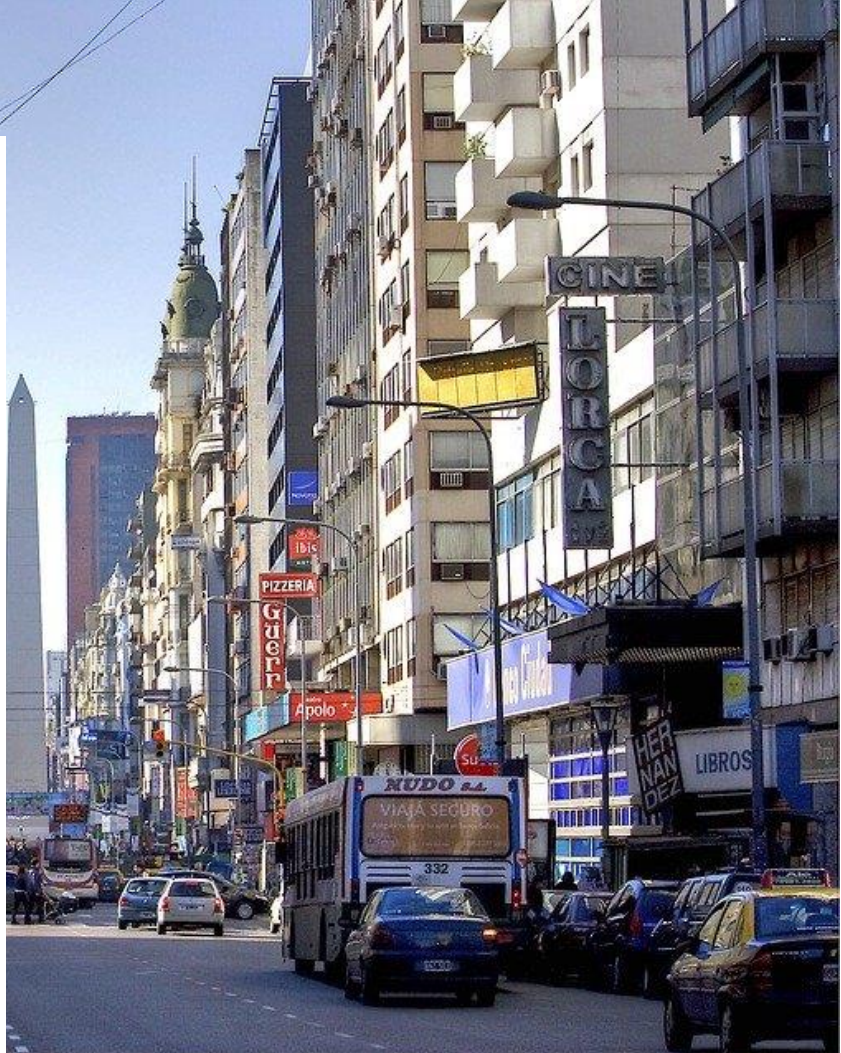


INFORME #1

**Escenarios climáticos
futuros de valores medios
y extremos de
temperatura y
precipitación para la
ciudad de Buenos Aires**



*Licitación Pública N°8933-0972-LPU19
"Servicio de Consultoría Tema
Cambio Climático"*

Inés Camilloni
Febrero 2020

1. Introducción

En diciembre de 2015, la 21ª Conferencia de las Partes (COP21) de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) propuso como objetivo mantener el calentamiento global por debajo de 2°C respecto al período preindustrial, y apeló a realizar esfuerzos para limitar el aumento de la temperatura a 1,5°C. Este acuerdo internacional conocido como el Acuerdo de París entró en vigor en noviembre de 2016.

En el presente informe se realiza una evaluación de los cambios que podrían ocurrir en el clima de la ciudad de Buenos Aires en términos de temperatura y precipitación bajo los umbrales determinados como objetivos de estabilización de la temperatura media global respecto del período preindustrial (1850-1900) en el Acuerdo de París. A estos umbrales de calentamiento (1,5°C y 2°C) se incorporó en el análisis las posibles consecuencias de un incremento de la temperatura global de 3°C ya que representa el calentamiento que se alcanzaría a fin del presente siglo como resultado de las políticas implementadas a la fecha (Figura 1). Asimismo, al estudio realizado sobre los cambios previstos en función de diferentes umbrales de calentamiento global se le agrega la evaluación de los cambios para tres horizontes temporales durante el presente siglo: 2021-2040 (corto plazo), 2041-2060 (mediano plazo) y 2081-2100 (largo plazo). En todos los casos, las proyecciones de clima futuro son realizadas a partir de la información provista por modelos climáticos globales utilizados por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático en diferentes reportes recientes y considerando dos escenarios de trayectorias representativas de concentraciones.

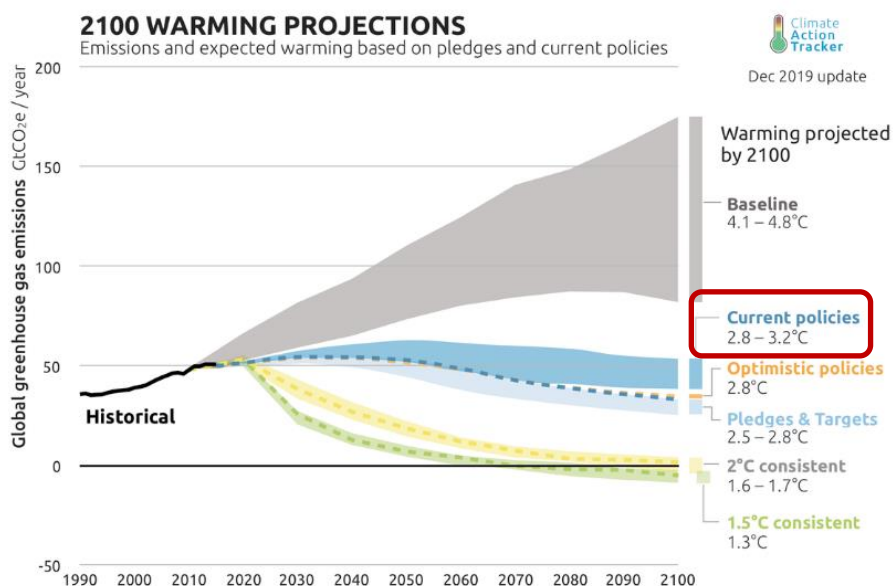


Figura 1. Proyecciones de cambio de temperatura global respecto del período preindustrial según diferentes trayectorias de emisiones. (Fuente: <https://climateactiontracker.org/global/temperatures/>).

2. Información utilizada

Los modelos climáticos constituyen la herramienta más confiable disponible en la actualidad para la generación de información acerca de las perspectivas climáticas futuras en respuesta a acciones antrópicas como el cambio en el uso del suelo o el incremento en la concentración de gases de efecto invernadero. Sin embargo, la confianza en la utilización de este tipo de modelos para el desarrollo de escenarios climáticos futuros se basa en una cuidadosa evaluación de su desempeño para representar el clima presente. Para la realización de este trabajo se consideraron cuatro modelos climáticos globales que corresponden a la fase 5 del Proyecto de Intercomparación denominado CMIP5 (Stouffer y otros, 2011; Taylor y otros, 2012) y los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 (Moss y otros, 2010). Los modelos utilizados se encuentran disponibles a través del Programa para el Diagnóstico e Intercomparación de Modelos (por sus siglas en inglés PCMDI, <http://cmip-pcmdi.llnl.gov/cmip5/>) y son utilizados por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) en diferentes informes.

Los cuatro modelos analizados fueron seleccionados ya que demostraron una buena representación de la temperatura y precipitación en la región del país en la que se encuentra emplazada la ciudad de Buenos Aires. La evaluación del desempeño de los modelos fue realizada considerando los resultados obtenidos del cómputo del Índice Único de Validación de Modelos (IUVM) desarrollado por el Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA) en el marco de la Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático (SAyDS, 2015). Este índice varía entre 0 y 1, donde los valores próximos a 0 son indicadores de un mal desempeño mientras que cuanto mayor es la habilidad del modelo para representar el clima observado, el índice se aproxima a 1. En la Tabla 1 se indican los modelos considerados en este Informe junto con la institución responsable de su desarrollo, la resolución horizontal en la atmósfera, la referencia bibliográfica correspondiente y el IUVM.

Tabla 1. Modelos climáticos globales correspondientes al proyecto de intercomparación CMIP5 considerados. Se indica en cada caso la institución de origen, la resolución horizontal de cada modelo y la referencia bibliográfica.

Modelo	Institución (país)	Resolución atmosférica (lat x lon)	Referencia	IUVM
CCSM4	<i>National Center for Atmospheric Research</i> ESTADOS UNIDOS	0.9° x 1.25°	<i>Gent y otros (2011)</i>	0.91
IPSL-CM5A-MR	<i>Institut Pierre Simon Laplace</i> FRANCIA	2.5° x 1.25°	<i>Dufresne y otros (2013)</i>	0.53
MPI-ESM-MR	<i>Max Planck Institute for Meteorology</i> ALEMANIA	1.875° x 1.875°	<i>Jungclaus y otros (2010)</i>	0.57
NorESM1-ME	<i>Norwegian Climate Centre</i> NORUEGA	1.875° x 2.5°	<i>Tjiputra y otros (2013)</i>	0.62

Las variables analizadas corresponden a los valores diarios de temperatura mínima, temperatura máxima y precipitación para los períodos 1960-2005 (simulaciones retrospectivas) y 2006-2100 (simulaciones prospectivas). Con el objeto de corregir los errores sistemáticos y realizar la reducción de escala a una retícula de mayor resolución horizontal que la de los modelos originales, se considerará la base de datos meteorológicos observacionales desarrollada por Sheffield y otros (2006) (disponible en <http://hydrology.princeton.edu/data.pgf.php>) para el período 1948-2016 .

3. Metodología

La generación de información de alta resolución derivada de los modelos climáticos globales seleccionados fue realizada a través del método *Bias-Correction Spatial Disaggregation (BCSD)* (Wood y otros, 2002; Wood y otros, 2004; Maurer y otros, 2008; Thrasher y otros, 2012). Este método consiste en un algoritmo que compara las salidas de los modelos climáticos globales con las correspondientes observaciones climáticas durante un período común y utiliza información derivada de la comparación para ajustar las proyecciones climáticas futuras para que sean más consistentes con los registros climáticos históricos y, en consecuencia, más realistas para el dominio espacial de interés. A este proceso conocido como *Bias-Correction* se le suma además el incremento de la resolución espacial (*downscaling*) utilizando el detalle espacial proporcionado por los conjuntos de datos derivados de observación para interpolar las salidas de los modelos climáticos a retículas de mayor resolución.

El algoritmo BCSD fue aplicado a las simulaciones de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación a nivel diario correspondientes a los modelos indicados en la Tabla 1. El período 1960-2005 fue considerado para el cómputo de los factores de corrección de errores sistemáticos. Estos factores fueron aplicados a las simulaciones correspondientes al período 2006-2100 para los escenarios de emisiones RCP4.5 y RCP8.5. La resolución espacial resultante de las simulaciones climáticas corregidas es de 0.25°latitud x 0.25°longitud (aproximadamente 25 km x 25 km).

En el presente informe se presentan los escenarios futuros de cambios respecto de 1986-2005 de un conjunto de valores medios de variables atmosféricas e indicadores de extremos climáticos. Las variables e índices analizados se indican en las Tablas 2 a 4. Los índices de extremos de temperatura y precipitación analizados corresponden a cinco de temperatura (Tabla 3) y seis de precipitación (Tabla 4) y forman parte de los indicadores recomendados por el *CCI/WCRP/JCOMM Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI)*.

Tabla 2. Variables atmosféricas analizadas para la generación de escenarios futuros.

Variable	Unidad
Temperatura mínima diaria	°C
Temperatura máxima diaria	°C
Precipitación diaria acumulada	mm

Tabla 3. Índices de extremos de temperatura analizados.

Índice	Descripción	Unidad
tn10p	<i>Noches frías:</i> porcentaje de días en los que la temperatura mínima es inferior al percentil 10	%
tn90p	<i>Noches cálidas:</i> porcentaje de días en los que la temperatura mínima es mayor al percentil 90	%
tx10p	<i>Días fríos:</i> porcentaje de días en los que la temperatura máxima es inferior al percentil 10	%
tx90p	<i>Días cálidos:</i> porcentaje de días en los que la temperatura máxima es mayor al percentil 90	%
wsgi	<i>Duración de olas de calor:</i> número de días al año que forman parte de una secuencia de al menos 6 días consecutivos con la temperatura máxima mayor al percentil 90	días

Tabla 4. Índices de extremos de precipitación analizados.

