se puede conocer mejor la ubicación de aquellas emisiones que afectan al calentamiento global.

Así pues, las proyecciones se basan en escenarios RCP seleccionados por cuatro grupos de trabajo de modelos integrados en la modelización de evaluación integrada, en la climática y modelización y análisis de impactos. Como ya se ha mencionado, son conjuntos de proyecciones de únicamente los componentes de forzamiento radiativo que sirven de insumo en la modelización climática, cuyo proceso comienza con trayectorias del FR, pero no incluye detalladamente aspectos socioeconómicos o escenarios. Como ya se ha citado, hay cuatro RCP, denominados de acuerdo al FR total en 2100 (OMM, 2014a).

	Descripción
RCP8.5	Considera un continuo aumento del forzamiento radiativo durante el siglo XXI, conduciendo a un valor de aproximadamente 8,5 W/m <sup>2</sup> (≈1370 ppm CO <sub>2</sub> -eq) en 2100
RCP6.0	Considera un aumento constante durante el siglo XXI con un forzamiento radiativo de 6 W/m <sup>2</sup> (≈850 ppm CO <sub>2</sub> -eq) y una posterior estabilización después de 2100.
RCP4.5	Considera un aumento constante durante el siglo XXI con un forzamiento radiativo de 4,5 W/m <sup>2</sup> (≈650 ppm CO <sub>2</sub> -eq) y una posterior estabilización después de 2100.
RCP2.6	El forzamiento radiativo tiene su pico máximo antes de 2100 en unos 2,6 W/m <sup>2</sup> y posteriormente desciende.

**Tabla 1.** Descripción general de los RCPs. Fuente: van Vuuren *et al.*, 2011.

Según Goosse *et al.* (2010), el CO<sub>2</sub> continúa siendo el mayor contribuyente al forzamiento radiativo, por lo que las series temporales de CO<sub>2</sub> atmosférico tienen la misma forma que las series temporales para el forzamiento radiativo.

El RCP también incluye estimaciones de las emisiones de un importante número de GEI y contaminantes atmosféricos tales como CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CFCs, SO<sub>2</sub>, *black carbon* (componente del material particulado fino (PM ≤ 2,5 micras de diámetro aerodinámico) y que se compone de carbono puro originado por la combustión incompleta de combustibles fósiles, biocombustibles y biomasa, y que se emite como hollín antropogénico o natural (Anenberg, S.C. *et al.*, 2012)), así como estimaciones de futuros cambios en el uso de la tierra. Cabe citar que en todos los RCPs las emisiones de SO<sub>2</sub> descienden de una forma aún mayor que en los SRES.

Los RCP se han ampliado hasta 2300 e incluso 2500 para estudios del cambio climático a largo plazo. Debido a sus grandes incertidumbres sólo son suposiciones, sin embargo proporcionan un rango razonable de posibles cambios futuros. En este sentido, se considera que tanto RCP4.5 y RCP6.0 alcanzarán una estabilización del forzamiento tras 2100, en RCP2.6 continuará disminuyendo tras 2100 y para RCP8.5 habrá un aumento hasta finales de 2200.

### 3.2.3. COMPARATIVA SRES Y RCPS

Tal y como ya se ha mencionado, las proyecciones en las que se basan el AR4 y AR5 se han realizado mediante distintos métodos que imposibilitan la comparativa directa de las proyecciones obtenidas con los SRES respecto a los RCP. Es por ello, con objeto de simplificar a qué se refiere cada escenario y su posible equivalencia, Bjørnæs (2013) los resume en:

	Descripción	Comparable a escenario	Predicción
RCP8.5	Incremento de emisiones de GEI que conducen a elevadas concentraciones de GEI en la atmósfera durante bastante tiempo.	A1F1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emisiones de CO<sub>2</sub> en 2100 tres veces superiores a las actuales</li> <li>• Rápido incremento de emisiones de CH<sub>4</sub></li> <li>• Incremento del uso de tierras de cultivo y pastos, seguido de aumento de población</li> <li>• 12.000 millones de personas en 2100</li> <li>• Menor desarrollo tecnológico</li> <li>• Fuerte dependencia de combustibles fósiles</li> <li>• Alta intensidad energética</li> <li>• No se implementan políticas climáticas</li> </ul>
RCP6.0	El FR se estabiliza tras 2100 debido a la aplicación de tecnologías y estrategias para reducir las emisiones de GEI	B2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fuerte dependencia de combustibles fósiles</li> <li>• Intermedia intensidad energética</li> <li>• Aumento del uso de tierras de cultivo y descenso del uso de pastos</li> <li>• Emisiones de CH<sub>4</sub> estabilizadas</li> <li>• Pico de emisión de CO<sub>2</sub> en 2060, posteriormente desciende</li> </ul>
RCP4.5	El FR se estabiliza tras 2100 debido a la reducción de las	B1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menor intensidad energética</li> <li>• Fuertes programas de reforestación</li> <li>• Descenso del uso de tierras de cultivo y de pastos debido al incremento de cosechas y cambios en</li> </ul>

	emisiones		la dieta <ul style="list-style-type: none"> <li>• Políticas climáticas severas</li> <li>• Emisiones de CH<sub>4</sub> estabilizadas</li> <li>• Emisiones de CO<sub>2</sub> aumentan ligeramente, después descienden en 2040</li> </ul>
RCP2.6	FR alcanza 3,1 W/m <sup>2</sup> y después vuelve a 2,6 W/m <sup>2</sup> en 2100.	Ninguno	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Descenso del uso de gasolina</li> <li>• Baja intensidad energética</li> <li>• 9.000 millones de personas en 2100</li> <li>• Incremento del uso de tierras de cultivo para la producción de bio-energía</li> <li>• Más ganadería intensiva</li> <li>• Emisiones de CH<sub>4</sub> se reducen un 40%</li> <li>• Emisiones de CO<sub>2</sub> permanecen como ahora hasta 2020, después desciende hasta 2100</li> <li>• Pico de concentración de CO<sub>2</sub> en 2050 seguido de un modesto descenso en 400 ppm en 2100</li> </ul>

Tabla 2. Descripción y comparativa de SRES y RCPs.

### 3.4. TRATAMIENTO DE LAS INCERTIDUMBRES

Tanto el AR4 (IPCC, 2007) como el AR5 (IPCC, 2013b), a la hora de presentar sus resultados, requieren que éstos sigan un criterio determinado en cuanto a las incertidumbres que pueden presentar. De esta forma, dependiendo de qué tipo de datos sean, se seguirá un tratamiento de las incertidumbres entre estos tres tipos:

- **Cuando se evalúa en términos cualitativos:** permite hacerse una idea de la calidad de la evidencia y del nivel de concordancia de las publicaciones. Los términos descriptivos son: nivel de coincidencia alto, evidencia abundante, nivel de evidencia medio, nivel de coincidencia medio, etc.
- **Cuando se evalúa en términos cuantitativos:** permite conocer el grado de validez de los datos, modelos o análisis mediante el uso de una escala de niveles de confianza. Son: grado de confianza muy alto (9/10), grado de confianza alto (8/10), grado de confianza medio (5/10), grado de confianza bajo (2/10) y grado de confianza muy bajo (1/10)
- **Cuando se evalúa mediante el criterio de expertos y un análisis estadístico de una serie de evidencias:** se utilizan tramos de probabilidad para expresar la verosimilitud conjeturada de un suceso. Son: virtualmente cierto (>99%), extremadamente probable (>95%), muy probable (>90%), probable (>66%), más probable que improbable (>50%), aproximadamente tan probable como improbable (33 a 66%), improbable (<33%), muy improbable (<10%), extremadamente improbable (<5%), excepcionalmente improbable (<1%).

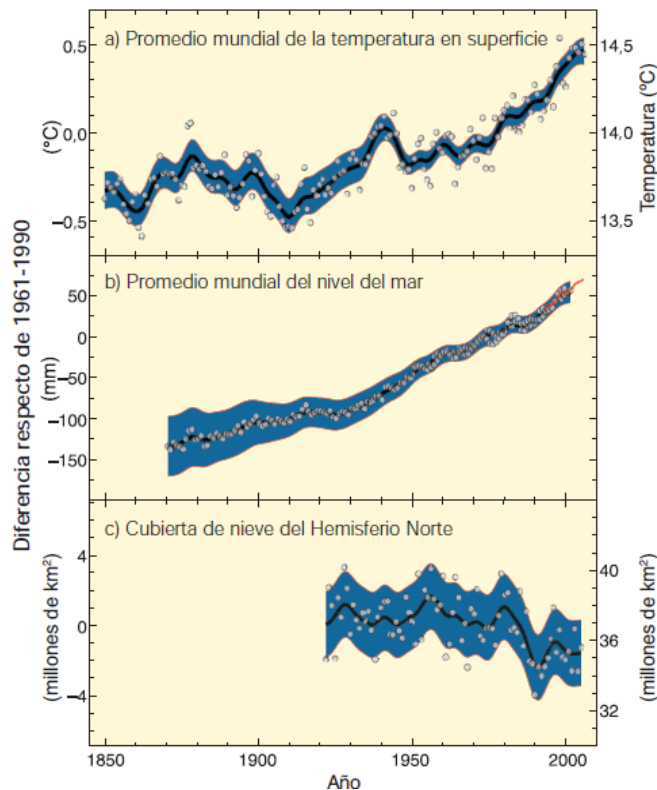
## 4. 4º INFORME DE EVALUACIÓN DEL IPCC

### 4.1. CAMBIOS OBSERVADOS EN EL CLIMA Y SUS EFECTOS

Tal y como indica el 4º Informe de Evaluación del IPCC (2007), el cambio climático es inequívoco, según las observaciones de los siguientes aspectos:

- **Temperatura media anual:** en los 100 años comprendidos entre 1906 y 2005 se produjo un aumento de 0,74°C que afectó a todo el planeta, sobre todo en latitudes septentrionales altas, calentándose antes las regiones terrestres que las oceánicas, donde aumentó hasta en profundidades de 3000m. Este aumento queda reflejado en que las temperaturas del Hemisferio Norte de los últimos 50 años del s.XX fueron *muy probablemente* superiores a cualquier otro periodo de los últimos 500 años.
- **Nivel del mar:** se produjo un aumento promedio de 1,8 mm/año del nivel del mar desde 1961 y 3,1mm/año desde 1993 debido al efecto de la dilatación térmica (57%) y al deshielo de los casquetes polares, glaciares (28%) y mantos de hielo (15%).
- **Extensiones de nieve y hielo:** se observó que desde 1978 el promedio anual de la extensión de los hielos marinos árticos disminuyó en un 2,7% por decenio, llegando al 7,4% por decenio en verano. Además, los glaciares y la cubierta de nieve disminuyeron en ambos hemisferios, así como la extensión de suelo estacionalmente congelado, que desde 1900 se redujo un 7% en el Hemisferio Norte, y la capa superior de permafrost aumentó 3°C desde la década de los 80.
- **Precipitación:** entre 1900-2005 la precipitación aumentó en las partes orientales del norte de América del Sur y del Norte, Europa septentrional y Asia septentrional y central, y disminuyó en el Sahel, en el Mediterráneo, en el sur de África y en ciertas partes del sur de Asia. La superficie afectada por las sequías aumentó *probablemente* desde 1970.
- **Días y noches frías y escarchas:** es *muy probable* que en los últimos 50 años los días fríos, las noches frías y las escarchas fueran menos frecuentes en la mayoría de las áreas terrestres.
- **Olas de calor y precipitaciones intensas:** es *probable* que aumentaran la frecuencia de las olas de calor en la mayoría de las áreas terrestres, así como la frecuencia de precipitaciones intensas en los últimos 50 años.
- **Actividad ciclónica tropical:** hubo un aumento de la actividad ciclónica tropical intensa en el Atlántico Norte desde aproximadamente 1970. No hay una evidencia clara del número anual de ciclones.

### Cambios de la temperatura, del nivel del mar y de la cubierta de nieve en el Hemisferio Norte



**Figura 3.** Cambios observados en: a) el promedio mundial de la temperatura en superficie; b) el promedio mundial del nivel del mar según datos mareográficos (azul) y satelitales (rojo); y c) la cubierta de nieve del Hemisferio Norte en el período marzo-abril. Todas las diferencias han sido obtenidas respecto de los promedios correspondientes al período 1961-1990. Las curvas alisadas representan promedios decenales, mientras que los círculos denotan valores anuales. Las áreas sombreadas representan los intervalos de incertidumbre estimados en base a un análisis completo de las incertidumbres conocidas (a y b) y de las series temporales c).

El aumento de la temperatura está afectando al clima regional de numerosos sistemas naturales:

- **Cambios en la nieve, hielo y terreno congelado:** con un *grado de confianza alto*, se incrementó el número y extensión de los lagos glaciares, la inestabilidad del terreno en regiones de permafrost y zonas montañosas, y se produjeron cambios en los ecosistemas árticos y antárticos sobre todo en los biomas de hielo marino.
- **Sistemas hidrológicos:** con un *grado de confianza alto*, se produjo un aumento de la escorrentía y la anticipación de los caudales máximos primaverales, así como efectos sobre la estructura térmica y en la calidad de ríos y lagos.
- **Ecosistemas terrestres:** con un *grado de confianza muy alto* se produjo la anticipación de la primavera y el desplazamiento hacia los polos y a mayores alturas de la flora y fauna. En algunos sistemas marinos y de agua dulce, los desplazamientos y la abundancia de algas, plancton y peces se asociaron, con un *grado de confianza alto*, al aumento de la temperatura del agua y a los cambios de la cubierta de hielo, salinidad, niveles de oxígeno y de la circulación.

Otros efectos del cambio climático regional sobre el medio ambiente natural y humano por un aumento de la temperatura serían (con un *grado de confianza medio*):

- **Gestión agrícola y forestal en latitudes superiores del Hemisferio Norte:** plantación más temprana de los cultivos en primavera y perturbación de los bosques por incendios y plagas.

- **Salud humana:** mortalidad a causa del calor en Europa, alteración de los vectores de enfermedades infecciosas o de los pólenes alergénicos en latitudes altas y medias del Hemisferio Norte.
- **Actividades humanas en la región ártica y regiones alpinas:** caza, viajes a través de la nieve y hielo y deportes de montaña.

## 4.2. CAUSAS DEL CAMBIO

Los aspectos que alteran el equilibrio energético del sistema climático son la variación de las concentraciones de gases de efecto invernadero y aerosoles en la atmósfera, la variación de la cubierta terrestre y la variación de la radiación solar. Estas variaciones positivas o negativas del balance de energía se expresan en términos de **forzamiento radiativo**, que se define, tal y como ya se ha explicado, como el cambio en la irradiancia neta en la tropopausa por efecto del cambio de un originante externo del sistema climático, expresado en  $W/m^2$ .

Las emisiones mundiales de GEI por actividades humanas aumentaron un 70% entre 1970 y 2004 siendo el  $CO_2$  el gas antropogénico más importante, cuyas emisiones anuales se incrementaron un 80% en ese periodo.

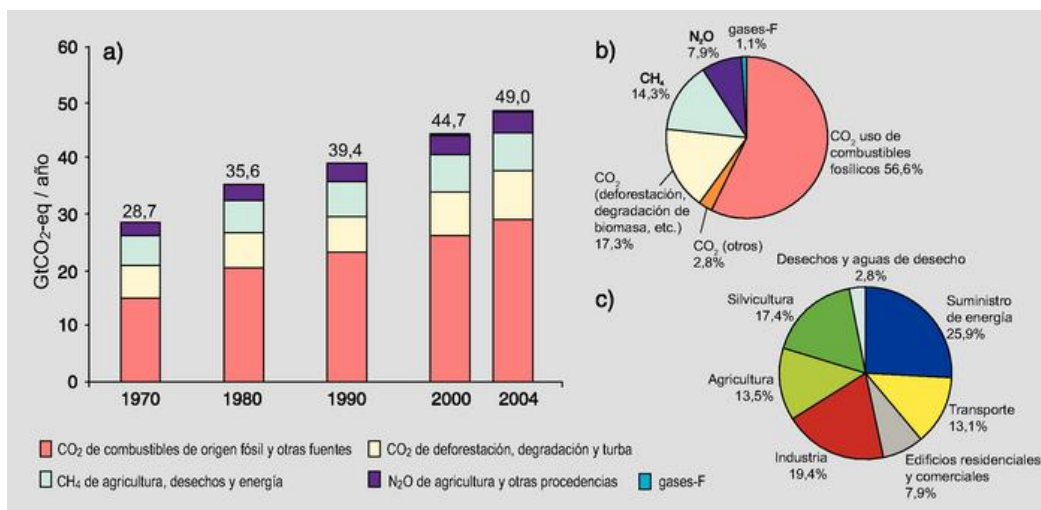
Los aumentos de la concentración de  $CO_2$  se deben al uso de combustibles fósiles y al cambio de uso de la tierra y por sectores, al suministro de energía, transporte e industria. Es muy probable que el aumento de  $CH_4$  se deba a la agricultura y al uso de combustibles fósiles. El aumento de la concentración de  $N_2O$  procede principalmente de la agricultura.

Las concentraciones atmosféricas de  $CO_2$  (379 ppm) y  $CH_4$  (1774 ppm) en 2005 exceden del intervalo natural de valores de los últimos 650.000 años. Los otros GEI que también vieron incrementada su concentración en la atmósfera en 2005 fueron el  $N_2O$  (319 ppm) y los halocarbonos, que aumentaron respecto a niveles prácticamente nulos en la época preindustrial.

Como los GEI difieren en la influencia térmica positiva (forzamiento radiativo) que ejercen sobre el sistema climático mundial, debido a sus diferentes propiedades radiativas y períodos de permanencia en la atmósfera, es necesario que se expresen mediante una métrica común basada en el forzamiento radiativo por  $CO_2$ .

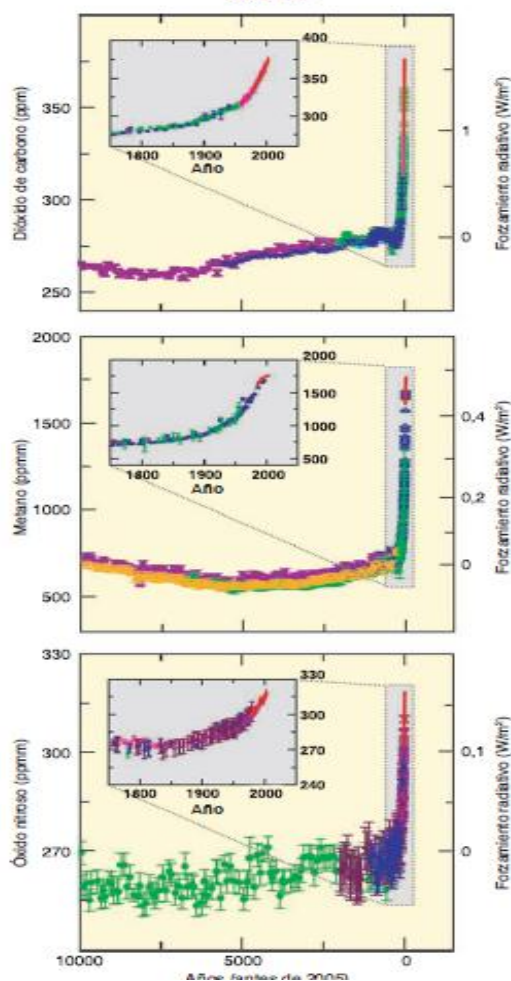
**La emisión de  $CO_2$ -equivalente ( $CO_2$ -eq)** es la cantidad de emisión de  $CO_2$  que ocasionaría, durante un horizonte temporal dado, el mismo forzamiento radiativo integrado a lo largo del tiempo que una cantidad emitida de un GEI de larga permanencia o de una mezcla de GEI. Para un GEI, las emisiones de  $CO_2$ -equivalente se obtienen multiplicando la cantidad de GEI emitida por su potencial de calentamiento mundial (PCM) para un horizonte temporal dado. Para una mezcla de GEI, se obtienen sumando las emisiones de  $CO_2$ -equivalente de cada uno de los gases. Las emisiones de  $CO_2$ -equivalente constituyen un valor de referencia y una métrica útil para comparar emisiones de GEI diferentes, pero no implican respuestas idénticas al cambio climático.

**La concentración de  $CO_2$ -equivalente** es la concentración de  $CO_2$  que generaría el mismo forzamiento radiativo que una mezcla dada de  $CO_2$  y de otros componentes de forzamiento.



**Figura 4.** a) Emisiones anuales mundiales de GEI antropógenos entre 1970 y 2004. b) Parte proporcional que representan diferentes GEI antropógenos respecto de las emisiones totales en 2004, en términos de CO<sub>2</sub> equivalente. c) Parte proporcional que representan diferentes sectores en las emisiones totales de GEI antropógenos en 2004, en términos de CO<sub>2</sub> equivalente. (En el sector silvicultura se incluye la deforestación).

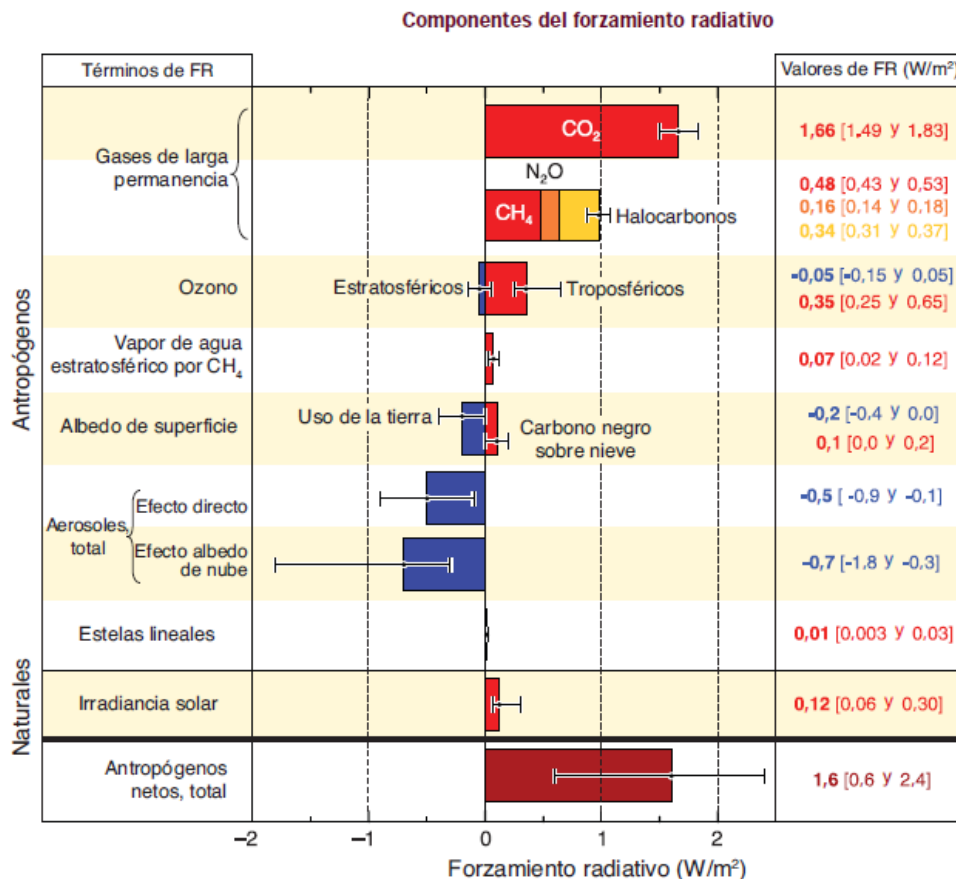
**Cambios en los GEI inferidos de núcleos de hielo y de datos recientes**



**Figura 5.** Concentraciones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O en la atmósfera durante los últimos 10.000 años (recuadros grandes) y desde 1750 (recuadros interiores). Las mediciones indicadas proceden de núcleos de hielo (símbolos de diferente color para cada estudio) y de muestras de la atmósfera (líneas en rojo). Los correspondientes forzamientos radiativos respecto de 1750 aparecen indicados en los ejes de los recuadros grandes, en la parte derecha.



Por otra parte, con un nivel de *confianza muy alto*, el efecto de las actividades humanas desde 1750 ha ocasionado el aumento de la temperatura mundial, con un forzamiento radiativo de  $+1,6 \text{ W/m}^2$ . Si se tiene en cuenta el forzamiento radiativo conjunto por efecto de los aumentos de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  y de  $\text{N}_2\text{O}$  es de  $+2,3 \text{ W/m}^2$ , mientras que la contribución antropogénica a los aerosoles (principalmente sulfatos, carbono orgánico, carbono negro, nitratos y polvo) produce un efecto de enfriamiento, con un forzamiento radiativo directo de  $-0,5 \text{ W/m}^2$  y  $-0,7 \text{ W/m}^2$  debido al albedo de las nubes. Además los cambios de irradiancia solar desde 1750 ofrecen un forzamiento radiativo de  $+0,12 \text{ W/m}^2$ .



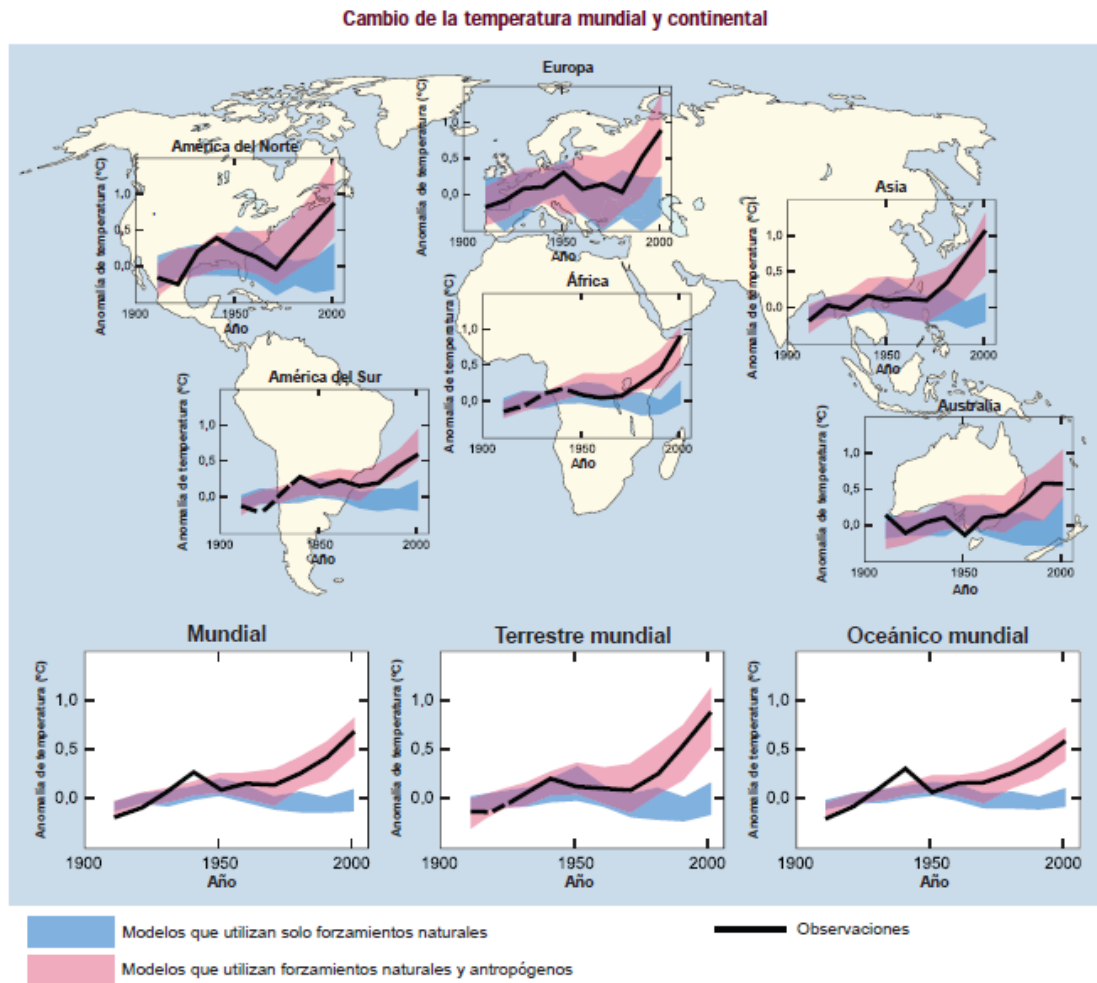
**Figura 6.** Promedio mundial del forzamiento radiativo (FR) en 2005 respecto de 1750 para  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  y otros agentes y mecanismos importantes. Los aerosoles procedentes de erupciones volcánicas explosivas añaden un término de enfriamiento episódico durante cierto número de años después de una erupción. En el intervalo de valores de las estelas de condensación lineales no se incluyen otros posibles efectos de la aviación sobre la nubosidad.

Este aumento de las concentraciones de GEI antropogénicos han ocasionado:

- *Muy probablemente*, el aumento de **temperatura** promedio en todos los continentes (excepto en la Antártida) en los últimos 50 años. En ese mismo periodo es *probable* que el forzamiento solar y volcánico hayan producido un enfriamiento.
- *Muy probablemente* han contribuido al aumento del **nivel del mar**
- *Probablemente* han contribuido a alterar las **pautas eólicas**, afectando al recorrido de tempestades extratropicales y las pautas de temperatura
- *Probablemente* han elevado la temperatura de las **noches cálidas y frías y de los días fríos**.
- *Más probable que improbable* ha intensificado el riesgo de **olas de calor** y han incrementado la superficie afectada por la **sequía** y la frecuencia de las **precipitaciones intensas**



Las regiones del mundo que han experimentado un calentamiento apreciable, es *muy improbable* que se deba únicamente a la variabilidad natural.

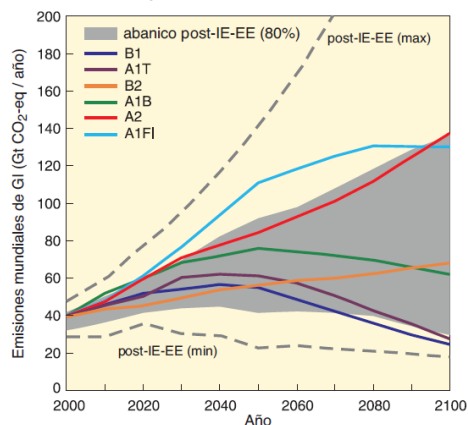


**Figura 7.** Comparación entre los cambios a escala continental y mundial observados en la temperatura superficial y los resultados simulados por modelos climáticos que utilizan forzamientos naturales, o naturales y antropógenos.

### 4.3. EL CAMBIO CLIMÁTICO PROYECTADO Y SUS IMPACTOS

Con un alto nivel de coincidencia y abundante evidencia se conoce que las emisiones de GEI seguirán aumentando en los próximos decenios aún aplicándose las actuales políticas de mitigación, y según indica el Informe Especial del IPCC sobre escenarios de emisiones está proyectado un aumento de las emisiones mundiales de GEI entre un 25% y 90% (CO<sub>2</sub>-eq) entre 2000-2030 si continuara usándose los combustibles fósiles como fuente de energía predominante.

Escenarios de emisiones de GEI entre 2000 y 2100 en ausencia de políticas climáticas adicionales



**Figura 8.** Emisiones mundiales de GEI (en Gt CO<sub>2</sub>-eq anuales) en ausencia de políticas climáticas adicionales: seis ejemplos de escenarios testimoniales IEEE (líneas de color), y percentilo 80 de escenarios recientes publicados desde el IEEE (post-IEEE) (área sombreada en gris). Las líneas de trazos indican el abanico completo de escenarios post-IEEE. Las emisiones abarcan los gases CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O, y gases-F.

Si continúan emitiéndose los GEI a una tasa igual o superior a la actual, el calentamiento aumentaría dando lugar a cambios *muy probablemente* mayores a los observados durante el s.XX. Las proyecciones indican un calentamiento de 0,2°C/decenio para toda una serie de escenarios. Además este calentamiento causaría la reducción de la incorporación de CO<sub>2</sub> atmosférico a la tierra y al océano, por lo que aumentaría la fracción de emisiones antropógenas en la atmósfera, además de un aumento del nivel del mar.

Caso	Cambio de temperatura (°C en 2090-2099 respecto de 1980-1999)		Aumento de nivel del mar (m en 2090-2099 respecto de 1980-1999)
	Estimación óptima	Intervalo probable	Intervalo según los modelos Excluidos los cambios dinámicos rápidos futuros del flujo de hielo
Concentraciones del año 2000 constantes	0,6	0,3 - 0,9	No disponible
Escenario B1	1,8	1,1 - 2,9	0,18 - 0,38
Escenario A1T	2,4	1,4 - 3,8	0,20 - 0,45
Escenario B2	2,4	1,4 - 3,8	0,20 - 0,43
Escenario A1B	2,8	1,7 - 4,4	0,21 - 0,48
Escenario A2	3,4	2,0 - 5,4	0,23 - 0,51
Escenario A1FI	4,0	2,4 - 6,4	0,26 - 0,59

a. Los cambios de temperatura están expresados como valores diferenciales respecto del período 1980-1999. Para expresar el cambio respecto del período 1850-1899, añádanse 0,5°C.

**Tabla 3.** Promedio mundial proyectado del calentamiento en superficie y del aumento de nivel del mar para el final del siglo XXI.

Los cambios que tendrían lugar a escala regional serían:

- **Calentamiento** máximo sobre tierra firme y mínimo en el océano austral y partes del Atlántico Norte.
- Contracción de la superficie de las cubiertas de **nieve**, deshielo en la mayoría de las regiones del permafrost y menor extensión de los hielos marinos; en algunas proyecciones, los hielos marinos de la región ártica casi desaparecerán al final de los veranos en los últimos años del s XXI.
- Muy probablemente aumentará la intensidad de los **ciclones tropicales**
- Desplazamiento hacia los polos de las **trayectorias de las tempestades extratropicales**
- Muy probablemente aumentarán las **precipitaciones** en latitudes altas y probablemente disminuirán en la mayoría de las regiones terrestres subtropicales. Con un grado de confianza alto, las proyecciones indican que hacia mitad del siglo, la escorrentía fluvial anual y la

disponibilidad de agua aumentarán en latitudes altas y disminuirán en algunas regiones secas, en latitudes medias y en los trópicos. Además numerosas áreas semiáridas (como la cuenca mediterránea) sufrirán una disminución de los recursos hídricos por efecto del cambio climático.

El aumento de temperatura y del nivel del mar continuarían durante varios siglos aun cuando se estabilizaran las concentraciones de GEI. De esta forma, si el forzamiento radiativo se estabilizara en los niveles del escenario B1 o A1B hasta 2100, el aumento de la temperatura sería de unos 0,5°C de aquí a 2200 y la dilatación térmica causaría el aumento del nivel del mar de entre 0,3 a 0,8m de aquí a 2300.

Probablemente algunos sistemas, sectores y regiones resultaran especialmente afectados por el cambio climático:

- **Sistemas y sectores:**
  - **Los ecosistemas siguientes:**
    - **Terrestres:** tundra, bosques boreales y regiones montañosas, debido a su sensibilidad al calentamiento; ecosistemas de tipo Mediterráneo y bosques pluviales tropicales, debido a la disminución de lluvias.
    - **Costeros:** manglares y marismas, debido a factores de estrés
    - **Marinos:** arrecifes de coral, debido a factores de estrés; bioma de los hielos marinos, debido a su sensibilidad al calentamiento
  - **Los recursos hídricos** de ciertas regiones secas de latitudes medias y en los trópicos secos, debido a la alteración de las precipitaciones y de la evapotranspiración, y en áreas dependientes de la nieve y del deshielo.
  - **La agricultura** en latitudes medias, debido a una menor disponibilidad de agua
  - **Los sistemas costeros bajos**, debido al aumento del nivel del mar y al mayor riesgo de fenómenos meteorológicos extremos
  - **Salud humana**, en poblaciones con escasa capacidad adaptativa
- **Regiones**
  - **La región ártica:** debido a los impactos sobre los sistemas naturales y las comunidades humanas
  - **África:** debido a su escasa capacidad adaptativa y a los impactos del cambio climático
  - **Islas pequeñas:** en las que las poblaciones y las infraestructuras están muy expuestas a los impactos del cambio climático
  - **Los grandes deltas de Asia y África:** por ser regiones muy pobladas y muy expuestas al aumento del nivel del mar.

África	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hasta 2020, entre 75 y 250 millones de personas afectadas por estrés hídrico</li> <li>• Hasta 2020, la productividad de los cultivos pluviales se reduciría hasta en un 50%, lo que afectaría negativamente a la seguridad alimentaria y a la malnutrición</li> <li>• Hacia final de siglo, el aumento del mar afectaría a las aéreas costeras bajas muy pobladas</li> <li>• Hacia 2080, se produciría un aumento entre 5-8% de la extensión de tierras áridas y semiáridas</li> </ul>
Asia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hacia 2050, la disponibilidad de agua dulce en centro, sur, este y sureste de Asia disminuiría</li> <li>• Las áreas costeras y los grandes deltas superpoblados se verán amenazados por las inundaciones marinas y las crecidas fluviales</li> <li>• Se aumentará la presión sobre los recursos naturales por la rápida urbanización</li> <li>• La mortalidad endémica causada por enfermedades diarreicas asociadas a crecidas y sequías aumentaría en el este, sur y sureste de Asia</li> </ul>
Australia y Nueva Zelanda	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hasta 2020, habría una importante pérdida de biodiversidad</li> <li>• Hasta 2030, los problemas de seguridad hídrica se agravarían en ciertas regiones</li> <li>• Hasta 2030, la producción agrícola y forestal disminuiría en varias zonas debido al mayor número de sequías e incendios; excepto en Nueva Zelanda donde será beneficioso</li> <li>• Hasta 2050, el crecimiento demográfico en la costa de ciertas zonas agravaría los riesgos de</li> </ul>

	aumento del nivel del mar
Europa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Crecimiento de las diferencias regionales en cuanto a recursos naturales. Mayor riesgo de crecidas repentinas en el interior, mayor frecuencia de inundaciones costeras y aumento de la erosión</li> <li>• Las áreas montañosas sufrirían una retracción de los glaciares, de la cubierta de nieve y del turismo en invierno, además de la abundante pérdida de especies</li> <li>• En el Sur de Europa, empeoramiento de las condiciones (altas temperaturas y sequías), menor disponibilidad de agua y disminución del turismo estival y de la productividad agrícola</li> <li>• Agudizaría los riesgos para la salud por efecto de olas de calor y frecuencia de incendios</li> </ul>
América Latina	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hacia mediados de siglo, los aumentos de temperatura y disminución de humedad provocarían la sustitución de los bosques tropicales en sabanas</li> <li>• Pérdida de biodiversidad</li> <li>• La productividad de algunos cultivos disminuiría. En zonas templadas mejoraría el rendimiento de los cultivos de haba de soja. Aumentaría el número de personas amenazadas por el hambre</li> <li>• Cambios en las pautas de precipitación y desaparición de los glaciares, que afectarían a la disponibilidad de agua</li> </ul>
América del Norte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En las montañas occidentales, se reduciría los bancos de nieve, acrecentaría las crecidas en invierno y reduciría la escorrentía estival</li> <li>• En los primeros decenios de siglo, mejoraría el rendimiento de los cultivos pluviales entre 5-20%. Situación difícil para los cultivos situados cerca de las fronteras cálidas o muy dependientes de los recursos hídricos</li> <li>• En el transcurso del siglo, aumento de olas de calor, tanto en intensidad y duración</li> <li>• Las comunidades y hábitats costeros tendrían mayores dificultades debido al desarrollo y polución</li> </ul>
Regiones Polares	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción del espesor y extensión de los glaciares y mantos de hielo y de los hielos marinos, y alteraciones de los ecosistemas naturales, con efectos perjudiciales para los organismos</li> <li>• Efectos perjudiciales para las comunidades indígenas e infraestructuras</li> <li>• Invasiones de otras especies</li> </ul>
Islas pequeñas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El aumento del nivel del mar, intensificaría las inundaciones, amenazando los asentamientos e instalaciones</li> <li>• El deterioro de las condiciones costeras (erosión de playas o decoloración de corales) afectaría a los recursos locales</li> <li>• Hasta mediados de siglo, se reduciría los recursos hídricos</li> <li>• Aumento de las invasiones de especies nativas en islas de latitudes medias y altas</li> </ul>

**Tabla 4.** Cambios futuros en el clima en los distintos continentes.

Se está produciendo una **acidificación del océano** (el pH ha disminuido 0,1 unidades desde 1750) debido a causas humanas. Este hecho puede agravarse al aumentar la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, tal y como las proyecciones indican, durante el s. XXI puede reducirse el pH entre 0,14 y 0,35. Dicha acidificación causará efectos negativos sobre los organismos marinos que producen caparazón y sobre las especies que dependen de ellos.

