

Metodología SIMARCC 2020 (Fase 3)

Generación de Nuevos Mapas de Cambio Climático

Fuentes de los Datos y Metodología

El Sistema de Mapas de Riesgo del Cambio Climático (SIMARCC) es la primera herramienta interactiva nacional que identifica los riesgos derivados del cambio climático y los traduce de una forma fácil, para que tomadores de decisiones puedan desarrollar políticas públicas y acciones de adaptación al cambio climático. El SIMARCC permite incorporar proyecciones climáticas y su influencia sobre la salud, el ambiente, el desarrollo sostenible y social, y la infraestructura, en las comunidades y ecosistemas con más alto grado de vulnerabilidad socioambiental.

En una primera etapa, se volcaron las proyecciones de la Tercera Comunicación Nacional (solapa 3ª Com. Nac. 2015), realizada en base a tres modelos de cambio climático. En una segunda etapa (solapa SIMARCC 2020), se analizó un nuevo conjunto de modelos y se realizó un análisis de tendencias e incertidumbres de temperatura y de precipitación para cada escenario (RCP 4.5 y RCP 8.5) respecto al clima histórico (1961-1990) para distintos periodos futuros: 2030, 2050 y 2100.

Descripción y origen de los modelos

Las simulaciones de Cambio Climático, utilizadas en la presente Fase 3 del proyecto SIMARCC, provienen del Proyecto de Intercomparación de modelos acoplados (Coupled Models Intercomparison Project, CMIP5) enmarcado dentro del programa mundial de investigación climática (World Climate Research Programme, WRCP).

El proyecto CMIP5 provee un total de 27 modelos con simulaciones tanto para el período de referencia 1960-1990 como para escenarios futuros que comprenden al período 2015- 2100. Las simulaciones obedecen a dos escenarios de emisión de gases de efecto invernadero distintas: RCP 4.5 y RCP 8.5. Dependiendo de la combinación modelo/escenario se dispone de diferentes cantidades de corridas de simulación. Cada una reproduce sintéticamente la evolución del clima futuro y brinda proyecciones numéricas de las variables precipitación, temperatura mínima, máxima y promedio, a nivel global, con resoluciones espaciales que dependen del modelo en cuestión. Los valores proyectados son promedios mensuales de dichos campos, los que puestos en relación a los provistos para el período de referencia, permiten estimar el impacto de la emisión de gases en el clima futuro.

A continuación, se detalla la lista de modelos del Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) con la cantidad de simulaciones realizadas para el clima histórico, el clima futuro bajo los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5 de emisiones de gases de efecto invernadero:

Tabla 1. Modelos IPCC y corridas para cada escenario

Modelo	Clima Histórico	RCP 4.5	RCP 8.5
ACCESS1-	3	1	1
ACCESS1.	3	1	1
BNU-ESM	1	1	1
CanESM2	5	5	5
CMCC-CESM	1	0	0
CMCC-CM	2	2	2
CMCC-CMS	1	1	1
CNRM-CM5	10	1	5
CSIRO-Mk3	10	10	10
GFDL-CM3	5	2	1
GFDL-ESM2G	1	1	1
GFDL-ESM2M	1	1	1
HadGEM2-AO	1	1	1
HadGEM2-CC	3	1	1
HadGEM2-ES	4	3	0
INMCM4	1	1	1
IPSL-CM5A-LR	6	4	4
IPSL-CM5A-MR	3	1	1
IPSL-CM5B-LR	1	1	1
MIROC-ESM	4	9	2
MIROC-ESM-CHE M	1	8	1
MIROC5	5	3	3
MPI-ESM-	3	3	3
MPI-ESM-	3	3	1
MRI-CGCM3	3	1	1
MRI-ESM1	1	0	1
NorESM1-M	3	1	1

Descripción y origen de los datos seleccionados

Los datos utilizados para el presente proyecto surgen de combinar la información observacional meteorológica proveniente de dos fuentes distintas:

- Proyecto Europeo de investigación CLARIS-LPB
- Centro de Predicción Climática (Climate Prediction Center, CPC, NOAA)

Proyecto Europeo de investigación CLARIS-LPB

Estos datos son el producto del proyecto de investigación CLARIS-LPB, financiado por la Comisión Europea en el marco del 7° Programa Marco (2008-2012). Este generó, entre otras

cosas, un conjunto de datos diarios de precipitación y temperatura en superficie para el período temporal 1961-2000 (Tencer et al, 2011). Las observaciones fueron llevadas a un grillado regular de 0.5 grados en latitud y longitud, a los efectos de lograr una cobertura espacial completa y homogénea.