Índice	Descripción	Unidad
r10mm	Número de días al año con precipitación superior a 10 mm	días
r20mm	Número de días al año con precipitación superior a 20 mm	días
r95p	<i>Días muy lluviosos:</i> precipitación total anual producida en eventos en los que la lluvia supera al percentil 95	mm
r99p	<i>Días extremadamente lluviosos:</i> precipitación total anual producida en eventos en los que la lluvia supera al percentil 99	mm
rx5day	Precipitación máxima acumulada en 5 días consecutivos para cada año	mm
sdi	<i>Intensidad precipitación diaria:</i> precipitación anual acumulada dividida el número de días al año con precipitación	mm/día

Los escenarios futuros fueron generados a partir del promedio de los cuatro modelos climáticos seleccionados considerando dos aspectos:

- a) Umbrales de calentamiento global de 1,5°C, 2°C y 3°C respecto del período preindustrial (1850-1900)
- b) Horizontes temporales: se evalúan los cambios en los indicadores para el corto plazo (2021-2040), mediano plazo (2046-2065) y largo plazo (2081-2100) respecto del período 1986-2005

En ambos casos las metodologías y períodos seleccionados corresponden con los empleados por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático en el Quinto Informe de Evaluación (AR5) y en el Reporte Especial de Calentamiento Global de 1,5°C. La incertidumbre asociada a los modelos es cuantificada a partir del cómputo del desvío estándar.

La Tabla 5 presenta para cada uno de los modelos climáticos globales considerados, los períodos de 20 años en los cuales se alcanza por primera vez un calentamiento global de 1,5°C, 2°C y 3°C respecto del período preindustrial (1850-1900) de acuerdo con los escenarios de concentraciones RCP4.5 y RCP8.5. Es importante señalar que para el escenario RCP4.5 sólo el modelo IPSL-CM5A-MR alcanza el umbral 3°C durante el presente siglo. Los cambios en las condiciones climáticas de la ciudad de Buenos Aires son luego estimados con respecto al período 1986-2005.

Tabla 5. Períodos de 20 años en los que la temperatura media global alcanza por primera vez diferentes umbrales de calentamiento respecto del período preindustrial para los modelos climáticos seleccionados y según los escenarios RCP4.5 y RCP8.5

Modelo	Escenario	Umbrales de calentamiento global		
		1,5°C	2°C	3°C
CCSM4	RCP4.5	2006-2025	2031-2050	-
	RCP8.5	2005-2024	2023-2042	2049-2068
IPSL-CM5A-MR	RCP4.5	2007-2026	2024-2043	2068-2087
	RCP8.5	2006-2025	2021-2040	2041-2060
MPI-ESM-MR	RCP4.5	2012-2031	2042-2061	-
	RCP8.5	2010-2029	2030-2049	2051-2070
Nor-ESM1-ME	RCP4.5	2032-2051	2051-2070	-
	RCP8.5	2024-2043	2038-2057	2060-2079

4. Cambios proyectados para diferentes umbrales de calentamiento global respecto del período preindustrial

En esta sección se presentan los cambios en las temperaturas máxima y mínima medias anuales, en la precipitación anual acumulada y en un conjunto de índices de extremos de temperatura y precipitación para la ciudad de Buenos Aires bajo diferentes umbrales de calentamiento global de acuerdo con los escenarios RCP4.5 y RCP8.5. Como se indicó en la sección anterior, los cambios presentados corresponden al promedio de los cambios computados para cada modelo climático individual.

4.1 Temperatura

Las Figuras 2 y 3 presentan los cambios en la temperatura máxima y mínima anual. Se encuentra en todos los casos incrementos en las temperaturas extremas anuales de magnitud semejante en ambas variables y que aumentan a medida que se consideran mayores temperaturas medias globales. La Tabla 6 muestra los cambios previstos en cada caso junto con el correspondiente desvío estándar. Las diferencias entre escenarios son del orden de 0.1°C en ambas variables en casi todos los casos pero son particularmente significativos los aumentos a medida que se incrementa la temperatura global: alcanzan aproximadamente 0.5°C cuando se compara un mundo de 1.5°C de calentamiento global con uno de 2°C y son del orden de 1°C cuando se contrasta un mundo de 2°C con uno de 3°C .

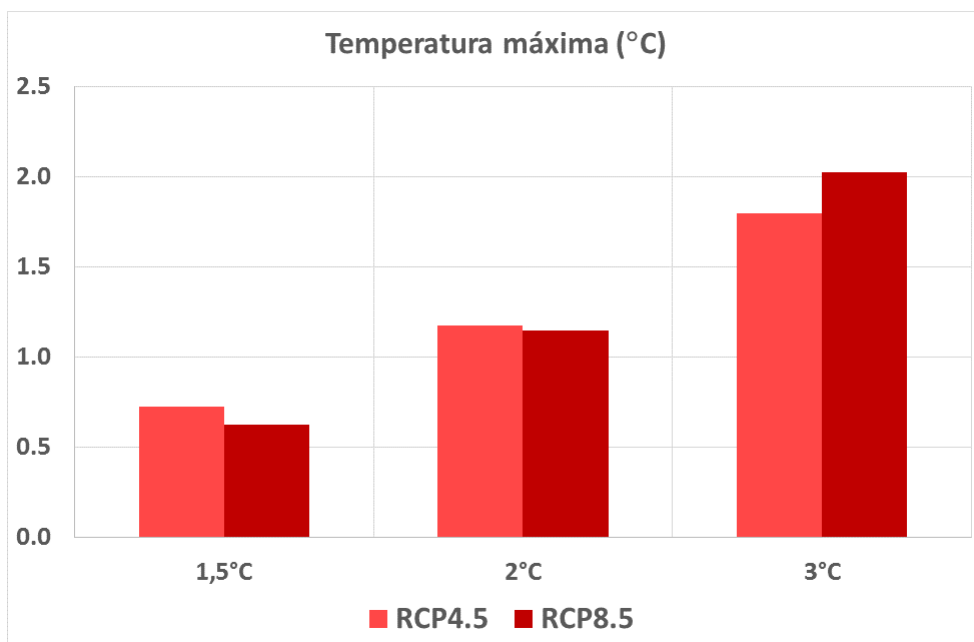


Figura 2. Cambios en la temperatura máxima anual ($^{\circ}\text{C}$) de la ciudad de Buenos Aires respecto de 1986-2005 bajo diferentes umbrales de calentamiento global y escenarios de emisiones.

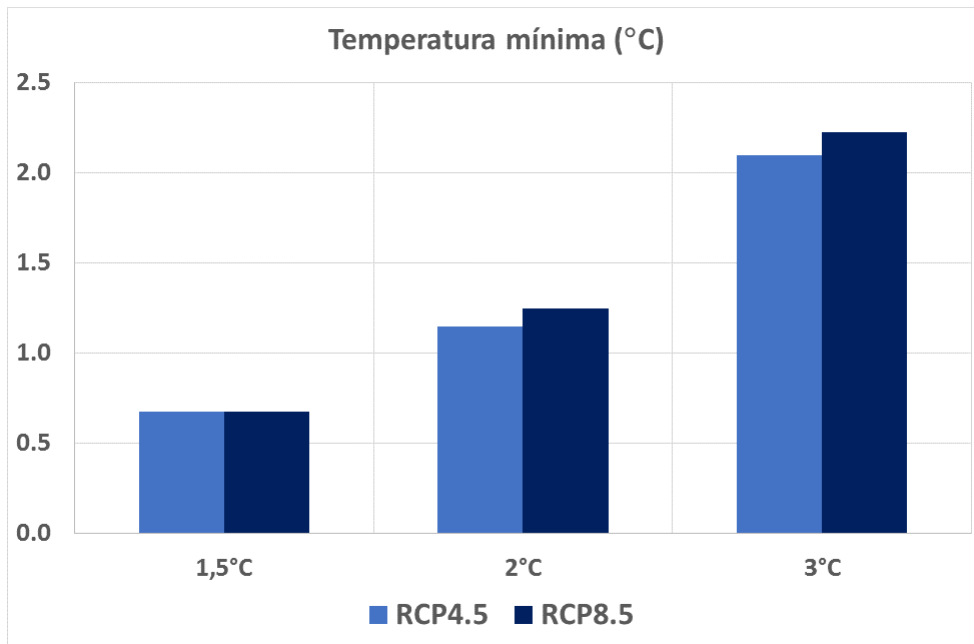


Figura 3. Cambios en la temperatura mínima anual (°C) de la ciudad de Buenos Aires respecto de 1986-2005 bajo diferentes umbrales de calentamiento global y escenarios de emisiones.

Tabla 6. Cambios de temperatura máxima y mínima anual para la ciudad de Buenos Aires bajo diferentes umbrales de calentamiento global según los escenarios de emisiones RCP4.5 y RCP8.5 derivados del promedio de los modelos climáticos globales seleccionados. Se muestra además el correspondiente desvío estándar. (*) indica que no se calcula el desvío estándar ya que un único modelo alcanza ese umbral de calentamiento global bajo el escenario RCP4.5.

	1,5°C		2°C		3°C	
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
Tmáxima (°C)	0,73 ± 0,30	0,63 ± 0,29	1,18 ± 0,48	1,15 ± 0,30	1,80*	2,03 ± 2,03
Tmínima (°C)	0,68 ± 0,13	0,68 ± 0,15	1,15 ± 0,19	1,25 ± 0,06	2,10*	2,23 ± 0,17

Las Figuras 4 a 8 presentan los cambios en un conjunto de índices de extremos térmicos. Se observa una reducción en las noches frías (tn10p) y días fríos (tx10p) que es más pronunciado a medida que se consideran escenarios de mayor incremento de temperatura global mientras que la comparación entre escenarios de emisiones muestra en todos los casos reducciones de mayor magnitud en el escenario RCP8.5 en comparación con el escenario RCP4.5. En el caso de noches cálidas (tn90p) y días cálidos (tx90p) los cambios son positivos y aumentan con el incremento de la temperatura global así como en el escenario más extremo (RCP8.5). Las proyecciones con respecto al cambio en el número de días al año que forman parte de una ola de calor son semejantes a las de días y noches cálidas: aumentan a medida que se incrementa la temperatura global y son mayores para el escenario RCP8.5.

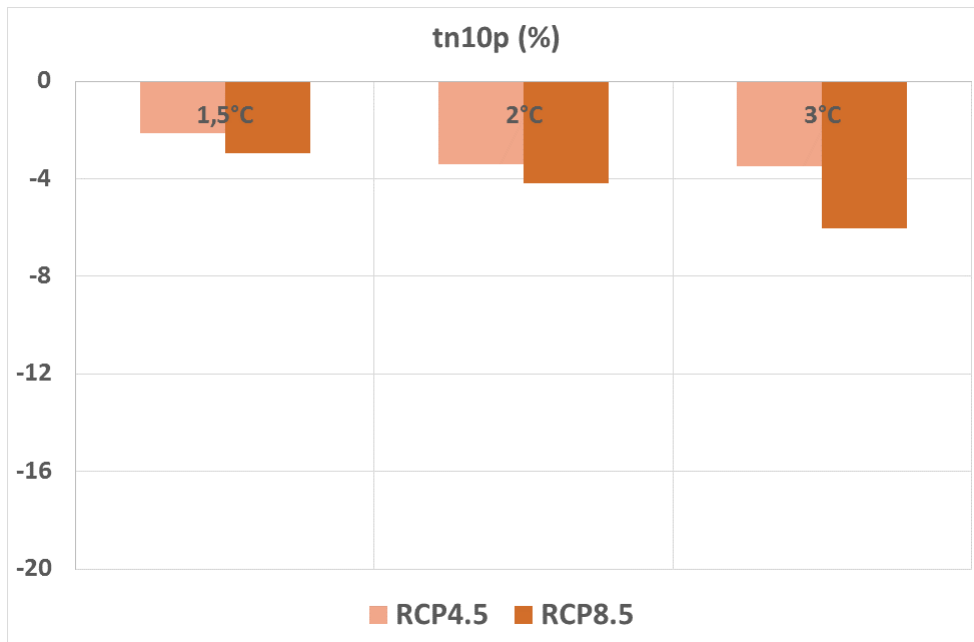


Figura 4. Cambios en el porcentaje de noches frías en la ciudad de Buenos Aires respecto de 1986-2005 bajo diferentes umbrales de calentamiento global y escenarios de emisiones.