La alteración de la frecuencia e intensidad de los **fenómenos meteorológicos extremos** y el **aumento del nivel del mar**, tendrán efectos adversos sobre los sistemas naturales y humanos. Como por ejemplo:

Fenómenos y dirección de la tendencia	Probabilidad de las tendencias futuras de las proyecciones para el s.XXI	Ejemplos de impactos de gran magnitud proyectados por sectores			
		Agricultura, silvicultura y ecosistemas	Recursos hídricos	Salud humana	Industria, asentamientos y sociedad
En la mayoría de las áreas terrestres, días y noches más cálidos y menos frecuentemente	Prácticamente seguro	Cosechas mejores en entornos más fríos; peores en entornos más cálidos; plagas de insectos más frecuentes	Efectos sobre los recursos hídricos que dependen del deshielo, efectos sobre algunos suministros hídricos	Disminución de la mortalidad humana por una menor exposición al frío	Disminución de la demanda de energía para calefacción; aumento de la demanda de refrigeración; disminución de la calidad del aire en las

fríos, días y noches más cálidos y más frecuentemente muy cálidos					ciudades; menores dificultades para el transporte a causa de la nieve o del hielo; efectos sobre el turismo de invierno
Periodos cálidos/olas de calor. Aumento de la frecuencia en la mayoría de las extensiones terrestres	Muy probable	Empobrecimiento de las cosechas en regiones más cálidas por estrés térmico; mayor peligro de incendios incontrolados	Aumento de la demanda de agua; problemas de calidad del agua (algas)	Mayor riesgo de mortalidad por causas térmicas, especialmente entre los ancianos, enfermos crónicos, niños pequeños, etc.	Empeoramiento de la calidad de vida de las poblaciones de áreas cálidas que carecen de viviendas apropiadas; impactos sobre los ancianos, los niños pequeños y los pobres
Episodios de precipitación intensa. Aumento de la frecuencia en la mayoría de las regiones	Muy probable	Daños a los cultivos; erosión de los suelos; incapacidad para cultivar las tierras por anegamiento de los suelos	Efectos adversos sobre la calidad del agua superficial y subterránea; contaminación de los suministros hídricos; menor escasez de agua	Mayor riesgo de defunciones, lesiones e infecciones y de enfermedades respiratorias y de la piel	Alteración de los asentamientos, del comercio, del transporte y de las sociedades por efecto de las crecidas; presiones sobre las infraestructuras urbanas y rurales; pérdida de bienes
Área afectada por el aumento de las sequías	Probable	Degradación de la tierra; menor rendimiento, deterioro o malogramiento de cultivos; mayores pérdidas de cabezas de ganado; aumento del riesgo de incendios incontrolados	Mayores extensiones afectadas por estrés hídrico	Mayor riesgo de escasez de alimentos y de agua; mayor riesgo de malnutrición y de enfermedades transmitidas por el agua y los alimentos	Escasez de agua para los asentamientos, las industrias y las sociedades; menor potencial de generación hidroeléctrica; posibles migraciones de la población
Aumento de la intensidad de los ciclones tropicales	Probable	Daños a los cultivos; descuajamiento de árboles; daños a los arrecifes de coral	Cortes de corriente eléctrica causantes de alteraciones del suministro hídrico público	Mayor riesgo de defunciones, lesiones y enfermedades transmitidas por el agua y los alimentos; trastornos de estrés postraumático	Alteraciones por efecto de las crecidas y vientos fuertes; denegación de cobertura de riesgos por las aseguradoras privadas en áreas vulnerables; posibles migraciones de la población; pérdida de bienes
Mayor incidencia de subidas extremas del nivel del mar (con excepción de tsunamis)	Probable	Salinización del agua de irrigación, de los estuarios y de los sistemas de agua dulce	Menor disponibilidad de agua dulce por efecto de la intrusión de agua salada	Mayor riesgo de defunciones y lesiones por ahogamiento debido a las crecidas; efectos sobre la salud relacionados con las migraciones	Costo de la protección costera comparado con el del desplazamiento geográfico de los usos de la tierra; posible desplazamiento de las poblaciones e infraestructuras

**Tabla 5.** Ejemplos de posibles impactos del cambio climático por efecto de la alteración de los fenómenos atmosféricos y climáticos extremos, con base en proyecciones que abarcan hasta mediados-finales del siglo XXI. Estos ejemplos no contemplan ningún cambio o novedad con respecto a la capacidad adaptativa. Las estimaciones de probabilidad de la columna 2 corresponden a los fenómenos indicados en la columna 1.

Está proyectado que la reducción del manto de hielo de Groenlandia continúe incrementando el **aumento del nivel del mar** después de 2100, ya que según los modelos se estima que el hielo desaparezca totalmente, de tal forma que se produzca un aumento del nivel del mar de unos 7m si el promedio de calentamiento mundial permanece durante milenios entre de 1,9 y 4,6°C respecto a valores preindustriales. Dicho aumento del nivel del mar ocasionaría cambios en las líneas costeras e inundaciones en extensiones bajas, como deltas fluviales o islas de baja altura.

El cambio climático producirá probablemente algunos impactos irreversibles. Con un grado de *confianza medio*, las especies consideradas hasta la fecha estarán probablemente más amenazadas de extinción si el calentamiento promedio mundial aumenta entre 1,5 y 2,5°C. Si el promedio de la temperatura aumentara en más de 3,5°C, habría extinciones masivas (entre el 40-70%) de las especies estudiadas en todo el mundo.

La circulación de renuevo meridional (CRM) del Océano Atlántico sería muy probablemente más lenta durante el s XXI, lo que afectaría probablemente a la productividad de los ecosistemas marinos, a las pesquerías, a la incorporación del CO<sub>2</sub> al océano, a las concentraciones de oxígeno en el océano y a la vegetación terrestre. Las alteraciones de la incorporación terrestre y oceánica de CO<sub>2</sub> podrían producir un retroefecto sobre el sistema climático.

#### 4.4. OPCIONES DE ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN

A pesar de que ya existen **opciones de adaptación**, son necesarias medidas de adaptación adicionales para reducir los impactos adversos del cambio climático. Esta vulnerabilidad al cambio climático puede además acrecentarse por otros factores de estrés (pobreza, acceso desigual a los recursos, inseguridad alimentaria, globalización económica de los conflictos e incidencia de enfermedades).

La capacidad adaptativa está relacionada con el desarrollo social y económico, que se halla desigualmente distribuida entre sociedades y dentro de ellas.

Hay un alto nivel de coincidencia y abundante evidencia de que las **acciones de mitigación** de las emisiones mundiales de GEI en los próximos decenios podrán contrarrestar o reducir las emisiones mundiales proyectadas de estos gases. Para ello no existe una única tecnología, las cuales necesitarán de una inversión (se esperan superiores a 20.000 millones de dólares entre 2005-2030). De esta forma, según los estudios de planteamiento ascendente, las oportunidades de mitigación podrían reducir las emisiones aproximadamente 6 GtCO<sub>2</sub>-eq/año en 2030.

Para llevar a cabo las medidas de mitigación es necesario que los gobiernos establezcan una serie de **políticas e instrumentos** que las incentiven, tales como políticas climáticas en políticas de desarrollo, reglamentaciones y normas, impuestos y gravámenes, permisos comerciales, incentivos financieros, acuerdos voluntarios, instrumentos de información y actividades de investigación, desarrollo y demostración (I+D+D).

Una opción de mitigación podría darse al aumentar a nivel mundial los precios del carbono, que según modelizaciones, si aumenta hasta los 20-80 dólares/tCO<sub>2</sub>-eq de aquí a 2030 puede dar una estabilización sobre 550 ppm de CO<sub>2</sub> eq de aquí a 2100. Para ese mismo nivel de estabilización, el cambio tecnológico podría reducir los precios hasta los 5-65 dólares/tCO<sub>2</sub>-eq en 2030.

Las medidas de mitigación pueden dar beneficios a corto plazo, que compensarían los costos de mitigación (nivel de coincidencia alto y abundante evidencia). Aunque también podrían afectar a la economía mundial (nivel de coincidencia alto y un nivel de evidencia medio), ya que los países exportadores de combustibles fósiles verían disminuida la demanda de los precios y un menor crecimiento del PIB por efecto de las políticas de mitigación.

Las decisiones sobre políticas macroeconómicas y otras políticas no climáticas pueden afectar notablemente a las emisiones, la capacidad adaptativa y la vulnerabilidad. Si se consigue un desarrollo más sostenible se podrán potenciar las capacidades de adaptación y mitigación, y reducir las emisiones y la vulnerabilidad, pero podría haber impedimentos para su implementación. Es muy probable que el cambio climático reduzca la rapidez de los progresos hacia el desarrollo sostenible.

## 4.5. LA PERSPECTIVA A LARGO PLAZO

Las vulnerabilidades clave pueden estar asociadas a gran número de sistemas climáticos sensibles, como el abastecimiento de alimentos, la infraestructura, la salud, los recursos hídricos, los sistemas costeros, los ecosistemas, los ciclos biogeoquímicos mundiales, los mantos de hielo o los modos de circulación oceánica y atmosférica. Existen “cinco aspectos preocupantes”:

- **Riesgos que amenazan a sistemas únicos y amenazados:** los impactos del cambio climático sobre sistemas únicos y vulnerables aumentan su carácter negativo al aumentar la temperatura. Las proyecciones indican un mayor riesgo de extinción de especies y de daños a los arrecifes de coral a medida que aumente la temperatura. Con un grado de *confianza media*, el 20-30% de las especies vegetales y animales evaluadas probablemente sufrirán un mayor riesgo de extinción si la temperatura aumentara 1,5-2,5°C por encima de los niveles de 1980-1999. Un aumento de la temperatura del mar en superficie de unos 1-3°C acrecentaría la frecuencia de casos de decoloración de corales y la mortalidad de estos en gran escala si no ocurre una adaptación térmica. También habría una mayor vulnerabilidad de las comunidades indígenas de la región ártica y de las que habitan en islas pequeñas.
- **Riesgos de fenómenos meteorológicos extremos:** ha aumentado el grado de confianza en que aumentarán las sequías, las olas de calor y las crecidas.
- **Distribución de impactos y vulnerabilidades:** hay diferencias entre regiones, siendo las de economías más débiles las más vulnerables al cambio climático. Además se agravará la vulnerabilidad de determinados grupos tanto en países en desarrollo como desarrollados
- **Impactos totalizados:** el costo neto de los impactos de un mayor calentamiento aumentaría con el tiempo.
- **Riesgos de singularidades de gran escala:** con un grado de *confianza alto*, un calentamiento mundial a lo largo de varios siglos contribuiría a que la dilatación térmica aumente el nivel del mar, lo que implicaría la pérdida de extensiones costeras y otros impactos concomitantes. Se observa que el riesgo de que los mantos de hielo de Groenlandia y posiblemente de la región antártica contribuyan al aumento del nivel del mar de forma mayor a lo indicado por modelos de mantos de hielo, tal y como ha ido observándose recientemente.

La adaptación es necesaria a corto y largo plazo para hacer frente a los impactos del calentamiento. A largo plazo, un cambio climático sin medidas de mitigación superaría probablemente la capacidad de adaptación de los sistemas naturales, gestionados y humanos, ya que gracias a ellas muchos de los impactos pueden ser reducidos, retardados o evitados.

Si se retrasa la reducción de emisiones, se reducirán las oportunidades de alcanzar unos niveles de estabilización y se incrementará el riesgo de agravamiento de las repercusiones del cambio climático. Se puede alcanzar todos los niveles de estabilización (con un nivel de coincidencia alto y abundante evidencia) si se implementan tecnologías actualmente disponibles o que se comercializarán próximamente, siempre y cuando existan incentivos para su desarrollo, adquisición, implantación y difusión. Cabe citar que todos los escenarios de estabilización estudiados indican que entre un 60-80% de las reducciones provendría del abastecimiento y utilización de energía y de los procesos industriales.

Los costos macroeconómicos de la mitigación variarán según países y sectores. El promedio de dichos costos para conseguir la estabilización entre 445-710 ppm de CO<sub>2</sub>-eq en 2050 representa una disminución del PIB mundial del 5,5%, que se corresponde a una ralentización promedia del crecimiento mundial anual del PIB de menos de 0,12 puntos porcentuales.



Es muy probable que los impactos del cambio climático impongan un costo anual neto que aumente a medida que lo hacen las temperaturas mundiales. Los resultados analíticos de análisis integrados de los costos y beneficios de la mitigación indican que son aproximadamente equiparables en magnitud. La determinación de una u otra escala y cronología de mitigación respecto de los GEI conlleva un análisis comparativo entre los costos económicos que entrañaría una reducción más rápida de las emisiones en la actualidad y los riesgos climáticos que a medio y largo plazo acarrearía el retardo.

#### 4.6. CONCLUSIONES SÓLIDAS, INCERTIDUMBRES CLAVE

Una conclusión es sólida cuando es válida para diversos planteamientos, modelos, métodos y supuestos, además de resultar poco afectada por las incertidumbres. Una incertidumbre clave es aquella que de reducirse, puede dar una conclusión sólida.

Cambios observados del clima: efectos y causas	
Conclusiones sólidas	Calentamiento inequívoco del sistema climático: aumento de la temperatura media anual del aire y océano, fusión de nieves y hielos, y aumento del nivel del mar.
	Los sistemas naturales, físicos y biológicos están afectados por cambios climáticos regionales. Acidificación de los océanos por incorporación de CO <sub>2</sub> .
	Aumento en un 70% de las emisiones de GEI antropogénicos entre 1970-2004. N <sub>2</sub> O sobrepasa los valores de la era preindustrial, CH <sub>4</sub> y CO <sub>2</sub> exceden de los valores naturales de los últimos 650.000 años.
	El calentamiento mundial de los últimos 50 años se debe <i>muy probablemente</i> al aumento de GEI antropogénicos, así como en cada uno de los continentes, excepto en la Antártida.
	El calentamiento antropógeno de los últimos 30 años ha influido, <i>probablemente</i> , en los cambios observados en sistemas físicos y biológicos.
Incertidumbres clave	Escasos estudios científicos sobre el cambio climático en países en desarrollo.
	Complejo análisis y monitorización de fenómenos meteorológicos extremos (requieren series temporales de datos más prolongadas y resoluciones espaciales y temporales más altas).
	Difícil detectar los efectos del cambio climático en sistemas humanos y en ciertos ecosistemas naturales, debido a la adaptación y los originantes no climáticos.
	Difícil simular con datos fiables los cambios de temperatura y a atribuirlos a causas humanas o naturales a escalas inferiores a la continental.
	Incertidumbre en la magnitud de las emisiones de CO <sub>2</sub> vinculadas a cambios de uso de la tierra y las de CH <sub>4</sub> a fuentes individualizadas.
Originantes y proyecciones de cambios climáticos futuros, y sus impactos	
Conclusiones sólidas	Aun con las actuales políticas de mitigación y las prácticas de desarrollo sostenible, las emisiones de GEI mundiales aumentarán durante los próximos decenios.
	Está previsto un calentamiento de aproximadamente 0,2°C/decenio durante los dos próximos decenios.
	Si las emisiones de GEI continúan en tasas actuales o superiores, se ocasionará un mayor calentamiento, con cambios mayores que los observados durante el siglo XX.
	Según todos los escenarios, la tierra firme se calienta más que los océanos, sobre todo en latitudes altas septentrionales.
	El calentamiento tiende a reducir la incorporación de CO <sub>2</sub> atmosférico en tierra y océanos, aumentando así las emisiones que permanecen en la atmósfera.
	El calentamiento antropógeno y el aumento del nivel del mar continuarán durante siglos aunque se redujesen las emisiones de GEI, debido a las escalas de tiempo y retroefectos climáticos.
	Es muy improbable que la sensibilidad climática en equilibrio sea inferior a 1,5°C.
Es probable que algunos sistemas, sectores y regiones se vean especialmente afectados por el	



	<p>cambio climático.</p> <p>Es muy probable que los impactos aumenten debido a una mayor frecuencia e intensidad de ciertos fenómenos meteorológicos extremos.</p>		
Incertidumbres clave	<p>La incertidumbre con respecto a la sensibilidad climática en equilibrio implica una incertidumbre con respecto al calentamiento esperado para un escenario de estabilización de CO<sub>2</sub>-eq dado. La incertidumbre con respecto al retroefecto del ciclo del carbono implica incertidumbre acerca de la trayectoria de emisiones necesaria para alcanzar un nivel de estabilización dado.</p> <p>Los modelos difieren en sus estimaciones de la intensidad de diferentes retroefectos del sistema climático. La confianza de las proyecciones es mayor según ciertas variables y a mayores escalas espaciales y temporales.</p> <p>Los impactos de los aerosoles sobre la magnitud de respuesta de la temperatura sobre las nubes y la precipitación siguen siendo inciertos.</p> <p>La alteración de los flujos de hielo, así como la penetración de calor en los océanos, son una fuente de incertidumbre del incremento del nivel del mar proyectado.</p> <p>Difícil evaluar con fiabilidad los cambios de la circulación oceánica a partir del siglo XXI debido a la incertidumbre del aporte de agua del deshielo.</p> <p>A partir de 2050, las proyecciones dependen de los escenarios y modelos, por lo que es necesario conocer a fondo las incertidumbres.</p> <p>Difícil conocer los impactos debido a las incertidumbres en torno a las proyecciones del cambio climático, sobre todo de la precipitación a nivel regional.</p> <p>Bajo conocimiento de todos los fenómenos necesarios para definir metodologías de toma de decisiones en función del riesgo.</p>		
	<b>Respuestas al cambio climático</b>		
	Conclusiones sólidas	<p>Hay cierto grado de adaptación planificada del ser humano; para reducir la vulnerabilidad al cambio climático es necesaria una adaptación de mayor alcance.</p> <p>Sin medidas de mitigación, el cambio climático, probablemente, desbordaría la capacidad de adaptación de los sistemas naturales, gestionados y humanos.</p> <p>Se dispone o se dispondrá de opciones de mitigación en todos los sectores.</p> <p>Muchos impactos pueden ser reducidos, retardados o evitados con medidas de mitigación. El aplazamiento de reducción de emisiones limita las oportunidades de alcanzar niveles de estabilización más bajos, incrementando el riesgo de impactos más graves.</p> <p>La estabilización de emisiones de GEI puede conseguirse mediante tecnologías disponibles, otras que se comercializarán, siempre que haya incentivos, así como actividades I+D+D.</p> <p>Un desarrollo más sostenible contribuye a las medidas de adaptación y mitigación al cambio climático y a la reducción de la vulnerabilidad.</p> <p>Las políticas macroeconómicas no relacionadas con el cambio climático pueden afectar a las emisiones.</p>	
		Incertidumbres clave	<p>No se conoce cómo incorporan los planificadores de desarrollo la información sobre la variabilidad climática y el cambio climático.</p> <p>La evolución y uso de la capacidad de adaptación y mitigación dependerá de las vías de desarrollo socioeconómico.</p> <p>No se conocen detalladamente los obstáculos, limitaciones y costos de adaptación (dependen de factores de riesgo geográficos y climáticos y limitaciones institucionales, políticas y financieras).</p> <p>La estimación de los costos y potenciales de mitigación dependerá de los supuestos adoptados respecto al crecimiento socioeconómico, cambio tecnológico y pautas de consumo futuros.</p> <p>Los efectos de las políticas no climáticas sobre las emisiones no están suficientemente cuantificados.</p>

**Tabla 6.** Conclusiones sólidas e incertidumbres clave.

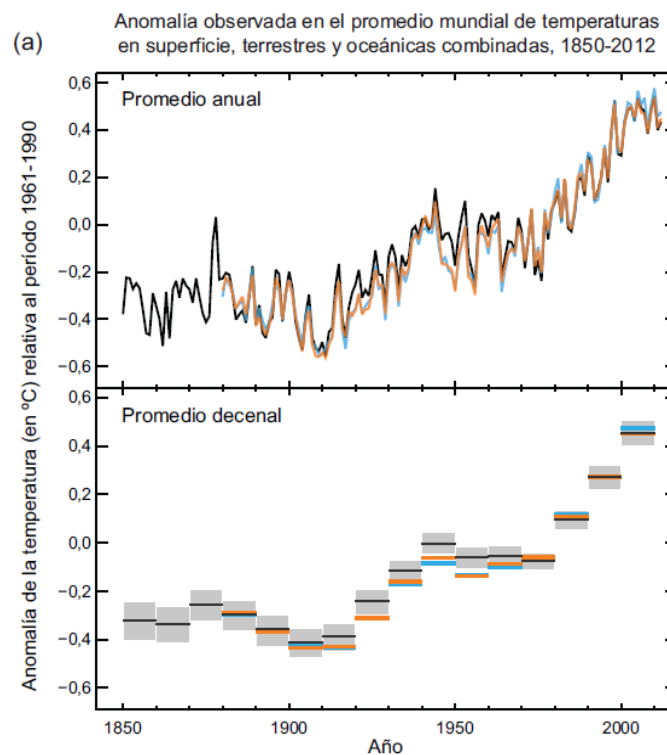
## 5. 5º INFORME DE EVALUACIÓN DEL IPCC

### 5.1. CAMBIOS OBSERVADOS EN EL SISTEMA CLIMÁTICO

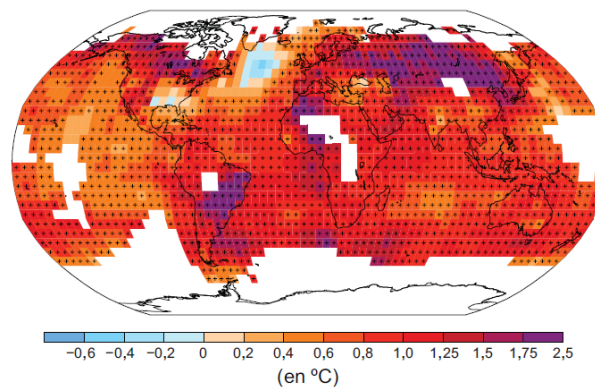
Tal y como indica el IPCC (2013), las observaciones instrumentales y las reconstrucciones paleoclimáticas permiten observar cambios a largo plazo de la atmósfera, los océanos, la criosfera y la superficie terrestre. De ellas se deduce que **el calentamiento global es inequívoco**. La atmósfera y el océano se han calentado, la cantidad de nieve y hielo ha disminuido, el nivel del mar ha aumentado y las concentraciones de GEI se han incrementado.

#### 5.1.1. ATMÓSFERA

Las tres últimas décadas han sido sucesivamente más cálidas que en ninguna otra década anterior a 1850. En el Hemisferio Norte, el periodo 1983-2012 fue *probablemente* el periodo de 30 años más cálido de los últimos 1400 años (*grado de confianza medio*).



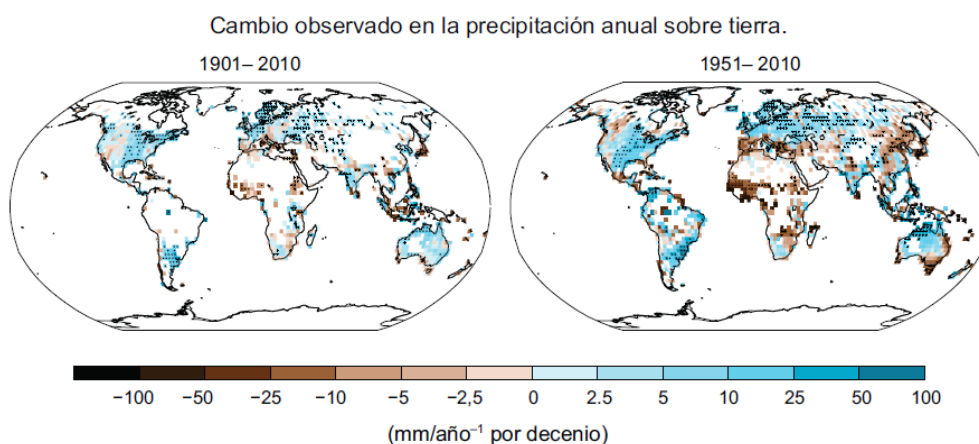
(b) Cambio observado en la temperatura en superficie, 1901-2012



**Figura 9.** a) Cambios observados de la temperatura media combinada de tierra y superficie oceánica para el periodo 1850-2012. Panel de arriba: valores medios anuales; panel de abajo: valores medios decenales incluyendo la estimación de incertidumbre (línea negra). b) Mapa de cambios de temperatura observada en el periodo 1901-2012 con tendencias de temperatura determinada por una regresión lineal de una serie de datos (línea naranja de la figura a)).

La **temperatura media global combinada de la tierra y la superficie del océano** muestran un incremento de 0,85 (0,65-1,06)°C durante el periodo 1880-2012. El incremento entre la media del periodo 1850-1900 y la del de 2003-2012 es de 0,78 (0,72-0,85)°C. Esto implica que la Tierra está sufriendo un calentamiento, aunque hay que tener en cuenta que existen variaciones naturales (como el Niño) que pueden modificar estas tendencias a nivel decadal o interanual. Por otro lado, es *virtualmente cierto* que **la troposfera** se ha calentado desde mediados del siglo XX.

También ha cambiado el **régimen de precipitaciones**, en latitudes medias del Hemisferio Norte se han incrementado desde 1901 (*grado de confianza medio* antes y *grado de confianza alto* después de 1951) y en otras latitudes existen tendencias positivas o negativas (*grado de confianza bajo*).



**Figura 10.** Mapas de cambios observados en la precipitación en los periodos 1901-2010 y 1951-2010

Se observan cambios en **fenómenos meteorológicos extremos** desde 1950. Es *muy probable* que el número de días y noches frías haya descendido y el número de días y noches cálidas haya aumentado a nivel global. Es *probable* que la frecuencia de olas de calor haya aumentado en muchas partes de Europa, Asia y Australia. Es *probable* que la frecuencia e intensidad de las precipitaciones intensas haya aumentado en muchas regiones.

### 5.1.2. OCÉANOS

El calentamiento global oceánico es mayor en los primeros 75m, que ha aumentado su temperatura 0,11 (0,09-0,13)°C/década en el periodo 1971-2010. Es *probable* un calentamiento entre los 700 a 2000m para el periodo 1957-2009, y es *probable* que no haya tendencias significativas entre los 2000 a 3000m en el periodo 1992-2005. Más del 60% de incremento neto de energía en el sistema climático fue almacenado en los primeros 700m durante el periodo 1971-2010; y alrededor del 30% más allá de los 700m.

Es *muy probable* que aquellas regiones con alta salinidad, donde domina la evaporación, sean cada vez más salinas; mientras que aquellas en las que domina la precipitación, lo sean cada vez menos desde 1950. Estas tendencias indican de forma indirecta que la evaporación y precipitación en los océanos está cambiando (*grado de confianza medio*).

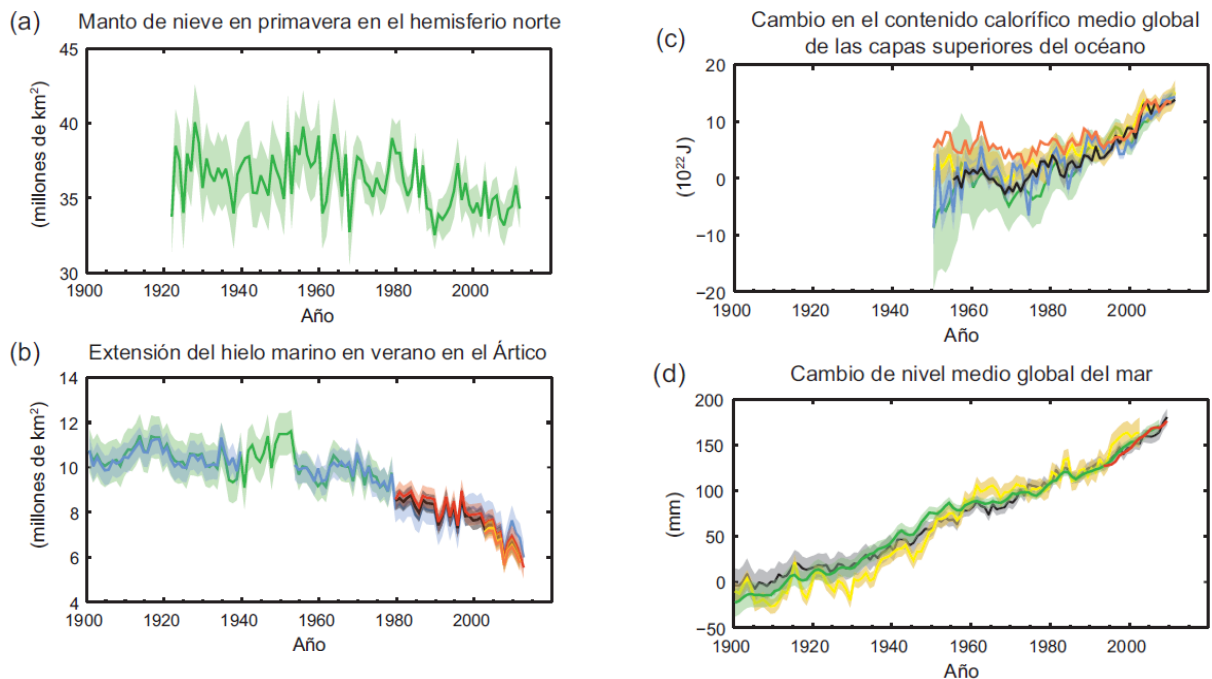
### 5.1.3. CRIOSFERA

En las últimas dos décadas, los mantos de hielo de Groenlandia y la Antártida han perdido masa, los glaciares continúan retrocediendo y el hielo del océano Ártico y la cubierta de nieve del Hemisferio Norte continúan reduciendo su extensión (*grado de confianza alto*).

La **pérdida de hielo glaciar** es *muy probable* que fuera de 226 (91-361) Gt/año durante el periodo 1971-2009, y de 275 (140-410) Gt/año en el periodo 1993-2009, por lo que ha aumentado la rapidez de su pérdida.

La **pérdida de hielo del manto de hielo de Groenlandia** es *muy probable* que haya aumentado pasando de 34 (-6-74) Gt/año en el periodo 1992-2001 a 215 (157-274) Gt/año en el periodo 2002-2011.

La **pérdida de manto de hielo antártico** es probable que haya aumentado pasando de 30 (-37-97) Gt/año en el periodo 1992-2001 a 147 (72-221) Gt/año en el periodo 2002-2011. Existe un *grado de confianza alto* en que estas pérdidas son mayores en unas regiones que en otras.



**Figura 11.** Distintos indicadores observados del cambio climático. a) Extensión de nieve en el Hemisferio Norte durante marzo-abril. b) Extensión de hielo ártico en verano (julio, agosto y septiembre). c) Cambio de contenido calorífico en las capas superiores oceánicas (0-700m) de 2006 a 2010 y medias relativas de todas las bases de datos para 1970. d) Nivel promedio del mar relativo a 1900-1905. Todas las series de datos (líneas coloreadas) muestran valores anuales y sus incertidumbres se muestran en sombreado.

La **extensión media anual de hielo marino del Ártico** ha descendido en el periodo 1979-2012, *muy probablemente* 3,5-4,1% por década. El descenso de hielo ha sido más rápido en verano (*grado de confianza alto*) y las temperaturas fueron anormalmente altas de los últimos 1450 años.

Es *muy probable* que la **extensión de hielo del Océano Antártico** haya aumentado un 1,2-1,8% por década entre 1979-2012.

Hay un *grado de confianza muy alto* en que la **extensión de la cubierta de hielo del Hemisferio Norte** ha disminuido desde mediados del siglo XX, haciéndolo 1,6 (0,8 – 2,4) % por década de marzo a abril, y 11,7 (8,8, - 14,6) % por década en junio para el periodo 1967-2012.

Hay un *grado de confianza alto* de que las **temperaturas del permafrost** han aumentado en la mayoría de las regiones desde principios de los 80. Dicho calentamiento ha sido de 3°C en el norte de Alaska (principios de los 80 a mediados del 2000) y de 2°C en algunas partes del norte de la Rusia europea (1971-2010).

#### 5.1.4. NIVEL DEL MAR

El aumento del nivel del mar desde mediados del siglo XIX ha sido **mayor que durante los dos milenios anteriores** (*grado de confianza alto*) y es *probable* que dicho aumento continuara creciendo al principio del siglo XX. Es *muy probable* que el aumento del nivel del mar fuera de 1,7 (1,5-1,9) mm/año entre 1901-2010; y 2,0 (1,7-2,3) mm/año entre 1971-2010.

En el periodo 1993-2010 el aumento del nivel del mar es debido, con un *grado de confianza alto*, a la suma de varios **factores** (expansión térmica, cambios en los glaciares, manto de hielo de Groenlandia, manto de hielo de la Antártida y agua superficial de la tierra) que combinados dan lugar a un aumento de 2,8 (2,3-3,4) mm/año, siendo el que más contribuye el primero de ellos.

Con un *grado de confianza muy alto* **el aumento máximo del último periodo interglaciar fue de 5m más que en el presente**. En dicho periodo, el deshielo de Groenlandia contribuyó *muy probablemente* entre 1,4 y 4,3 m y la temperatura de aquel entonces era 2°C más cálida que en el presente.

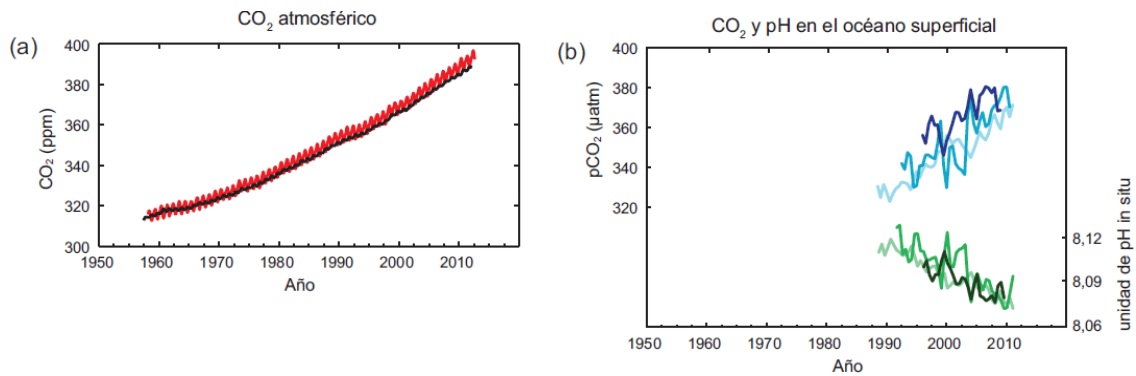
#### 5.1.5. CARBÓN Y OTROS CICLOS BIOGEOQUÍMICOS

La **concentración en la atmósfera de GEI** (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O) ha sufrido un aumento desde 1750 sin precedentes en los últimos 800.000 años. La concentración de CO<sub>2</sub> ha aumentado en un 40% desde la época preindustrial, principalmente por las emisiones de combustibles fósiles y por cambios del uso de la tierra. En 2011 la concentración de estos gases era de 391 ppm para el CO<sub>2</sub>, 1803 ppmm para el CH<sub>4</sub> y 324 ppmm para el N<sub>2</sub>O; excediéndose de los niveles preindustriales un 40%, 150% y 20% respectivamente.

Las **emisiones anuales de CO<sub>2</sub>** por combustibles fósiles y producción cementera fueron de 8,3 (7,6-9,0) GtC<sup>12</sup>/año para el periodo 2002-2011 (*grado de confianza alto*) y por cambios de uso de la tierra fueron de 0,9 (0,1-1,7) GtC<sup>12</sup>/año durante el periodo 2002-2011 (*grado de confianza medio*).

Para el periodo 1750-2011 las emisiones por combustibles fósiles y producción cementera fueron de 375 (335-395) GtC, mientras que la deforestación y otros cambios en los usos de la tierra fueron de 180 (100-260) GtC, lo que en total suma 555 (470-640) GtC. De este total, 240 (230-250) GtC son acumulados en la atmósfera, 155 (125-185) GtC en el océano y 160 (70-250) GtC en ecosistemas terrestres.

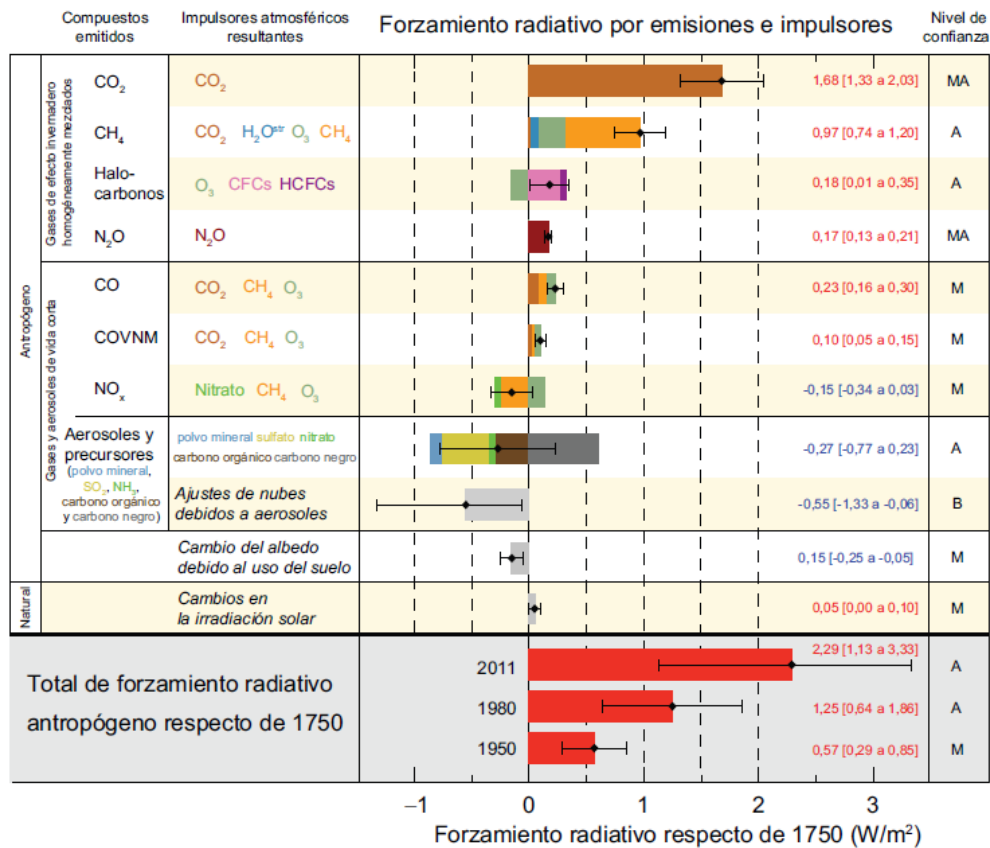
El **océano** ha absorbido alrededor del 30% del CO<sub>2</sub> emitido, lo que ha causado la acidificación de sus aguas, ya que el pH ha descendido en 0,1 desde el comienzo de la era industrial (*grado de confianza alto*).