El trabajo de investigación fue liderado por el Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos de la Universidad de Buenos Aires, y la fuente principal de estos datos son los registros meteorológicos históricos del Servicio Meteorológico Nacional, así como otras fuentes oficiales (INTA).

Centro de Predicción Climática (Climate Prediction Center, CPC, NOAA)

Estos son datos observacionales de temperatura y precipitación en superficie para el período temporal 1979-2008. Los datos provienen de más de 6000 estaciones meteorológicas a nivel mundial. Los mismos son interpolados a nivel espacial para ser llevados a una grilla regular de 0.5 grados de resolución¹.

Datos combinados

Al momento de combinar las series de datos, los datos tomados como base fueron los del CPC y, en la medida de lo posible, se trató de mejorar la calidad de los mismos complementando con los datos provenientes del Proyecto Europeo de investigación CLARIS-LPB.

El resultado final de la combinación de los datos provenientes de las dos fuentes citadas anteriormente consiste en observaciones diarias de precipitación y temperatura mínima y máxima, llevadas a punto de grilla regular de 0.5 grados de resolución espacial, para el período 1979-2000 (22 años). Es importante destacar que este período temporal de 22 años de duración es suficientemente extenso y representativo como para captar los patrones de la variabilidad climática más relevante a los fines de este proyecto.

Generación de Indicadores de Extremos

Una vez seleccionados los datos, se calibraron varios modelos/generadores de tiempo de cambio climático sobre el periodo 1961-1990 para poder generar las capas de cambio climático. Se ajustaron varios modelos paramétricos (generadores), en cada pixel de la base de datos históricos, para las variables de temperatura y precipitación. Para las variables de temperatura (mínima y máxima) se usó un modelo normal, en tanto que para la precipitación se ajustó un modelo gamma.

Los modelos fueron ajustados mediante la técnica de estimación de Modelos Lineales Generalizados (GLM) provista por la librería "GAMLSS" del entorno R. En el proceso se verificó asimismo la bondad estadística de estos ajustes. Los citados modelos/generadores se calibraron con la intención de relacionar los valores medios mensuales de precipitación y temperaturas con los valores diarios, con el fin de generar para cada modelo futuro los cambios más probables en eventos extremos.

¹ Los datos se hallan disponibles en: ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/precip/PEOPLE/wd52ws/global_temp/

Se verificó que el resultado de la calibración de los modelos/generadores se corresponda con ajustes estadísticos casi perfectos de los modelos normales (temperatura mínima y máxima) y gamma (precipitación), en los que sus esperanzas teóricas son dependientes directamente de los valores medios mensuales observados. Es decir, se verificó que un cambio en la temperatura mínima (máxima) media mensual de 1 grado produce un desplazamiento de la distribución paramétrica ajustada de su media teórica de un 1 grado. Por lo que el comportamiento de la temperatura mínima (máxima) bajo el modelo ajustado con un cambio de 1 grado, es idéntico al comportamiento de la temperatura mínima (máxima) observada desplazada en 1 grado. Una situación análoga ocurre con la variable precipitación.

Finalmente, se decidió para generar las capas de indicadores el cálculo de estos directamente de los datos observados, aplicando a estos valores observados la corrección (desplazamiento) de sus valores medios en la magnitud predicha por el modelo/horizonte/escenario seleccionado.

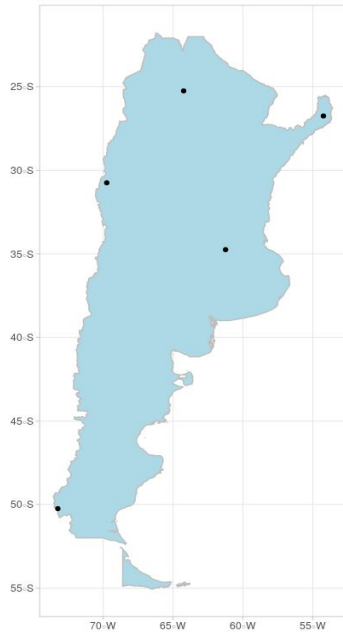
Las capas de cambio climático generadas son:

1. Valor absoluto y cambio en temperatura máxima.
2. Valor absoluto y cambio en temperatura mínima.
3. Valor absoluto y cambio en temperatura media.
4. Valor absoluto y cambio en precipitación media.
5. Mapa de número de días de precipitación diaria mayor a 50 mm.
6. Mapa de precipitación promedio en abril/mayo.
7. Mapa de número de días de precipitación diaria mayor a 200 mm.
8. Mapa de precipitaciones futuras con acumulado anual inferior a 250 mm.
9. Mapa de precipitación promedio en enero/febrero.
10. Mapa de zonas combinando reducción de precipitación y aumento de temperatura.
11. Mapa de ocurrencia de temperaturas máximas mayores a 35°C.
12. Mapa de cantidad de días con temperatura mínima inferior a 0°C.
13. Mapa de cantidad de noches tropicales.