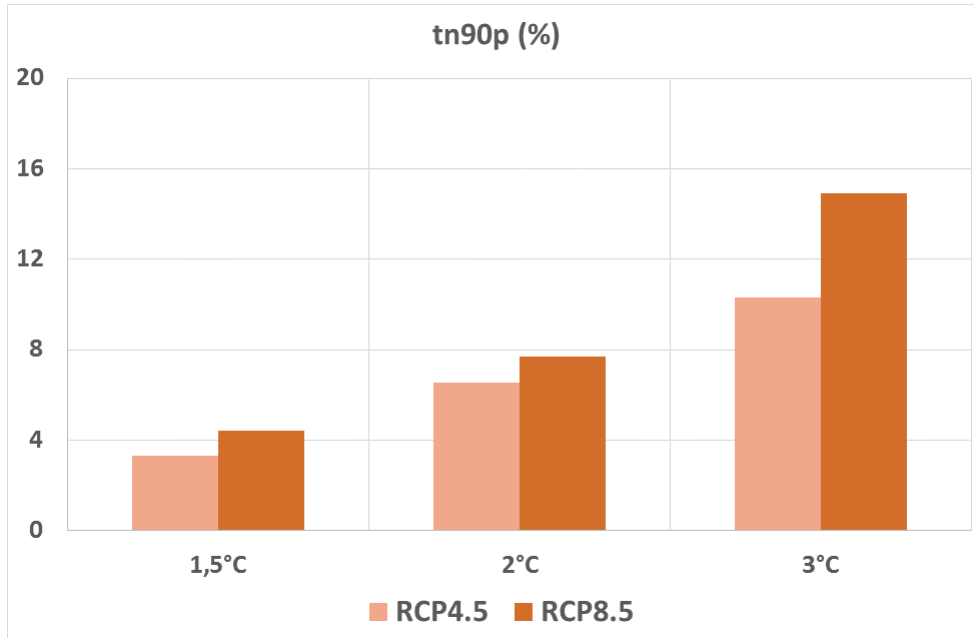


Figura 5. Cambios en el porcentaje de noches cálidas en la ciudad de Buenos Aires respecto de 1986-2005 bajo diferentes umbrales de calentamiento global y escenarios de emisiones.

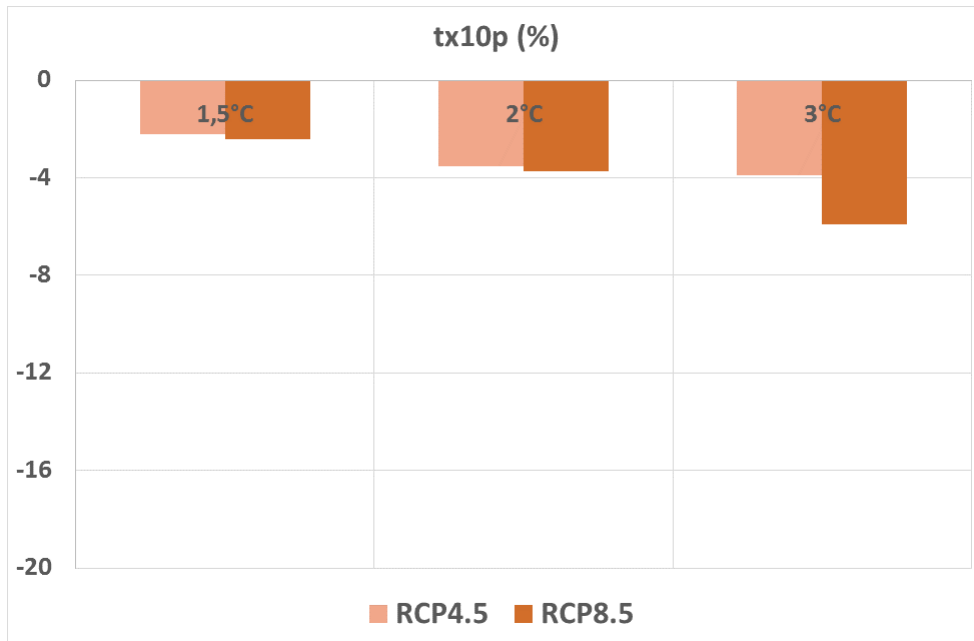


Figura 6. Cambios en el porcentaje de días fríos en la ciudad de Buenos Aires respecto de 1986-2005 bajo diferentes umbrales de calentamiento global y escenarios de emisiones.

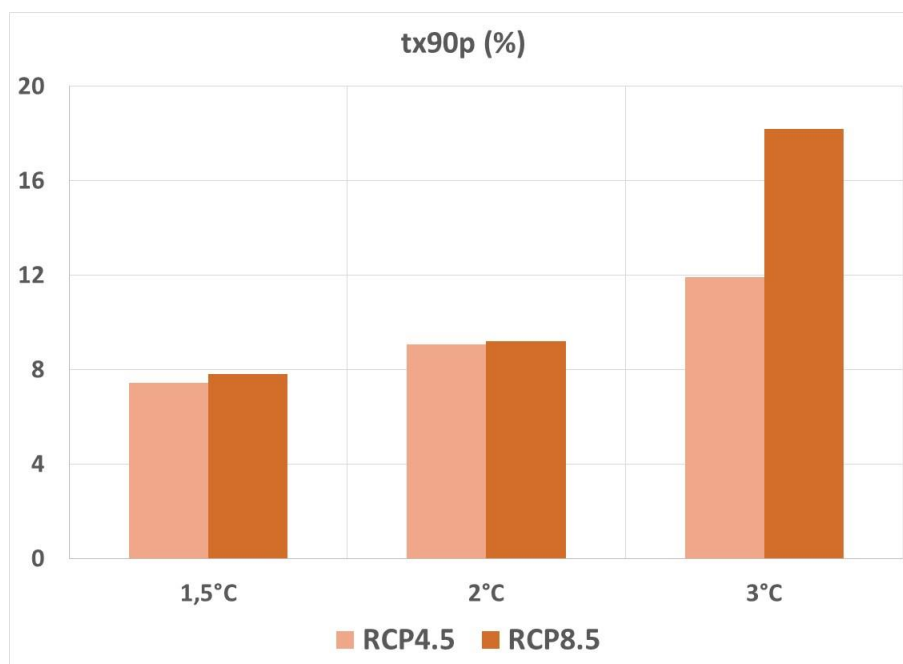


Figura 7. Cambios en el porcentaje de días cálidos en la ciudad de Buenos Aires respecto de 1986-2005 bajo diferentes umbrales de calentamiento global y escenarios de emisiones.

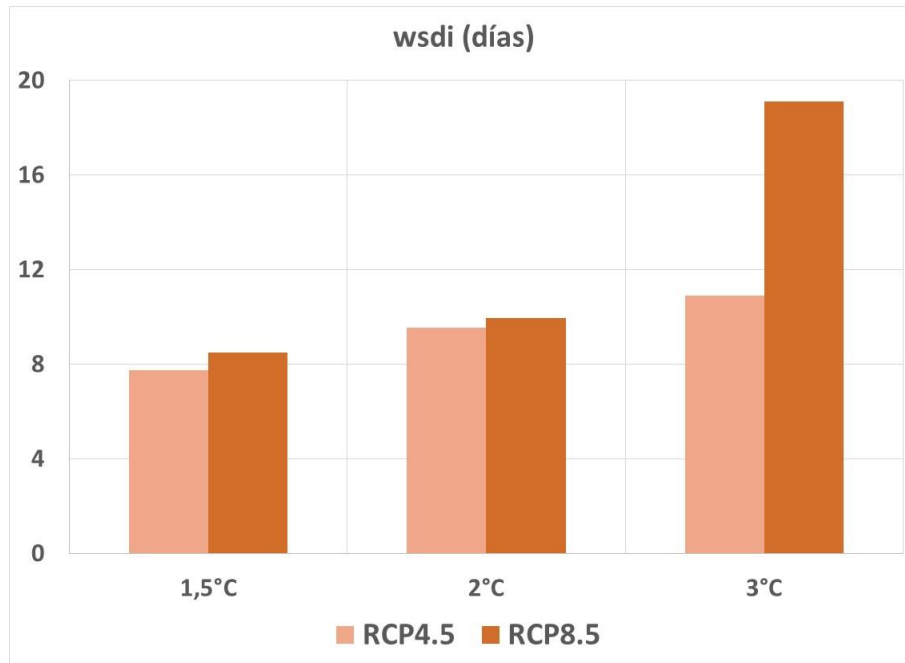


Figura 8. Cambios en la duración de olas de calor en la ciudad de Buenos Aires respecto de 1986-2005 bajo diferentes umbrales de calentamiento global y escenarios de emisiones.

La Tabla 7 muestra los cambios previstos para cada índice de extremo de temperatura analizado de acuerdo con el umbral de calentamiento global y para los dos escenarios de emisiones considerados junto con el correspondiente desvío estándar. Se encuentra que las diferencias entre escenarios son máximas en un mundo de 3°C de calentamiento global bajo el escenario RCP8.5 con un incremento de los días y noches cálidos de 14,9% y 18,2% respectivamente y una reducción en las noches y días fríos de 6.1% y 5.9%. Por otra parte, los cambios en la cantidad de días que forman parte de una ola de calor muestran aumentos que oscilan entre 7,7 días para un mundo de 1,5°C de calentamiento y un escenario de emisiones intermedio (RCP4.5) a 19,1 días para uno de 3°C y un escenario extremo (RCP8.5).

Tabla 7. Cambios en los índices de extremos de temperatura a nivel anual para la ciudad de Buenos Aires bajo diferentes umbrales de calentamiento global según los escenarios de emisiones RCP4.5 y RCP8.5 derivados del promedio de los modelos climáticos globales seleccionados. Se muestra además el correspondiente desvío estándar. (*) indica que no se calcula el desvío estándar ya que un único modelo alcanza ese umbral de calentamiento global bajo el escenario RCP4.5.

	1,5°C		2°C		3°C	
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
tn10p (%)	-2,2 ± 1,2	-3,0 ± 1,4	-3,4 ± 0,6	-4,2 ± 1,2	-3,5*	-6,1 ± 1,5
tn90p (%)	3,3 ± 1,6	4,4 ± 1,0	6,5 ± 1,4	7,7 ± 0,8	10,3*	14,9 ± 2,8
tx10p (%)	-2,2 ± 1,7	-2,4 ± 1,6	-3,5 ± 1,4	-3,7 ± 1,4	-3,9*	-5,9 ± 1,6
tx90p (%)	7,5 ± 6,1	7,8 ± 2,8	9,1 ± 6,4	9,2 ± 5,1	11,9*	18,2 ± 6,0
wsgi (días)	7,7 ± 6,2	8,5 ± 2,9	9,6 ± 6,9	10,0 ± 4,7	10,9*	19,1 ± 5,3

4.2 Precipitación

La Figura 9 presenta los cambios en la precipitación anual acumulada en la ciudad de Buenos Aires. En todos los casos las proyecciones muestran incrementos que son máximos para 3°C de calentamiento global bajo el escenario RCP8.5. En este caso el aumento es de 8,3% respecto de 1986-2005, lo cual representa aproximadamente 90 milímetros más de lluvia anual (Tabla 8). Es importante destacar que la incertidumbre en estas proyecciones es importante debido a la fuerte dispersión en los resultados correspondientes a cada modelo climático individual lo cual se manifiesta a través de los valores de los desvíos estándar presentados en la Tabla 8. No obstante ello, debe tenerse en cuenta que estas proyecciones son consistentes con los cambios observados hasta la fecha en la precipitación en la ciudad de Buenos Aires donde desde 1960 se registra una marcada tendencia positiva.

Las Figuras 10 a 15 muestran los cambios proyectados en el conjunto de índices de extremos de precipitación listados en la Tabla 4. En todos los casos se encuentra que en el futuro se incrementarán las precipitaciones intensas. De acuerdo con los indicadores r10mm y r20mm los cambios son diferentes según la trayectoria de emisiones que conduzcan a los diferentes umbrales de calentamiento global considerado: en el caso de r10mm los cambios son mayores para un mundo con 1,5°C bajo el escenario RCP8.5 pero la relación se invierte cuando la temperatura global alcanza 2°C y 3°C de incremento. Por el contrario, el índice r20mm aumenta en el escenario RCP8.5 en comparación con el RCP4.5. La precipitación anual acumulada en los días muy lluviosos (r95p) y extremadamente lluviosos (r99p) aumenta con el calentamiento global y son muy superiores en el escenario RCP8.5 que en el RCP4.5. Finalmente, la precipitación máxima acumulada en 5 días consecutivos (rx5day) también se incrementa a medida que aumenta la temperatura media global con el incremento de mayor magnitud para el escenario de emisiones medias (RCP4.5). La intensidad

media de precipitación diaria aumenta consistentemente con el calentamiento global y es mayor en el escenario RCP8.5 que en el RCP4.5 para 1,5°C y la relación se invierte para 2°C y 3°C.