**Figura 12.** Distintos indicadores observados del cambio del ciclo global de carbono. a) Concentraciones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera en Mauna Loa (19°32'N, 155°34'W – en rojo) y en el Polo Sur (en negro) desde 1958. b) Presión parcial de CO<sub>2</sub> disuelto en la superficie oceánica (curvas azules) y pH in situ (curvas verdes). Dichas medidas pertenecen a tres estaciones en el Atlántico (29°10'N, 15°30'W – en azul oscuro/verde oscuro; 31°40'N, 64°10'W – en azul/verde) y en el Océano Pacífico (22°45'N, 158°00'W – en azul claro/verde claro).

## 5.2. CAUSANTES DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Las sustancias y procesos naturales y antropogénicos que alteran el balance energético de la Tierra son los causantes del cambio climático. El forzamiento radiativo (FR) cuantifica el cambio en el flujo de energía en 2011 respecto a 1750. Si el FR es positivo predomina un calentamiento de la superficie, si es negativo predomina un enfriamiento. El FR está basado en observaciones in situ y remotas de las propiedades de los GEI y aerosoles, y modelos que representan procesos observados.



**Figura 13.** Forzamientos radiativos estimados en 2011 en relación a 1750 y sus correspondientes incertidumbres de los causantes del cambio climático. Los valores medios globales de forzamiento radiativo se muestran con rombos negros con los intervalos de confianza correspondientes; los valores numéricos se proporcionan a la derecha de la figura, junto con el nivel de confianza en el forzamiento neto (MA: muy alto, A: alto, M: medio, B: bajo, MB: muy bajo). El forzamiento del albedo debido al carbono negro

sobre la nieve y el hielo está incluido en la barra de aerosoles de carbono negro. No se muestran los forzamientos pequeños por estelas de condensación ( $0,05 \text{ W/m}^2$ ) y los hidrofluorocarbonos (HFC), los perfluorocarbonos (PFC) y el hexafluoruro de azufre (SF6) (total de  $0,03 \text{ W/m}^2$ ). El FR por concentración de los gases se puede obtener mediante la suma de las barras del mismo color. El forzamiento por volcanes no está incluido ya que su naturaleza episódica hace difícil comparar con otros mecanismos de forzamiento.

El FR total es positivo y es causado principalmente por el incremento de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera desde 1750. El FR antropogénico total de 2011 respecto a 1750 es de  $+2,29 (1,13-3,33) \text{ W/m}^2$  y se ha incrementado más rápidamente desde 1970 que en décadas anteriores y se estima que para 2011 es un 43% mayor que el de 2005. Esto se debe al continuo aumento de las concentraciones de GEI y nuevas estimaciones que indican un efecto neto más débil de enfriamiento por parte de los aerosoles. El FR debido a los GEI ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  y halocarbonos) en 2011 respecto a 1750 es de  $3,00 (2,22-3,78) \text{ W/m}^2$ .

**Las emisiones de  $\text{CO}_2$**  han causado un FR de  $1,68 (1,33-2,03) \text{ W/m}^2$ , si se incluyen las emisiones de otros gases que contienen carbono el FR es de  $1,82 (1,46-2,18) \text{ W/m}^2$ .

**Las emisiones de  $\text{CH}_4$**  han causado un FR de  $0,97 (0,74-1,20) \text{ W/m}^2$ , que es mucho mayor que la concentración estimada de  $0,48 (0,38-0,58) \text{ W/m}^2$  del AR4.

**Las emisiones de halocarbonos** han causado un FR neto de  $0,18 (0,01-0,35) \text{ W/m}^2$ , que es un valor similar al valor del AR4, con una reducción del FR causado por CFCs pero que se ha incrementado por el FR de sus sustitutos.

**Las emisiones de los gases de vida corta** también han contribuido al FR antropogénico total. Es *virtualmente cierto* que el monóxido de carbono ha causado un FR positivo, mientras que es *probable* que las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx) hayan causado un FR negativo.

**El FR debido al efecto total de los aerosoles** en la atmósfera es de  $-0,9 (-1,9 \text{ a } -0,1) \text{ W/m}^2$  (*grado de confianza medio*). La mayoría de aerosoles contribuye al FR negativamente, excepto el carbón negro por su absorción de la radiación solar, que contribuyen positivamente.

**El FR debido a los aerosoles volcánicos** emitidos a la estratosfera tiene un fuerte impacto en el clima durante algunos años tras la erupción. Las erupciones pequeñas han causado un FR de  $-0,11 (-0,15 \text{ a } -0,08) \text{ W/m}^2$  para el periodo 2008-2011, lo que es aproximadamente dos veces más que en el periodo 1999-2002. **El FR debido a cambios en la radiación solar** se estima en  $0,05 (0,00-0,10) \text{ W/m}^2$ . El FR natural total debido a cambios en la irradiación solar y los aerosoles volcánicos en la estratosfera tienen una contribución muy pequeña en el forzamiento radiativo neto en este último siglo, excepto en periodos breves de erupciones volcánicas.

## 5.3. COMPRESIÓN DEL SISTEMA CLIMÁTICO Y SUS CAMBIOS RECIENTES

La comprensión de los recientes cambios en el sistema climático resulta de la combinación de observaciones, estudios de procesos y modelizaciones. La capacidad por parte de los modelos climáticos depende de los componentes a modelizar, así como del forzamiento radiativo antropogénico y natural.

### 5.3.1. EVALUACIÓN DE LOS MODELOS CLIMÁTICOS

Las modelizaciones a largo plazo muestran una tendencia en la temperatura media en el periodo 1951-2012 que se corresponde con la tendencia observada (*grado de confianza muy alto*). A escalas de tiempo cortos, la confianza de la capacidad de los modelos de simular la temperatura es menor que a grandes escalas, pero ha mejorado dicha capacidad respecto al AR4.



La tendencia de **reducción del calentamiento** en superficie durante el periodo 1998-2012 es comparable con el periodo 1951-2012, esto es debido a una reducción en la tendencia del forzamiento radiativo (debida a erupciones volcánicas y al ciclo solar) y una contribución de enfriamiento de la variabilidad interna, lo que incluye una posible redistribución de calor en el océano (*grado de confianza medio*).

Ha habido una mejora sustancial en la evaluación de los **fenómenos meteorológicos extremos** respecto al AR4. Se corresponden las tendencias de frecuencia de días y noches cálidas con lo observado en la segunda mitad del siglo XX.

Ha habido algunas mejoras en la simulación a escala continental de los patrones de **precipitación** desde el AR4. A escala regional, la precipitación no se ha simulado tan bien y existen incertidumbres observacionales.

Hay un grado de confianza alto de que las estadísticas basadas en simulaciones multimodelos sobre el **monzón y el Niño** han mejorado desde el AR4.

Los modelos climáticos incluyen actualmente más procesos de **nubes y aerosoles**, así como sus interacciones, respecto al AR4, pero hay un *grado de confianza bajo* en la representación y cuantificación de estos procesos en los modelos.

Hay más modelos que en el AR4 que muestran evidencias de la tendencia a la baja de la **extensión de hielo en el Ártico** desde 1979. La mayoría de modelos simulan una ligera tendencia a la baja en la extensión de **hielo marino en la Antártida**, en contraste con la ligera tendencia al alza en las observaciones.

Muchos modelos reproducen los cambios observados en el contenido de calor en los primeros metros de los **océanos** (0-700m) en el periodo 1961-2005 (*grado de confianza alto*).

Los modelos climáticos incluyen el **ciclo de carbono**. En la mayoría de estos modelos, los tamaños de los sumideros globales en tierra y océanos en la última parte del siglo XX se encuentran dentro del rango observacional estimado.

### 5.3.2. CUANTIFICACIÓN DE LAS RESPUESTAS DEL SISTEMA CLIMÁTICO

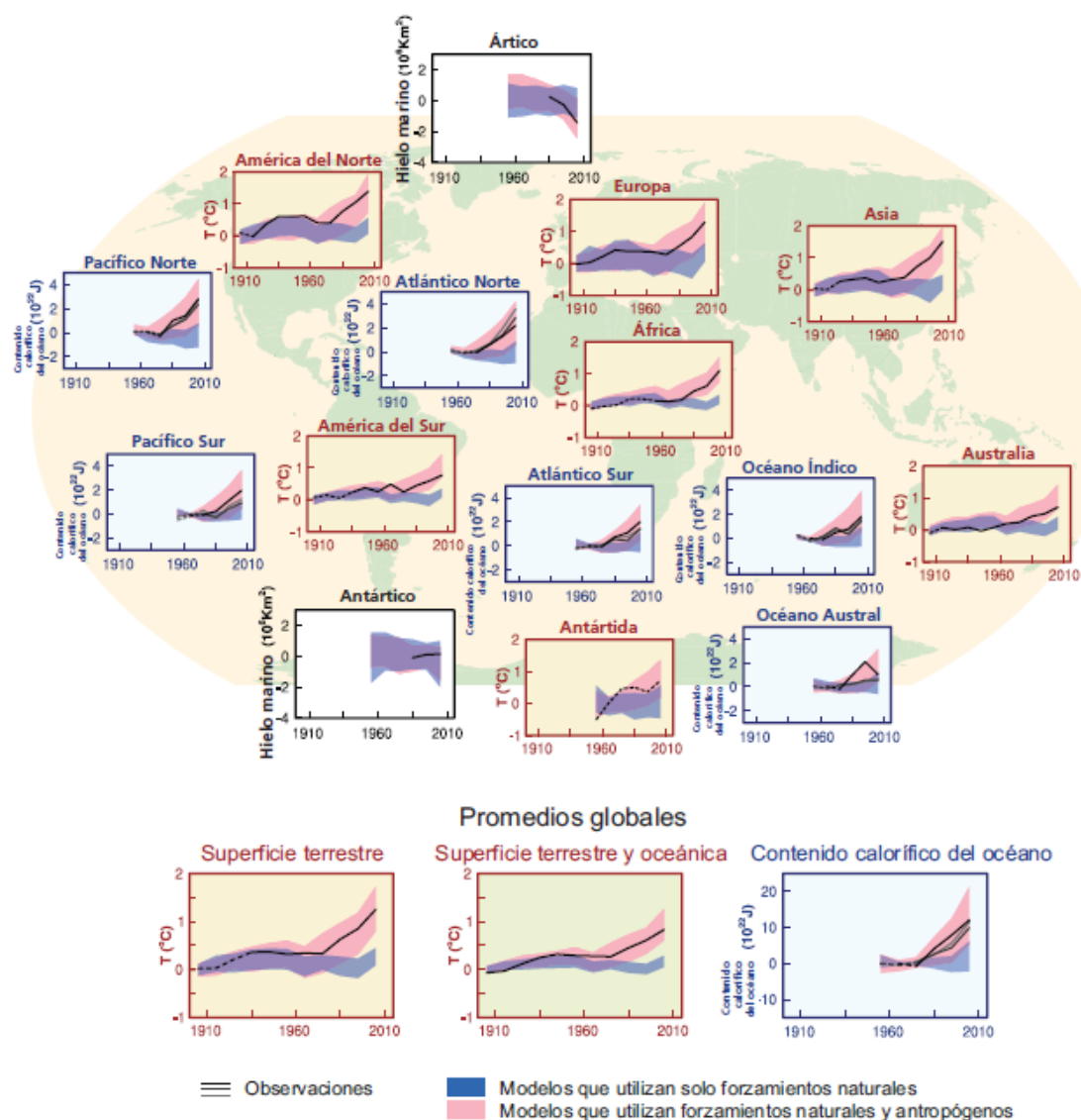
**La sensibilidad climática de equilibrio** cuantifica la respuesta del sistema climático al FR a escala de siglos. Se define como el cambio de temperatura media global causado por la duplicación de la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico y está probablemente en el rango 1,5-4,5°C (*grado de confianza alto*). La velocidad y magnitud del cambio climático está determinado por el forzamiento radiativo, la retroalimentación climática y el almacenamiento de energía por parte del sistema climático.

**La respuesta climática transitoria** es el cambio de temperatura media en el momento en que la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico se duplica en un escenario de concentración creciente con un 1% por año. Es probable que el rango sea de 1,0-2,5°C (*grado de confianza alto*). La cantidad relacionada es la **respuesta climática transitoria a las emisiones de carbono acumuladas** (TCRE), que se define como el cambio de temperatura media global por cada 1000 GtC emitidas a la atmósfera y está probablemente en el rango 0,8-2,5°C por 1000 GtC.

Varios indicadores pueden utilizarse para comparar las contribuciones al cambio climático por parte de diferentes sustancias. Los indicadores más apropiados y el horizonte de tiempo dependerán de los aspectos a considerar más importantes según cada aplicación. **El Potencial de Calentamiento Global** (GWP) está basado en el forzamiento radiativo acumulado en un horizonte temporal y el Potencial del cambio de Temperatura Global, en el cambio de la temperatura media en un momento temporal dado.



### 5.3.3. DETECCIÓN Y ATRIBUCIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO



**Figura 14.** Comparaciones de observaciones y simulaciones sobre el cambio climático con tres indicadores a largo plazo de la atmósfera, la criosfera y el océano: el cambio de temperatura en la superficie terrestre (paneles amarillos), extensión de hielo marino ártico y antártico en septiembre (paneles amarillos), y contenido de calor en las capas superiores del océano (paneles azules). También se dan los cambios globales promedio. Las anomalías se dan con relación a 1880-1919 para las temperaturas de superficie, 1960-1980 para el contenido de calor del océano y 1979-1999 para el hielo del mar. Las series de tiempo son promedios decenales, trazado en el centro de la década. Para los paneles de temperatura, las observaciones en línea discontinua son aquellas donde la cobertura espacial de las áreas que están siendo examinados es inferior al 50%. Para los paneles del contenido de calor del océano y el hielo marino la línea continua es donde la cobertura de los datos es buena, y la línea de puntos es donde sólo es adecuada, y por lo tanto, la incertidumbre es mayor. Los resultados del modelo mostrados pertenecen a la Fase 5 del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP5) con rangos de conjuntos de modelos múltiples, las bandas sombreadas indican los intervalos de confianza del 5 al 95%.

Es *extremadamente probable* que más de la mitad del **aumento de la temperatura media** observada en el periodo 1951-2010 fuera causada por el ser humano. Los GEI han contribuido al aumento del calentamiento, probablemente de 0,5-1,3°C en el periodo 1951-2010. El forzamiento radiativo antropogénico (incluyendo el efecto de enfriamiento de los aerosoles) es, probablemente, de -0,6 a 0,1°C y el forzamiento natural -0,1 a 0,1°C. En conjunto el rango es de 0,6 a 0,7°C para ese periodo según lo observado. En todas las regiones continentales (excepto en la Antártida) el forzamiento

antropogénico, probablemente, ha contribuido al aumento de la temperatura desde la segunda mitad del siglo XX. En la Antártida hay un *grado de confianza bajo* de que esto sea así.

Es *muy probable* que la influencia antropogénica haya dejado patente un patrón de **calentamiento troposférico y un enfriamiento en las capas bajas de la estratosfera** desde 1961. Es muy probable que el forzamiento antropogénico haya contribuido al **aumento de calor oceánico** (de 0 a 700m) desde la década de 1970.

Es probable que la influencia del ser humano haya afectado al **ciclo global del agua** desde 1960. También ha contribuido al incremento de humedad en la atmósfera (*grado de confianza medio*), a cambios en los patrones de precipitación (*grado de confianza medio*), a la intensificación de precipitaciones intensas (*grado de confianza medio*) y al cambio de salinidad en los océanos (*muy probablemente*).

Ha habido un aumento de la evidencia de la influencia humana en relación con las **temperaturas extremas**, ya que es *muy probable* que haya contribuido a cambios en la frecuencia e intensidad de las temperaturas extremas diarias desde mediados del siglo XX, y *probablemente* la influencia del ser humano haya duplicado la probabilidad de la incidencia de **olas de calor**.

Es *muy probable* que la influencia del ser humano haya contribuido a la **pérdida de hielo marino** en el Ártico desde 1979. Es *probable* que la influencia del ser humano haya contribuido a la **disminución de los glaciares** desde la década de los 60 y se ha incrementado la **pérdida de masa de hielo** de Groenlandia desde 1993. Hay un *bajo grado de confianza* a la hora de atribuir al ser humano la pérdida de hielo de la Antártida en las dos últimas décadas. Es *probable* que el ser humano haya contribuido en la reducción observada de la **cubierta de nieve** en el Hemisferio Norte desde 1970.

Es *muy probable* que el ser humano haya contribuido al **aumento del nivel del mar** desde la década de los 70 tanto por la expansión térmica como por la pérdida de masa glaciar (*grado de confianza alto*).

Hay un *grado de confianza alto* en que los **cambios en la irradiancia solar total** no han contribuido al incremento de la temperatura en el periodo 1986-2008. Hay un *grado de confianza medio* en que la variación del ciclo solar de 11 años ha hecho fluctuar el clima en algunas regiones.

#### 5.4. FUTURO DEL CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL Y REGIONAL

Las proyecciones se hacen con una jerarquía de modelos climáticos, de modelos simples a más complejos, que simulan cambios basados en un conjunto de escenarios de forzamiento radiativo antropogénico. Para la nueva simulación climática se han usado un nuevo conjunto de escenarios (RCPs). En todos los RCPs la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico es mayor en 2100 que ahora. Las proyecciones son para el periodo 2081-2100 en comparación con el periodo 1986-2005.

Las continuas emisiones de GEI causarán un mayor calentamiento y cambios en todos los componentes del sistema climático. El cambio climático proyectado basado en los escenarios RCPs es similar al del AR4 tanto en patrones como en magnitud.

		2046–2065		2081–2100	
	Escenario	Media	Rango probable <sup>c</sup>	Media	Rango probable <sup>d</sup>
Cambio en la temperatura media global del aire en superficie (en °C) <sup>a</sup>	RCP2,6	1,0	0,4 a 1,6	1,0	0,3 a 1,7
	RCP4,5	1,4	0,9 a 2,0	1,8	1,1 a 2,6
	RCP6,0	1,3	0,8 a 1,8	2,2	1,4 a 3,1
	RCP8,5	2,0	1,4 a 2,6	3,7	2,6 a 4,8
	Escenario	Media	Rango probable <sup>c</sup>	Media	Rango probable <sup>d</sup>
Elevación media mundial del nivel del mar (en metros) <sup>b</sup>	RCP2,6	0,24	0,17 a 0,32	0,40	0,26 a 0,55
	RCP4,5	0,26	0,19 a 0,33	0,47	0,32 a 0,63
	RCP6,0	0,25	0,18 a 0,32	0,48	0,33 a 0,63
	RCP8,5	0,30	0,22 a 0,38	0,63	0,45 a 0,82

**Tabla 7.** Cambio medio global proyectado de la temperatura superficial y del nivel del mar desde mediados y finales del siglo XXI relativo al periodo de referencia de 1986-2005.

#### 5.4.1. ATMÓSFERA: TEMPERATURA

La temperatura durante el periodo 2016-2035 será 0,3-0,7°C mayor que en el periodo 1986-2005 (*grado de confianza medio*). El incremento de temperatura media estacional y anual será mayor en los trópicos y subtropicos que en latitudes medias (*grado de confianza alto*). En la región ártica el calentamiento será más rápido que en el resto, y en la tierra será mayor que en los océanos (*grado de confianza muy alto*).

El incremento de temperatura durante el periodo 2081-2100 respecto 1986-2005 se prevé que sea *probablemente* en los rangos derivados de la simulación de concentraciones, estos son:

- RCP2.6: 0,3 a 1,7°C
- RCP4,5: 1,1 a 2,6°C
- RCP6.0: 1,4 a 3,1°C
- RCP8,5: 2,6 a 4,8°C

En relación a la media en el periodo 1850-1900, la temperatura para finales del siglo XXI estará probablemente por encima de 1,5°C para RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5 (*grado de confianza alto*) y mayor de 2°C para RCP6.0 y RCP8.5 (*grado de confianza alto*). Es probable que no se sobrepase de 4°C ni en el caso del RCP8.5 (*grado de confianza medio*).

Es *virtualmente cierto* que habrá mayor frecuencia de temperaturas cálidas y menos temperaturas frías extremas en la mayoría de zonas. Es *muy probable* que las olas de calor aumenten su frecuencia y duración.

#### 5.4.2. ATMÓSFERA: CICLO DEL AGUA

Los cambios del ciclo del agua no serán uniformes durante el siglo XXI. Aumentará el contraste entre regiones húmedas y secas y entre estaciones húmedas y secas, aunque puede que haya excepciones. A altitudes elevadas y en el Océano Pacífico ecuatorial es *probable* que haya un aumento de la precipitación media anual a finales de este siglo, según el escenario RCP8.5. En muchas regiones en latitudes medias y regiones subtropicales secas la precipitación *probablemente* disminuya, mientras que en latitudes medias húmedas *probablemente* aumentará al final de este siglo según el escenario RCP8.5.

Los eventos de precipitación extrema, *muy probablemente* serán más intensos y frecuentes en la mayoría de regiones de latitudes medias y en regiones tropicales húmedas al final de este siglo, al igual que el aumento de temperatura media.

Es *probable* que el área de monzón aumente durante el siglo XXI. Mientras que los vientos de monzón serán *probablemente* más débiles, la precipitación será probablemente más intensa debido al incremento de humedad atmosférica. La fecha de inicio de monzón *probablemente* sea cada vez antes o no cambien mucho y *muy probablemente* tarde más en retirarse.

Hay un *grado de confianza alto* de que el Niño seguirá siendo la forma dominante de variación interanual en el Pacífico tropical causando efectos globales en el siglo XXI. Debido al incremento de humedad, la variación de precipitación por el Niño, *muy probablemente* se intensificará.

#### 5.4.3. ATMÓSFERA: CALIDAD DEL AIRE

Las proyecciones de calidad del aire (ozono y PM2.5) vienen dadas por las emisiones más que por el cambio climático físico (*grado de confianza medio*). Hay un *grado de confianza alto* de que globalmente, el calentamiento hará descender el ozono, pero los altos niveles de CH<sub>4</sub> (RCP8.5) pueden compensar este descenso.

Las observaciones y la modelización indican que, en igualdad de condiciones, las regiones contaminadas con mayor temperatura aumentará el nivel de emisiones de ozono y PM2.5 (*grado de confianza medio*).

#### 5.4.4. OCÉANO

El océano continuará calentándose durante el siglo XXI. El calentamiento entrará por la superficie hacia la profundidad del océano, afectando a la circulación oceánica.

El mayor calentamiento oceánico está proyectado en la superficie tropical y subtropical del Hemisferio Norte. Las estimaciones de calentamiento a menos de 100m son de 0,6°C (RCP2.6) a 2°C (RCP8.5) y a más de 1000m son de 0,3°C (RCP2.6) a 0.6°C (RCP8.5) a finales del siglo XXI.

Es *muy probable* que la Circulación Meridional de Retorno del Atlántico (AMOC) sea más débil en el siglo XXI. Dicha reducción, respecto al AR4, será de 11% en RCP2.6 y 34% en RCP8.5. Es probable que este descenso se vea a partir de 2050. Es *poco probable* que la AMOC sufra una transición o colapso en el siglo XXI según los escenarios considerados.

#### 5.4.5. CRIOSFERA

Está proyectado que la extensión de hielo marino ártico se reduzca a finales del siglo XXI durante todo el año. Estas reducciones son de 43% (RCP2.6) a 94% (RCP8.5) en septiembre y de 8%(RCP2.6) a 34% (RCP8.5) en febrero (*grado de confianza media*). Según RCP8.5 a mediados del siglo XXI casi desaparecerá la extensión de hielo marino en el Ártico durante septiembre (*grado de confianza medio*). Para el resto de escenarios no puede asegurarse esta afirmación.

En la Antártida está proyectado un descenso en la extensión y volumen de hielo marino, con un *grado de confianza bajo*, a finales del siglo XXI mientras las temperaturas continúen aumentando.

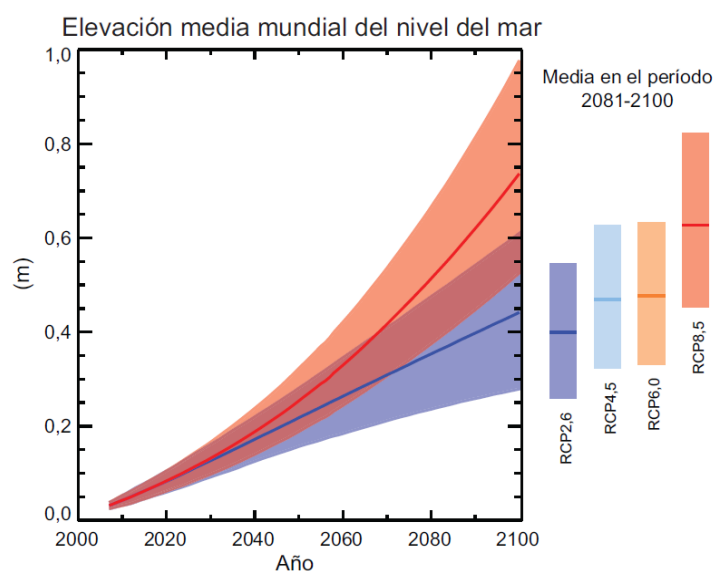
El volumen de los glaciares a finales del siglo XXI, está proyectado que descienda de 15 a 55% (RCP2.6) y de 35 a 85% (RCP8.5) (*grado de confianza medio*).

El área de cobertura de nieve en el Hemisferio Norte está proyectado que descienda un 7% según RCP2.6 a 25% según RCP8.5 a finales del siglo XXI (*grado de confianza medio*).

Es virtualmente cierto que la superficie del permafrost se reducirá con el incremento de temperatura. A finales de siglo XXI, esta superficie (primeros 3,5m) está proyectado que descienda entre un 37% (RCP2.6) a un 81% (RCP8.5).

#### 5.4.6. NIVEL DEL MAR

El nivel del mar continuará aumentando durante el siglo XXI, el cual será mayor, *muy probablemente*, que el observado durante el periodo 1971-2010 debido al incremento del calentamiento oceánico y la pérdida de masa de glaciares y mantos de hielo.



**Figura 15.** Proyecciones medias globales de la elevación del nivel del mar en el siglo XXI respecto al periodo 1986-2005 mediante la combinación del conjunto CMIP5 con modelos basados en procesos para RCP2.6 y RCP8.5. El rango probable evaluado se muestra como una banda sombreada. El rango probable para la media durante el periodo 2081-2100 para todos los escenarios RPC se dan como barras verticales coloreadas, con el correspondiente valor medio en una línea horizontal.

El aumento del nivel del mar para el periodo 2081-2100 respecto al periodo 1986-2005 estará, *probablemente*, en los rangos de: 0,26-0,55m (RCP2.6); 0,32-0,63m (RCP4.5); 0,33-0,63m (RCP6.0), y 0,45-0,82 (RCP8.5) (*grado de confianza medio*). Para el 2100, según el RCP8.5, será de 0,52 a 0,98m con una tasa de elevación de 8 a 16 mm/año durante el periodo 2081-2100.

El aumento del nivel del mar se debe en un 30-55% a la expansión térmica y en un 15-35% al deshielo de glaciares. La fusión del hielo de Groenlandia será mayor que la caída de nieve, lo que deja un balance positivo a este aumento del nivel (*grado de confianza alto*). La fusión del hielo en la Antártida será menor que la caída de nieve, por lo que el balance será negativo a este aumento de nivel. La contribución de ambos será de 0,03 a 0,20m en el periodo 2081-2100 (*grado de confianza medio*).

El aumento del nivel del mar no será uniforme. A finales del siglo XXI, es *muy probable*, que el nivel del mar aumentará en el 95% del área oceánica. Alrededor del 70% de las costas del mundo se proyecta que se vean afectadas.

#### 5.4. 7. EL CICLO DE CARBONO Y OTROS CICLOS BIOGEOQUÍMICOS

La absorción del CO<sub>2</sub> antropogénico por parte del océano continuará hasta 2100 según los cuatro grupos de escenarios (*grado de confianza muy alto*). La evolución futura de la absorción en tierra es más incierta (la mayoría de modelos proyectan una continuada absorción en tierra, otros simulan una pérdida debida a la combinación del efecto del cambio climático con el cambio de uso de la tierra).

Existe un *grado de confianza alto* en que la retroalimentación entre el clima y el ciclo de carbono es positiva en el siglo XXI, lo que significa que el cambio climático reducirá la absorción de CO<sub>2</sub> en sumideros terrestres y oceánicos. Como resultado, el CO<sub>2</sub> antropogénico permanecerá más tiempo en la atmósfera.

Todos los modelos predicen un incremento de la acidificación en los océanos. Dicho descenso del pH proyectado a finales del siglo XXI es de: 0,06-0,07 (RCP2.6); 0,14-0,15 (RCP4.5); 0,20-0,21 (RCP6.0) y 0,30-0,32 (RCP8.5).

Las emisiones de CO<sub>2</sub> acumuladas en el periodo 2012-2100, según 15 modelos del sistema Tierra son: 140-410 GtC (RCP2.6); 595-1005 GtC (RCP4.5); 840-1250 GtC (RCP6.0) y 1415-1910 GtC (RCP8.5).

Escenario	Emisiones de CO <sub>2</sub> acumuladas para 2012-2100 <sup>a</sup>			
	GtC		GtCO <sub>2</sub>	
	Media	Rango	Media	Rango
RCP2,6	270	140 a 410	990	510 a 1 505
RCP4,5	780	595 a 1 005	2 860	2 180 a 3 690
RCP6,0	1 060	840 a 1 250	3 885	3 080 a 4 585
RCP8,5	1 685	1 415 a 1 910	6 180	5 185 a 7 005

Notas:

<sup>a</sup> 1 gigatonelada de carbono = 1 GtC = 10<sup>15</sup> gramos de carbono, equivalente a 3,667 GtCO<sub>2</sub>.

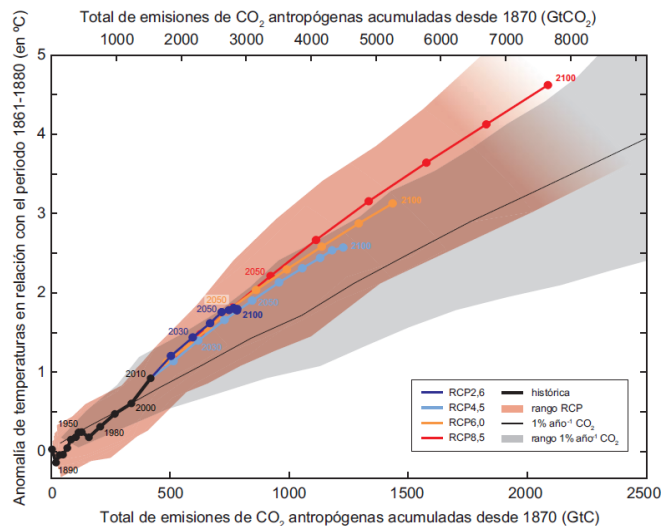
**Tabla 8.** Emisiones de CO<sub>2</sub> acumuladas para el periodo 2012-2100 compatible con las concentraciones atmosféricas simuladas por CMIP5 Earth System Models.

Para el año 2050 las emisiones anuales de CO<sub>2</sub>, según RCP2.6, serán menores que en 1990 (de un 14 a 96%). A finales de este siglo, la mitad de los modelos predicen que las emisiones serán ligeramente positivas, el resto predice que hay una absorción neta de CO<sub>2</sub> en la atmósfera.

La liberación de CO<sub>2</sub> o CH<sub>4</sub> a la atmósfera debida a la descongelación del permafrost en el siglo XXI estará en el rango 50-250 GtC según RCP8.5.

#### 5.4.8. ESTABILIZACIÓN CLIMÁTICA, INEXORABILIDAD E IRREVERSIBILIDAD DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Las emisiones acumuladas de CO<sub>2</sub> determinan en parte el calentamiento global a finales del siglo XXI y más allá. La mayoría de los aspectos del cambio climático persistirán durante muchos siglos aunque se detuvieran las emisiones de CO<sub>2</sub>.



**Figura 16.** Aumento mundial de la temperatura en función de las emisiones totales acumuladas de CO<sub>2</sub>. Los resultados multimodelo para cada RCP hasta 2100 se muestran con líneas de colores y puntos (medios decenales). Los resultados del modelo sobre el periodo histórico (1860-2010) se indican en negro. El penacho de color ilustra los cuatro escenarios de RCP y desaparece con la disminución del número de modelos disponibles. La media del multimodelo y el rango simulado por los modelos CMIP5, forzado por un aumento de CO<sub>2</sub> del 1% por año está dada por la línea fina negra y la zona gris. Los valores de temperatura se dan en relación con el período base 1861-1880, las emisiones con respecto a 1870.

Se puede reducir el calentamiento causado por la emisión de CO<sub>2</sub> antropogénico a menos de 2°C respecto al periodo 1861-1880 con una probabilidad de:

- >33%: requerirá emisiones de CO<sub>2</sub> acumuladas de entre 0-1570 GtC
- >50%: requerirá emisiones de CO<sub>2</sub> acumuladas de entre 0-1210 GtC
- >66%: requerirá emisiones de CO<sub>2</sub> acumuladas de entre 0-1000 GtC

Estas cantidades se reducen a 900 GtC, 820 GtC y 790 GtC respectivamente con GEI que no sean CO<sub>2</sub> con el modelo RCP2.6. Cabe citar que en 2011 ya se habían emitido 515 GtC.

El objetivo de un menor calentamiento requerirá una menor acumulación de emisiones de CO<sub>2</sub>. Los efectos de aumento de GEI que no sean CO<sub>2</sub>, la disminución de aerosoles o la liberación de GEI del permafrost también descenderán las emisiones acumuladas de CO<sub>2</sub>.

Gran parte del cambio climático antropogénico es irreversible a escala milenial. La temperatura será constante a niveles elevados después del cese de emisiones antropogénicas, y también se dará en los océanos. Según el escenario, alrededor del 15 al 40% del CO<sub>2</sub> emitido permanecerá en la atmósfera más de 1000 años.

Es *virtualmente cierto* que el nivel del mar continuará creciendo más allá de 2100, debido a que la expansión térmica continuará afectando durante muchos siglos. Los resultados de los modelos indican que el nivel del mar aumentará en 2300 menos de 1m respecto al nivel preindustrial, con un forzamiento radiativo de CO<sub>2</sub> pico en 500 ppm (RCP2.6) o de 1 a 3m con un forzamiento radiativo de CO<sub>2</sub> pico en 700ppm (*grado de confianza media*).

La pérdida del manto de hielo podría causar un aumento del nivel del mar y parte de esta pérdida de masa sería irreversible. Un calentamiento prolongado daría lugar a la pérdida casi completa del hielo en Groenlandia y podría aumentar el nivel del mar hasta 7m (*grado de confianza alto*). Las estimaciones indican que el umbral sería mayor de 1°C (*grado de confianza bajo*), pero menos de 4°C (*grado de confianza medio*) respecto a la era preindustrial.

## 5.5. ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN

Según IPCC (2014), la adaptación y la mitigación son estrategias complementarias para reducir y gestionar el riesgo del cambio climático. La disminución de las emisiones durante las próximas décadas puede reducir los riesgos climáticos, y además aumentar la adaptación efectiva, así como reducir los costes de mitigación a largo plazo. Dicha mitigación es conveniente que no se retrase por más tiempo y que se lleve a cabo a escala global, con el fin de que sea más efectiva.

La mitigación y la adaptación son enfoques complementarios para la reducción de riesgos de los impactos del cambio climático en diferentes escalas de tiempo (*confianza alta*). La mitigación puede reducir sustancialmente los impactos del cambio climático en las últimas décadas del siglo XXI y más allá. Los beneficios de la adaptación ya se pueden realizar para hacer frente a los riesgos actuales, y se pueden realizar en el futuro para hacer frente a los riesgos emergentes.

Sin los esfuerzos de mitigación adicionales a los existentes hoy en día, e incluso con la adaptación, el calentamiento a finales del siglo XXI dará lugar a un alto riesgo de impactos graves, generalizados e irreversibles a nivel mundial (*confianza alta*). En la mayoría de los escenarios sin los esfuerzos de mitigación adicionales, el calentamiento es más *probable que improbable* que exceda de 4 °C por encima de los niveles preindustriales para el año 2100. Los riesgos asociados con temperaturas iguales o superiores a 4 °C incluyen la extinción sustancial de especies, la inseguridad alimentaria mundial y regional, las limitaciones consecuentes en las actividades humanas comunes, y un potencial limitado para la adaptación en algunos casos (*confianza alta*). Algunos de los riesgos del cambio climático, tales como riesgos a sistemas únicos y amenazados y las amenazas asociadas a fenómenos meteorológicos extremos, se verían potenciados con 1°C a 2°C por encima de los niveles preindustriales.

Muchas de las opciones de adaptación y mitigación pueden ayudar a hacer frente al cambio climático, pero no hay una sola opción que sea suficiente por sí misma. La efectiva implementación depende de las políticas y la cooperación en todas las escalas, y se puede mejorar a través de respuestas integradas que unan adaptación y mitigación con otros objetivos sociales.

Por otro lado, los retrasos en la mitigación o las restricciones sobre las opciones tecnológicas aumentan los costos de mitigación a largo plazo para contener los riesgos del cambio climático en un nivel determinado.

### 5.5.1. CARACTERÍSTICAS DE LA ADAPTACIÓN

La adaptación puede contribuir al bienestar de la población, la seguridad de los bienes, y el mantenimiento de los bienes de los ecosistemas, las funciones y los servicios ahora y en el futuro. Un primer paso hacia la adaptación al cambio climático futuro es la reducción de la vulnerabilidad y la exposición a la variabilidad climática (*confianza alta*). La integración de la adaptación en la planificación, incluyendo el diseño de políticas y la toma de decisiones puede promover sinergias con el desarrollo y la reducción del riesgo de desastres.

La planificación y ejecución de la adaptación se pueden mejorar a través de acciones complementarias en todos los niveles, desde los individuos a los gobiernos (*confianza alta*). Aunque es cierto que existen restricciones que pueden impedir su planificación y ejecución (*confianza alta*), las más comunes son: limitados recursos financieros y humanos; limitada integración o coordinación del gobierno; incertidumbres sobre los impactos proyectados; diferentes percepciones de los riesgos; y herramientas limitadas para monitorear la efectividad de adaptación. Otra restricción incluye la insuficiente investigación, el monitoreo y la observación y la financiación para su mantenimiento.



Existen **opciones de adaptación** en todos los sectores, pero su contexto de aplicación y el potencial para reducir los riesgos relacionados con el clima difiere entre los distintos sectores y regiones. Algunas respuestas de adaptación implican importantes beneficios, sinergias y compensaciones.

Hay un creciente reconocimiento del valor de las medidas sociales, institucionales y aquellas basadas en los ecosistemas. La adaptación se está introduciendo en algunos procesos de planificación, con una aplicación más limitada de respuestas (*confianza alta*). Se espera que la necesidad de adaptación aumente con el cambio climático (*confianza muy alta*).

Existen co-beneficios significativos, sinergias y compensaciones entre mitigación y adaptación, y entre las diferentes respuestas de adaptación. El aumento de los esfuerzos de mitigación y adaptación al cambio climático implica una complejidad cada vez mayor de las interacciones, especialmente en las intersecciones entre el agua, la energía, el uso del suelo y la biodiversidad, pero las herramientas para entender y manejar estas interacciones siguen siendo limitadas. Ejemplos de acciones que incluyen co-beneficios son: (i) la mejora de la eficiencia energética y las fuentes de energía más limpias, lo que lleva a la reducción de las emisiones de contaminantes atmosféricos que alteran el clima y son perjudiciales para la salud; (ii) la reducción de consumo de energía y agua en las zonas urbanas a través de “ciudades verdes” y reciclaje de agua; (iii) la agricultura y la silvicultura sostenible; y (iv) la protección de los ecosistemas para el almacenamiento de carbono y otros servicios de los ecosistemas.