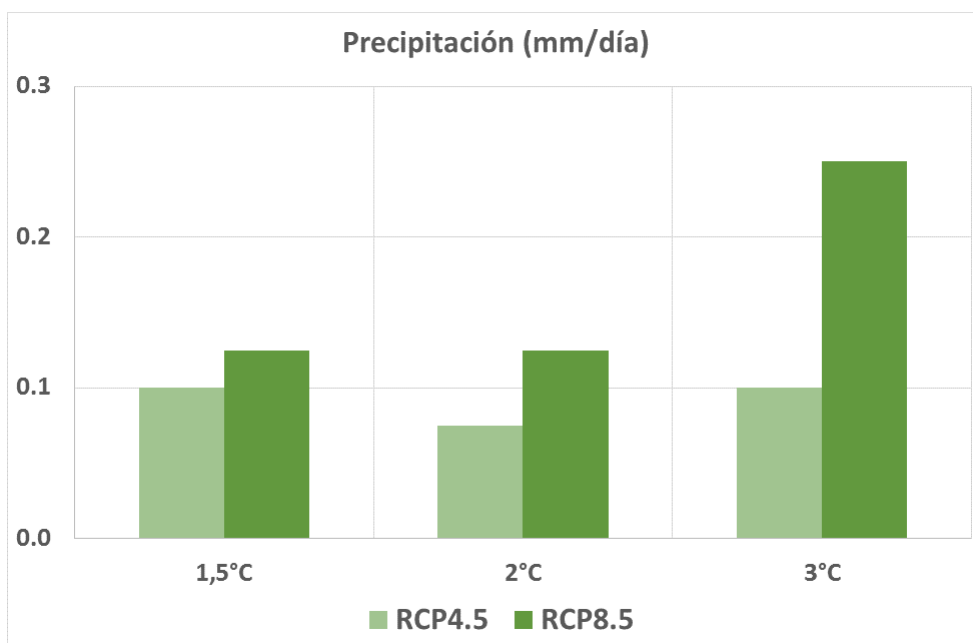


Figura 9. Cambios en la precipitación anual (mm/día) de la ciudad de Buenos Aires respecto de 1986-2005 bajo diferentes umbrales de calentamiento global y escenarios de emisiones.

Tabla 8. Cambios de precipitación anual acumulada en mm/día y porcentaje para la ciudad de Buenos Aires bajo diferentes umbrales de calentamiento global según los escenarios de emisiones RCP4.5 y RCP8.5 derivados del promedio de los modelos climáticos globales seleccionados. Se muestra además el correspondiente desvío estándar. (*) indica que no se calcula el desvío estándar ya que un único modelo alcanza ese umbral de calentamiento global bajo el escenario RCP4.5.

	1,5°C		2°C		3°C	
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
Precipitación (mm/día)	0,10 ± 0,16	0,13 ± 0,13	0,08 ± 0,29	0,13 ± 0,34	0,10*	0,25 ± 0,26
Precipitación (%)	3,3 ± 5,4	4,10 ± 4,1	2,5 ± 9,5	4,1 ± 11,2	3,3*	8,3 ± 8,7

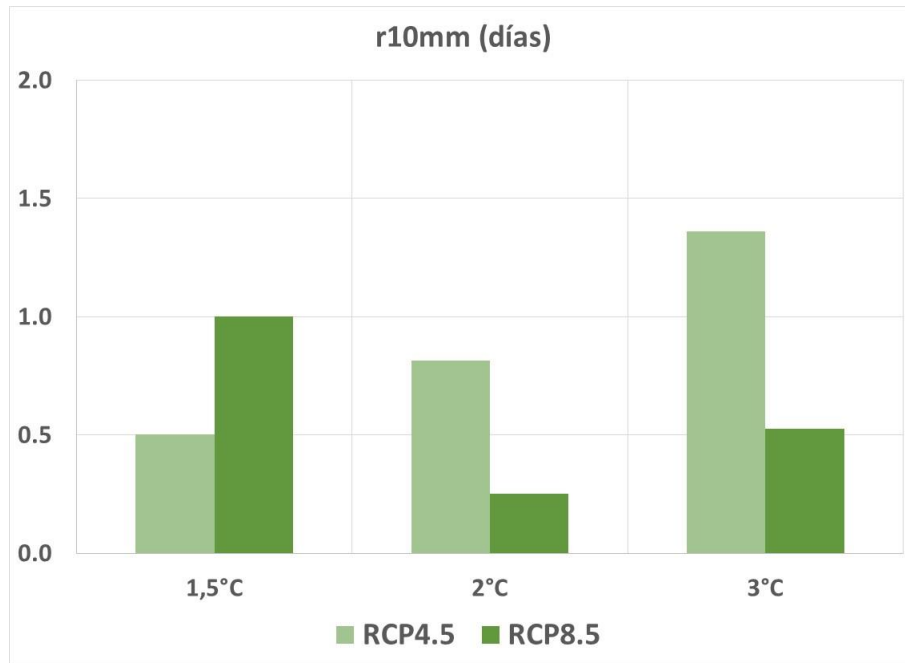


Figura 10. Cambios en número de días al año con precipitación mayor a 10 mm en la ciudad de Buenos Aires respecto de 1986-2005 bajo diferentes umbrales de calentamiento global y escenarios de emisiones.

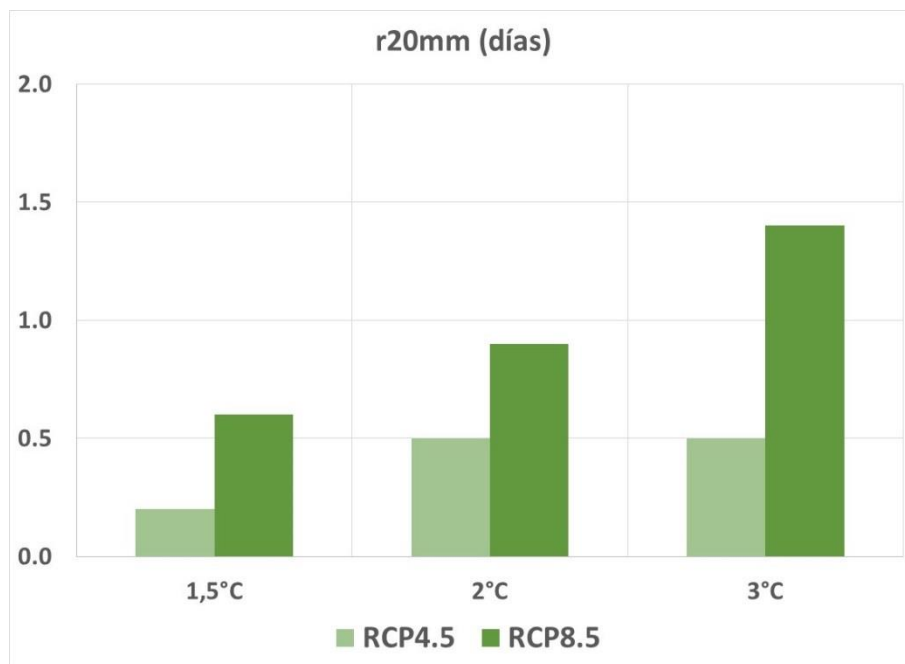


Figura 11. Cambios en número de días al año con precipitación mayor a 20 mm en la ciudad de Buenos Aires respecto de 1986-2005 bajo diferentes umbrales de calentamiento global y escenarios de emisiones.

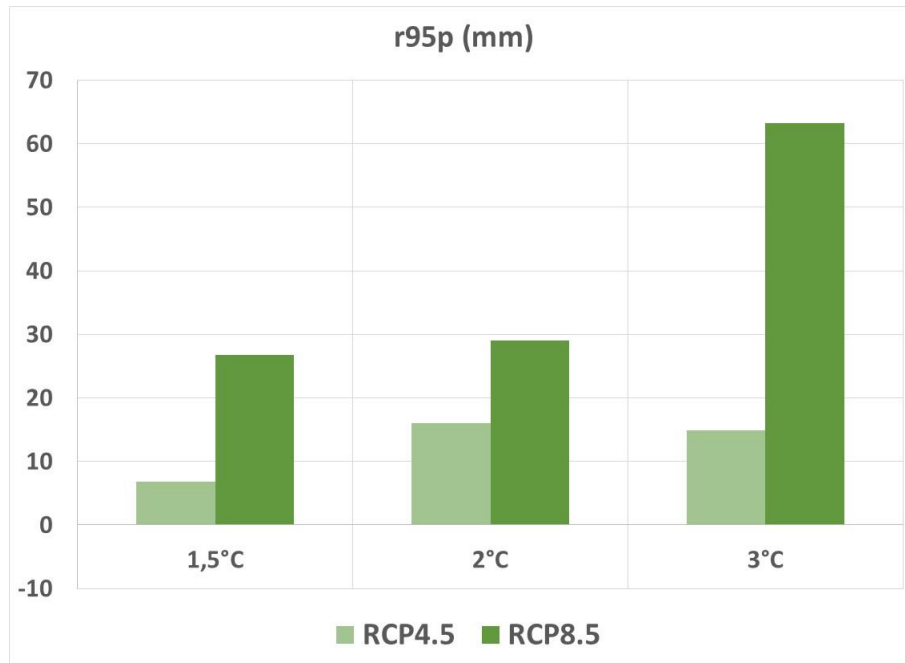


Figura 12. Cambios en la precipitación anual acumulada en días muy lluviosos (mm) en la ciudad de Buenos Aires respecto de 1986-2005 bajo diferentes umbrales de calentamiento global y escenarios de emisiones.

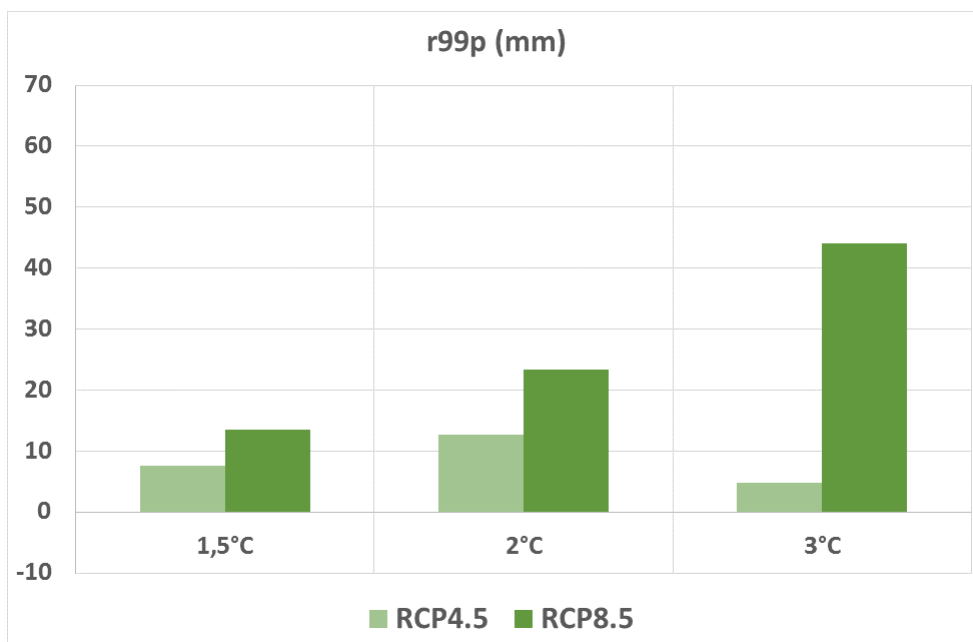


Figura 13. Cambios en la precipitación anual acumulada en días extremadamente lluviosos (mm) en la ciudad de Buenos Aires respecto de 1986-2005 bajo diferentes umbrales de calentamiento global y escenarios de emisiones.

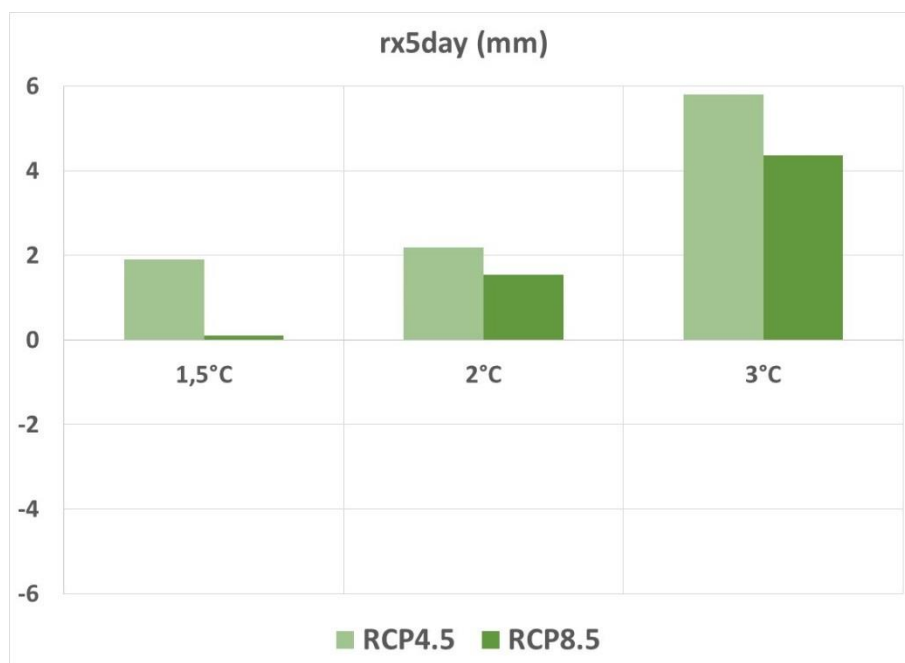


Figura 14. Cambios en la precipitación máxima acumulada en 5 días consecutivos (mm) en la ciudad de Buenos Aires respecto de 1986-2005 bajo diferentes umbrales de calentamiento global y escenarios de emisiones.

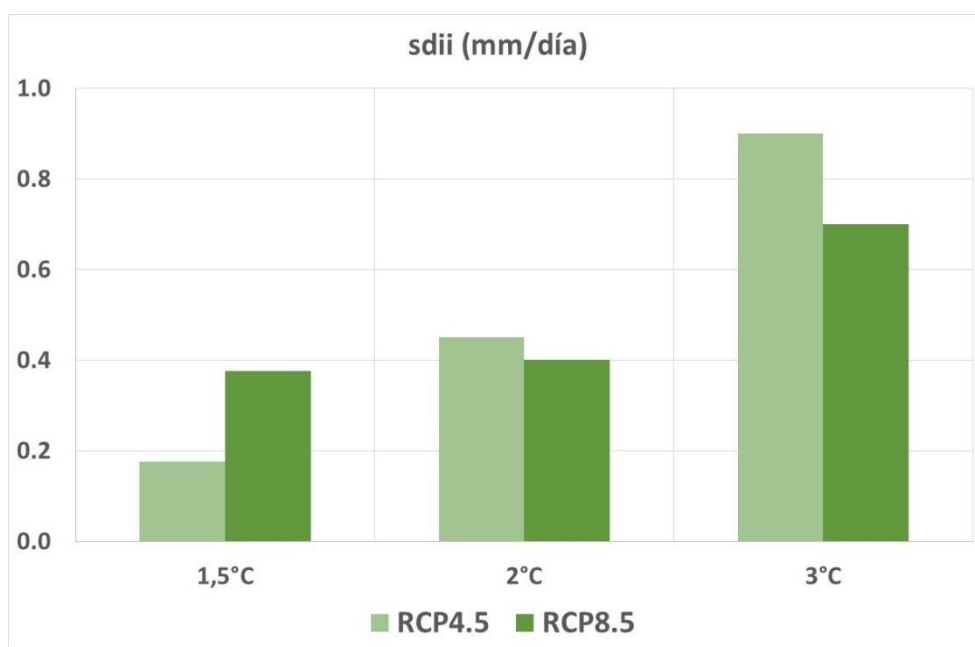


Figura 15. Cambios en la intensidad de precipitación diaria (mm/día) en la ciudad de Buenos Aires respecto de 1986-2005 bajo diferentes umbrales de calentamiento global y escenarios de emisiones.

Tabla 9. Cambios en los índices de extremos de precipitación a nivel anual para la ciudad de Buenos Aires bajo diferentes umbrales de calentamiento global según los escenarios de emisiones RCP4.5 y RCP8.5 derivados del promedio de los modelos climáticos globales seleccionados. Se muestra además el correspondiente desvío estándar. (*) indica que no se calcula el desvío estándar ya que un único modelo alcanza ese umbral de calentamiento global bajo el escenario RCP4.5.

	1,5°C		2°C		3°C	
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
r10mm (días)	0,5 ± 1,8	1,0 ± 1,6	0,8 ± 1,8	0,3 ± 3,1	1,4*	0,5 ± 1,7
r20mm (días)	0,2 ± 1,3	0,6 ± 1,3	0,5 ± 1,3	0,9 ± 1,9	0,5*	1,4 ± 1,8
r95p (mm)	6,8 ± 30,0	26,7 ± 24,8	16,0 ± 44,9	29,0 ± 69,0	14,9*	63,2 ± 66,0
r99p (mm)	7,6 ± 30,0	13,4 ± 24,8	12,8 ± 44,9	23,4 ± 69,0	4,8*	44,0 ± 66,0
rx5day (mm)	1,9 ± 6,6	0,1 ± 1,0	2,2 ± 6,7	1,5 ± 5,3	5,8*	4,4 ± 6,7
sdii (mm/día)	0,2 ± 0,4	0,4 ± 0,2	0,5 ± 0,4	0,4 ± 0,7	0,9*	0,7 ± 0,4

5. Cambios proyectados para diferentes horizontes temporales

En esta sección se presentan los cambios en las temperaturas máxima y mínima medias anuales, en la precipitación anual acumulada y en un conjunto de índices de extremos de temperatura y precipitación para la ciudad de Buenos Aires para tres horizontes temporales futuros de acuerdo con los escenarios de emisiones RCP4.5 y RCP8.5. Los cambios presentados corresponden al promedio de los cambios computados para cada modelo climático individual respecto del período de referencia 1986-2005.

5.1 Temperatura

Las Figuras 16 y 17 muestran los cambios proyectados en las temperaturas máxima y mínima medias anuales respectivamente. En ambos casos el aumento es consistente a medida que avanza el siglo con diferencias marcadas según la trayectoria de emisiones seguida. Los incrementos proyectados son semejantes para ambas variables y están entre 0,8°C y 3,8°C en el corto y largo plazo respectivamente (ver Tabla 10).

Las proyecciones de cambios en los índices de extremos de temperatura se presentan en las Figuras 18 a 22 mientras que en la Tabla 11 se incluyen los correspondientes valores y su desvío estándar. Las noches frías (tn10p) y días fríos (tx10p) presentan cambios negativos de entre 3% y 8% mientras que las noches cálidas (tn90p) y días cálidos (tx90p) muestran incrementos de 5% y 30%. Con respecto al número de días que formarán parte de una ola de calor (wsdi) se encuentra el máximo incremento a fin de siglo y bajo el escenario RCP8.5 donde la proyección indicada 60 días más, duplicando a la cantidad de días obtenida para el RCP4.5 (ver Tabla 11).

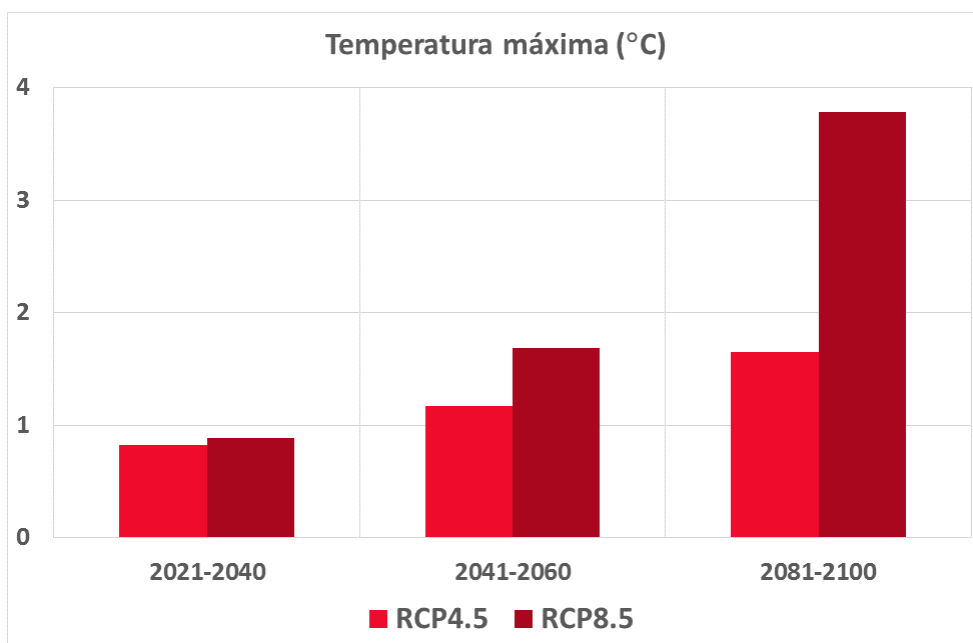


Figura 16. Cambios en la temperatura máxima anual (°C) de la ciudad de Buenos Aires respecto de 1986-2005 para diferentes horizontes temporales y escenarios de emisiones.

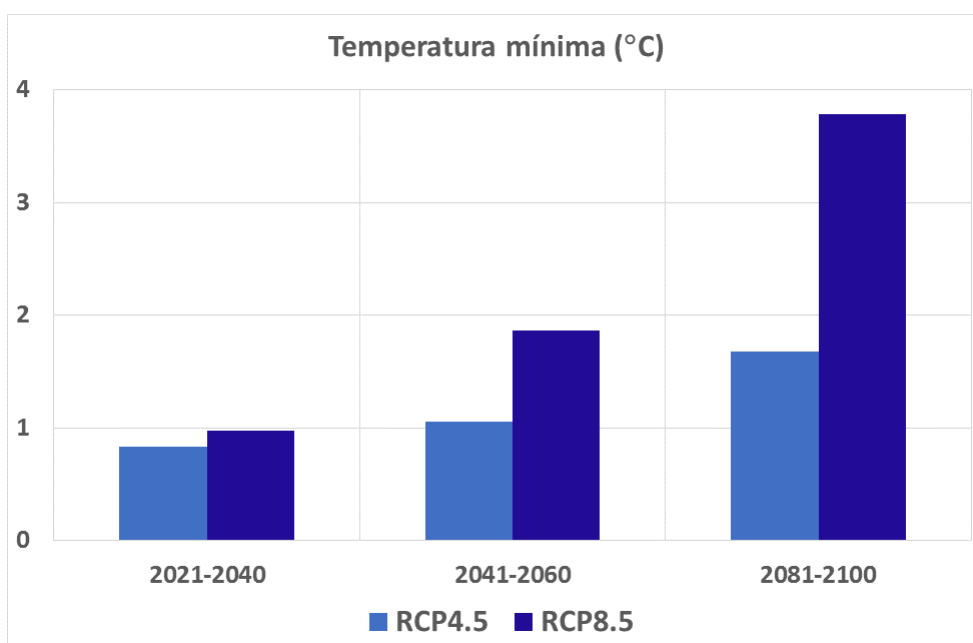


Figura 17. Cambios en la temperatura mínima anual (°C) de la ciudad de Buenos Aires respecto de 1986-2005 para diferentes horizontes temporales y escenarios de emisiones.

Tabla 10. Cambios de temperatura máxima y mínima anual para la ciudad de Buenos Aires para diferentes horizontes temporales según los escenarios de emisiones RCP4.5 y RCP8.5 derivados del promedio de los modelos climáticos globales seleccionados. Se muestra además el correspondiente desvío estándar.

	2021-2040		2041-2060		2081-2100	
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
Tmáxima (°C)	0,83 ± 0,50	0,88 ± 0,44	1,17 ± 0,56	1,68 ± 0,45	1,65 ± 0,45	3,79 ± 0,72
Tmínima (°C)	0,83 ± 0,45	0,97 ± 0,41	1,06 ± 0,46	1,87 ± 0,58	1,68 ± 0,54	3,78 ± 0,85

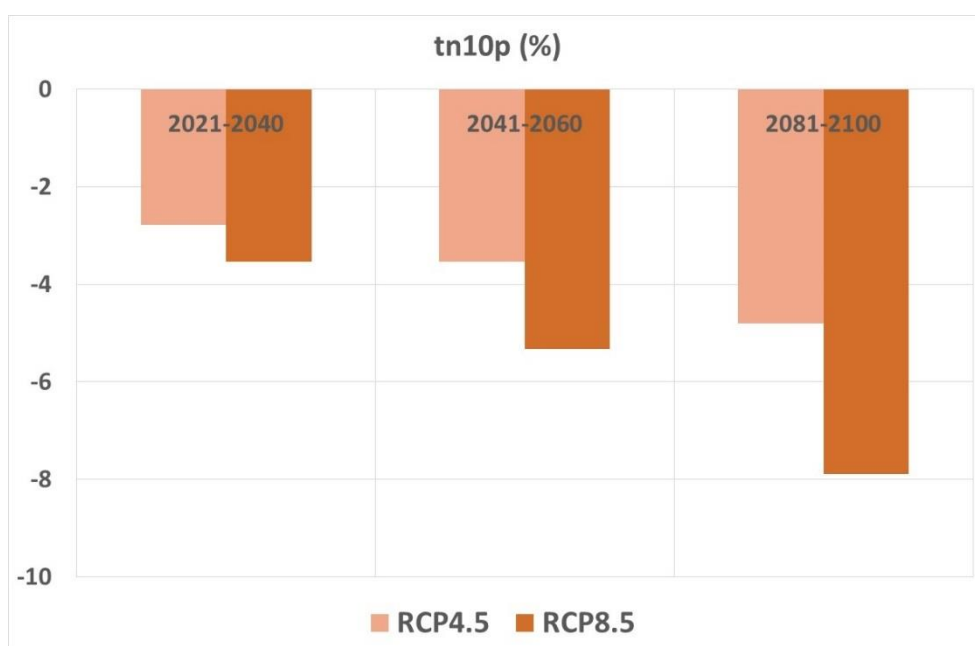


Figura 18. Cambios en el porcentaje de noches frías en la ciudad de Buenos Aires respecto de 1986-2005 para diferentes horizontes temporales y escenarios de emisiones.