### 5.5.2. CARACTERÍSTICAS DE LAS VÍAS DE MITIGACIÓN

Existen múltiples vías de mitigación que es probable que limiten el calentamiento a menos de 2°C respecto a los niveles preindustriales. Estas vías requerirían reducciones de emisiones sustanciales en las próximas décadas, próximas a un valor de 0 emisiones de CO<sub>2</sub> y otros GEI de vida larga para el final del siglo. La aplicación de tales reducciones plantea retos tecnológicos, económicos, sociales e institucionales.

Sin esfuerzos adicionales para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero más allá de los existentes hoy en día, se espera que el crecimiento de las emisiones globales persista, impulsadas por el crecimiento de la población mundial y de las actividades económicas. El aumento mundial de la temperatura media de la superficie en 2100 en los escenarios de referencia - aquellos sin mitigación adicional – se encuentran en el rango de 3,7 a 4,8°C por encima de la media de 1850 a 1900.

Retrasar la mitigación adicional para 2030 incrementará sustancialmente los retos asociados con la limitación del calentamiento por debajo de 2 ° C con respecto a los niveles preindustriales en el siglo XXI. Requerirá tasas más altas de reducción de emisiones de 2030 a 2050; mayor rapidez en la ampliación de energía baja en carbono durante este período; una dependencia más grande en tecnologías y métodos de Eliminación de Dióxido de Carbono (CDR) a largo plazo; y mayores impactos económicos a largo plazo.

En ausencia o escasa disponibilidad de tecnologías de mitigación (como la bioenergía, la energía nuclear o la eólica y solar), los costos de mitigación pueden aumentar considerablemente en función de la tecnología considerada. Retrasar la mitigación adicional aumenta los costos de mitigación en el mediano a largo plazo.

Los escenarios de mitigación que alcanzan los unos 450 o 500 ppm de CO<sub>2</sub> equivalente para el año 2100 muestran reducción de costes para alcanzar los objetivos de la calidad del aire y de seguridad energética, con importantes beneficios para la salud humana, impactos en los ecosistemas, y la suficiencia de los recursos y la capacidad de recuperación del sistema energético.

La política de mitigación podría devaluar los activos de combustibles fósiles y reducir los ingresos de los exportadores de combustibles fósiles, pero existen diferencias entre las regiones y los combustibles (*confianza alta*). La mayoría de los escenarios de mitigación están asociados con ingresos reducidos del carbón y del comercio de petróleo (*confianza alta*). La disponibilidad de CCS podría reducir los efectos adversos de la mitigación en el valor de los activos de los combustibles fósiles (*confianza media*).

Las **opciones de mitigación** están disponibles en todos los sectores principales. La mitigación puede ser más rentable si se utiliza un enfoque integrado que combine las distintas medidas, ya que tienen un mayor coste-efectivo que las tecnologías y sectores individuales.

Las medidas para lograr los objetivos de mitigación incluyen la descarbonización (es decir, la reducción de la intensidad de carbono) de la generación de electricidad (*evidencia media, alto acuerdo*), así como mejoras en la eficiencia y los cambios de comportamiento, con el fin de reducir la demanda de energía en comparación con los escenarios de referencia sin comprometer el desarrollo (*evidencia robusta, alto acuerdo*). Además es de gran importancia aumentar los sumideros de carbono en sectores terrestres.

La reducción a corto plazo en la demanda de energía es un elemento importante de las estrategias de mitigación rentables, pues proporcionan una mayor flexibilidad para reducir la intensidad de carbono en el sector del suministro de energía, se evita la dependencia de las infraestructuras intensivas en carbono, y se asocian a importantes beneficios colaterales. Las opciones de mitigación más rentables en el sector forestal son la repoblación y gestión forestal sostenible, y la reducción de la deforestación; y en la agricultura, la gestión de tierras agrícolas, gestión de pastizales y la restauración de suelos orgánicos (*evidencia media, alto acuerdo*).

El estilo de vida y la cultura tienen una influencia considerable en el uso de energía y las emisiones asociadas, con alto potencial de mitigación en algunos sectores (*evidencia media, acuerdo medio*). Las emisiones pueden reducirse sustancialmente a través de cambios en los patrones de consumo, la adopción de medidas de ahorro de energía, cambio en la dieta y la reducción de los desechos de alimentos.

### 5.5.3. FACTORES Y LIMITACIONES COMUNES PARA LA ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN

La vulnerabilidad al cambio climático, las emisiones de GEI, y la capacidad de adaptación y la mitigación están fuertemente influenciadas por los medios de vida, estilos de vida, el comportamiento y la cultura (*evidencia media, acuerdo medio*). Además, la aceptación social y/o la eficacia de las políticas climáticas están influenciadas por el grado en que incentivan o dependen de los cambios a nivel regional adecuadas en los estilos de vida o comportamientos.

Para muchas regiones y sectores, las capacidades mejoradas de mitigación y adaptación son parte de la base fundamental para la gestión de los riesgos del cambio climático (*confianza alta*). La mejora de las instituciones, así como la coordinación y la cooperación en el gobierno puede ayudar a superar las limitaciones regionales relacionadas con la mitigación, la adaptación y la reducción del riesgo de desastres (*confianza muy alta*).

### 5.5.4. ENFOQUES DE POLÍTICAS PARA LA ADAPTACIÓN Y LA MITIGACIÓN, LA TECNOLOGÍA Y LAS FINANZAS

Las respuestas de adaptación y de mitigación efectivas dependerán de las políticas y medidas a través de múltiples escalas: internacional, regional, nacional y subnacional. La cooperación internacional es fundamental para la mitigación efectiva, a pesar de que la mitigación también puede tener beneficios colaterales locales. La adaptación se centra principalmente en escalas de local a nacional, pero su

eficacia puede mejorarse a través de la coordinación de escalas de gobierno, incluida la cooperación internacional. Algunas de estas políticas son:

- **La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)** es el principal foro multilateral centrado en la lucha contra el cambio climático, con participación casi universal.
- **El Protocolo de Kyoto** ofrece instrucciones para lograr el objetivo último de la CMNUCC.
- **Política de vínculos** entre las políticas climáticas regionales, nacionales y sub-nacionales que ofrecen beneficios potenciales de mitigación del cambio climático (*evidencia media, acuerdo medio*).
- **La cooperación internacional** para la creación de estrategias de adaptación, planes y acciones a nivel nacional, subnacional y local (*confianza alta*).

Además ha habido un aumento considerable en los planes y estrategias nacionales y sub-nacionales tanto de adaptación como de mitigación desde el AR4, con un mayor enfoque en las políticas destinadas a integrar múltiples objetivos, aumentar los co-beneficios y reducir los efectos secundarios adversos (*confianza alta*).

Los co-beneficios y los efectos secundarios adversos de mitigación podrían afectar al logro de otros objetivos, como los relacionados con la salud humana, la seguridad alimentaria, la biodiversidad, la calidad ambiental local, el acceso a la energía, medios de subsistencia y el desarrollo equitativo y sostenible. El potencial de los beneficios colaterales para las medidas de uso final de la energía supera el potencial de efectos secundarios adversos. Pero algunas políticas de mitigación aumentan los precios de algunos servicios de energía y podrían obstaculizar la capacidad de las sociedades para ampliar el acceso a servicios modernos de energía a las poblaciones desatendidas (*baja confianza*). Estos posibles efectos secundarios adversos sobre acceso a la energía se pueden evitar con la adopción de políticas complementarias, como las rebajas de impuestos u otros mecanismos de transferencia de beneficios (*confianza media*).

#### 5.5.5. LAS COMPENSACIONES, LAS SINERGIAS Y LAS INTERACCIONES CON EL DESARROLLO SOSTENIBLE

*El cambio climático es una amenaza para el desarrollo sostenible. Sin embargo, hay muchas oportunidades para vincular la mitigación, la adaptación y la búsqueda de otros objetivos sociales a través de respuestas integradas (confianza alta). La implementación exitosa se basa en herramientas pertinentes, estructuras de gobierno adecuadas y una mayor capacidad de respuesta (confianza media).*

El aumento de los esfuerzos de mitigación y adaptación al cambio climático implica una complejidad cada vez mayor de las interacciones, que abarca las conexiones entre la salud humana, el agua, la energía, el uso del suelo y la biodiversidad (*evidencia media, alto acuerdo*).

Las estrategias y acciones pueden llevarse a cabo en estos momentos, las cuales avanzan hacia vías de resiliencia del clima para el desarrollo sostenible, y al mismo tiempo ayudando a mejorar los medios de vida, el bienestar social y económico, y la gestión eficaz del medio ambiente. En algunos casos, la diversificación económica puede ser un elemento importante de este tipo de estrategias. La eficacia de las respuestas integradas puede mejorarse mediante instrumentos pertinentes, las estructuras de gobierno adecuadas y la capacidad institucional y humana adecuada (*confianza media*). Las respuestas integradas son especialmente relevantes para la planificación e implementación de la energía; interacciones entre el agua, los alimentos, la energía y el secuestro de carbono biológico; y la planificación urbana, que ofrece oportunidades importantes para la capacidad de recuperación mejorada, reducción de emisiones y un desarrollo más sostenible (*confianza media*).

## 6. DIFERENCIAS ENTRE EL 4º INFORME DE EVALUACIÓN Y EL 5º INFORME DE EVALUACIÓN

Una vez estudiados todos los aspectos relacionados con el cambio climático tanto en el AR4 y el AR5, es conveniente realizar una comparativa entre las **evidencias observadas** en dichos informes con el fin de conocer en qué casos se ha acelerado dicho cambio o no.

- **Temperatura media anual:** mientras que en el AR4 se observó un aumento de 0,74°C en el periodo 1906-2005, en el AR5 fue de 0,85°C en el periodo 1880-2012, por lo que podría considerarse que ha habido un aumento de la temperatura media. Además, también se han observado cambios en la temperatura media de los océanos en ambos informes.
- **Nivel del mar:** se observan datos similares con tendencia al alza en ambos informes. Según el AR4 hubo un aumento de 1,8mm/año desde 1961 y en el AR5 fue de 2,0mm/año desde 1971; y de 3,1mm/año desde 1993 según el AR4 mientras que en el AR5 fue de 3,2mm/año desde ese mismo año. Por otro lado, la dilatación térmica, el deshielo de glaciares y casquetes y el deshielo de los mantos polares son los principales factores que incrementan el nivel del mar.
- **Extensión de hielo y nieve:** en ambos informes se observa un porcentaje de descenso del hielo ártico, siendo de 2,7% por decenio desde 1978 en el AR4 y de entre 3,5-4,1% en el periodo 1979 – 2012 en el AR5, por lo que puede afirmarse que se ha incrementado dicha pérdida. Por otra parte, en ambos informes se observa un aumento de temperatura de 3°C (2°C en el caso del norte de Rusia para el AR5) en el permafrost desde la década de 1980.
- **Precipitación:** en ambos informes se ha observado que desde principios del siglo XX se han visto incrementadas en las latitudes medias del Hemisferio Norte, tales como las partes orientales del norte de América del Norte, Europa septentrional y Asia central; mientras que en el resto del mundo la tendencia es negativa, como en el Sahel, en el Mediterráneo, el sur de África y ciertas partes del sur de Asia.
- **Olas de calor y precipitaciones intensas:** tanto en el AR4 como en el AR5 se ha observado un aumento de su frecuencia en los últimos 50 años en el caso del primero y 60 en el último.
- **pH oceánico:** en ambos informes se ha observado un descenso de 0,1 del pH en la superficie oceánica.

Comparativa entre AR4 y AR5 (EVIDENCIAS)		
	AR4	AR5
Temperatura media anual	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento 0,74 (0,56-0,92)°C de 1906-2005 en la superficie terrestre</li> <li>• Calentamiento de 0,13°C/decenio entre 1956-2005</li> <li>• Océano: ha aumentado hasta en profundidades de 3000 m</li> <li>• Troposfera: tasas de calentamiento similares a las de la superficie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tierra + océano: 0,85 (0,65-1,6)°C durante el periodo 1880-2012</li> <li>• Troposfera: desde mediados s.XX y mayor en zonas extratropicales H.N.</li> <li>• Océano: 0,11 (0,09-0,13)°C/década en el periodo 1971-2010 en los primeros 75m</li> </ul>
Nivel del mar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento 1,8 mm/año desde 1961 y 3,1mm/año desde 1993</li> <li>• Debida a dilatación térmica (57%), deshielo glaciares y casquetes (28%) y deshielo mantos polares (15%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de 1,7 mm/año entre 1901-2010; 2,0 mm/año entre 1971-2010; y 3,2 mm/año entre 1993-2010</li> <li>• Debida a expansión térmica del océano (1,1 mm/año), y de los cambios</li> </ul>

		en los glaciares (0,76 mm/año), manto de hielo de Groenlandia (0,33 mm/año), manto de hielo de la Antártida (0,27 mm/año) y el almacenamiento terrestre de agua (0,38 mm/año). Estas contribuciones suman 2,8 mm/año
<b>Extensión nieve y hielo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Descenso 2,7% por decenio del hielo marino ártico desde 1978 (7,4% en verano)</li> <li>• Descenso de glaciares y cubierta de nieve en ambos hemisferios</li> <li>• Descenso 7% desde 1990 de suelo estacionalmente congelado en H.N</li> <li>• Aumento 3°C en permafrost desde la década de los 80</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Descenso 3,5-4,1% del hielo ártico en el periodo 1979-2012</li> <li>• Aumento 1,2-1,8% del hielo antártico por década entre 1979-2012</li> <li>• Descenso de la cubierta de hielo del H.N. 1,6% por década de marzo a abril desde mediados del s.XX</li> <li>• Aumento 3°C en Alaska y 2°C en norte de Rusia del Permafrost desde principios de los 80</li> </ul>
<b>Precipitación</b>	Periodo 1900-2005: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentó en las partes orientales del norte de América del Sur y del Norte, Europa septentrional y Asia septentrional y central</li> <li>• Disminuyó en el Sahel, en el Mediterráneo, en el sur de África y en ciertas partes del sur de Asia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desde 1901: incremento en latitudes medias del H.N., en el resto tendencias negativas o positivas</li> </ul>
<b>Olas de calor y precipitaciones intensas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de la frecuencia en los últimos 50 años en la mayoría de áreas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento en muchas partes de Europa, Asia y Australia desde 1950</li> </ul>
<b>pH oceánico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución 0,1 del pH en la superficie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución 0,1 del pH en la superficie</li> </ul>

**Tabla 9.** Comparativa entre las evidencias de AR4 y AR5.

Por otro lado, también se va a realizar una comparativa similar entre ambos informes teniendo en cuenta los **cambios proyectados** de cada uno de ellos.

- **Emisiones de GEI:** ambos informes aportan grandes variaciones porcentuales, pero en el caso del AR4 se estima que las emisiones irán en aumento, mientras que en el caso del AR5 también se tiene en cuenta un posible descenso según uno de los escenarios.
- **Temperatura media anual:** se aprecian ciertas variaciones entre los informes, pues el AR4 predice que la temperatura aumentará, según de qué escenario se trate, entre 1,8-4,0°C en 2090-2099 respecto a 1980-1999, mientras que el AR5 lo hará, según de qué escenario se trate, a razón de 1,0-3,7°C en 2081-2100 respecto a 1986-2005. Teniendo en cuenta que los periodos de referencia y los periodos de estimación difieren tanto en los años escogidos como la cantidad de éstos, únicamente puede afirmarse que la temperatura continuará aumentando en el siglo XXI. Además, en ambos informes se considera que aumentará la temperatura de los océanos.
- **Nivel del mar:** en ambos informes se estima el aumento del nivel del mar de tal forma que en el caso del AR4 sería de 0,18-0,38m a 0,26-0,59m (dependiendo de los escenarios) en el periodo 2090-2099 respecto al periodo 1980-1999, mientras que en el AR5 sería dicho aumento entre 0,40-0,60m en el periodo 2081-2100 respecto al periodo 1986-2005. Como en este caso los periodos son equivalentes, puede afirmarse que las estimaciones tienden al alza.

- **Extensión de nieve y hielo:** en ambos informes está proyectado que disminuya la superficie cubierta de nieve, se produzca el deshielo de algunas regiones del permafrost y se reduzca la extensión de los hielos marinos, estimándose que el hielo marino ártico pueda desaparecer en verano los últimos años del siglo XXI según el AR4 o en septiembre a partir de mediados del siglo XXI según el AR5.
- **Precipitación:** tanto en el AR4 como en el AR5 se estima que las precipitaciones aumentarán en latitudes altas (y en el Océano Pacífico ecuatorial y algunas regiones en latitudes medias según el AR5), mientras que en la mayoría de regiones terrestres subtropicales y medias disminuirán.
- **Olas de calor y precipitaciones intensas:** en ambos informes se estima que aumente la frecuencia de estos dos factores, así como su intensidad en el caso del AR5
- **Acidificación del océano:** está previsto que haya una reducción del pH en la superficie oceánica de entre 0,14 y 0,35 unidades durante el siglo XXI según el AR4, y un descenso del mismo de entre 0,06 y 0,32 unidades a finales del siglo XXI según el AR5. Por tanto, puede afirmarse que aunque se estima el descenso del pH, éste no va a ser tan acusado como se calculó en el AR4.
- **Circulación de renuevo meridional:** el AR4 estima que ésta será más lenta que en el siglo XXI y el AR5 prevé que se ralentizará entre un 11 y un 34% más que el AR4.

Comparativa entre AR4 y AR5 (CAMBIO PROYECTADO)		
	AR4	AR5
Emisiones GEI	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento entre 25-90% entre 2000-2030 (de 9,7 a 36,7 GtCO<sub>2</sub>-eq)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De -72 a 95% en 2050 y -118 a 178% en 2100 comparado con 2010</li> </ul>
Temperatura media anual	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento 0,2 °C /decenio para los dos próximos decenios. Aumento de 1,8 a 4,0 °C según escenarios en 2090-2099 respecto 1980-1999</li> <li>• Calentamiento máximo sobre tierra firme y en la mayoría de las latitudes septentrionales altas, y mínimo sobre el océano austral y partes del Atlántico Norte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La temperatura durante el periodo 2016-2035 será 0,3-0,7°C mayor que en el periodo 1986-2005. Aumento de 1,0 a 3,7 según escenarios en 2081-2100 respecto 1986-2005.</li> <li>• En océanos es de 0,6-2°C a menos de 100m y de 0,3-0,6 a más de 100m</li> </ul>
Nivel del mar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Si el aumento de temperatura fuera de 0,5°C de aquí a 2200, sería de 0,3-0,8m de aquí a 2300.</li> <li>• Aumento de 0,18-0,38m a 0,26-0,59m según escenarios en 2090-2099 respecto 1980-1999</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Para el 2100 será de 0,52 a 0,98m con 8 a 16 mm/año durante el periodo 2081-2100.</li> <li>• Aumento de 0,40-0,63m según escenarios en 2081-2100 respecto 1986-2005</li> </ul>
Extensión nieve y hielo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contracción de la superficie de la cubierta de nieve, deshielo en regiones del permafrost y menor extensión de los hielos marinos (los de la región ártica casi desaparecerán al final de los veranos en los últimos años del s XXI)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción del hielo marino ártico del 43-94% en septiembre, pudiendo desaparecer durante septiembre a mediados del s.XXI</li> <li>• Reducción a finales del s. XXI de la extensión de hielo marino antártico, de los glaciares (15-55% a 35-85%), de la superficie cubierta de nieve en el H.N (7 a 25%) y del permafrost (37 a 81%)</li> </ul>
Precipitación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muy probablemente aumentarán las precipitaciones en latitudes altas y probablemente disminuirán en la mayoría de las regiones terrestres subtropicales y medias</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento en latitudes altas, en el Océano Pacífico ecuatorial y en latitudes medias. Descenso en latitudes medias y regiones subtropicales secas</li> </ul>

Olas de calor y precipitaciones intensas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de la frecuencia de ambas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de la frecuencia e intensidad de ambas</li> </ul>
Acidificación del océano	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción del pH en la superficie oceánica entre 0,14 y 0,35 unidades durante el siglo XXI</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción del pH en la superficie oceánica entre 0,06 y 0,32 unidades a finales del siglo XXI</li> </ul>
Circulación de renuevo meridional	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Más lenta que en el s.XXI</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Más lenta, de 11-34% más que en AR4</li> </ul>

**Tabla 10.** Comparativa entre el cambio proyectado de AR4 y AR5.

Por último, se va a comparar también algunos de **los causantes del cambio climático**, esto es, las emisiones de ciertos gases de efecto invernadero y sus forzamientos radiativos:

- **Emisiones mundiales de GEI:** ha habido un aumento notable en el porcentaje de las emisiones mundiales de GEI, pasando de un aumento del 1,3% por año entre el periodo 1970 – 2000 al 2,2% por año entre el periodo 2000 – 2010.
- **Emisiones de CO<sub>2</sub>:** se ha observado un aumento de las emisiones de 379 ppm en 2005 (según el AR4) a 391 ppm en 2011 (según el AR5). En ambos informes se afirma que su procedencia es debida fundamentalmente a los combustibles fósiles, cambios en el uso de la tierra y la producción cementera.
- **Emisiones de CH<sub>4</sub>:** se ha observado un incremento de las emisiones, pasando de 1774 ppmm en 2005 (según el AR4) a 1803 ppmm en 2011 (según el AR5). En ambos casos se debe principalmente a la agricultura y a los combustibles fósiles.
- **Emisiones de N<sub>2</sub>O:** ha habido un ligero aumento de las emisiones, pasando de 319 ppmm en 2005 (según el AR4) a 324 ppmm en 2011 (según el AR5).
- **Emisiones de halocarbonos:** en ambos informes se calcula que ha habido un aumento de éstas respecto a su valor preindustrial, que era nulo y que actualmente presentan valores similares, ya que tras el AR4 ha descendido la cantidad de emisiones de CFCs pero han aumentado las de sus sustitutos.
- **Forzamiento radiativo:** se ha observado como el valor del forzamiento radiativo neto ha aumentado desde +1,6 W/m<sup>2</sup> según el AR4 a +2,9 W/m<sup>2</sup>. Esto es debido fundamentalmente a que los valores de FR de todos los GEI han aumentado, sobre todo el del CH<sub>4</sub>, que prácticamente a duplicado su valor. Además, los aerosoles, los cuales poseían un FR negativo, han aumentado su valor, lo que ha permitido que el FR sea cada vez más positivo.

Comparativa entre AR4 y AR5 (CAUSANTES DEL CAMBIO CLIMÁTICO)		
	AR4	AR5
Emisiones mundiales de GEI	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de un 70% entre 1970-2004</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de 2,2%/año entre 2000 - 2010, (1,3% / año entre 1970 - 2000).</li> </ul>
Emisiones CO <sub>2</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento 80% entre 1970 – 2004, de 21 a 38 Gt</li> <li>• Aumento de un valor preindustrial de 280 ppm a 379 ppm en 2005</li> <li>• Tasa de crecimiento de 0,92 GtCO<sub>2</sub>-eq (1995-2004) mayor que 0,43 GtCO<sub>2</sub>-eq (1970-1994)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 391 ppm en 2011</li> <li>• Debidas a combustibles fósiles 8,3 GtC<sup>12</sup>/año, la producción de cemento 9,5 GtC/año y por el cambio de uso del suelo, 0,9 GtC/año en el periodo 2002 - 2011</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Debidas a combustibles fósiles y cambios en el uso de la tierra</li> </ul>	
<b>Emisiones CH<sub>4</sub></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de un valor preindustrial de 715 ppmm a 1774 ppmm en 2005</li> <li>• Tasa de crecimiento en disminución desde comienzo de los años 90</li> <li>• Debidas a la agricultura y combustibles fósiles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1803 ppmm en 2011</li> </ul>
<b>Emisiones N<sub>2</sub>O</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de un valor preindustrial de 270 ppmm a 319 ppmm en 2005</li> <li>• Debidas a la agricultura</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 324 ppmm en 2011</li> </ul>
<b>Emisiones halocarbonos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento respecto niveles casi nulos en la era preindustrial</li> <li>• Debidas a la actividad humana</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Valor similar al AR4 por descenso de CFC y aumento de sus sustitutos</li> </ul>
<b>Forzamiento radiativo</b>	Neto: +1,6 Wm <sup>-2</sup>	Neto (2011) : +2,29 Wm <sup>-2</sup>
	GEI: +2,3 Wm <sup>-2</sup> (CO <sub>2</sub> :+1,66 Wm <sup>-2</sup> ; CH <sub>4</sub> :+0,48 Wm <sup>-2</sup> ; halocarbonos: +0,34 Wm <sup>-2</sup> ; N <sub>2</sub> O: 0,16 Wm <sup>-2</sup> )	GEI: +3,0 Wm <sup>-2</sup> (CO <sub>2</sub> :+1,68 Wm <sup>-2</sup> ; CH <sub>4</sub> :+0,97 Wm <sup>-2</sup> ; halocarbonos: +0,18 Wm <sup>-2</sup> ; N <sub>2</sub> O: 0,17 Wm <sup>-2</sup> )
	Gas de vida corta: ¿?	Gas de vida corta: CO: +0,23 Wm <sup>-2</sup> ; COV: +0,10 Wm <sup>-2</sup> ; NOx: -0,15 Wm <sup>-2</sup>
	Aerosoles: Efecto directo -0,5 Wm <sup>-2</sup> ; de nube -0,7 Wm <sup>-2</sup>	Aerosoles: ajustes de nube -0,09 Wm <sup>-2</sup> ; volcánicos -0,11 Wm <sup>-2</sup>
	Cambios en irradiancia solar: +0,12 Wm <sup>-2</sup>	Cambios en irradiancia solar: +0,05 Wm <sup>-2</sup>

**Tabla 11.** Comparativa de los causantes del cambio climático de AR4 y AR5.



## 7. REGIONALIZACIÓN DE LOS ESCENARIOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Una vez conocidos en profundidad los cambios observados y los que se estima que vayan a poder ocurrir a nivel global, es necesario realizar una regionalización de dichos escenarios de cambio climático con el fin de conocer el mismo a una escala menor, como es el caso de Aragón, mediante distintas metodologías.

### 7.1. METODOLOGÍA BASADA EN DOWNSCALING

Esta metodología permite realizar estimaciones de proyecciones regionalizadas usando la idea del descenso de escalas grandes a escalas pequeñas (AEMET, 2009). Estas escalas grandes se estiman con modelos de circulación general (MCGs), los cuales simulan flujos de energía, masa y cantidad de movimiento que tienen lugar entre la atmósfera y el océano (Gobierno de Aragón, 2009), y se desciende a las escalas pequeñas con diferentes técnicas de regionalización (AEMET, 2009).

La tarea predictiva por tanto, la llevan a cabo los modelos globales y es a través de las técnicas de downscaling, es decir, de regionalización, la forma en la que se introduce el detalle local (AEMET, 2009). Además, existen dos metodologías distintas de realizar el downscaling (Gobierno de Aragón, 2009):

- **Downscaling estadístico:** basado en relaciones empíricas entre variables a gran escala de los MCGs y variables de alta resolución en superficie.
- **Downscaling dinámico:** basado en el incremento de la resolución en la zona de estudio mediante la técnica de “zoom” o mediante la introducción de un modelo de Área Limitada (LAM).

En el estudio al que nos referimos se optó por realizar un downscaling estadístico, aunque es importante tener en cuenta que este proceso de regionalización introduce una serie de incertidumbres, ya que los fenómenos locales no son recogidos correctamente por dichos modelos y las variables no se aproximan a los valores observados (Gobierno de Aragón, 2009), y que además afectan a todos los pasos del proceso de generación de escenarios regionalizados. Algunas de estas incertidumbres son difíciles de tratar y quedan al margen de los estudios, como es el caso de las erupciones volcánicas (AEMET, 2009).

Pueden considerarse cuatro tipos de incertidumbres (AEMET, 2009) ligadas a:

- Las emisiones de GEI.
- Los diferentes modelos globales.
- La variabilidad interna del modelo.
- Las técnicas de regionalización.

Según AEMET (2009), el marco para evaluar estas incertidumbres es la aproximación probabilística, que explora un conjunto representativo de métodos de regionalización, modelos globales, emisiones de GEI, etc, los cuales definen a un conjunto de miembros o *ensemble*, que permiten realizar una exploración de las incertidumbres.

Esta metodología de predicción por conjuntos se ha impuesto en los últimos años para la predicción probabilística. Aunque es importante citar que aun proporcionando un amplio rango de posibilidades de evolución del sistema, no explora todas las fuentes posibles de incertidumbre.

Tal y como indica el Gobierno de Aragón (2009), en el sentido del proceso de generación de los escenarios regionalizados es importante establecer relaciones empíricas entre las observaciones de los

predictores y las variables de alta resolución (predictandos) a través de datos pasados. Así, dependiendo de la variable, se deben seleccionar unos predictores u otros, que en este caso son la precipitación y las temperaturas máximas y mínimas, de las cuales se determinarán sus propios predictores.

- **Predictores para la precipitación:** son todos aquellos fenómenos que la originan (ascensos verticales de masas de aire por distintos factores como los forzamientos dinámicos, el ascenso topográfico o la convección, así como la presencia de humedad en las capas bajas de la atmósfera.
- **Predictores para la temperatura:** la temperatura a dos metros de altura está condicionada por la temperatura de la baja troposfera y por la de la superficie terrestre, y el porcentaje de influencia de cada una depende de la estabilidad atmosférica. Así, la influencia de la baja troposfera se relaciona con el espesor entre niveles de presión de las capas bajas, y la temperatura de superficie se relaciona con los flujos de calor, la incidencia solar y la inercia térmica. Además la cobertura de nieve y la nubosidad son factores a considerar en los enfriamientos/calentamientos radiativos.

Una vez establecidos, se utiliza un método de análogos en dos pasos, en el que para un día problema "X" se estima el valor de las variables meteorológicas en superficie (predictandos de precipitación y temperatura) para un punto concreto del territorio:

- 1) Primer paso: Estratificación analógica. Se selecciona de un banco de datos del periodo 1960-2000 aquellos "n" días en los que la configuración atmosférica sea más similar al del día "X".
- 2) Segundo paso: Establecer las relaciones predictor-predictando. Para ello se aplican métodos diferentes según la variable a determinar:
  - a. Temperatura: mediante una regresión múltiple sobre los "n" días del primer paso, se establece una relación lineal entre predictores y predictandos. Tras ello, se aplica dicha relación sobre los predictores del día "X" para estimar los predictandos de ese día.
  - b. Precipitación (método clásico): se hace un promedio de los días más similares seleccionados en el paso 1.
  - c. Precipitación (método con análisis discriminante): a partir de las variables seleccionadas se determinan funciones lineales para el tiempo seco y húmedo. Así se determinan los días de tiempo seco con una probabilidad al 95% y la cantidad de lluvia para los días de lluvia con una probabilidad superior al 5%.

Tras aplicar estos dos pasos se obtienen los datos de salida de los MCGs para el periodo de control (1960-2000) y para el periodo futuro (hasta 2100). Una vez obtenidos, se hallan los valores de los predictandos en el periodo futuro (escenarios de clima futuro) y en el pasado (escenario de control).

Por último, para establecer de qué manera un MCG es capaz de simular correctamente el clima se realiza un proceso de validación en el que se comparan los resultados obtenidos al aplicar la metodología al periodo de control del MCG.

## 7.2. METODOLOGÍA BASADA EN UPSCALING

Es un procedimiento que permite generar proyecciones climáticas regionales o locales basado en Modelos de Circulación General Atmósfera-Océano (AOGCM) que permiten incluir retroalimentaciones de escalas regionales en escalas globales. Dichas retroalimentaciones permiten realizar estudios del clima a gran escala frente a cambios en las condiciones locales. Estos estudios de upscaling, por tanto, permiten estudiar la influencia de los cambios a escala local o regional en el clima a gran escala (AEMET, 2009).

## 8. HISTÓRICO DE DATOS METEOROLÓGICOS DE ARAGÓN

### 8.1. DATOS EXTRAÍDOS DE LA GUÍA RESUMIDA DEL CLIMA EN ESPAÑA (1981-2010) DE AEMET

#### 8.1.1. TEMPERATURA

##### HUESCA

Se observa, en líneas generales, que la temperatura media ha ido aumentando desde 1961 de forma progresiva casi todos los meses, destacando sobre todo el aumento en los meses de verano (junio, julio y agosto). Además, dichos aumentos se han producido principalmente en el último periodo registrado (1981-2010).

Meses	1961-1990	1971-2000	1981-2010
Enero	4,7	4,9	5,2
Febrero	6,7	7,0	6,9
Marzo	8,8	9,6	10,1
Abril	11,3	11,4	12,1
Mayo	15,2	15,3	16,1
Junio	19,5	19,7	21,0
Julio	23,3	23,4	24,1
Agosto	22,7	23,3	23,7
Septiembre	19,7	19,5	19,8
Octubre	14,6	14,3	15,0
Noviembre	8,7	8,9	9,3
Diciembre	5,2	5,6	5,5
Tmed. anual	13,4	13,6	14,0

Tabla 12. Temperatura media observada en Huesca (en °C).

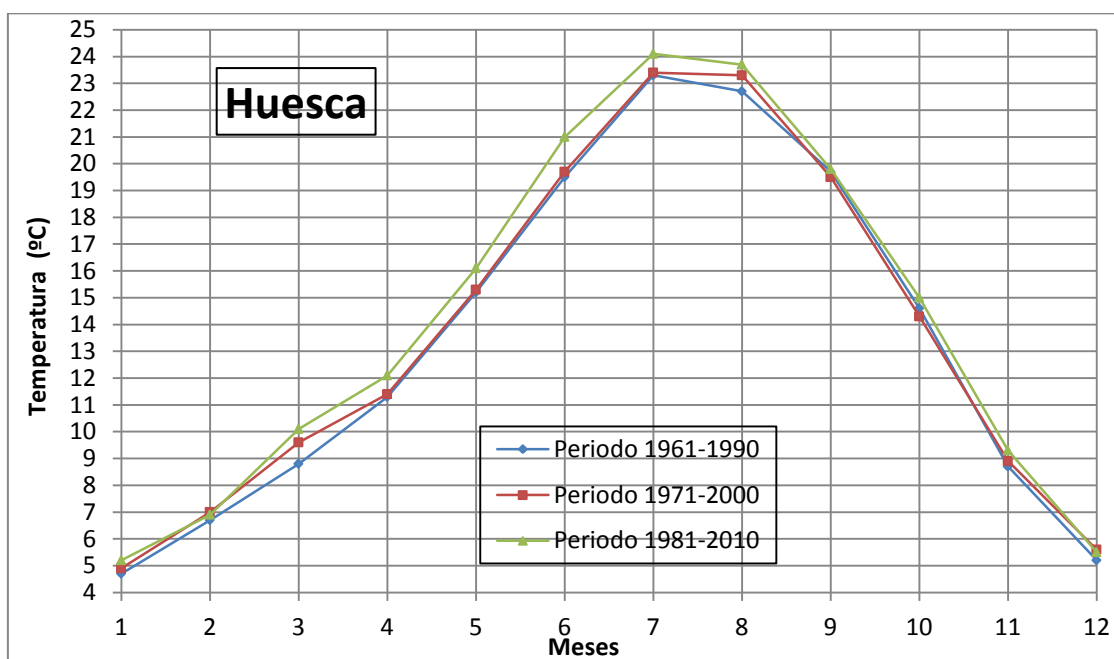


Gráfico 2. Temperatura media observada en Huesca (en °C).

Diferencias entre periodos:

Meses	(1971-2000) - (1961-1990)	(1981-2010) - (1971-2000)	(1981-2010) - (1961-1990)
Enero	0,2	0,3	0,5
Febrero	0,3	-0,1	0,2
Marzo	0,8	0,5	1,3
Abril	0,1	0,7	0,8
Mayo	0,1	0,8	0,9
Junio	0,2	1,3	1,5
Julio	0,1	0,7	0,8
Agosto	0,6	0,4	1,0
Septiembre	-0,2	0,3	0,1
Octubre	-0,3	0,7	0,4
Noviembre	0,2	0,4	0,6
Diciembre	0,4	-0,1	0,3
Tmed. anual	<b>0,2</b>	<b>0,4</b>	<b>0,6</b>

Tabla 13. Diferencias entre periodos sobre la temperatura media observada en Huesca (en °C).

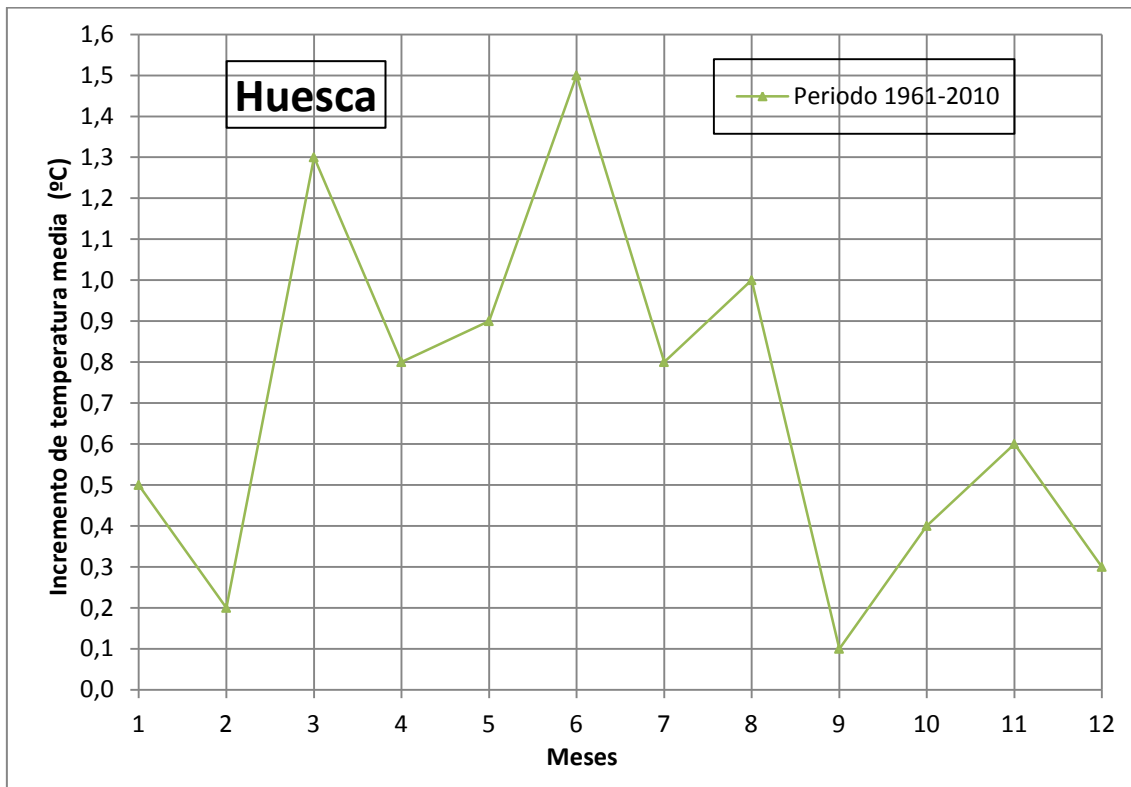


Gráfico 3. Diferencias entre periodos sobre la temperatura media observada en Huesca (en °C).

ZARAGOZA

Tal y como ocurre en Huesca, la situación en Zaragoza es similar, ya que se ha producido el aumento de temperatura progresivamente desde 1961, sobre todo en los meses de primavera y verano, y se ha intensificado en el último periodo registrado (1981-2010).

Meses	1961-1990	1971-2000	1981-2010
Enero	6,2	6,4	6,6
Febrero	8,0	8,4	8,2
Marzo	10,2	10,9	11,6
Abril	12,8	13,0	13,8
Mayo	16,8	17,2	18,0
Junio	21,1	21,3	22,6
Julio	24,3	24,5	25,3
Agosto	23,8	24,4	25,0
Septiembre	20,6	20,7	21,2
Octubre	15,4	15,5	16,2
Noviembre	9,8	10,0	10,6
Diciembre	6,5	7,1	7,0
Tmed. anual	<b>14,6</b>	<b>15,0</b>	<b>15,5</b>

Tabla 14. Temperatura media observada en Zaragoza (en °C).