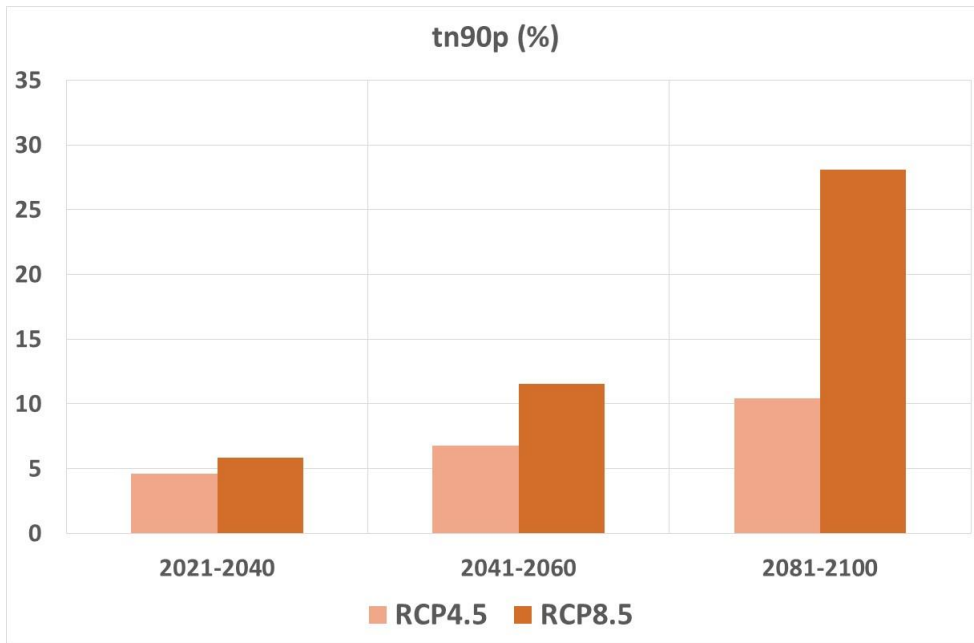


Figura 19. Cambios en el porcentaje de noches cálidas en la ciudad de Buenos Aires respecto de 1986-2005 para diferentes horizontes temporales y escenarios de emisiones.

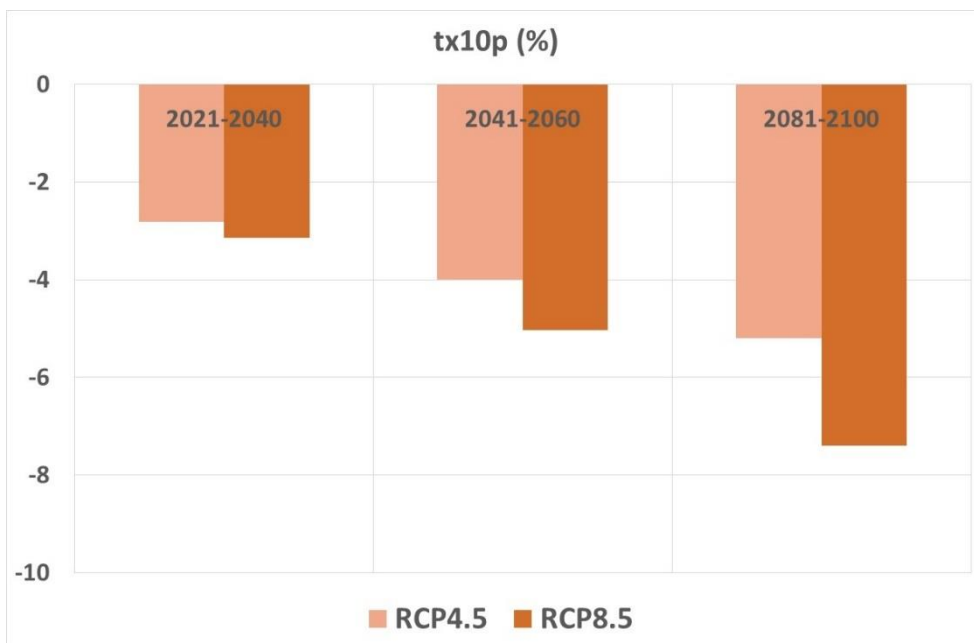


Figura 20. Cambios en el porcentaje de días fríos en la ciudad de Buenos Aires respecto de 1986-2005 para diferentes horizontes temporales y escenarios de emisiones.

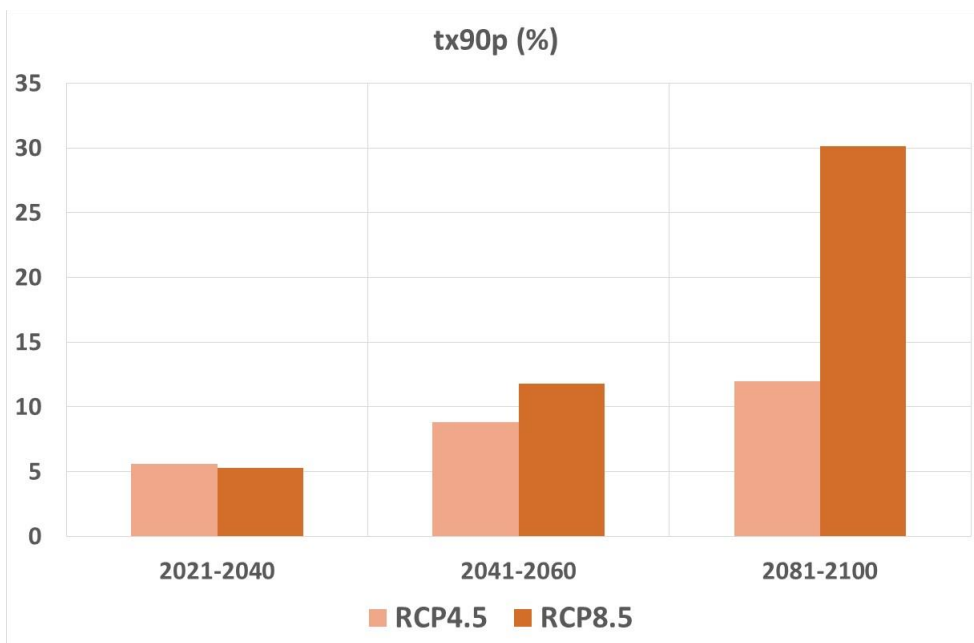


Figura 21. Cambios en el porcentaje de días cálidos en la ciudad de Buenos Aires respecto de 1986-2005 para diferentes horizontes temporales y escenarios de emisiones.

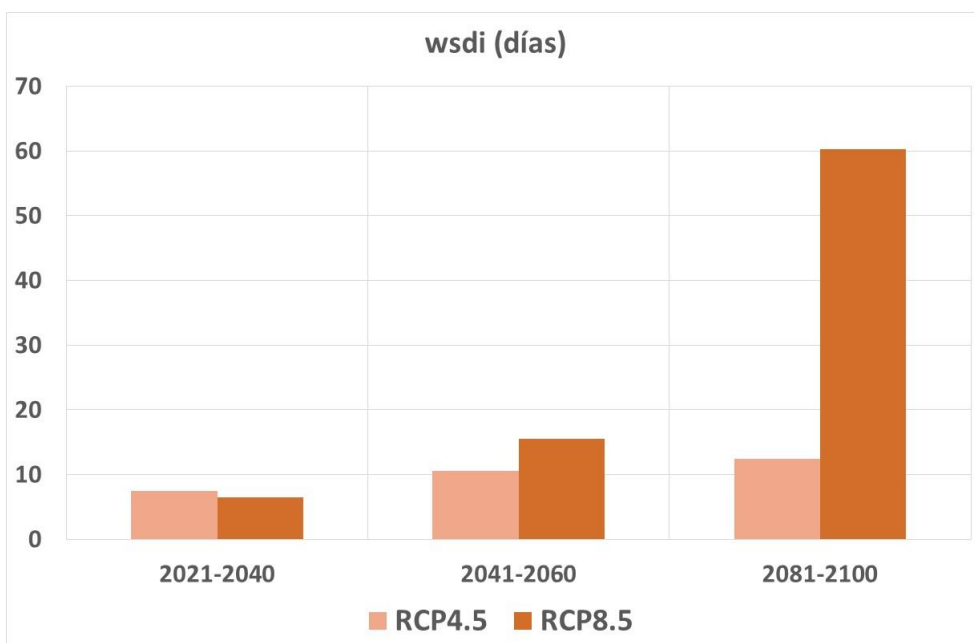


Figura 22. Cambios en la duración de olas de calor en la ciudad de Buenos Aires respecto de 1986-2005 para diferentes horizontes temporales y escenarios de emisiones.

Tabla 11. Cambios en los índices de extremos de temperatura a nivel anual para la ciudad de Buenos Aires diferentes horizontes temporales según los escenarios de emisiones RCP4.5 y RCP8.5 derivados del promedio de los modelos climáticos globales seleccionados. Se muestra además el correspondiente desvío estándar.

	2021-2040		2041-60		2081-2100	
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
tn10p (%)	-2,8 ± 0,5	-3,5 ± 0,9	-3,6 ± 0,2	-5,3 ± 0,9	-4,8 ± 1,2	-7,9 ± 0,7
tn90p (%)	4,6 ± 1,5	5,8 ± 1,2	6,8 ± 1,9	11,5 ± 1,4	10,4 ± 1,2	28,1 ± 1,1
tx10p (%)	-2,8 ± 0,9	-3,1 ± 1,0	-4,0 ± 0,7	-5,0 ± 0,8	-5,2 ± 0,7	-7,4 ± 0,8
tx90p (%)	5,6 ± 1,8	5,3 ± 2,5	8,8 ± 2,8	11,8 ± 1,4	12,0 ± 1,1	30,2 ± 1,8
wsvdi (días)	7,5 ± 5,5	6,4 ± 2,4	10,6 ± 5,8	15,5 ± 4,6	12,4 ± 6,1	60,2 ± 8,9

5.2 Precipitación

La Figura 23 presenta los cambios proyectados en la precipitación anual y la Tabla 12 incluye los valores correspondientes en unidades de mm/día y en términos porcentuales junto con los desvíos estándar. En el corto y mediano plazo el incremento de precipitación es mayor para el escenario RCP8.5 y la relación se invierte a fin de siglo alcanzando 6,9% para el RCP4.5 y 5,4% para el RCP8.5. Como se señaló en la sección 4.2, la incertidumbre es elevada tal como se desprende de los desvíos estándar presentados en la Tabla 12 pero es importante destacar que las proyecciones de incremento en la precipitación anual son consistentes con las tendencias observadas en las últimas seis décadas.

Las proyecciones de cambios en los índices de extremos analizados son presentadas en las Figuras 24 a 29 y en la Tabla 13. La cantidad de días al año con precipitación superior a 10 mm (r10mm) y 20 mm (r20mm) en general aumenta hacia fin de siglo y es mayor en el escenario RCP8.5. La excepción más destacada es para el índice r10mm donde el cambio previsto para el escenario RCP4.5 supera a RCP8.5. Los cambios proyectados en la precipitación acumulada en días muy lluviosos (r95p) y extremadamente lluviosos (r99p) son positivos y máximos para el escenario de emisiones más extremo (RCP8.5). La precipitación máxima acumulada en 5 días consecutivos (rx5day) presenta incrementos que a fin de siglo prácticamente se triplican en el escenario RCP8.5 en comparación con el RCP4.5. Los cambios proyectados en la intensidad media de la precipitación diaria (sdii) muestra incrementos que son máximos y alcanzan el mayor contraste entre escenarios a fin de siglo (ver Tabla 13).