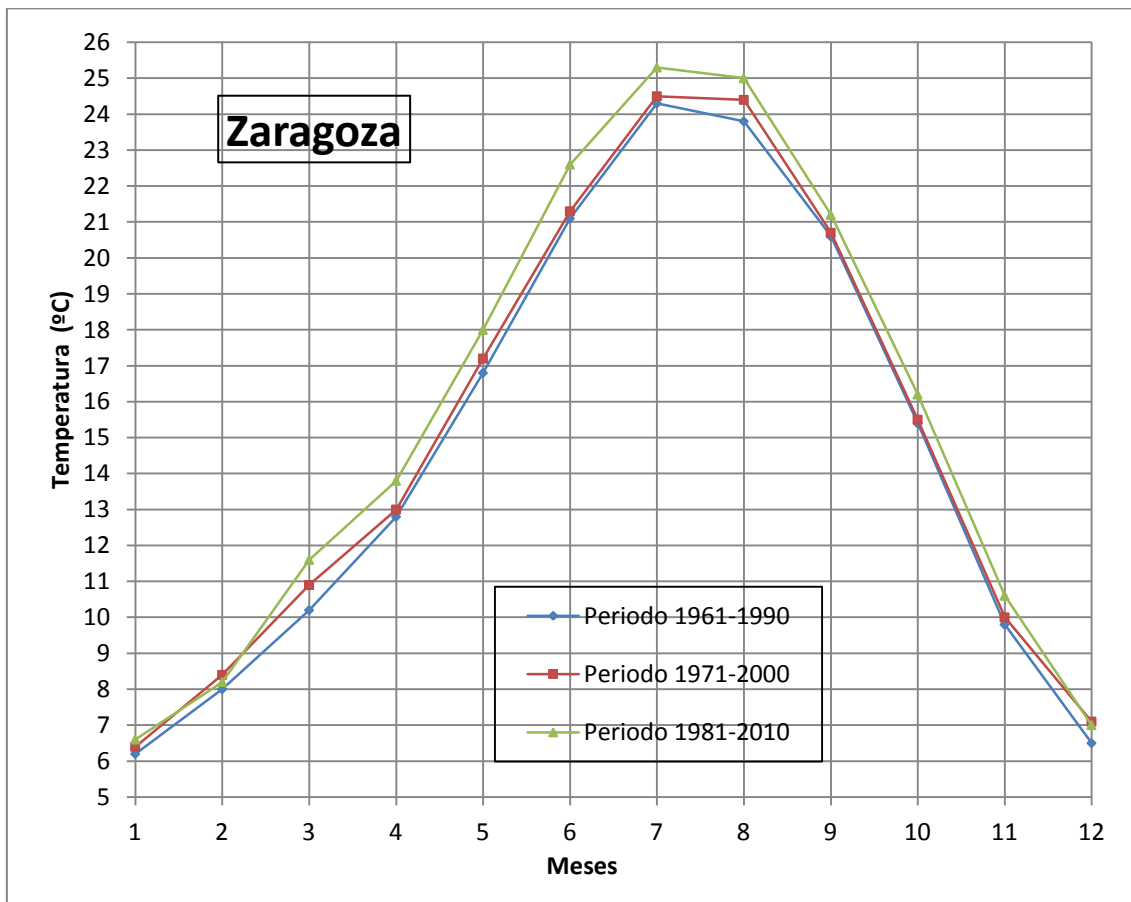


Gráfico 4. Temperatura media observada en Zaragoza (en °C).

Diferencias entre periodos:

Meses	(1971-2000) - (1961-1990)	(1981-2010) - (1971-2000)	(1981-2010) - (1961-1990)
Enero	0,2	0,2	0,4
Febrero	0,4	-0,2	0,2
Marzo	0,7	0,7	1,4
Abril	0,2	0,8	1,0
Mayo	0,4	0,8	1,2
Junio	0,2	1,3	1,5
Julio	0,2	0,8	1,0
Agosto	0,6	0,6	1,2
Septiembre	0,1	0,5	0,6
Octubre	0,1	0,7	0,8
Noviembre	0,2	0,6	0,8
Diciembre	0,6	-0,1	0,5
Tmed. anual	<b>0,4</b>	<b>0,5</b>	<b>0,4</b>

Tabla 15. Diferencias entre periodos sobre la temperatura media observada en Zaragoza (en °C).

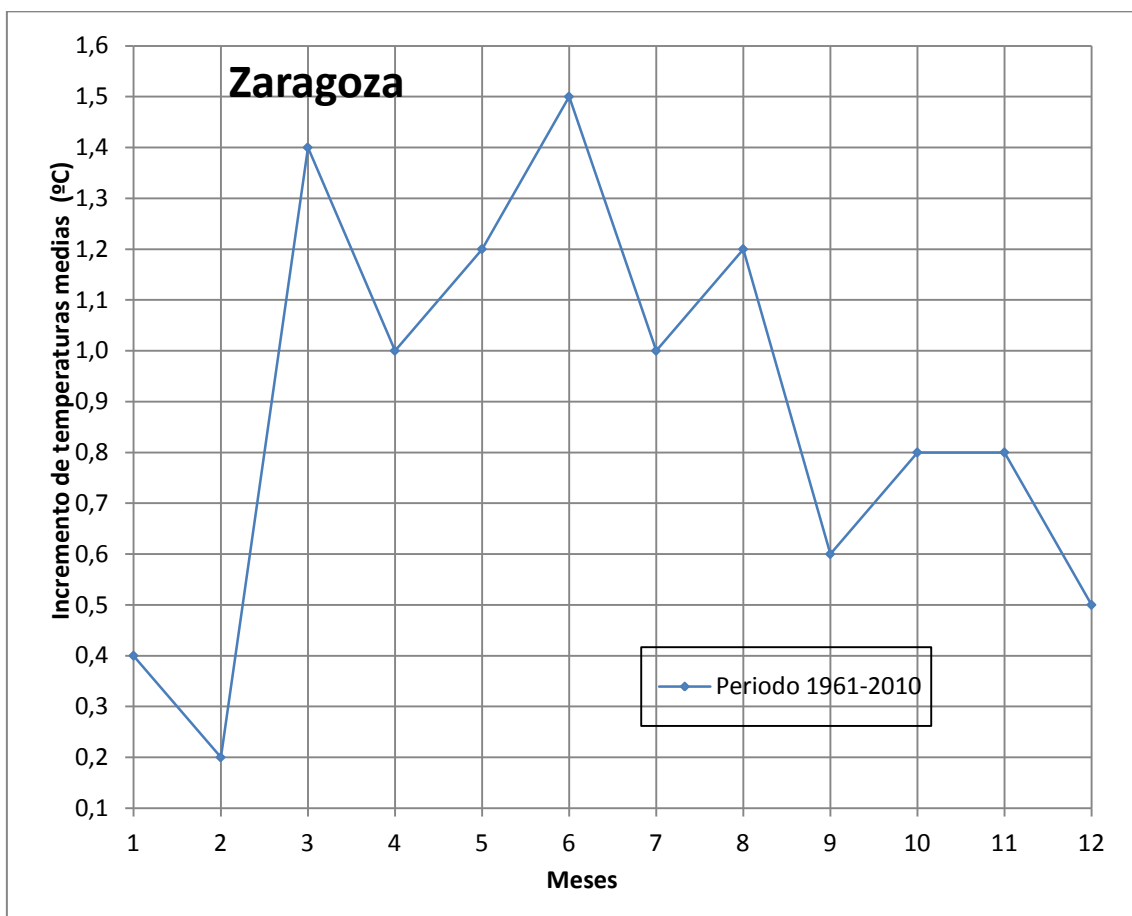


Gráfico 5. Diferencias entre periodos sobre la temperatura media observada en Zaragoza (en °C).

TERUEL

Por último, tal y como ocurre en las dos ciudades anteriores se ha producido un aumento progresivo de la temperatura desde 1961, sobre todo en los meses de primavera y verano, destacando el aumento producido en el último periodo registrado (1981-2010).

Meses	1961-1990	1971-2000	1981-2010
Enero	3,9	3,6	3,7
Febrero	5,0	5,2	5,3
Marzo	6,9	7,5	8,2
Abril	9,8	9,4	9,9
Mayo	13,5	13,5	14,3
Junio	17,7	17,9	18,7
Julio	21,3	21,6	22,2
Agosto	20,7	21,3	22,0
Septiembre	17,8	17,6	17,6
Octubre	12,5	12,1	12,7
Noviembre	7,1	7,2	7,2
Diciembre	3,9	4,6	4,2
Tmed. anual	11,7	11,8	12,2

Tabla 16. Temperatura media observada en Teruel (en °C).

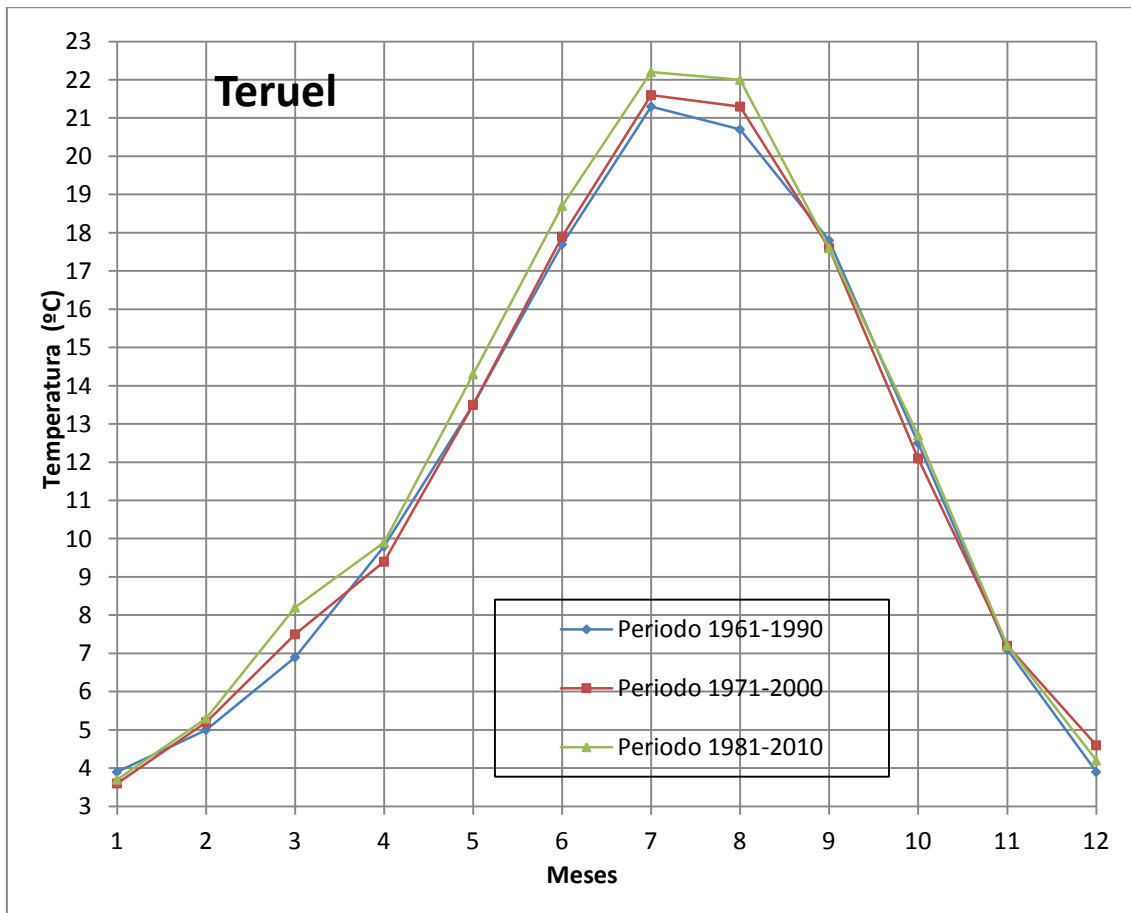


Gráfico 6. Temperatura media observada en Teruel (en °C).

Diferencias entre periodos:

Meses	(1971-2000) - (1961-1990)	(1981-2010) - (1971-2000)	(1981-2010) - (1961-1990)
Enero	-0,3	0,1	-0,2
Febrero	0,2	0,1	0,3
Marzo	0,6	0,7	1,3
Abril	-0,4	0,5	0,1
Mayo	0,0	0,8	0,8
Junio	0,2	0,8	1,0
Julio	0,3	0,6	0,9
Agosto	0,6	0,7	1,3
Septiembre	-0,2	0,0	-0,2
Octubre	-0,4	0,6	0,2
Noviembre	0,1	0,0	0,1
Diciembre	0,7	-0,4	0,3
Tmed. anual	<b>0,1</b>	<b>0,4</b>	<b>0,5</b>

Tabla 17. Diferencias entre periodos sobre la temperatura media observada en Teruel (en °C).

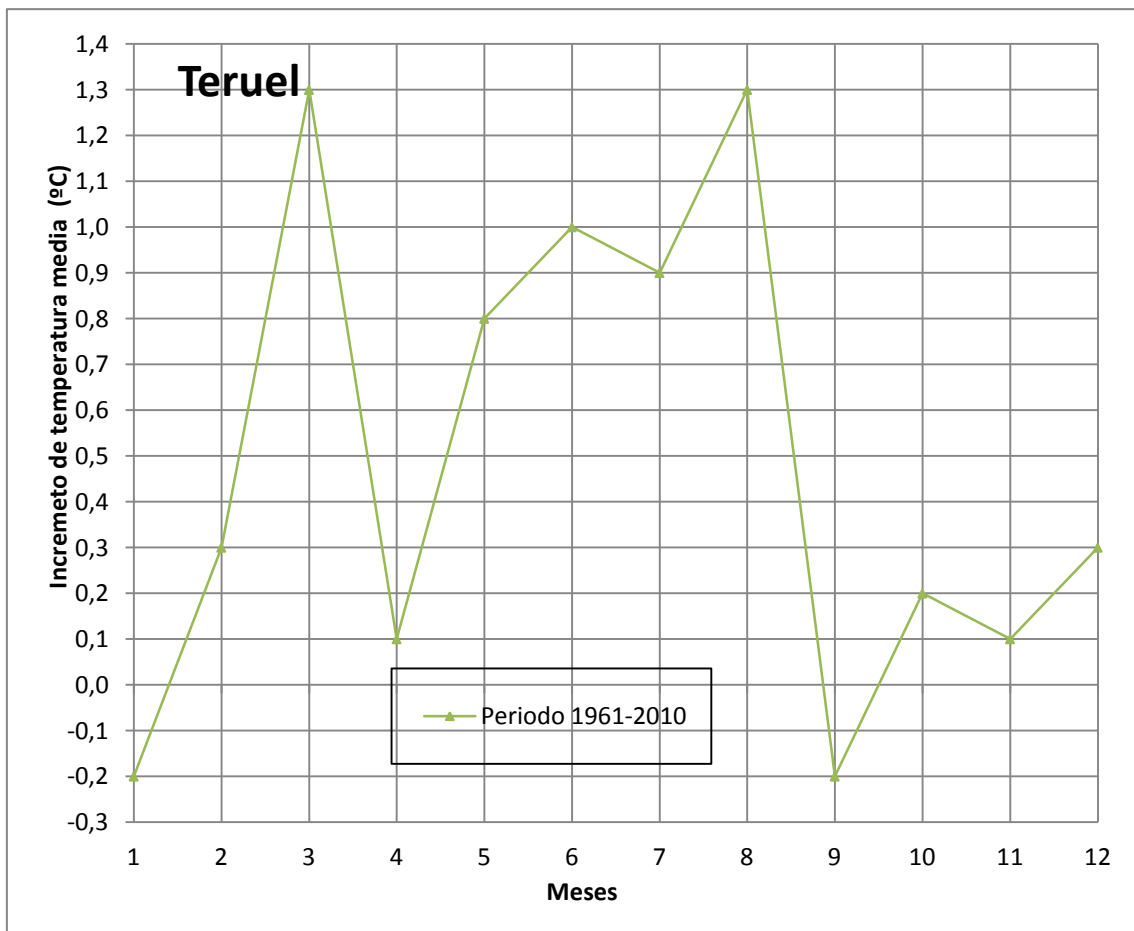


Gráfico 7. Diferencias entre periodos sobre la temperatura media observada en Teruel (en °C).



## 8.1.2. PRECIPITACIÓN

### HUESCA

En el caso de la precipitación, se ha observado un claro descenso de la misma desde 1961 con ciertas fluctuaciones, aunque puede afirmarse que en general la cantidad de precipitación ha sido cada vez menor, siendo el último periodo (1981-2010) aquél en el que menores datos mensuales y anuales se han registrado excepto en el mes de octubre.

Mes	1961 - 1990	1971 - 2000	1981 - 2010
Enero	41,0	39,0	31,0
Febrero	45,0	32,0	28,1
Marzo	43,0	34,0	29,7
Abril	60,0	53,0	52,9
Mayo	64,0	62,0	52,1
Junio	51,0	47,0	33,1
Julio	23,0	20,0	21,9
Agosto	42,0	38,0	28,9
Septiembre	53,0	54,0	47,5
Octubre	58,0	54,0	60,1
Noviembre	62,0	50,0	47,1
Diciembre	45,0	51,0	43,5
Año	587,0	535,0	480,3

Tabla 18. Precipitación mensual media observada en Huesca (en mm).

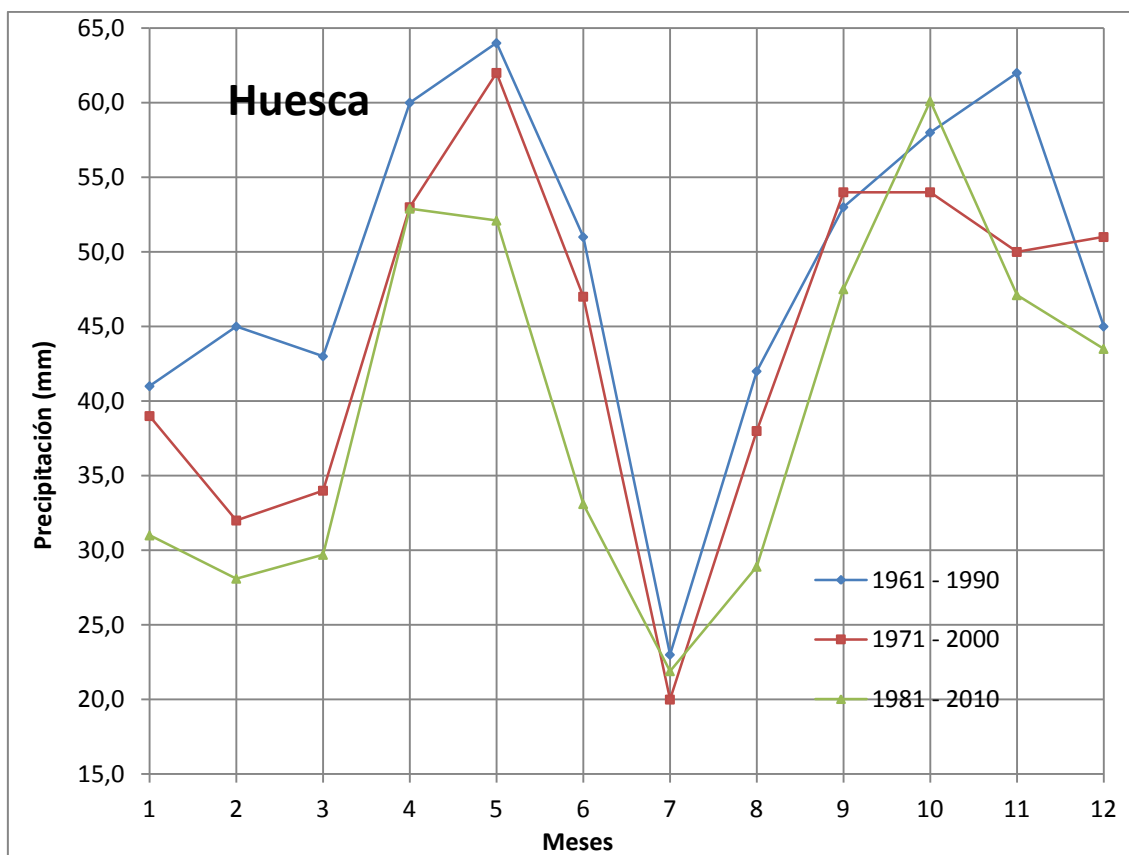


Gráfico 8. Precipitación mensual media observada en Huesca (en mm).

Diferencias entre periodos:

Meses	(1971 - 2000) - (1961 - 1990)	(1981 - 2010)-(1971 - 2000)	(1981 - 2010)-(1961 - 1990)
Enero	-2,0	-8,0	-10,0
Febrero	-13,0	-3,9	-16,9
Marzo	-9,0	-4,3	-13,3
Abril	-7,0	-0,1	-7,1
Mayo	-2,0	-9,9	-11,9
Junio	-4,0	-13,9	-17,9
Julio	-3,0	1,9	-1,1
Agosto	-4,0	-9,1	-13,1
Septiembre	1,0	-6,5	-5,5
Octubre	-4,0	6,1	2,1
Noviembre	-12,0	-2,9	-14,9
Diciembre	6,0	-7,5	-1,5
Año	-52,0	-54,7	-106,7

Tabla 19. Diferencias entre periodos sobre la precipitación mensual media observada en Huesca (en mm).

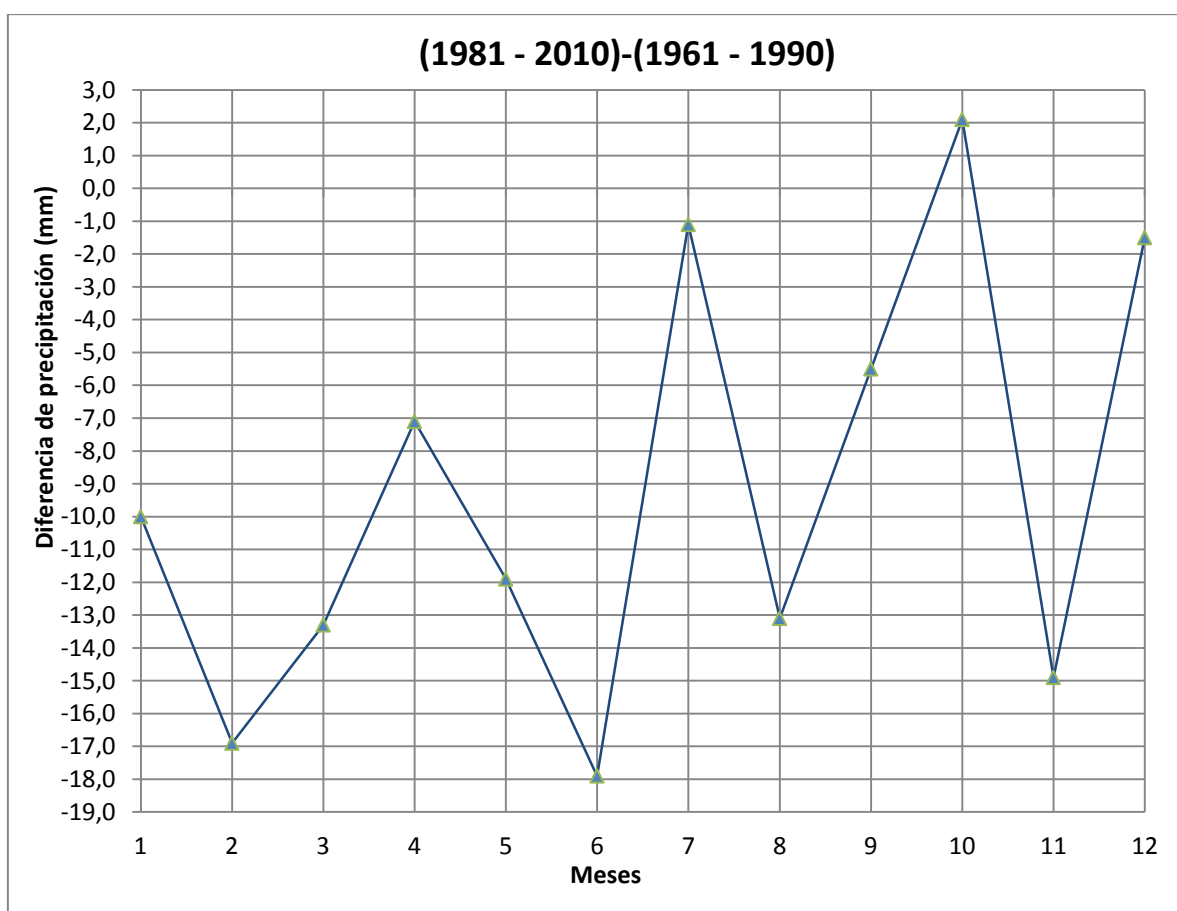


Gráfico 9. Diferencias entre periodos sobre la precipitación mensual media observada en Huesca (en mm).

## ZARAGOZA

En el caso de Zaragoza, se aprecia un ligero aumento de las precipitaciones, ya que durante los meses de primavera y otoño la cantidad de precipitación ha ido en aumento en los últimos años, mientras que durante el resto del año se ha mantenido estable o con descensos muy ligeros.

Mes	1961 - 1990	1971 - 2000	1981 - 2010
Enero	23,0	22,0	21,0
Febrero	21,0	20,0	21,5
Marzo	23,0	20,0	19,1
Abril	33,0	35,0	39,3
Mayo	38,0	44,0	43,7
Junio	31,0	31,0	26,4
Julio	15,0	18,0	17,3
Agosto	17,0	17,0	16,6
Septiembre	26,0	27,0	29,5
Octubre	30,0	30,0	36,4
Noviembre	36,0	30,0	29,8
Diciembre	21,0	23,0	21,4
Año	314,0	318,0	322,0

Tabla 20. Precipitación mensual media observada en Zaragoza (en mm).

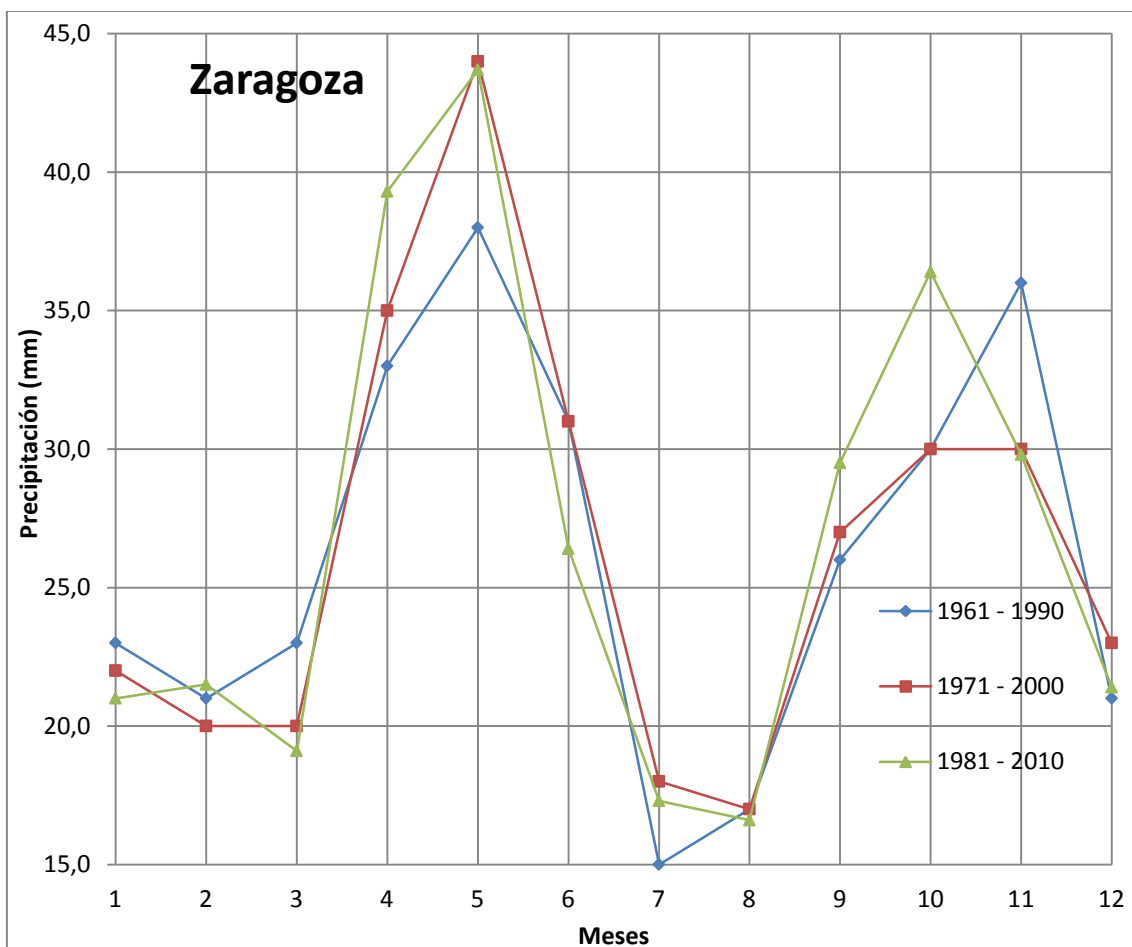


Gráfico 10. Precipitación mensual media observada en Zaragoza (en mm).

Diferencias entre periodos:

Meses	(1971 - 2000) - (1961 - 1990)	(1981 - 2010)-(1971 - 2000)	(1981 - 2010)-(1961 - 1990)
Enero	-1,0	-1,0	-2,0
Febrero	-1,0	1,5	0,5
Marzo	-3,0	-0,9	-3,9
Abril	2,0	4,3	6,3
Mayo	6,0	-0,3	5,7
Junio	0,0	-4,6	-4,6
Julio	3,0	-0,7	2,3
Agosto	0,0	-0,4	-0,4
Septiembre	1,0	2,5	3,5
Octubre	0,0	6,4	6,4
Noviembre	-6,0	-0,2	-6,2
Diciembre	2,0	-1,6	0,4
Año	4,0	4,0	8,0

Tabla 21. Diferencias entre periodos sobre la precipitación mensual media observada en Zaragoza (en mm).

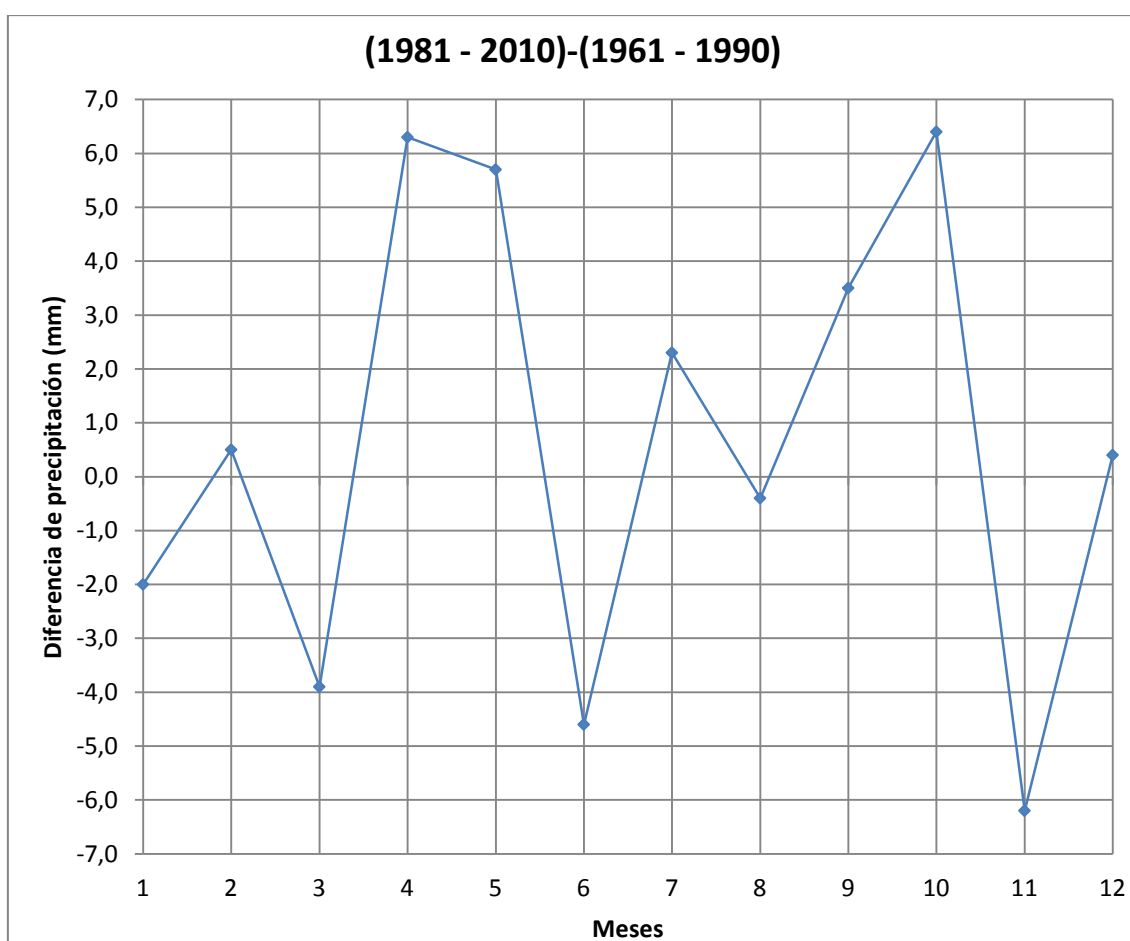


Gráfico 11. Diferencias entre periodos sobre la precipitación mensual media observada en Zaragoza (en mm).

## TERUEL

Por último, al igual que ocurre con Zaragoza, se han producido variaciones en el régimen de precipitaciones en los últimos años, de tal forma que existen meses en los que ha aumentado, como es el caso de los meses de primavera y otoño, y otros en los que ha descendido de forma muy notable, como es el caso de los meses de verano (julio y agosto) y en menor medida, en invierno.

Mes	1961 - 1990	1971 - 2000	1981 - 2010
Enero	15,0	17,0	18,8
Febrero	19,0	14,0	14,9
Marzo	22,0	19,0	21,2
Abril	38,0	36,0	39,2
Mayo	49,0	56,0	57,3
Junio	47,0	43,0	46,1
Julio	34,0	30,0	25,7
Agosto	43,0	40,0	34,0
Septiembre	33,0	36,0	35,7
Octubre	36,0	42,0	46,7
Noviembre	26,0	22,0	22,0
Diciembre	20,0	20,0	19,2
Año	382,0	373,0	378,2

Tabla 22. Precipitación mensual media observada en Teruel (en mm).

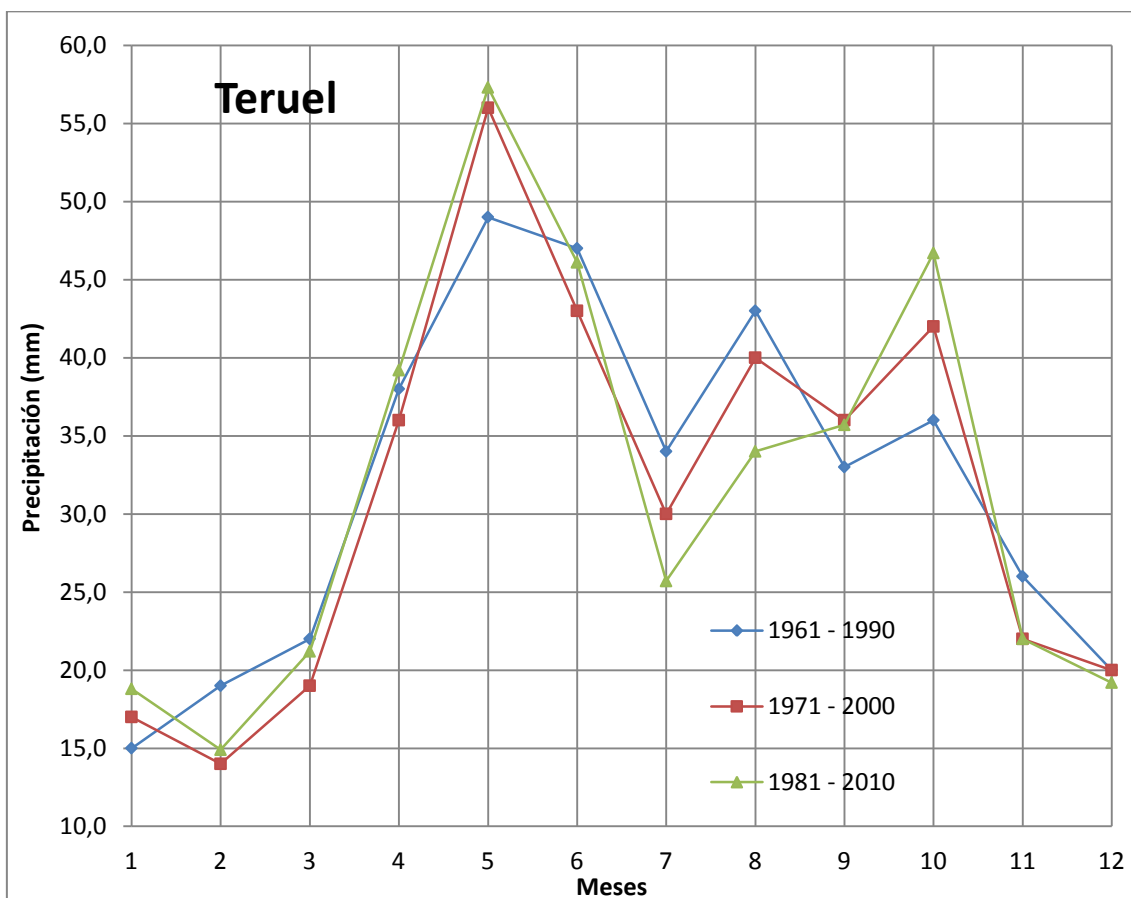


Gráfico 12. Precipitación mensual media observada en Teruel (en mm).

Diferencias entre periodos:

Meses	(1971 - 2000) - (1961 - 1990)	(1981 - 2010)-(1971 - 2000)	(1981 - 2010)-(1961 - 1990)
Enero	2,0	1,8	3,8
Febrero	-5,0	0,9	-4,1
Marzo	-3,0	2,2	-0,8
Abril	-2,0	3,2	1,2
Mayo	7,0	1,3	8,3
Junio	-4,0	3,1	-0,9
Julio	-4,0	-4,3	-8,3
Agosto	-3,0	-6,0	-9,0
Septiembre	3,0	-0,3	2,7
Octubre	6,0	4,7	10,7
Noviembre	-4,0	0,0	-4,0
Diciembre	0,0	-0,8	-0,8
Año	-9,0	5,2	-3,8

Tabla 23. Diferencias entre periodos sobre la precipitación mensual media observada en Teruel (en mm).