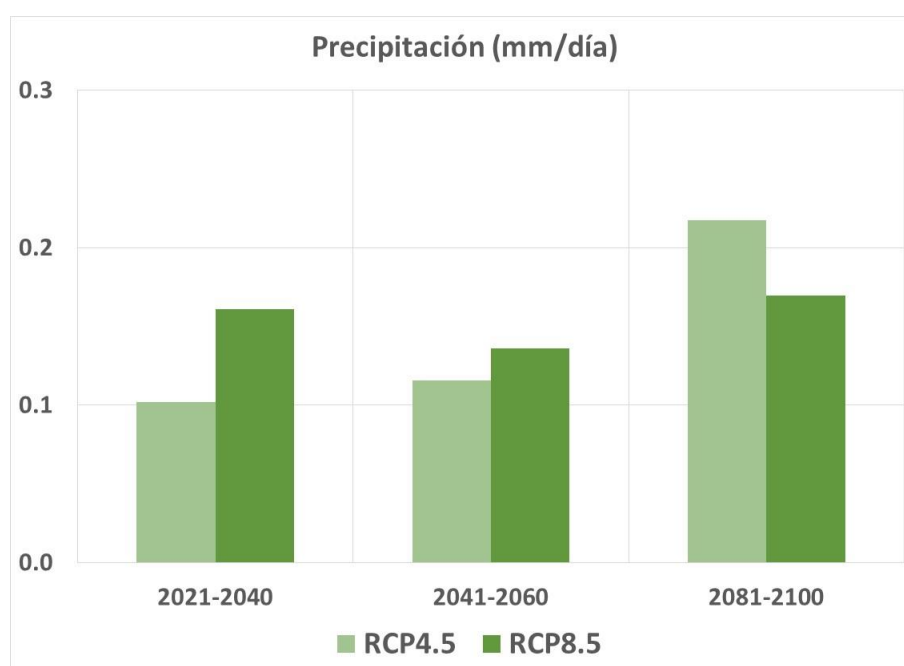


Figura 23. Cambios en la precipitación anual (°C) de la ciudad de Buenos Aires respecto de 1986-2005 para diferentes horizontes temporales y escenarios de emisiones.

Tabla 12. Cambios de precipitación anual acumulada en mm/día y porcentaje para la ciudad de Buenos Aires para diferentes horizontes temporales según los escenarios de emisiones RCP4.5 y RCP8.5 derivados del promedio de los modelos climáticos globales seleccionados. Se muestra además el correspondiente desvío estándar.

	2021-2040		2041-2060		2081-2100	
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
Precipitación (mm/día)	0,10 ± 0,53	0,16 ± 0,53	0,12 ± 0,53	0,14 ± 0,55	0,22 ± 0,51	0,17 ± 0,67
Precipitación (%)	3,4 ± 17,4	5,3 ± 17,5	3,8 ± 16,8	4,5 ± 16,8	6,9 ± 16,4	5,4 ± 21,2

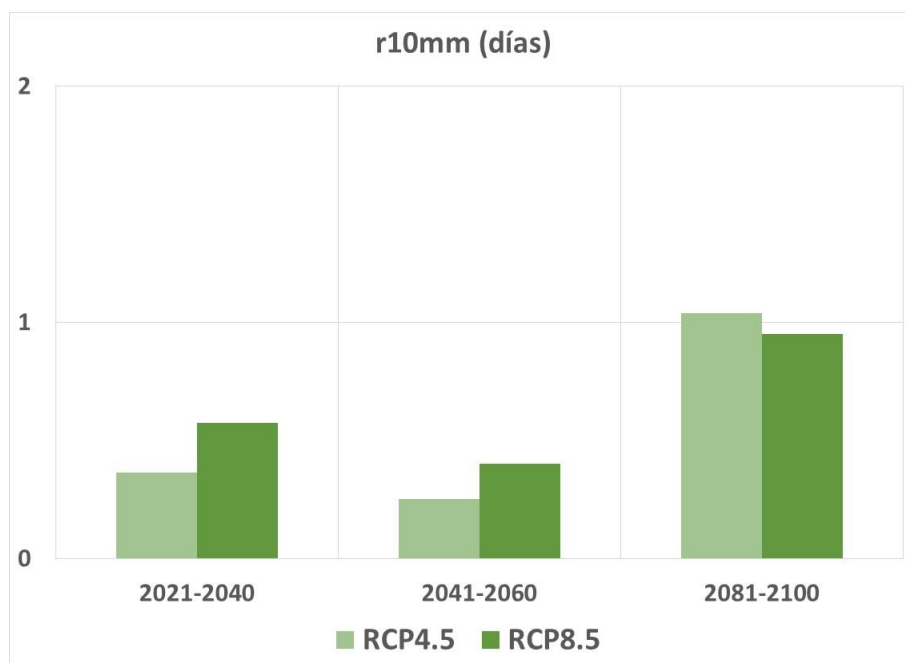


Figura 24. Cambios en número de días al año con precipitación mayor a 10 mm en la ciudad de Buenos Aires respecto de 1986-2005 para diferentes horizontes temporales y escenarios de emisiones.

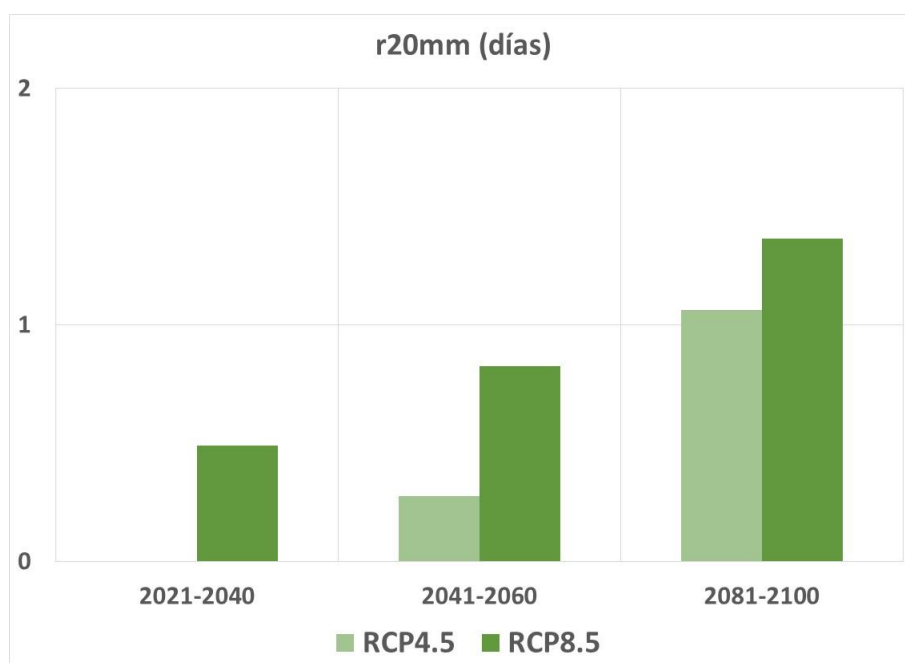


Figura 25. Cambios en número de días al año con precipitación mayor a 20 mm en la ciudad de Buenos Aires respecto de 1986-2005 para diferentes horizontes temporales y escenarios de emisiones.

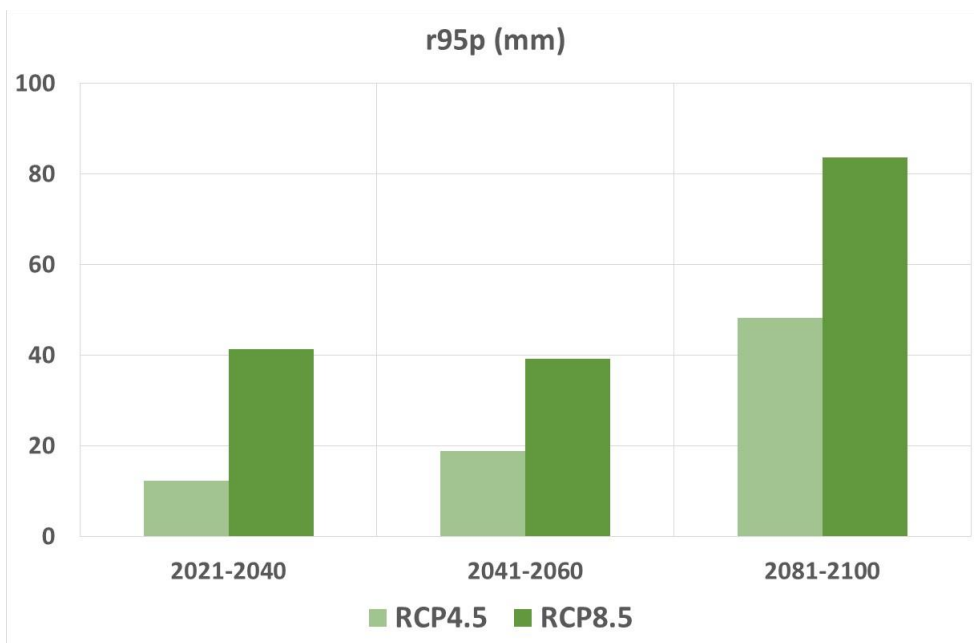


Figura 26. Cambios en la precipitación anual acumulada en días muy lluviosos (mm) en la ciudad de Buenos Aires respecto de 1986-2005 para diferentes horizontes temporales y escenarios de emisiones.

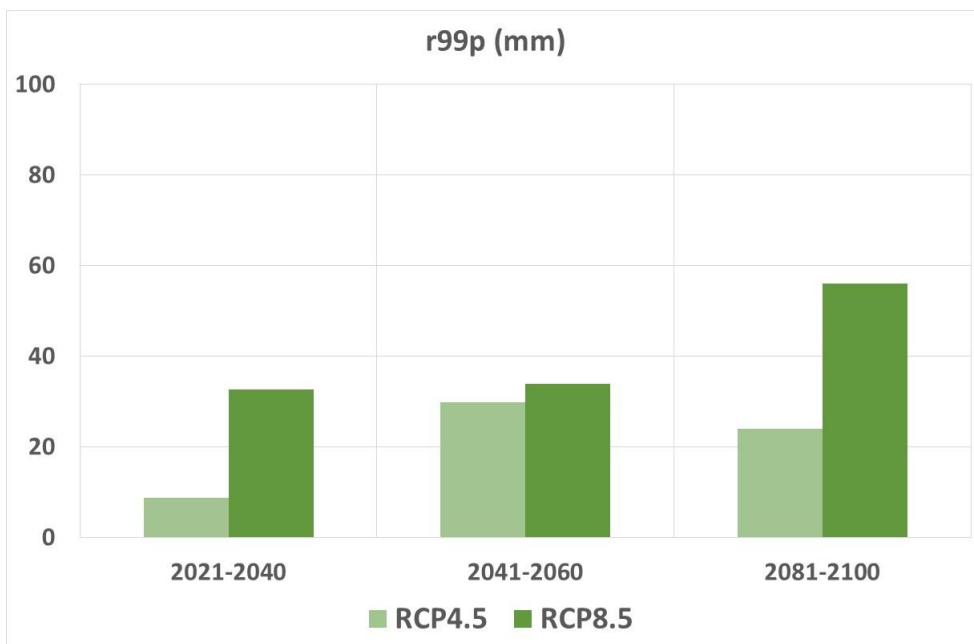


Figura 27. Cambios en la precipitación anual acumulada en días extremadamente lluviosos (mm) en la ciudad de Buenos Aires respecto de 1986-2005 para diferentes horizontes temporales y escenarios de emisiones.

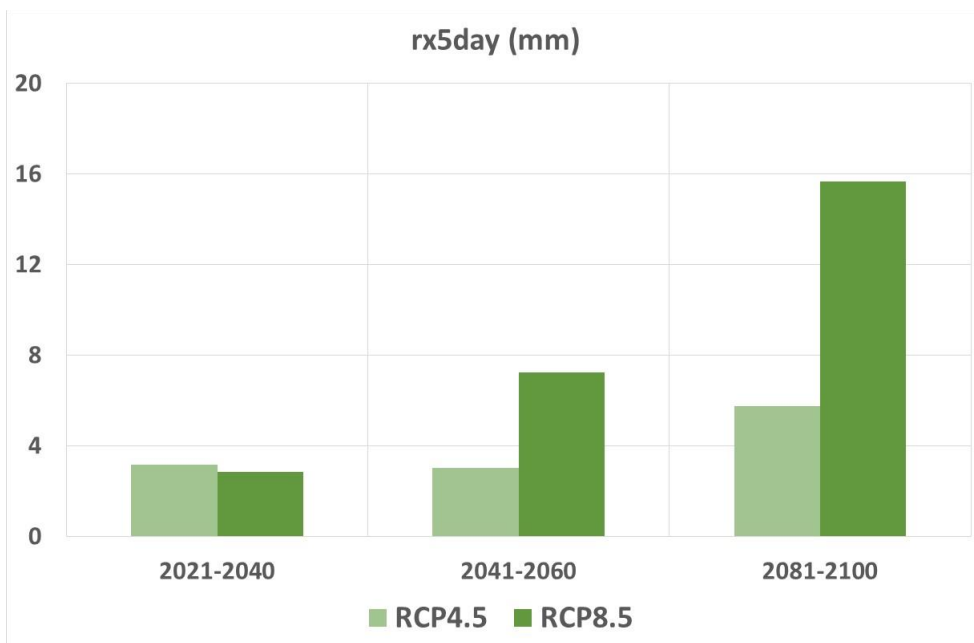


Figura 28. Cambios en la precipitación máxima acumulada en 5 días consecutivos (mm) en la ciudad de Buenos Aires respecto de 1986-2005 para diferentes horizontes temporales y escenarios de emisiones.