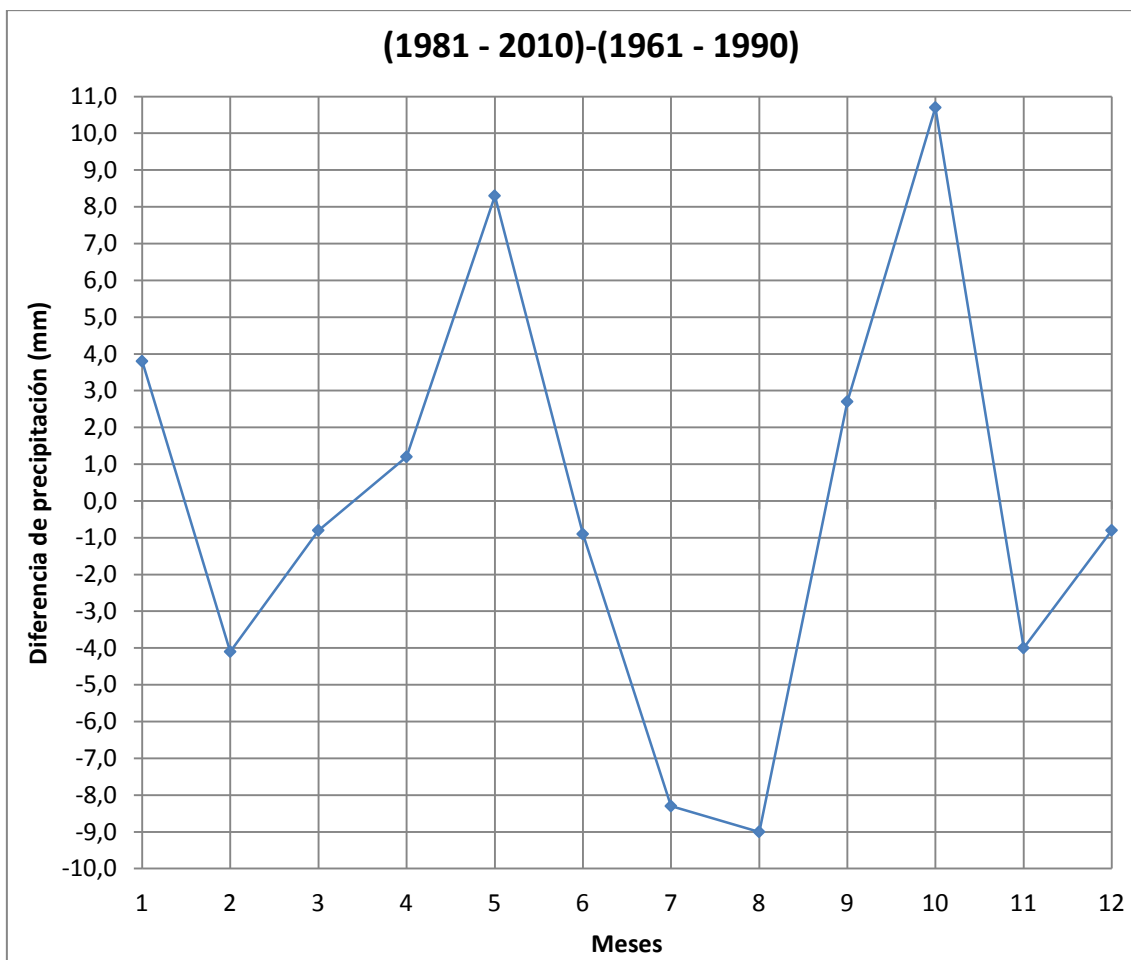


Gráfico 13. Diferencias entre periodos sobre la precipitación mensual media observada en Teruel (en mm).

## 9. PROYECCIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO PREVISTO PARA ARAGÓN EN EL HORIZONTE DEL AÑO 2100

Según el Gobierno de Aragón (2009), a partir de los resultados del proyecto Generación de escenarios de Cambio Climático en Aragón se han realizado una serie de escenarios locales de clima futuro en los que se ha aplicado la metodología de regionalización a los Modelos de Circulación General (MCGs).

La necesidad de generar estos escenarios radica en la importancia de afrontar la adaptación al cambio climático y, posteriormente, evaluar el impacto del clima sobre los diferentes sectores (biodiversidad, agricultura, energía, turismo, salud, recursos hídricos, etc.) y además, diseñar políticas y actuaciones que minimicen los impactos negativos y maximicen los positivos.

Así pues, dichos escenarios son meras simulaciones que tratan de dar una idea acerca del posible clima futuro y, por tanto contienen incertidumbres asociadas debido a la naturaleza caótica de la dinámica atmosférica y por otros factores que afectan al clima. De este modo, estos escenarios no pueden considerarse como predicciones del futuro del clima de Aragón.

Es importante citar que en el trabajo aquí reseñado se ha llevado a cabo un proceso de verificación de la metodología utilizada y una validación de cada uno de los MCGs utilizados. De esta forma, los resultados obtenidos de los procesos de verificación y validación para la temperatura son muy robustos, pero no así en el caso de las simulaciones de precipitación.

Dichos procesos consisten, en el caso de la verificación de la metodología, en comparar los resultados obtenidos al realizar *downscaling* sobre las “observaciones” de los predictores del Reanálisis Europeo (ERA-40), con los datos de observaciones reales en estaciones meteorológicas; mientras que con la validación se comparan los resultados simulados por regionalización del ERA-40 con los obtenidos por regionalización de las simulaciones de control de los MCGs.

Cabe citar que el Reanálisis Europeo ERA-40 pertenece al European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) y son un conjunto de datos para el periodo entre septiembre de 1957 a agosto de 2002, con una elevada resolución espacial y temporal, que ha de relajarse a la resolución del MCG a regionalizar (con una menor resolución), para que ambos se encuentren en las mismas condiciones y sean comparables.

En el caso de las temperaturas mínimas y máximas se deduce a partir de los resultados que sufrirán un ascenso a lo largo del siglo XXI, sobre todo en el caso de las máximas. Además, los ascensos más fuertes se producirán en verano, seguidos por los del otoño y la primavera y, finalmente, el invierno. Dichos aumentos de temperatura se espera que sean de entre 2 a 2,5°C a mitad de siglo (3°C en verano) para la temperatura máxima, y de entre 1,5 a 2°C para la mínima (esta tendencia ya se pone de manifiesto en los resultados del punto 7.1.).

Por otro lado, se estima que las precipitaciones sufran descensos a lo largo del siglo XXI, a excepción del verano, donde se esperan aumentos en algunas regiones. Además, las zonas de la región Norte y la Submediterráneo Continental sufrirán descensos mayores que la zona Sur, y la zona central de la Comunidad sufrirá variaciones poco significativas.

Para obtener estas conclusiones se han empleado tres escenarios de emisiones distintos que ofrecen patrones de cambio similares, pero con diferente magnitud debido a las características propias de cada escenario. El B1 (el de menos emisiones de GEI asociadas) presenta cambios menos acusados; mientras que los escenarios A1B y A2 se comportan de una forma bastante similar hasta mediados de siglo,

momento tras el cual el A2 estima cambios más intensos; por último el A1B contempla que tanto la población como las emisiones de GEI asociadas dejan de crecer. En este análisis, y debido a la similitud entre los escenarios, se ha elegido determinar los posibles cambios futuros a partir del escenario A1B.

Así pues, los resultados son promedios de todos los observatorios de Aragón, donde hay que tener en cuenta que existen diferencias notables entre observatorios relativamente próximos, lo que demuestra que un mismo clima futuro puede suponer cambios bastante diferentes en puntos próximos entre sí.

De forma más detallada se realizó un análisis de los resultados obtenidos en las series temporales de los observatorios de Aragón. Dichas series metodológicas se dividen en dos grupos: las series no reconstruidas y las series utilizadas en el Atlas Climático de Aragón (en las que se han corregido valores erróneos, se han rellenado lagunas y se ha extendido el periodo de datos, de ahí que sean llamadas series reconstruidas).

Para aplicar la metodología de downscaling las series diarias de precipitación y temperatura han de cumplir unos requisitos, por lo que todas las series son reconstruidas. Para llevar a cabo dicho estudio se seleccionaron 267 estaciones para temperatura y 563 para precipitación, de las cuales 104 y 267 respectivamente se encontraban dentro de Aragón.

## 9.1. ZONAS CLIMÁTICAS CONSIDERADAS

Aragón está incluido en el ámbito del clima mediterráneo continental, de inviernos fríos y veranos calurosos y secos. Pero existen acusadas diferencias altitudinales entre montaña y llano que modifican el clima local y conforman distintas características:

- Aridez de las tierras del eje del Ebro.
- Irregularidad de las lluvias, propia del clima mediterráneo, en la que años muy secos pueden suceder a años muy lluviosos.
- Contrastes térmicos extremos entre invierno y verano debido al alto grado de continentalidad de la región.
- Viento dominante del noroeste (cierzo).

Así, el Atlas Climático de Aragón divide la región en siete tipos climáticos distintos, pero debido a que algunas de estas regiones climáticas son de poca extensión, se han reducido a cinco regiones distintas:

1. **Transición Mediterráneo-oceánico:** abarca las zonas del Pirineo oscense y parte de Cinco Villas, cuyos principales núcleos son Jaca, Sos del Rey Católico y Benasque.
2. **Mediterráneo Continental Norte:** abarca Cinco Villas, y Centro y Sur de Huesca, cuyos principales núcleos son Ejea de los Caballeros, Huesca y Monzón
3. **Seco estepario:** abarca la Ribera del Ebro, cuyos principales núcleos son Zaragoza, Fraga y Caspe
4. **Mediterráneo Continental Sur:** abarca parte de la Ibérica zaragozana, cuyos principales núcleos son Tarazona, Borja y Calatayud
5. **Submediterráneo Continental:** abarca la Ibérica zaragozana, Bajo Aragón de Teruel, Albarracín y Jiloca, y Gúdar y Maestrazgo, cuyos principales núcleos son Calamocha, Teruel y Alcañiz



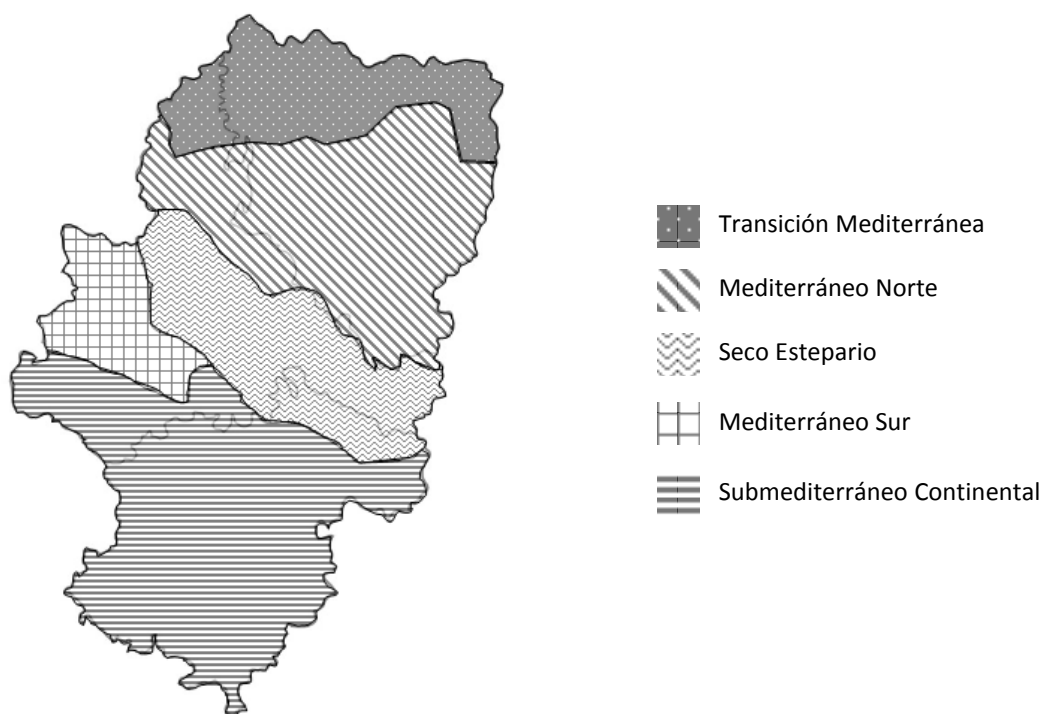


Figura 17. Zonas climáticas de Aragón

De esta forma, en el norte de Aragón existe una zona con clima de montaña y otra con clima Submediterráneo húmedo, ambas de poca extensión, por lo que se engloban dentro de la zona climática Transición Mediterránea. Por otro lado, la región Submediterránea Continental hace referencia tanto a la continental fría como a la cálida. Además, la región mediterránea se ha dividido en dos zonas: la mediterránea norte y la sur, que se encuentran por encima y debajo, respectivamente, de la zona Seco Estepario. Por último, en la zona más al sur de la región se dan distintos climas en pequeñas extensiones que se han englobado en la zona Submediterráneo Continental.

## 9.2. TEMPERATURA MÁXIMA

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos con el escenario de emisiones A1B, se espera un aumento uniforme de la temperatura máxima en Aragón a lo largo de todo el siglo XXI, si bien es cierto que existen diferencias de más de 1°C entre observatorios relativamente próximos. Dichas diferencias hacen necesaria la regionalización realizada, en la que se han promediado todos los datos de los observatorios.

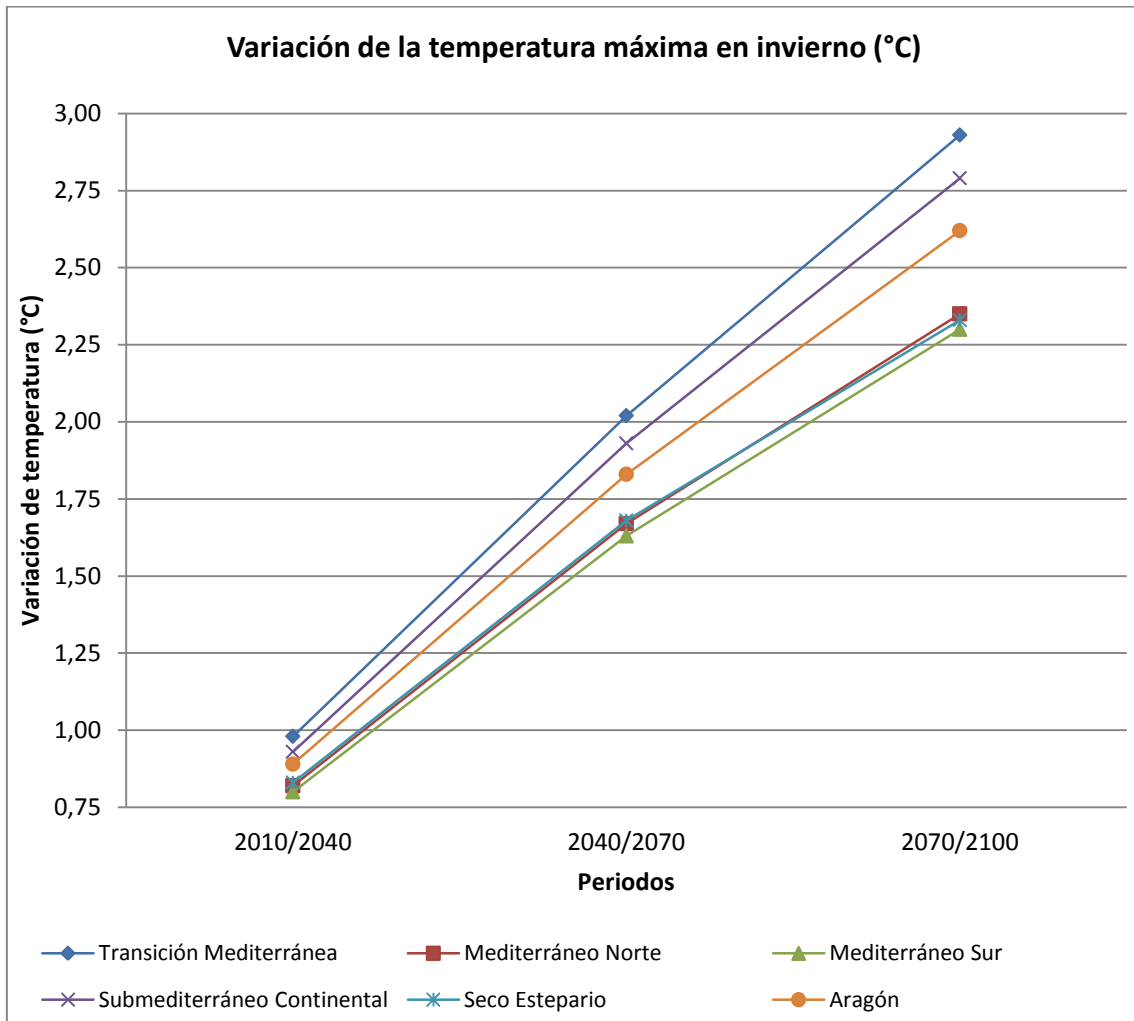
Para conocer la variación de la temperatura máxima estimada se han analizado los periodos 2010/2040, 2040/2070 y 2070/2100, para cada una de las estaciones del año y dichos valores corresponden a la media de la diferencia entre los valores regionalizados para cada MCG (del escenario A1B) promediados para el periodo correspondiente, y los valores promedio regionalizados para el periodo de control (1960/2000) de ese mismo MCG.

### 9.2.1. INVIERNO

El aumento de temperatura máxima que estima el A1B es relativamente uniforme en todas las regiones climáticas. El ascenso de temperatura a principios de siglo no alcanzaría más de 1°C pero este aumento a mediados de siglo sería de casi el doble. La zona de Transición mediterránea y Submediterráneo Continental son las que pueden alcanzar un mayor ascenso (unos 2°C a mediados de siglo).

	2010/2040	2040/2070	2070/2100
Transición Mediterránea	0,98	2,02	2,93
Mediterráneo Norte	0,82	1,67	2,35
Mediterráneo Sur	0,80	1,63	2,30
Submediterráneo Continental	0,93	1,93	2,79
Seco Estepario	0,83	1,68	2,33
Aragón	0,89	1,83	2,62

**Tabla 24.** Variación de la temperatura máxima en invierno prevista en distintas zonas de Aragón respecto al promedio del periodo 1960-2000 (en °C).



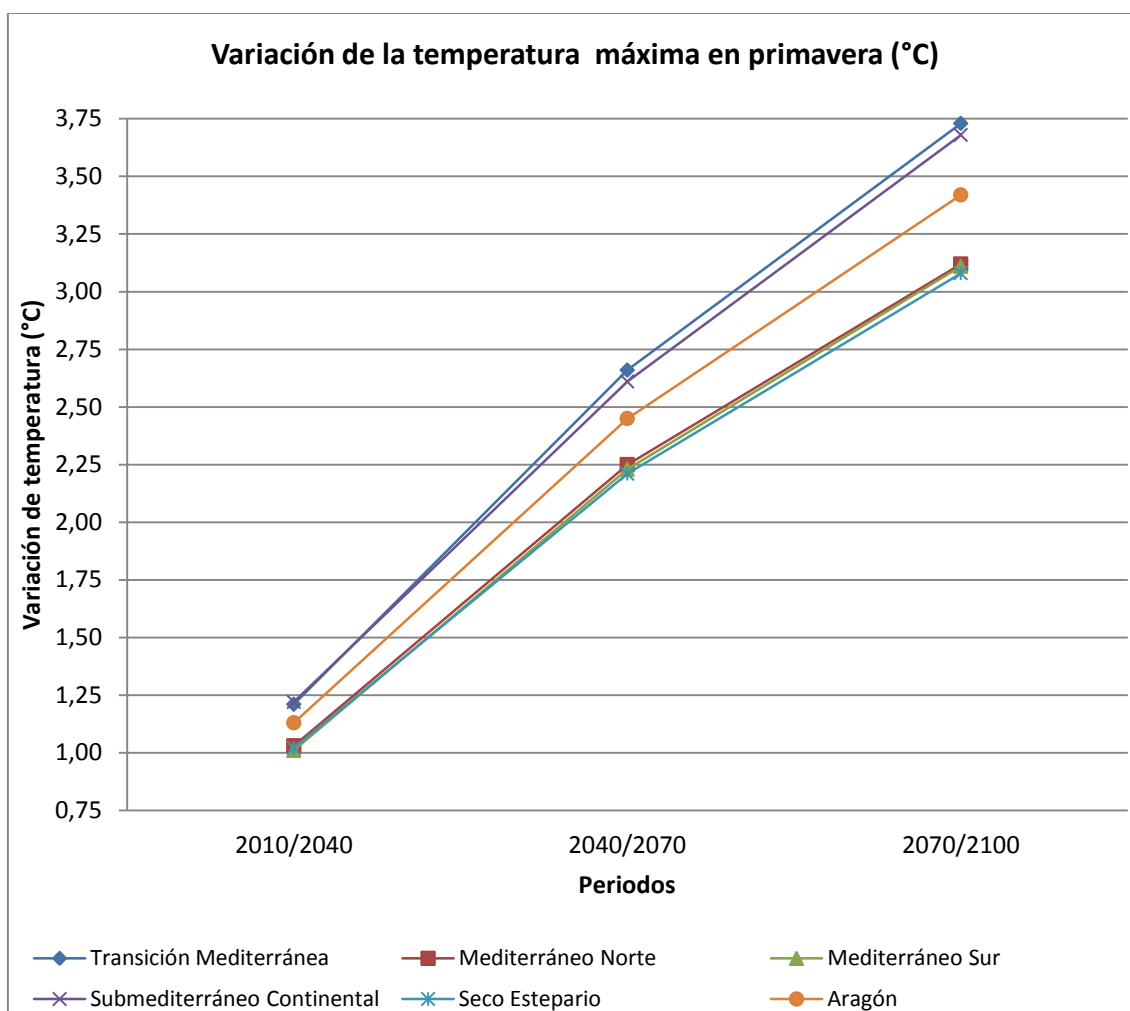
**Gráfico 14.** Variación de la temperatura máxima en invierno prevista en distintas zonas de Aragón respecto al promedio del periodo 1960-2000 (en °C).

## 9.2.2. PRIMAVERA

Se espera un aumento de temperatura máxima de manera relativamente uniforme en todas las regiones climáticas. Dicho aumento puede ser superior a 1°C a principios de siglo, incrementándose a valores superiores a 2°C a mitad de siglo y a 3°C a finales del mismo.

	2010/2040	2040/2070	2070/2100
Transición Mediterránea	1,21	2,66	3,73
Mediterráneo Norte	1,03	2,25	3,12
Mediterráneo Sur	1,01	2,23	3,11
Submediterráneo Continental	1,22	2,61	3,68
Seco Estepario	1,02	2,21	3,08
Aragón	1,13	2,45	3,42

**Tabla 25.** Variación de la temperatura máxima en primavera prevista en distintas zonas de Aragón respecto al promedio del periodo 1960-2000 (en °C).



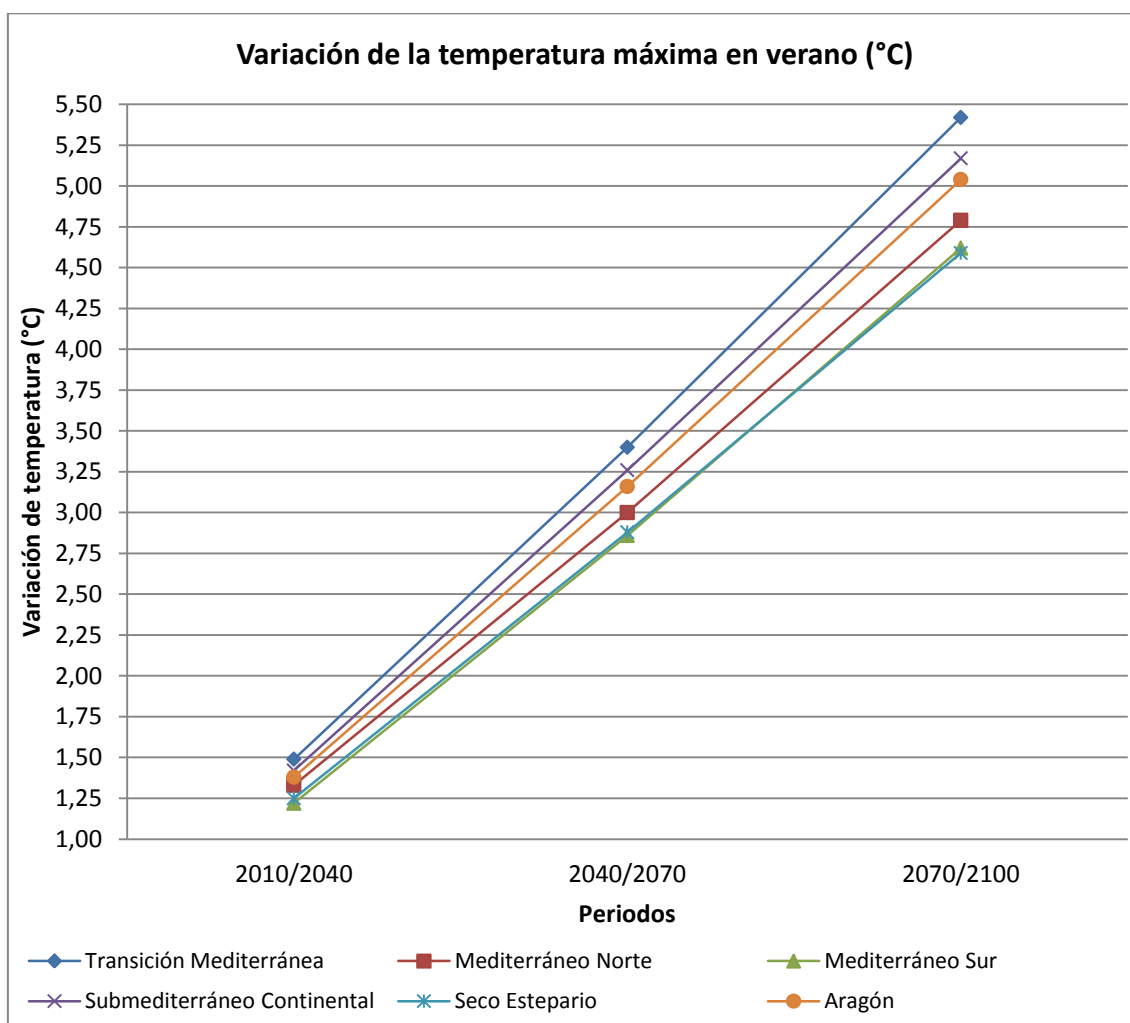
**Gráfico 15.** Variación de la temperatura máxima en primavera prevista en distintas zonas de Aragón respecto al promedio del periodo 1960-2000 (en °C).

### 9.2.3. VERANO

Se espera un aumento de temperatura máxima bastante superior al esperado en el resto de estaciones del año. A mitad de siglo puede haber incrementos que rondan los 3°C, que incluso en la región Transición Mediterránea puede alcanzar los 3,5°C. Para finales de siglo, el aumento puede ser superior a los 4,5°C o incluso a los 5°C en algunas regiones. La zona Oeste experimentaría los mayores ascensos de temperatura, mientras que en la zona oriental sería menor, y a finales de siglo puede haber un mayor calentamiento en la zona noroeste y la zona suroeste.

	2010/2040	2040/2070	2070/2100
Transición Mediterránea	1,49	3,40	5,42
Mediterráneo Norte	1,33	3,00	4,79
Mediterráneo Sur	1,22	2,86	4,62
Submediterráneo Continental	1,42	3,26	5,17
Seco Estepario	1,25	2,88	4,59
Aragón	1,38	3,16	5,04

**Tabla 26.** Variación de la temperatura máxima en verano prevista en distintas zonas de Aragón respecto al promedio del periodo 1960-2000 (en °C).



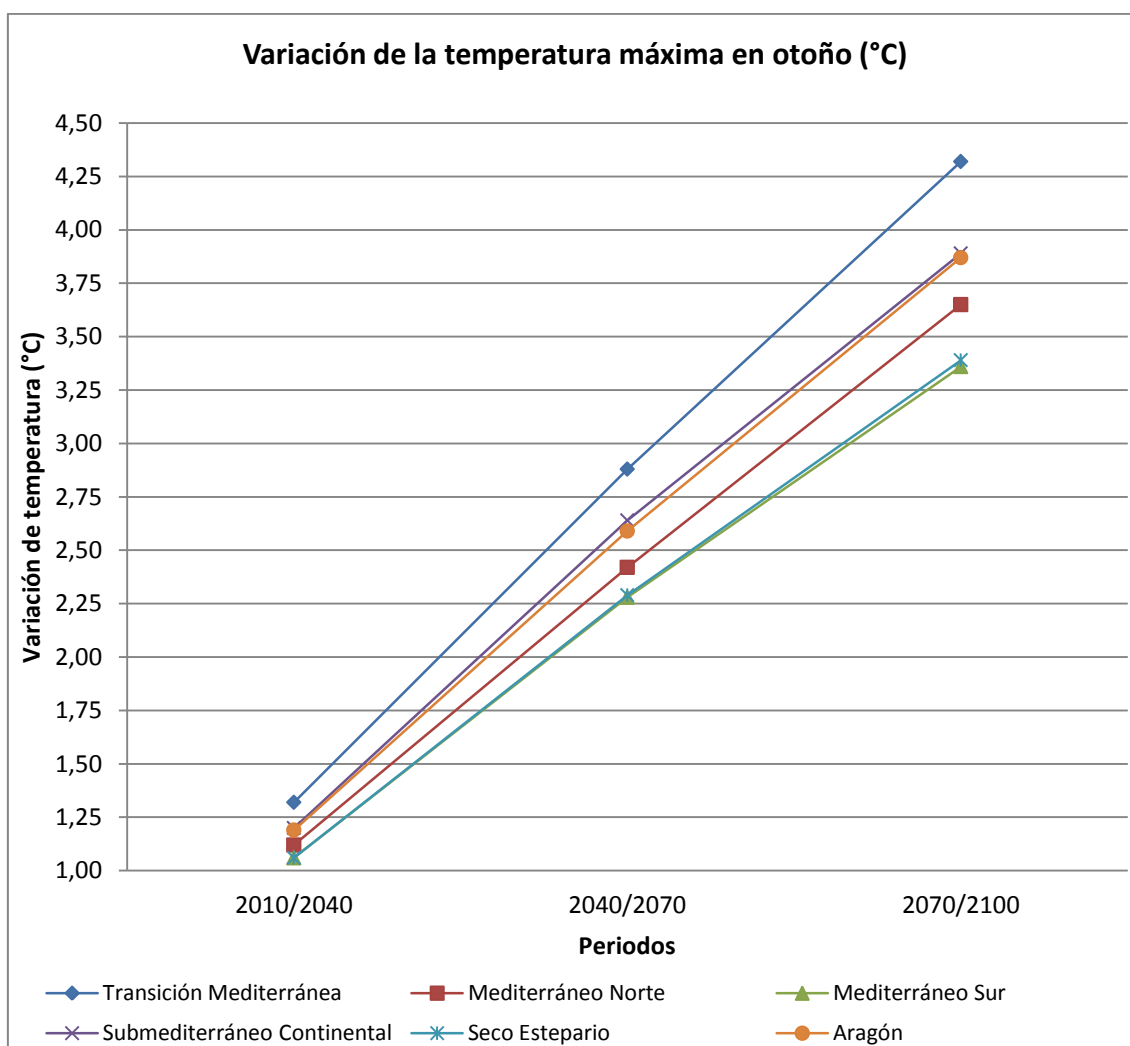
**Gráfico 16.** Variación de la temperatura máxima en verano prevista en distintas zonas de Aragón respecto al promedio del periodo 1960-2000 (en °C).

## 9.2.4. OTOÑO

Es la segunda estación del año en la que las simulaciones indican que la temperatura máxima alcanzará los mayores incrementos según el escenario A1B. A principios de siglo se esperan aumentos de algo más de 1°C. A mediados de siglo el aumento estaría en torno a los 2,5°C y a finales del mismo, puede alcanzar los 3,5°C. En la zona Transición Mediterránea, sobre todo a finales de siglo, la temperatura puede ser superior que en el resto de zonas climáticas.

	2010/2040	2040/2070	2070/2100
Transición Mediterránea	1,32	2,88	4,32
Mediterráneo Norte	1,12	2,42	3,65
Mediterráneo Sur	1,06	2,28	3,36
Submediterráneo Continental	1,20	2,64	3,89
Seco Estepario	1,06	2,29	3,39
Aragón	1,19	2,59	3,87

**Tabla 27.** Variación de la temperatura máxima en otoño prevista en distintas zonas de Aragón respecto al promedio del periodo 1960-2000. (en °C).



**Gráfico 17.** Variación de la temperatura máxima en otoño prevista en distintas zonas de Aragón respecto al promedio del periodo 1960-2000 (en °C).

### 9.3. TEMPERATURA MÍNIMA

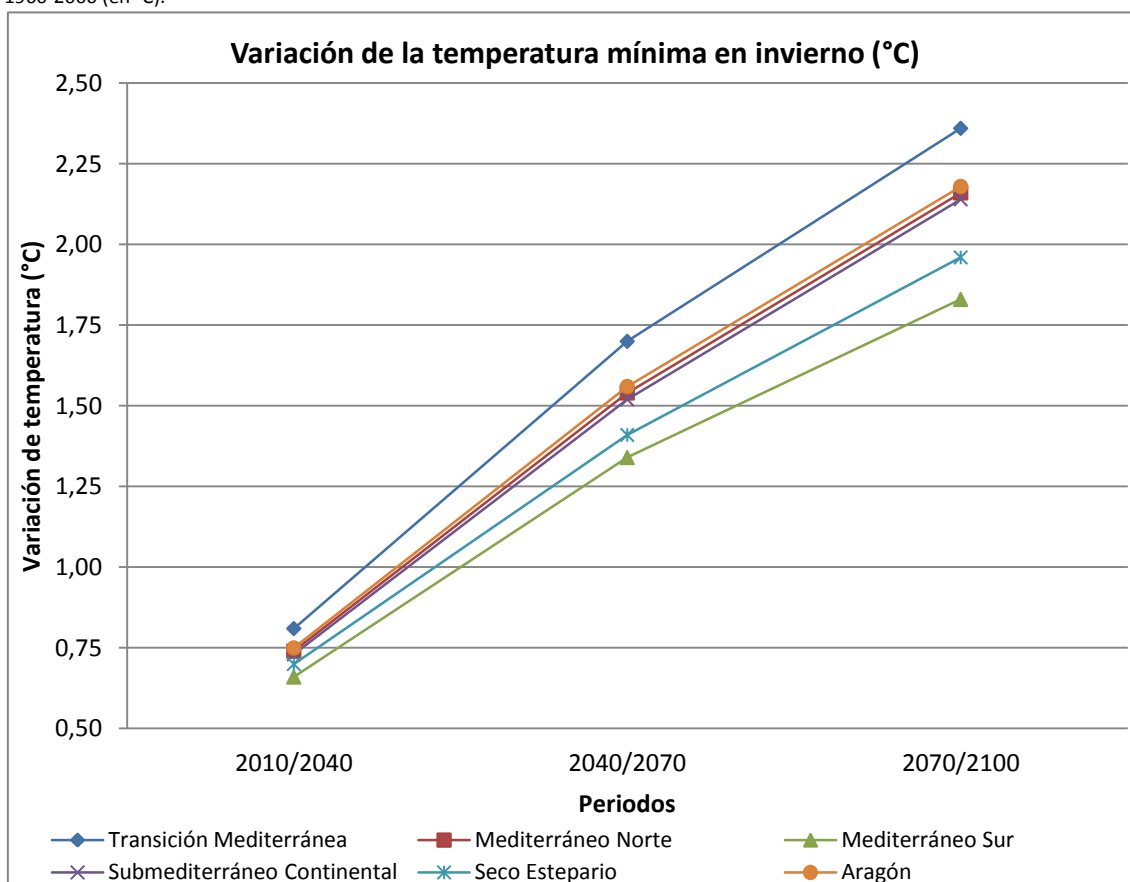
Tal y como se estimó para la temperatura máxima, se espera que la temperatura mínima aumente a lo largo de todo el siglo XXI. Los aumentos esperados son bastante más suaves que en las máximas y también aparecen diferencias locales. Para conocer la variación de la temperatura mínima estimada se ha procedido de igual forma que con la temperatura máxima, es decir, es la media de la diferencia de cada MCG, y los valores promedio del periodo 1960-2000.

#### 9.3.1. INVIERNO

Se esperan ascensos de la temperatura mínima según el escenario A1B de unos 0,7°C a principios de siglo, y que irán en aumento a lo largo del siglo, rondando 1,5°C y superando los 2°C a mediados y finales del mismo.

	2010/2040	2040/2070	2070/2100
Transición Mediterránea	0,81	1,70	2,36
Mediterráneo Norte	0,74	1,54	2,16
Mediterráneo Sur	0,66	1,34	1,83
Submediterráneo Continental	0,73	1,52	2,14
Seco Estepario	0,70	1,41	1,96
Aragón	0,75	1,56	2,18

**Tabla 28.** Variación de la temperatura mínima en invierno prevista en distintas zonas de Aragón respecto al promedio del periodo 1960-2000 (en °C).



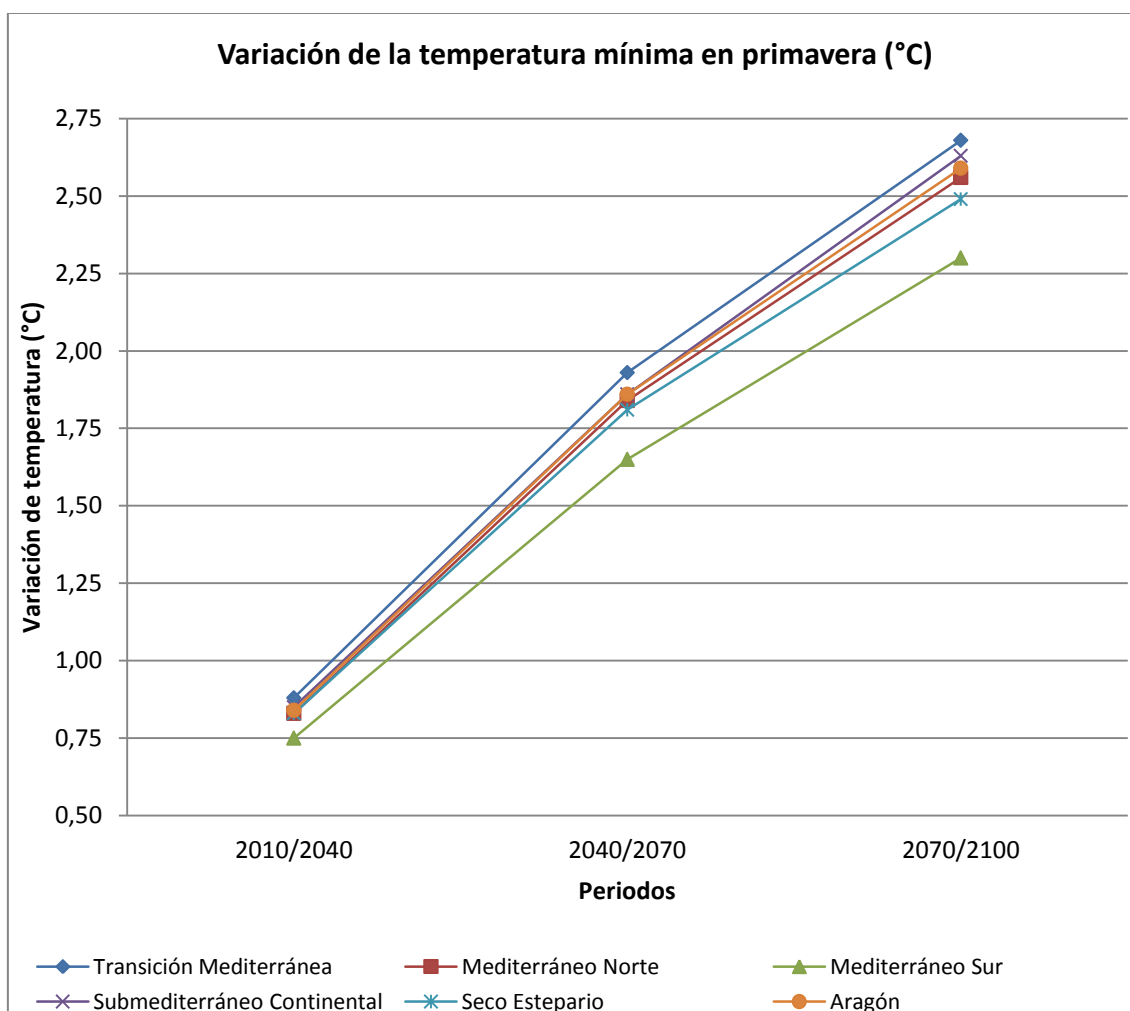
**Gráfico 18.** Variación de la temperatura mínima en invierno prevista en distintas zonas de Aragón respecto al promedio del periodo 1960-2000 (en °C).

### 9.3.2. PRIMAVERA

Se estima que habría ascensos algo superiores a los que tendrán lugar durante el invierno, especialmente a finales de siglo. Además, el aumento de temperatura se producirá de manera homogénea en todas las regiones climáticas.

	2010/2040	2040/2070	2070/2100
Transición Mediterránea	0,88	1,93	2,68
Mediterráneo Norte	0,83	1,84	2,56
Mediterráneo Sur	0,75	1,65	2,30
Submediterráneo Continental	0,85	1,86	2,63
Seco Estepario	0,83	1,81	2,49
Aragón	0,84	1,86	2,59

**Tabla 29.** Variación de la temperatura mínima en primavera prevista en distintas zonas de Aragón respecto al promedio del periodo 1960-2000 (en °C).



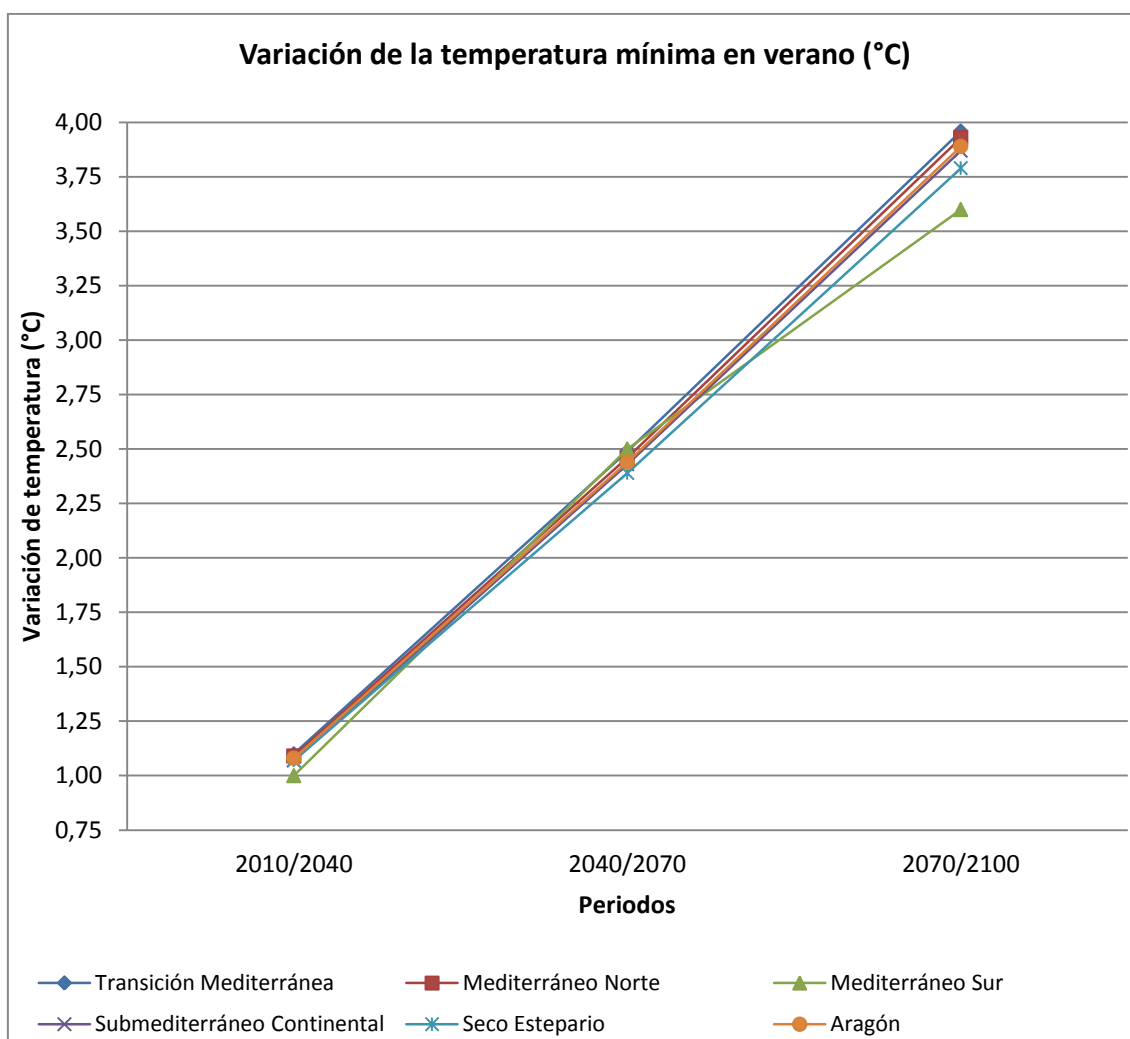
**Gráfico 19.** Variación de la temperatura mínima en primavera prevista en distintas zonas de Aragón respecto al promedio del periodo 1960-2000 (en °C).

### 9.3.3. VERANO

Según las proyecciones, es la estación en la que habrá mayores aumentos de temperatura mínima, llegando a rondar los 4°C a finales de siglo en algunas zonas de la región. A principios y mediados de siglo, los ascensos se encontrarán en torno a 1°C y 2,5°C, respectivamente. Además, dichos aumentos serán bastante uniformes en todas las regiones climáticas, destacando las zonas del centro-norte de la Comunidad y de la región Submediterráneo Continental, donde serán más marcados.

	2010/2040	2040/2070	2070/2100
Transición Mediterránea	1,10	2,49	3,96
Mediterráneo Norte	1,09	2,46	3,93
Mediterráneo Sur	1,00	2,50	3,60
Submediterráneo Continental	1,07	2,43	3,87
Seco Estepario	1,07	2,39	3,79
Aragón	1,08	2,44	3,89

**Tabla 30.** Variación de la temperatura mínima en verano prevista en distintas zonas de Aragón respecto al promedio del periodo 1960-2000 (en °C).



**Gráfico 20.** Variación de la temperatura mínima en verano prevista en distintas zonas de Aragón respecto al promedio del periodo 1960-2000 (en °C).

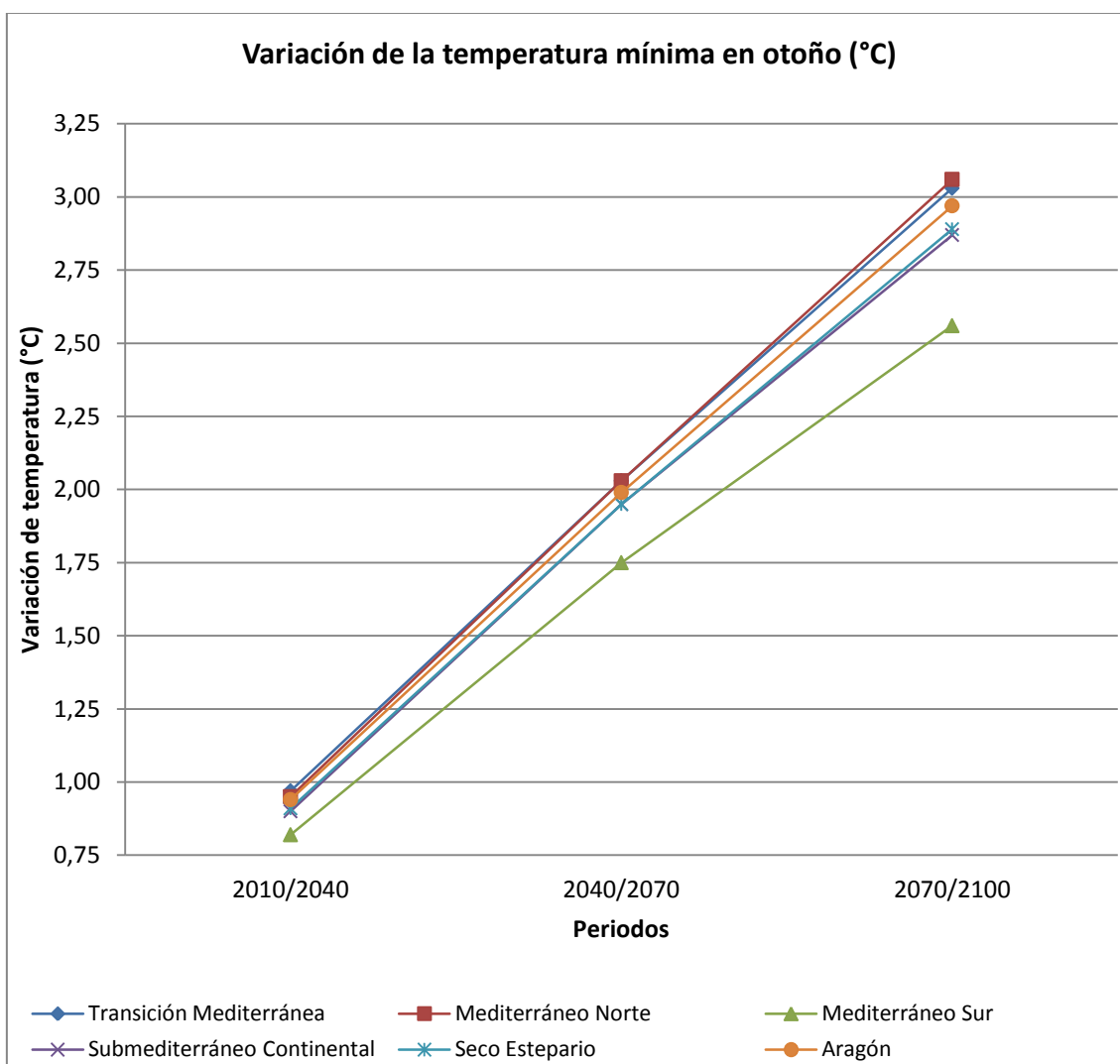


### 9.3.3. OTOÑO

Es la segunda estación en la que se estiman mayores ascensos de temperatura mínima. Estos aumentos de temperatura se encontrarán en torno a 1°C en el primer periodo, 2°C para el segundo y de 3°C en el tercero.

	2010/2040	2040/2070	2070/2100
Transición Mediterránea	0,97	2,03	3,03
Mediterráneo Norte	0,95	2,03	3,06
Mediterráneo Sur	0,82	1,75	2,56
Submediterráneo Continental	0,90	1,95	2,87
Seco Estepario	0,91	1,95	2,89
Aragón	0,94	1,99	2,97

**Tabla 31.** Variación de la temperatura mínima en otoño prevista en distintas zonas de Aragón respecto al promedio del periodo 1960-2000 (en °C).



**Gráfico 21.** Variación de la temperatura mínima en otoño prevista en distintas zonas de Aragón respecto al promedio del periodo 1960-2000 (en °C).

## 9.4. PRECIPITACIÓN

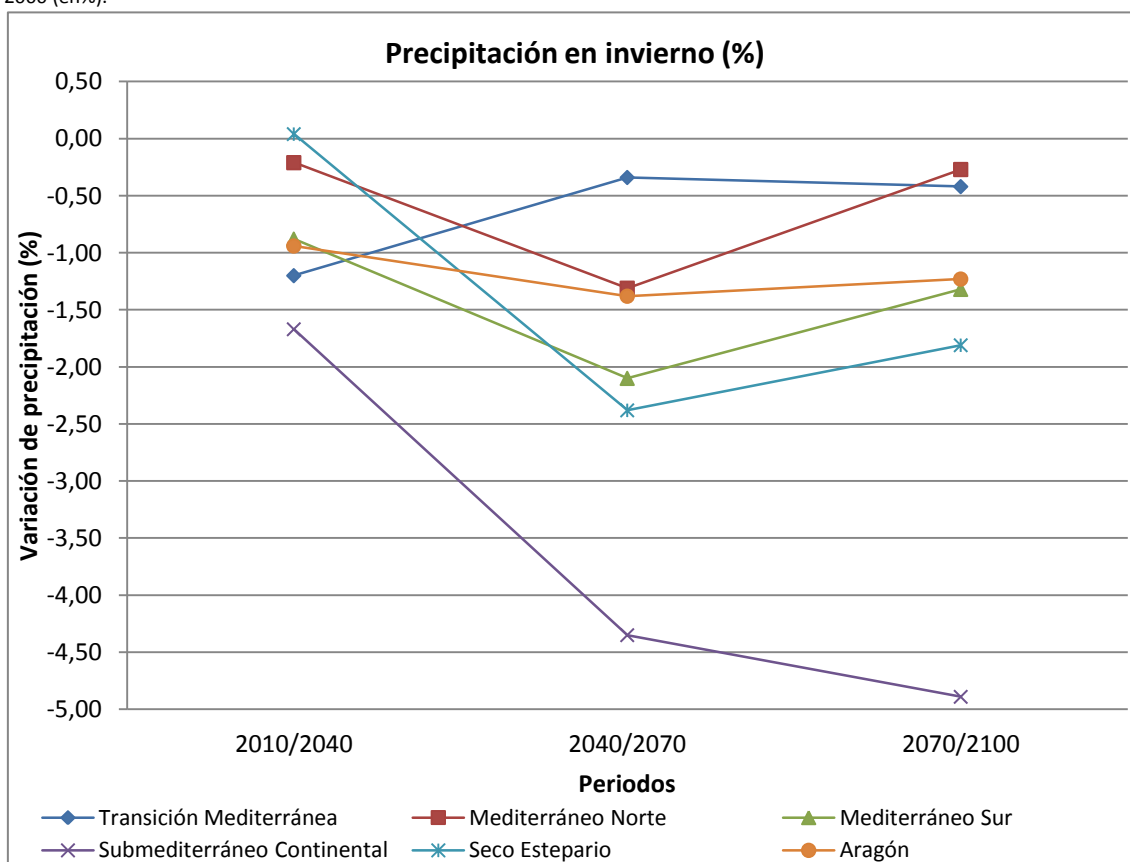
La variación de precipitación según el escenario A1B se caracteriza por que en verano y otoño aparece un gradiente Norte-Sur, de manera que la zona más norte es la que experimentaría mayores descensos de precipitación y la más al sur, menores descensos o incluso ascensos. Dicha variación se ha calculado a partir de la diferencia entre el promedio de precipitación simulado por regionalización en cada periodo, menos el promedio del periodo control (1960-2000) simulado por regionalización, y expresado en tanto por ciento.

### 9.4.1. INVIERNO

Se esperan descensos poco significativos de precipitación a lo largo del siglo en casi toda la región, excepto en la región Submediterráneo Continental, que experimentaría descensos algo más importantes.

	2010/2040	2040/2070	2070/2100
Transición Mediterránea	-1,20	-0,34	-0,42
Mediterráneo Norte	-0,21	-1,31	-0,27
Mediterráneo Sur	-0,88	-2,10	-1,32
Submediterráneo Continental	-1,67	-4,35	-4,89
Seco Estepario	0,04	-2,38	-1,81
Aragón	-0,94	-1,38	-1,23

**Tabla 32.** Variación de la precipitación en invierno prevista en distintas zonas de Aragón respecto al promedio del periodo 1960-2000 (en%).



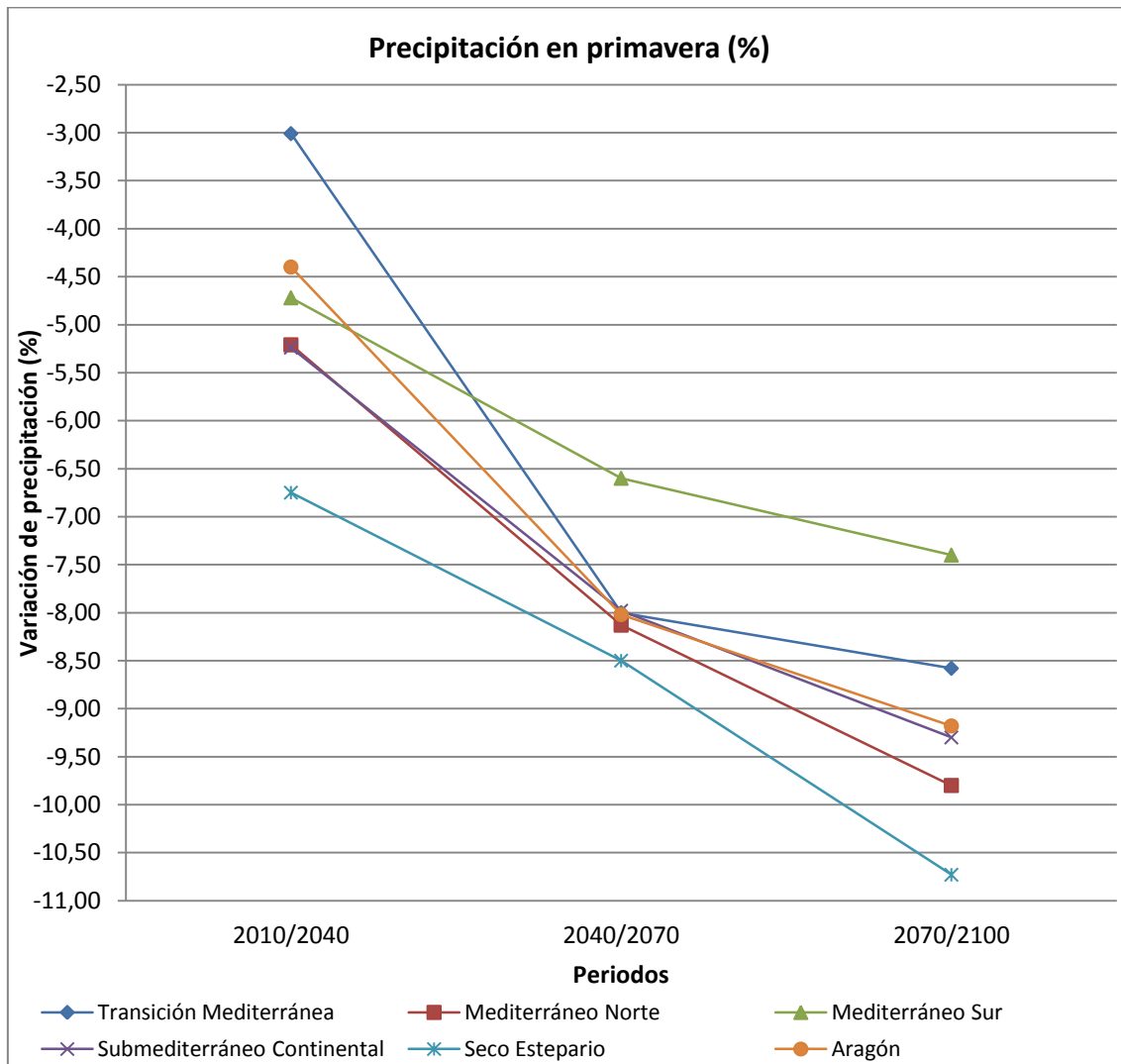
**Gráfico 22.** Variación de la precipitación en invierno prevista en distintas zonas de Aragón respecto al promedio del periodo 1960-2000 (en%).

### 9.4.2. PRIMAVERA

Se proyectan descensos de precipitación más significativos, en torno al 5% a principios de siglo y sobre el 9% a finales del mismo. La distribución de esta variación no está definida por el patrón Norte-Sur, sino que presenta una distribución algo más Este-Oeste, con un máximo de disminución en la zona centro-este de la Comunidad.

	2010/2040	2040/2070	2070/2100
Transición Mediterránea	-3,01	-8,00	-8,58
Mediterráneo Norte	-5,21	-8,13	-9,80
Mediterráneo Sur	-4,72	-6,60	-7,40
Submediterráneo Continental	-5,24	-7,98	-9,30
Seco Estepario	-6,75	-8,50	-10,73
Aragón	-4,40	-8,02	-9,18

**Tabla 33.** Variación de la precipitación en primavera prevista en distintas zonas de Aragón respecto al promedio del periodo 1960-2000 (en%).



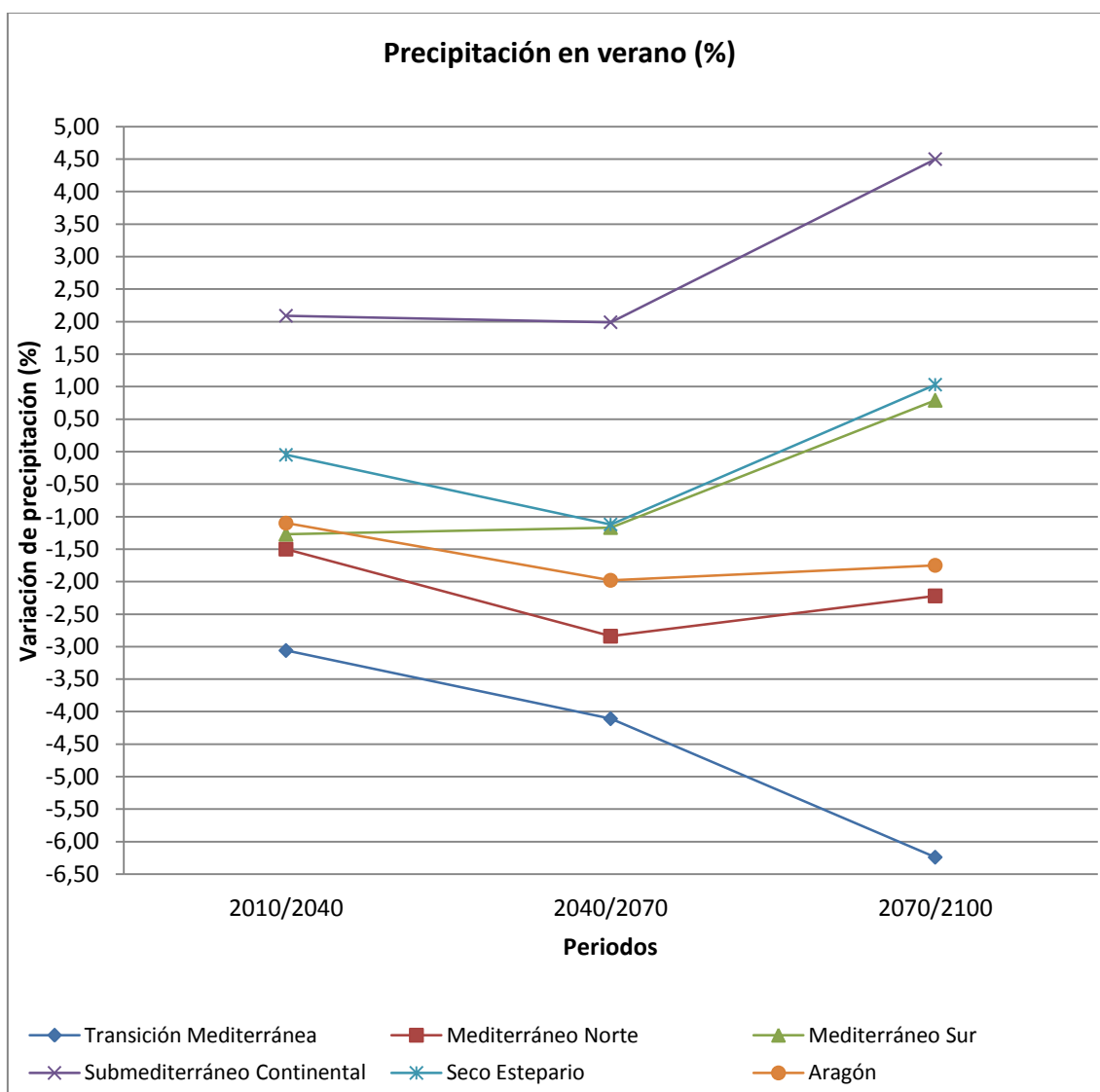
**Gráfico 23.** Variación de la precipitación en primavera prevista en distintas zonas de Aragón respecto al promedio del periodo 1960-2000 (en%).

### 9.4.3. VERANO

Se observa un gradiente Norte-Sur muy marcado. Está previsto que la zona norte sufra descensos de precipitación a lo largo de todo el siglo y la sur experimente aumentos. Además, se espera que en la región norte la precipitación vaya disminuyendo conforme avanza el siglo y en la sur, vaya aumentando.

	2010/2040	2040/2070	2070/2100
Transición Mediterránea	-3,06	-4,11	-6,24
Mediterráneo Norte	-1,50	-2,84	-2,22
Mediterráneo Sur	-1,27	-1,17	0,79
Submediterráneo Continental	2,09	1,99	4,50
Seco Estepario	0,00	-1,12	1,03
Aragón	-1,10	-1,98	-1,75

**Tabla 34.** Variación de la precipitación en verano prevista en distintas zonas de Aragón respecto al promedio del periodo 1960-2000 (en%).



**Gráfico 24.** Variación de la precipitación en verano prevista en distintas zonas de Aragón respecto al promedio del periodo 1960-2000 (en%).

#### 9.4.4. OTOÑO

Se esperan descensos de precipitación con un gradiente Norte-Sur hasta mediados de siglo, con mayores descensos en el norte, sobre todo en la región Transición Mediterránea. Los descensos previstos son cada vez mayores a lo largo del siglo, aunque a finales del mismo se espera que una zona al sureste aumente su precipitación.

	2010/2040	2040/2070	2070/2100
Transición Mediterránea	-4,58	-8,12	-14,24
Mediterráneo Norte	-3,48	-5,25	-8,74
Mediterráneo Sur	-1,88	-2,60	-2,94
Submediterráneo Continental	-2,16	-2,26	-1,28
Seco Estepario	-0,84	-2,42	-1,53
Aragón	-3,48	-5,64	-9,06

Tabla 35. Variación de la precipitación en otoño prevista en distintas zonas de Aragón respecto al promedio del periodo 1960-2000 (en%).

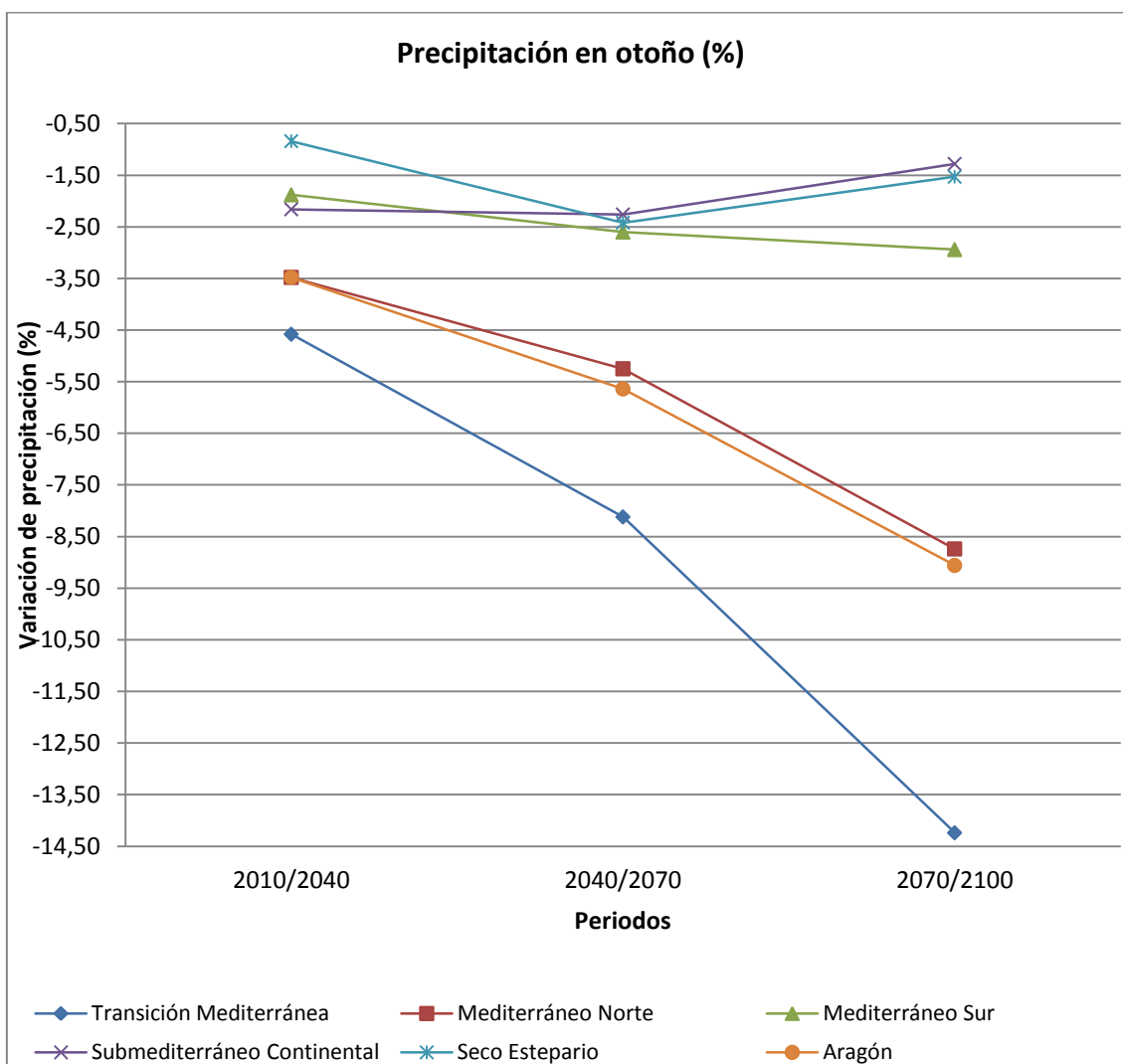


Gráfico 25. Variación de la precipitación en otoño prevista en distintas zonas de Aragón respecto al promedio del periodo 1960-2000 (en%).

## 9.5. RESUMEN DE LOS RESULTADOS (ARAGÓN)

Según el escenario de emisiones A1B, las temperaturas mínimas y máximas sufrirán un ascenso a lo largo del siglo XXI, siendo el ascenso de las máximas algo mayor que el de las mínimas. Para ambas temperaturas, el verano es la estación en la que se espera que se produzcan los ascensos más fuertes, seguida del otoño, después de la primavera y por último el invierno.

### 9.5.1. TEMPERATURA MÁXIMA

A principios de siglo la temperatura máxima sufrirá ascensos alrededor de 1 a 1,3°C, a mitad del mismo aumentará desde 1,5 o 2°C en invierno, hasta los 3°C en verano, y a finales de siglo aumentará alrededor de 2,5°C en invierno, 3,5°C en primavera y otoño e incluso 5°C en verano.

	2010/2040	2040/2070	2070/2100
Invierno	0,89	1,83	2,62
Primavera	1,13	2,45	3,42
Verano	1,38	3,16	5,04
Otoño	1,19	2,59	3,87

Tabla 36. Variación de la temperatura máxima en Aragón respecto al promedio del periodo 1960-2000 (en °C).

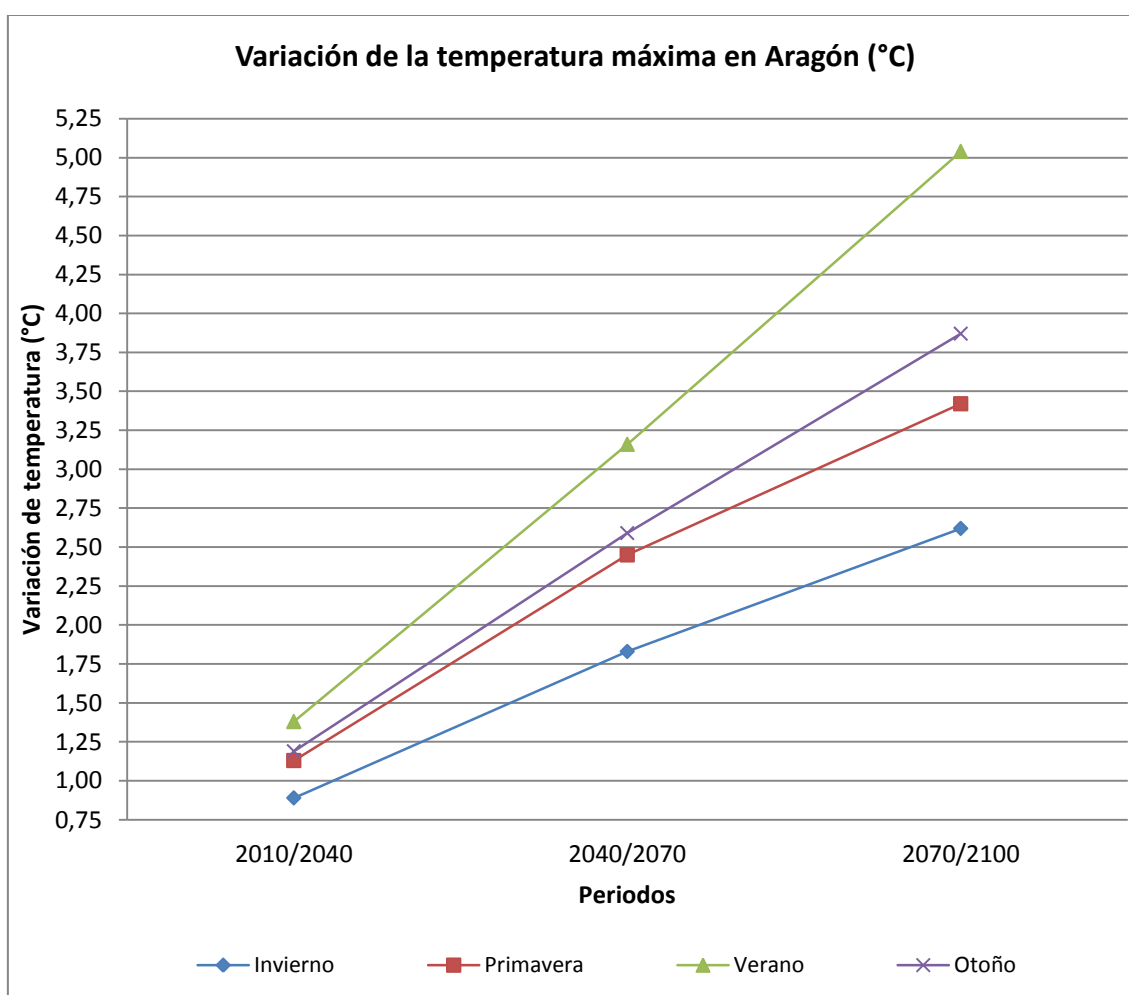


Gráfico 26. Variación de la temperatura máxima en Aragón respecto al promedio del periodo 1960-2000 (en °C).

## 9.5.2. TEMPERATURA MÍNIMA

En cuanto a las mínimas, a principios de siglo se prevé que el ascenso no supere 1°C, excepto en verano. A mitad de siglo se alcanzarían valores en torno a los 2°C, excepto en invierno que presentaría aumentos menores. A final de siglo se espera que el aumento sea mayor de 2°C en todas las estaciones excepto en verano, que se espera que sobrepase los 3,5°C.

	2010/2040	2040/2070	2070/2100
Invierno	0,75	1,56	2,18
Primavera	0,84	1,86	2,59
Verano	1,08	2,44	3,89
Otoño	0,94	1,99	2,97

Tabla 37. Variación de la temperatura mínima en Aragón respecto al promedio del periodo 1960-2000 (en °C).

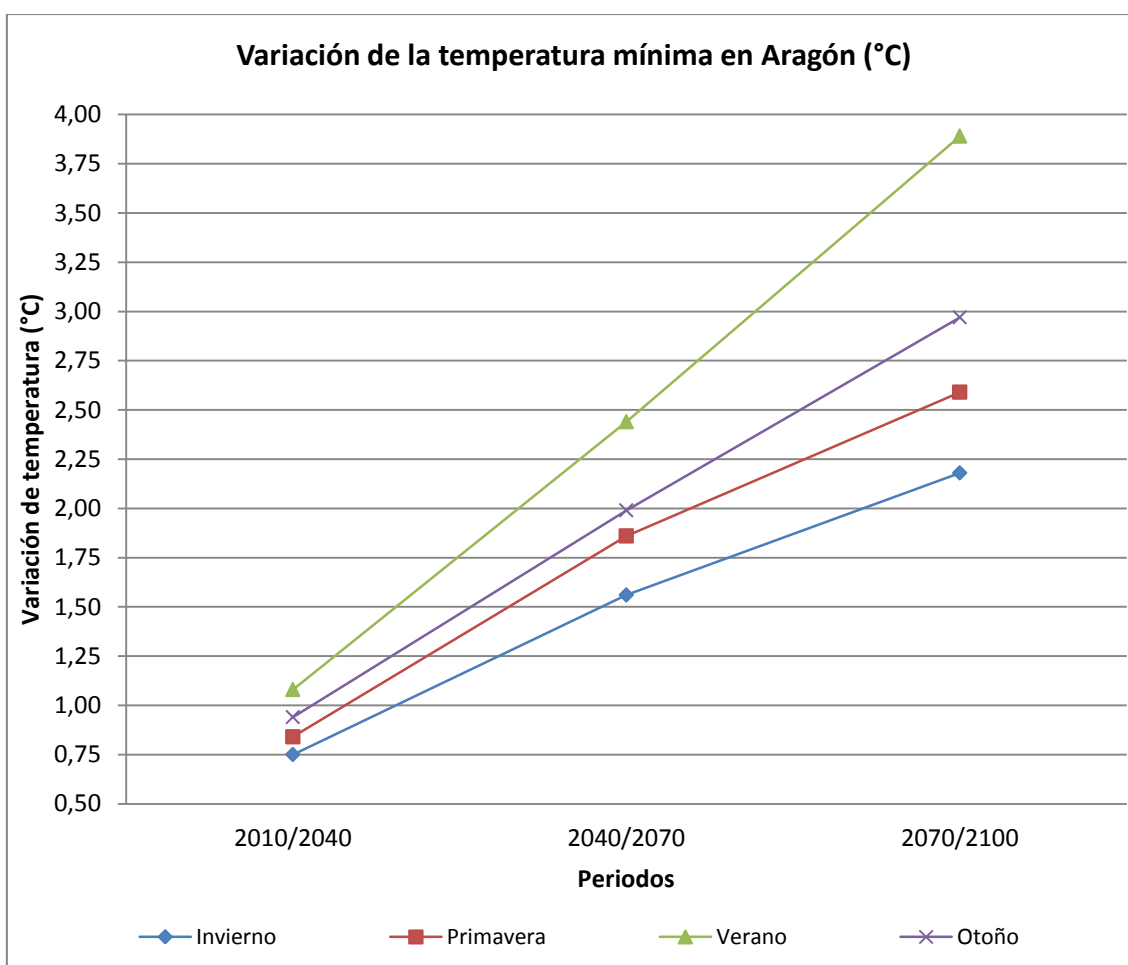


Gráfico 27. Variación de la temperatura mínima en Aragón respecto al promedio del periodo 1960-2000 (en °C).

### 9.5.3. PRECIPITACIONES

Por último, las precipitaciones podrían sufrir ligeros descensos a lo largo de todo el siglo XXI, salvo en verano, con ligeros aumentos. En primavera pueden darse los descensos más acusados, de hasta un 9% a finales de siglo. Está prevista la existencia de un patrón Norte-Sur en el gradiente de variación de la precipitación en primavera y verano. Además la zona norte sufriría descensos de precipitación en todas las estaciones del año, mientras que la región más al sur sufriría los descensos de precipitación en invierno y primavera, y aumentos en verano y otoño a final de siglo.

	2010/2040	2040/2070	2070/2100
Invierno	-0,94	-1,38	-1,23
Primavera	-4,40	-8,02	-9,18
Verano	-1,10	-1,98	-1,75
Otoño	-3,48	-5,64	-9,06

Tabla 38. Variación de la precipitación en Aragón respecto al promedio del periodo 1960-2000 (en °C).