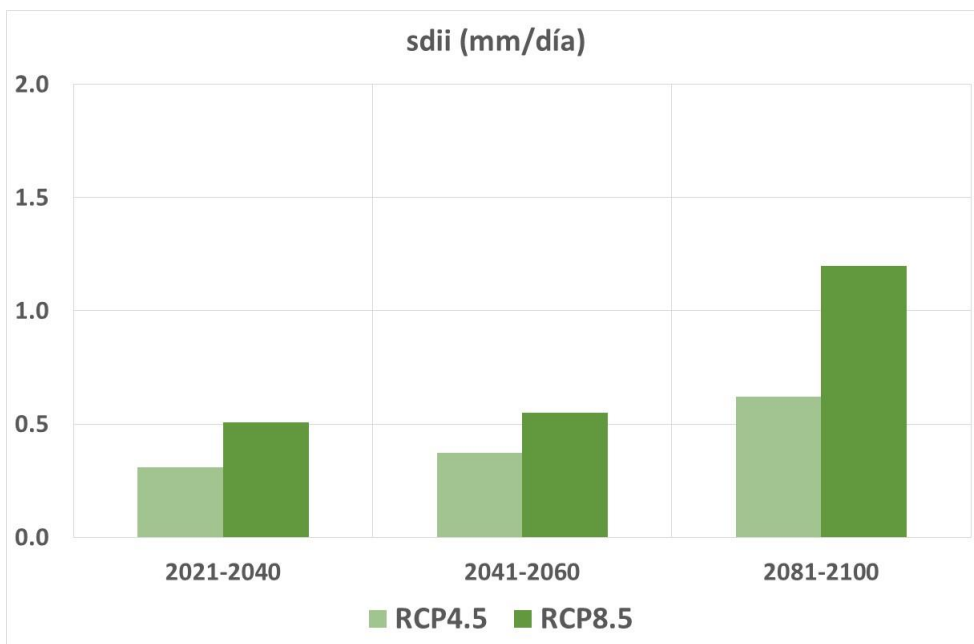


Figura 29. Cambios en la intensidad de precipitación diaria (mm/día) en la ciudad de Buenos Aires respecto de 1986-2005 para diferentes horizontes temporales y escenarios de emisiones.

Tabla 13. Cambios en los índices de extremos de precipitación a nivel anual para la ciudad de Buenos Aires para diferentes horizontes temporales según los escenarios de emisiones RCP4.5 y RCP8.5 derivados del promedio de los modelos climáticos globales seleccionados. Se muestra además el correspondiente desvío estándar.

	2021-2040		2041-2060		2081-2100	
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
r10mm (días)	0,4 ± 1,6	0,6 ± 2,5	0,3 ± 1,6	0,4 ± 1,5	1,0 ± 0,9	0,9 ± 3,7
r20mm (días)	0,0 ± 1,1	0,5 ± 1,7	0,3 ± 1,3	0,8 ± 2,1	1,1 ± 1,0	1,4 ± 2,0
r95p (mm)	12,2 ± 21,2	41,4 ± 64,7	18,8 ± 60,1	39,1 ± 70,9	48,1 ± 34,6	83,7 ± 58,8
r99p (mm)	8,7 ± 15,1	32,7 ± 57,5	29,8 ± 53,6	33,9 ± 54,7	24,0 ± 23,1	55,9 ± 43,7
rx5day (mm)	3,2 ± 11,1	2,8 ± 8,2	3,0 ± 1,4	7,2 ± 5,0	5,7 ± 8,1	15,7 ± 5,7
sdii (mm/día)	0,3 ± 0,5	0,5 ± 0,6	0,4 ± 0,5	0,5 ± 0,6	0,6 ± 0,1	1,2 ± 0,4

6. Conclusiones

En el presente informe se describe cómo cambiaría el clima de la ciudad de Buenos Aires bajo diferentes umbrales de calentamiento global respecto del período preindustrial y según tres horizontes temporales del presente siglo considerando dos trayectorias representativas de concentraciones RCP4.5 y RCP8.5. El período de referencia considerado para el cómputo de los cambios es 1986-2005. A continuación se resumen los resultados obtenidos más relevantes en cada caso. Las proyecciones de cambios en variables térmicas poseen un nivel de *confianza alto* mientras que para las correspondientes a precipitación tienen un nivel de *confianza medio*.

- **Para un mundo de 1,5°C de calentamiento global:**

La temperatura máxima media anual se incrementará entre 0,6 y 0,7°C
 La temperatura mínima media anual aumentará aproximadamente 0,7°C
 La precipitación anual acumulada será entre 3% y 4% superior que la del período de referencia
 Las noches frías y días fríos serán entre 2% y 3% menos frecuentes
 Los noches cálidas incrementarán su ocurrencia anual entre 7% y 11%
 Los días cálidos serán entre 9% y 12% más frecuentes
 Habrá del orden de 8 días más al año que formen parte de una ola de calor
 Aumentarán la precipitaciones extremas (días muy lluviosos y días extremadamente lluviosos) aportando entre 7 y 27 mm más de lluvia al año
 Se incrementará la intensidad de la precipitación entre 0,2 y 0,4 mm/día

- **Para un mundo de 2°C de calentamiento global:**

La temperatura máxima media anual se incrementará en el orden de 1,2°C
 La temperatura mínima media anual aumentará aproximadamente 1,2°C

La precipitación anual acumulada será entre 2% y 4% superior a la del período de referencia
Las noches frías y días fríos serán entre 3% y 4% menos frecuentes
Los noches cálidas incrementarán su ocurrencia anual entre 6% y 8%
Los días cálidos serán aproximadamente 9% más frecuentes
Habrá del orden de 10 días más al año que formen parte de una ola de calor
Aumentarán la precipitaciones extremas (días muy lluviosos y días extremadamente lluviosos) aportando entre 13 y 29 mm más de lluvia al año
Se incrementará la intensidad de la precipitación entre 0,4 y 0,5 mm/día

- **Para un mundo de 3°C de calentamiento global:**

La temperatura máxima media anual se incrementará entre 1,8°C y 2°C
La temperatura mínima media anual aumentará aproximadamente 2,2°C
La precipitación anual acumulada será entre 3% y 8% superior a la del período de referencia
Las noches frías y días fríos serán entre 3,5% y 6% menos frecuentes
Los noches cálidas incrementarán su ocurrencia anual entre 10% y 18%
Los días cálidos serán entre 12% y 20% más frecuentes
Habrá entre 11 y 19 días más al año que formen parte de una ola de calor
Aumentarán la precipitaciones extremas (días muy lluviosos y días extremadamente lluviosos) aportando entre 5 y 63 mm más de lluvia al año
Se incrementará la intensidad de la precipitación entre 0,7 y 0,9 mm/día

- **Para el corto plazo (2021-2040):**

La temperatura máxima media anual se incrementará entre 0,8°C y 0,9°C
La temperatura mínima media anual aumentará entre 0,8°C y 1°C
La precipitación anual acumulada será entre 3% y 5% superior a la del período de referencia
Las noches frías y días fríos serán entre 4% y 6% menos frecuentes
Los noches cálidas incrementarán su ocurrencia anual entre 5% y 6%
Los días cálidos serán entre 5% y 6% más frecuentes
Habrá entre 6 y 8 días más al año que formen parte de una ola de calor
Aumentarán la precipitaciones extremas (días muy lluviosos y días extremadamente lluviosos) aportando entre 9 y 41 mm más de lluvia al año
Se incrementará la intensidad de la precipitación entre 0,3 y 0,5 mm/día

- **Para el mediano plazo (2041-2060):**

La temperatura máxima media anual se incrementará entre 0,8°C y 0,9°C
La temperatura mínima media anual aumentará entre 0,8°C y 1°C
La precipitación anual acumulada será entre 3% y 5% superior a la del período de referencia
Las noches frías y días fríos serán aproximadamente 3% menos frecuentes
Los noches cálidas incrementarán su ocurrencia anual entre 5% y 6%
Los días cálidos serán entre 5% y 6% más frecuentes
Habrá entre 10 y 15 días más al año que formen parte de una ola de calor

Aumentarán la precipitaciones extremas (días muy lluviosos y días extremadamente lluviosos) aportando entre 19 y 39 mm más de lluvia al año
Se incrementará la intensidad de la precipitación entre 0,4 y 0,5 mm/día

- **Para el largo plazo (2081-2100):**

La temperatura máxima media anual se incrementará entre 1,7°C y 3,8°C
La temperatura mínima media anual aumentará entre 1,7°C y 3,8°C
La precipitación anual acumulada será entre 5% y 7% superior a la del período de referencia
Las noches frías y días fríos serán entre 5% y 8% menos frecuentes
Los noches cálidas incrementarán su ocurrencia anual entre 10% y 28%
Los días cálidos serán entre 12% y 30% más frecuentes
Habrá entre 12 y 60 días más al año que formen parte de una ola de calor
Aumentarán la precipitaciones extremas (días muy lluviosos y días extremadamente lluviosos) aportando entre 24 y 84 mm más de lluvia al año
Se incrementará la intensidad de la precipitación entre 0,6 y 1,2 mm/día

Referencias

Dufresne, J. L., and Coauthors, 2013: Climate change projections using the IPSL-CM5 Earth system model: From CMIP3 to CMIP5. *Climate Dyn.*, 40, 2123–2165, <https://doi.org/10.1007/s00382-012-1636-1>.

Gent, P. R., and Coauthors, 2011: The Community Climate System Model version 4. *J. Climate*, 24, 4973–4991, <https://doi.org/10.1175/2011JCLI4083.1>.

Jungclaus, J. H., and Coauthors, 2010: Climate and carbon-cycle variability over the last millennium. *Climate Past*, 6, 723–737, <https://doi.org/10.5194/cp-6-723-2010>.

Maurer, E. P. and Hidalgo, H. G., 2008: Utility of daily vs. monthly large-scale climate data: an intercomparison of two statistical downscaling methods, *Hydrology and Earth System Sciences*, 12, 551-563, <https://doi.org/10.5194/hess-12-551-2008>.

Moss, R.H. and Coauthors, 2010: The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature* 463, 747-756, <https://doi.org/10.1038/nature08823>.

Sheffield, J., G. Goteti, and E. F. Wood, 2006: Development of a 50-yr high-resolution global dataset of meteorological forcings for land surface modeling, *J. Climate*, 19 (13), 3088-3111, <https://doi.org/10.1175/JCLI3790.1>

Taylor, K. E., R. J. Stouffer, and G. A. Meehl, 2012: An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 93, 485–498, <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00094.1>.

Thrasher, B., Maurer, E. P., McKellar, C., & Duffy, P. B., 2012: Technical Note: Bias correcting climate model simulated daily temperature extremes with quantile mapping. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(9), 3309-3314, <https://doi.org/10.5194/hess-16-3309-2012>.

Tjiputra, J. F., C. Roelandt, M. Bentsen, D. M. Lawrence, T. Lorentzen, J. Schwinger, Ø. Seland, and C. Heinze, 2013: Evaluation of the carbon cycle components in the Norwegian Earth System Model (NorESM). *Geosci. Model Dev.*, 6, 301–325, <https://doi.org/10.5194/gmd-6-301-2013>.

Wood, A.W., E.P. Maurer, A. Kumar, and D.P. Lettenmaier, 2002: Long-range experimental hydrologic forecasting for the eastern United States. *J. Geophysical Research-Atmospheres*, 107, 4429, <https://doi.org/10.1029/2001JD000659>

Wood, A.W., L.R. Leung, V. Sridhar, and D.P. Lettenmaier, 2004: Hydrologic implications of dynamical and statistical approaches to downscaling climate model outputs. *Climatic Change*, 15,189-216, <https://doi.org/10.1023/B:CLIM.0000013685.99609.9e>.