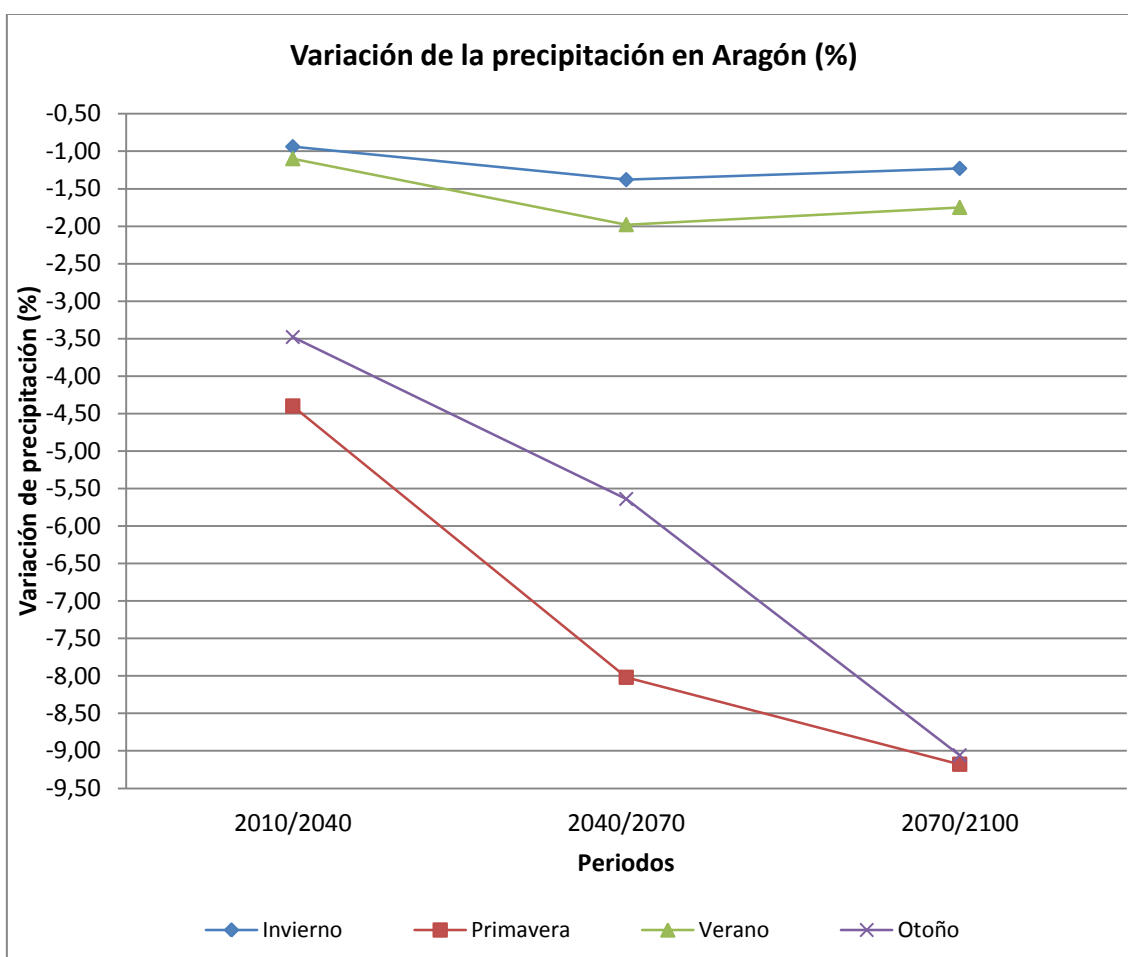


Gráfico 28. Variación de la precipitación en Aragón respecto al promedio del periodo 1960-2000 (en %).

Por otra parte, si se analizan las cinco **regiones climáticas** individualmente, la Transición Mediterránea es la que sufriría un mayor incremento de la temperatura, tanto máxima como mínima, a lo largo de todo el siglo XXI. Los menores ascensos se esperan en la región Mediterránea Sur, tanto para las máximas como para las mínimas. Las zonas restantes sufrirían aumentos de temperatura similares.



Además, la región Transición Mediterránea sufriría los mayores descensos de precipitación en todas las estaciones, siendo la zona sureste la única que sufriría aumentos durante el verano y el otoño a finales de siglo.

## 9.6. RESUMEN DE LOS RESULTADOS (ZONAS)

Por último, se ha observado que estas variaciones de temperaturas y precipitación no son equiparables, sino que dependiendo de la zona climática de Aragón a estudiar se aprecia una mayor o menor variación de las mismas. La zona climática donde más se acusa esta diferencia es en la zona Transición Mediterránea, que posee un mayor incremento de las temperaturas mínimas y máximas, mientras que el incremento es menor en la zona Mediterráneo Sur. En el caso de la precipitación, como se verá más adelante, esta diferencia de variación por zonas no es tan apreciable.

### 9.6.1. TEMPERATURA MÁXIMA

Tal y como ya se ha citado, la zona en la que está prevista que haya una mayor variación de la temperatura máxima es en la denominada Transición Mediterránea, es decir, el norte de Aragón, sobre todo durante el verano, momento en el cual está previsto que la temperatura aumente hasta 5,42°C a finales del siglo XXI, y, como ocurre en todo Aragón, este aumento será menos acusado en invierno.

	2010/2040	2040/2070	2070/2100
Invierno	0,98	2,02	2,93
Primavera	1,21	2,66	3,73
Verano	1,49	3,40	5,42
Otoño	1,32	2,88	4,32

Tabla 39. Variación de temperatura máxima en Transición Mediterránea respecto al promedio del periodo 1960-2000 (en °C).

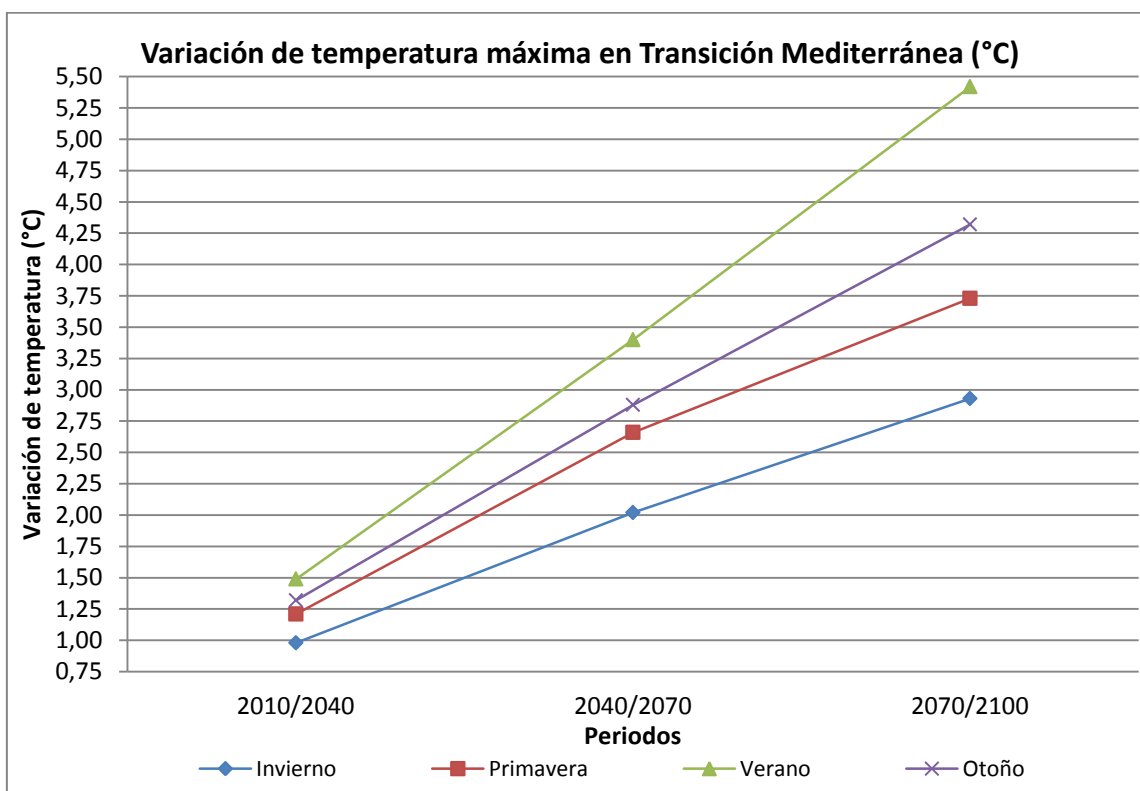
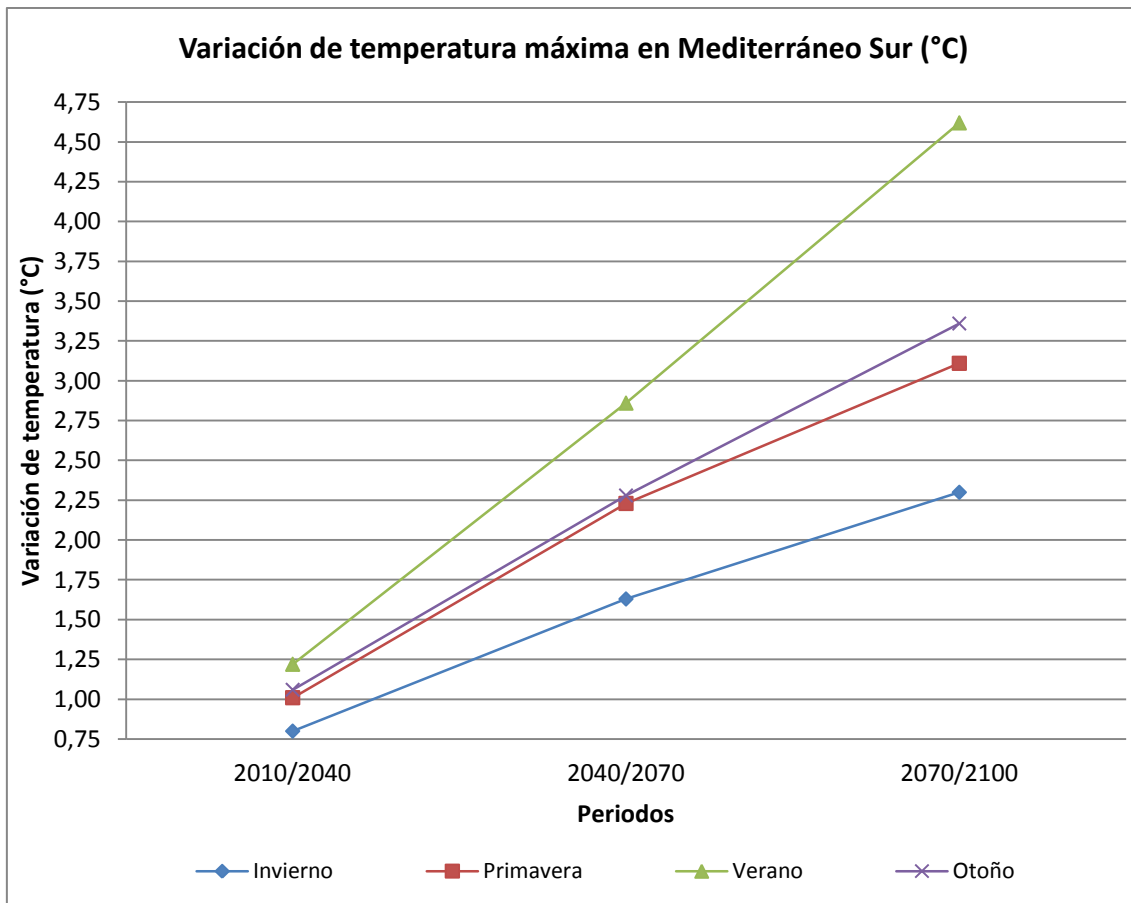


Gráfico 29. Variación de temperatura máxima en Transición Mediterránea respecto al promedio del periodo 1960-2000 (en °C).

Por el contrario, la menor variación de temperatura tendrá lugar en la zona denominada Mediterráneo Sur, es decir la parte más occidental de Aragón, que aunque nuevamente la mayor variación de temperatura se presente durante el verano, ésta no alcanzará los 5°C, ni tan siquiera durante el último periodo del siglo XXI.

	2010/2040	2040/2070	2070/2100
Invierno	0,80	1,63	2,30
Primavera	1,01	2,23	3,11
Verano	1,22	2,86	4,62
Otoño	1,06	2,28	3,36

**Tabla 40.** Variación de temperatura máxima en Mediterráneo Sur respecto al promedio del periodo 1960-2000 (en °C).



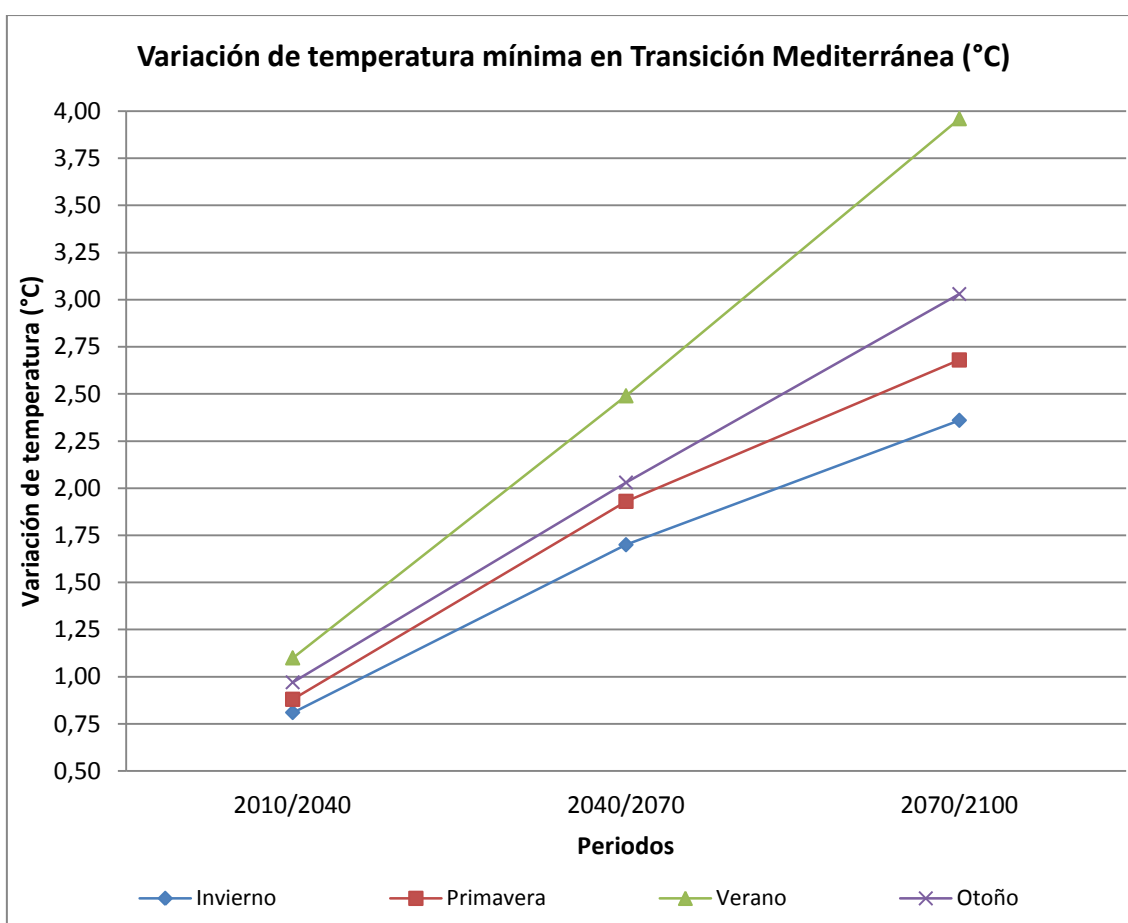
**Gráfico 30.** Variación de temperatura máxima en Mediterráneo Sur respecto al promedio del periodo 1960-2000 (en °C).

## 9.6.2. TEMPERATURA MÍNIMA

Por otra parte, las temperaturas mínimas que están previstas, como ya se ha dicho anteriormente, no sufrirán variaciones tan significativas comparadas con las temperaturas máximas. Nuevamente, la zona climática donde habrá un aumento más significativo sería en la zona Transición Mediterránea, donde pueden llegar a aumentar las temperaturas hasta casi 4°C en verano en el último periodo del siglo XXI.

	2010/2040	2040/2070	2070/2100
Invierno	0,81	1,70	2,36
Primavera	0,88	1,93	2,68
Verano	1,10	2,49	3,96
Otoño	0,97	2,03	3,03

**Tabla 41.** Variación de temperatura mínima en Transición Mediterránea respecto al promedio del periodo 1960-2000 (en °C).

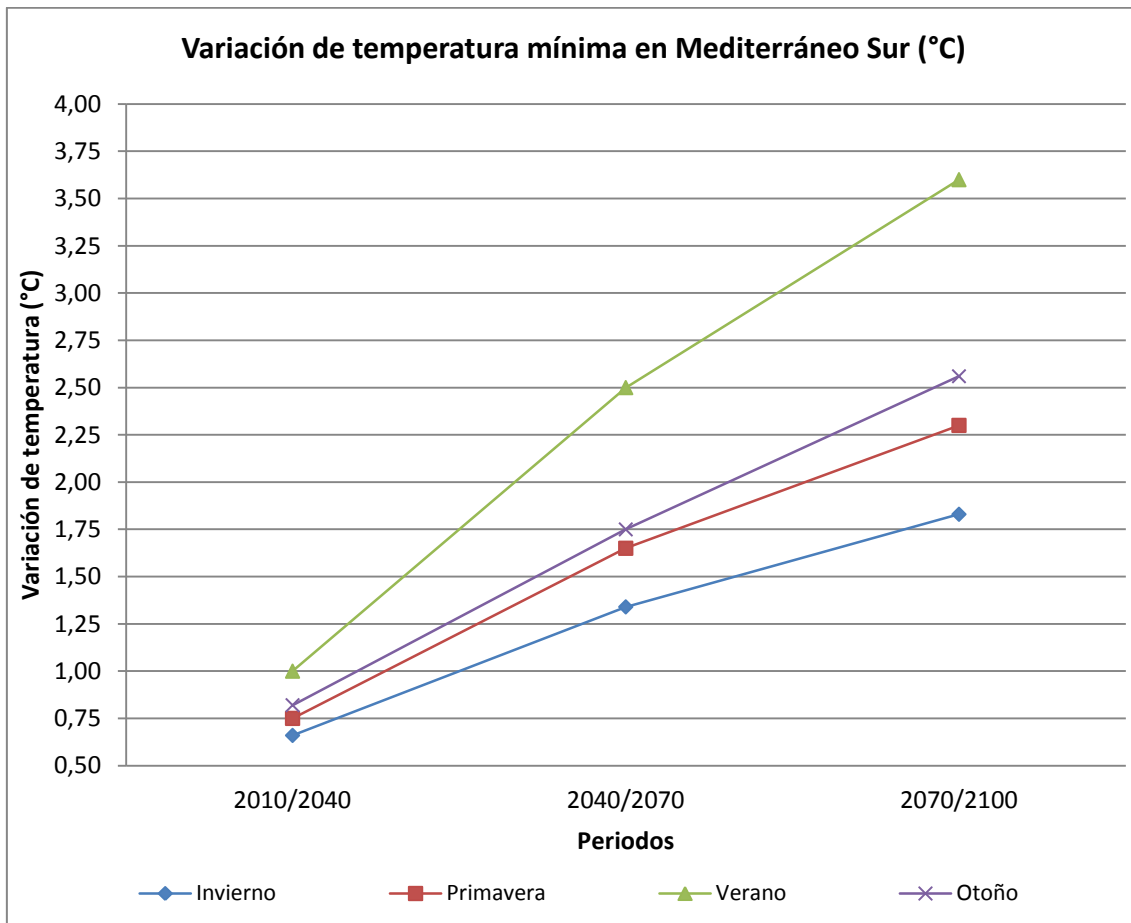


**Gráfico 31.** Variación de temperatura mínima en Transición Mediterránea respecto al promedio del periodo 1960-2000 (en °C).

Además, siguiendo el mismo patrón que en las temperaturas máximas, la menor variación de temperatura tendrá lugar en la zona Mediterráneo Sur, donde, para el mismo periodo y estación (verano) que en el caso anterior, está previsto que la temperatura aumente 3,60°C.

	2010/2040	2040/2070	2070/2100
Invierno	0,66	1,34	1,83
Primavera	0,75	1,65	2,30
Verano	1,00	2,50	3,60
Otoño	0,82	1,75	2,56

**Tabla 42.** Variación de temperatura mínima en Mediterráneo Sur respecto al promedio del periodo 1960-2000 (en °C).



**Gráfico 32.** Variación de temperatura mínima en Mediterráneo Sur respecto al promedio del periodo 1960-2000 (en °C).

### 9.6.3. PRECIPITACIONES

Por último, el régimen de precipitaciones será muy variable atendiendo a las diferentes zonas mencionadas, aunque por lo general está previsto un descenso de las mismas durante todo el siglo XXI exceptuando en verano del último periodo en casi todas estas zonas climáticas (únicamente descendería en la zona Transición Mediterránea).

Así pues, los mayores descensos de forma generalizada del porcentaje de precipitación se darían en la zona Mediterráneo Norte y la segunda zona con mayores descensos sería la zona Submediterráneo Continental (sobre todo en invierno), exceptuando en verano, época en la que está previsto que aumente.

Mediterráneo Norte			
	2010/2040	2040/2070	2070/2100
Invierno	-0,21	-1,31	-0,27
Primavera	-5,21	-8,13	-9,80
Verano	-1,50	-2,84	-2,22
Otoño	-3,48	-5,25	-8,74

Tabla 43. Variación de precipitación en Mediterráneo Norte respecto al promedio del periodo 1960-2000 (en %).

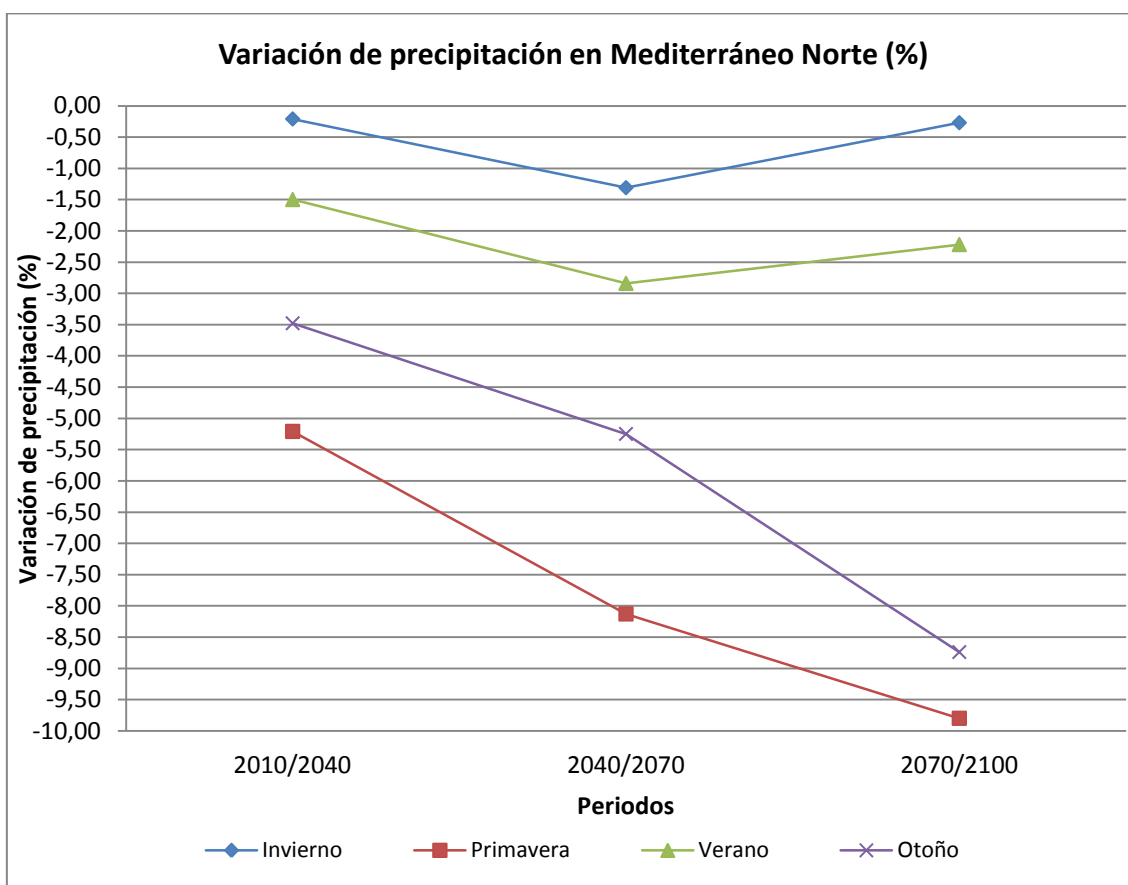
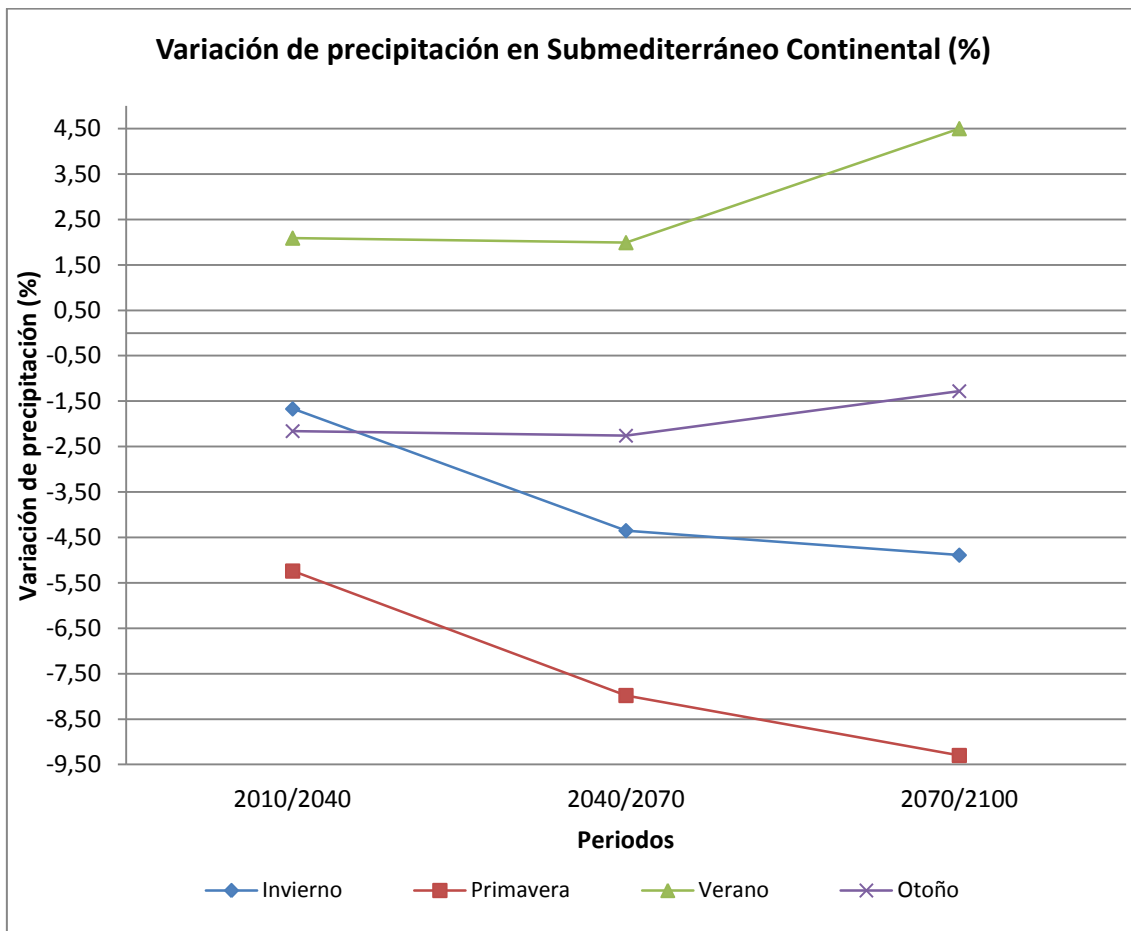


Gráfico 33. Variación de precipitación en Mediterráneo Norte respecto al promedio del periodo 1960-2000 (en %).

Submediterráneo Continental			
	2010/2040	2040/2070	2070/2100
Invierno	-1,67	-4,35	-4,89
Primavera	-5,24	-7,98	-9,30
Verano	2,09	1,99	4,50
Otoño	-2,16	-2,26	-1,28

**Tabla 44.** Variación de precipitación en Submediterráneo Continental respecto al promedio del periodo 1960-2000 (en %).



**Gráfico 34.** Variación de precipitación en Submediterráneo Continental respecto al promedio del periodo 1960-2000 (en %).

Por otro lado, según la época del año, las zonas en las que habrá mayores descensos serán la Submediterráneo Continental en invierno, como ya se ha dicho; Seco Estepario en primavera; y Transición Mediterráneo en verano y otoño. Mientras que las zonas en las que podrá haber un descenso poco notable e incluso un aumento del porcentaje de precipitación serían Seco estepario y Mediterráneo Norte en invierno; Mediterráneo Sur en primavera; Submediterráneo Continental en verano; y Seco Estepario y Submediterráneo Continental en otoño.

## 10. CONCLUSIONES

### 10.1. CAMBIO CLIMÁTICO MUNDIAL

- La **temperatura media anual** aumentó 0,74°C en el periodo 1906-2005 en la superficie terrestre según el AR4, y 0,85°C de 1880-2012 según el AR5, y continuará haciéndolo con un aumento de 1,8 a 4,0 °C en 2090-2099 respecto 1980-1999 según el AR4 y de 1,0 a 3,7°C en 2081-2100 respecto a 1986-2005 según el AR5.
- El **nivel del mar** aumentó 1,8 mm/año desde 1961 y 3,1mm/año desde 1993 según el AR4 y 2,0 mm/año entre 1971-2010; y 3,2 mm/año entre 1993-2010 según el AR5. Está previsto un aumento de 0,18-0,38m a 0,26-0,59m en 2090-2099 respecto 1980-1999 en el AR4 y de 0,40-0,60m en el periodo 2081-2100 respecto al periodo 1986-2005.
- El **hielo marino ártico** descendió 2,7% por decenio desde 1978 según el AR4 y de 3,5 a 4,1% entre 1979 – 2012 en el AR5, así como también descendieron la **superficie de los glaciares** y la **cubierta de nieve** de ambos hemisferios, y se produjo el aumento de 3°C en el **permafrost** en la década de los 80 según ambos informes. Así mismo está proyectado tanto en el AR4 como en el AR5 que disminuya la superficie cubierta de nieve, se produzca el deshielo de algunas regiones del permafrost y se reduzca la extensión de los hielos marinos, estimándose que el hielo marino ártico pueda desaparecer en verano los últimos años del siglo XXI según el AR4 o en septiembre a partir de mediados del siglo XXI según el AR5.
- La **precipitación** según ambos informes aumentó en las partes orientales del norte de América del Sur y del Norte, Europa septentrional y Asia septentrional y central y disminuyó en el Sahel, en el Mediterráneo, en el sur de África y en ciertas partes del sur de Asia durante el periodo 1900-2005 y se estima que aumentarán las precipitaciones en latitudes altas y disminuirán en la mayoría de las regiones terrestres subtropicales y medias.
- La frecuencia de **olas de calor y precipitaciones intensas** aumentaron en los últimos 50 años en la mayoría de áreas, y continuarán aumentando en el futuro según los dos informes.
- El **pH** sufrió un descenso de 0,1 en la superficie oceánica y está previsto que descenderá entre 0,14 y 0,35 unidades durante el siglo XXI según el AR4 y de 0,06 a 0,32 según el AR5.
- Por tanto puede afirmarse que las situaciones que se han venido observando y que han quedado reflejadas en el AR4, quedan ratificadas en el AR5, e incluso se aprecia un cambio más notable tanto en las observaciones hasta la fecha como las predicciones elaboradas hasta finales del siglo XXI.

### 10.2. CAMBIO CLIMÁTICO EN ARAGÓN

#### 10.2.1. OBSERVACIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO

- Los datos extraídos de la Guía Resumida del clima en España (1981-2010) de AEMET permite observar como la temperatura media ha ido en aumento en todo el territorio de Aragón y cómo ha cambiado el régimen de precipitación.
- Se ha observado en las tres provincias de Aragón (Huesca, Zaragoza y Teruel) que la **temperatura media** ha ido en aumento desde 1961 de forma progresiva y fundamentalmente en los meses de primavera y verano en el caso de Zaragoza y Teruel y en los meses de verano únicamente en Huesca. Dicho aumento se ha producido principalmente en el último periodo registrado es decir, de 1981 a 2010.
- La **precipitación** ha ido descendiendo en Huesca desde 1961, siendo en el periodo 1980-2010 en el que menores datos mensuales y anuales se han registrado, excepto durante octubre. En Zaragoza y Teruel ha ido aumentando la cantidad de precipitación en primavera y otoño mientras que en el

resto del año se ha mantenido estable o con descensos muy ligeros en los últimos años en Zaragoza o muy notables durante el verano en Teruel.

### 10.2.2. PREDICCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO

- Los resultados para el promedio de las regionalizaciones de todos los MCGs del escenario A1B, deducen que las **temperaturas máximas y mínimas** de Aragón sufrirán un ascenso notable a lo largo del siglo XXI, siendo el ascenso de las máximas mayor que el de las mínimas.
- Además, durante el verano se darían los ascensos más fuertes, seguidos de los del otoño, primavera e invierno en ambas variables.
- El aumento de **temperatura máxima** a mitad de siglo (2040/2070) se espera que llegue a 3°C en verano y a 2-2,5°C durante el resto del año, mientras que el aumento de la **temperatura mínima** sería de 2,5°C en verano y 1,5-2°C durante el resto del año.
- Las **precipitaciones** se espera que sufran descensos a lo largo de todo el siglo XXI, excepto en verano a finales del mismo. La región Norte y la Submediterráneo Continental sufrirían descensos mayores que la zona Sur, donde se prevé un aumento en otoño. La zona central de la Comunidad sufriría variaciones de precipitación poco significativas.
- La región **Transición Mediterránea** es la que mayor incremento de temperatura, tanto máxima como mínima sufriría a lo largo de todo el siglo XXI. La región **Submediterráneo Continental** también sufriría aumentos algo más elevados que el resto de zonas en ambas variables.
- La región **Transición Mediterránea** es la que mayores descensos de precipitaciones sufriría en verano y otoño, mientras que la región **Submediterráneo Continental** los mayores descensos serían en invierno. Además esta región sería la única que sufriría aumentos de precipitación en verano.



## 11. BIBLIOGRAFÍA

- AEMET. (2009). *Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España*. Recuperado el 1 de junio de 2015 de [http://www.aemet.es/documentos/es/serviciosclimaticos/cambio\\_climat/datos\\_diarios/Informe\\_Escenarios.pdf](http://www.aemet.es/documentos/es/serviciosclimaticos/cambio_climat/datos_diarios/Informe_Escenarios.pdf)
- Anenberg, S. C., et. al. (2012). Global air quality and health co-benefits of mitigating near-term climate change through methane and black carbon emission controls. *Environ Health Perspect*. Recuperado el 31 de mayo de 2015 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3385429/>
- Arguez, A., Applequist, S., Kruk, M., Squires, M., & Vose, R. (2015). Somewhat. Very. Extremely. How likely is it that 2015 will be the new warmest year on record? *Climate.gov*. Recuperado el 5 de Octubre de 2015 de <https://www.climate.gov/news-features/blogs/beyond-data/somewhat-very-extremely-how-likely-it-2015-will-be-new-warmest-year>
- Bjørnæs, C. (2013). A guide to Representative Concentration Pathways. *CICERO. Center for International Climate and Environmental Research*. Recuperado en septiembre de 2013, de <http://cicero.uio.no/images/A%20guide%20to%20RCPs.pdf>
- Centro Nacional de Datos sobre Nieve y Hielos de Estados Unidos de América. (2014). Arctic sea ice reaches minimum extent for 2014. Recuperado el 20 de Octubre de 2015, de <http://nsidc.org/arcticseaicenews/2014/09/arctic-minimum-reached/>
- Cuadrat, J. M., y Pita, M. F. (2011). *Climatología* (6ª ed.). Madrid: Cátedra. 496p.
- Gobierno de Aragón. (2009). Informe final del proyecto "Generación de Escenarios de Cambio Climático en Aragón". Recuperado el 1 de junio de 2015, de [http://www.aragon.es/DepartamentosOrganismosPublicos/Departamentos/AgriculturaGanaderiaMedioAmbiente/AreasTematicas/MA\\_CambioClimatico/EACCEL/LineasActuacionProyecto/ci.05\\_Escenarios\\_Cambio\\_climatico\\_Aragon.detalleDepartamento](http://www.aragon.es/DepartamentosOrganismosPublicos/Departamentos/AgriculturaGanaderiaMedioAmbiente/AreasTematicas/MA_CambioClimatico/EACCEL/LineasActuacionProyecto/ci.05_Escenarios_Cambio_climatico_Aragon.detalleDepartamento)
- Gobierno vasco. (2002). *Cambio climático* (1ª ed.). Ihobe. 77p.
- Goosse H., P.Y. Barriat, W. Lefebvre, M.F. Loutre and V. Zunz, (2010). Introduction to climate dynamics and climate modeling. *Université catholique de Louvain*. Recuperado el 31 de mayo de 2015, de <http://www.climate.be/textbook/>
- IPCC. (2000). *Informe especial del IPCC: Escenarios de emisiones (Resumen para responsables de políticas)*. Cambridge: Cambridge University Press. 27p.
- IPCC. (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Ginebra: IPCC. 104p.
- IPCC. (2013a). Ficha informativa del IPCC: ¿Qué es el IPCC? Recuperado el 27 de mayo de 2015, de [http://www.ipcc.ch/news\\_and\\_events/docs/factsheets/FS\\_what\\_ipcc\\_es.pdf](http://www.ipcc.ch/news_and_events/docs/factsheets/FS_what_ipcc_es.pdf)
- IPCC. (2013b). *Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge and New York: Cambridge University Press. 29p

- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Ginebra: IPPC. 151p.
- IPCC. (2015). *¿Qué es el IPCC?* Recuperado el 27 de mayo de 2015, de [http://www.ipcc.ch/home\\_languages\\_main\\_spanish.shtml](http://www.ipcc.ch/home_languages_main_spanish.shtml)
- Martín, J. (1999). *Cambios climáticos*. Madrid: Libertarias. 324p.
- OMM. (2014a). Emission Scenarios. Recuperado el 28 de mayo de 2015, de [http://www.wmo.int/pages/themes/climate/emission\\_scenarios.php](http://www.wmo.int/pages/themes/climate/emission_scenarios.php)
- OMM. (2014b). 2013: uno de los diez años más cálidos de los que se tiene registro. Recuperado el 28 de Mayo de 2015, de [https://www.wmo.int/pages/mediacentre/press\\_releases/PR\\_983\\_ES.html](https://www.wmo.int/pages/mediacentre/press_releases/PR_983_ES.html)
- OMM. (2015). El clima mundial en 2014: calor extremo e inundaciones. Recuperado el 28 de mayo de 2015, de <https://www.wmo.int/media/es/content/el-clima-mundial-en-2014-calor-extremo-e-inundaciones>
- Oroza, S. A. (2011). *¿Hablamos de cambio climático?* (1ª ed.). Bilbao: Fundación BBVA. 160p.
- Rohli, R. V., y Vega, A. J. (2008). *Climatology*. Boston MA: Jones and Bartlett Publishers. 466p.
- van Vuuren, D. P. (2011). The representative concentration pathways: an overview. *Springer Link*. Recuperado el 31 de mayo de 2015, de <http://link.springer.com/article/10.1007/s10584-011-0148-z%20/fulltext.html>
- Wikipedia. (2015). *Radiative forcing*. Recuperado el 1 de junio de 2015, de [http://en.wikipedia.org/wiki/Radiative\\_forcing](http://en.wikipedia.org/wiki/Radiative_forcing)