Metodología de definición del escenario medio y de la incertidumbre del ensamble

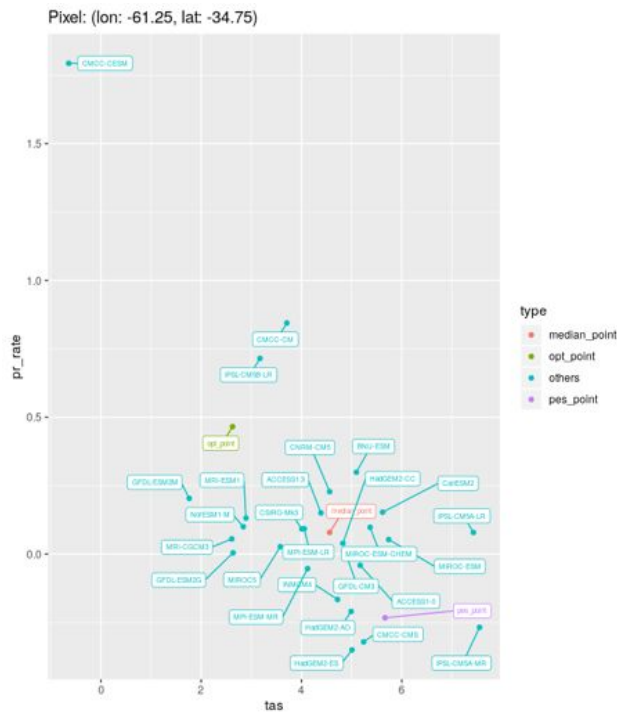
Para describir la metodología y representar la dispersión entre los diversos modelos, se seleccionaron algunos puntos representativos de condiciones climáticas diversas en el territorio nacional, como se puede ver en la Figura 1.

Figura 1: Ubicación de los pixeles analizados para definir la metodología



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2: Representación de la dispersión de los modelos de cambio climático en función de su proyección de cambio en temperatura y en precipitación.



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 2 confirma conocimientos de la literatura científica relacionando la proyección de cambio climático en temperatura con la proyección de cambio climático en precipitación. De

manera sintética, los modelos con mayor cambio en temperatura son los que proyectan el menor aumento (o una reducción) en precipitación. Por el contrario, los modelos que proyectan el menor cambio en temperatura son los que representan el mayor aumento en precipitación o la menor reducción.

En base a estos conocimientos confirmados por el análisis, se resumió el ensamble de todos los modelos en tres situaciones posibles:

- Una situación media notada “M” (media de todos los modelos)
- Una situación denominada “Pesimista” definida por el percentil 90 % de temperatura y 10 % de precipitación, representando un riesgo de mayor cambio en temperatura con una reducción o menor cambio en precipitación. Esta situación es muy negativa por ejemplo para los recursos hídricos y la agricultura. Generaría mayor demanda de electricidad en verano (climatización).
- Una situación denominada “Optimista” definida por el percentil 10 % de temperatura y 90 % de precipitación, representando un riesgo de menor cambio en temperatura con un aumento o menor reducción en precipitación. Esta situación es positiva por ejemplo para los recursos hídricos y la agricultura. Podría ser negativa para ciertas infraestructuras en caso de fuertes lluvias e inundación.

Además, se consideraron los cambios observados a nivel mensual en el ciclo estacional con el fin de tomar en cuenta las diferencias de proyecciones entre las distintas estaciones del año.

Capas de vulnerabilidad e infraestructura

A continuación se detallan las capas de vulnerabilidad, salud, infraestructura, producción y ordenamiento territorial disponibles en la plataforma con sus respectivas fuentes y metadatos.

Tabla 2. Capas utilizadas de la 3ª Comunicación de la Rep. Argentina a la CMNUCC

Capa	Fuente/Metadatos
Capas climáticas Tercera Comunicación	3ª Comunicación de la Rep. Argentina a la CMNUCC, “Cambio climático en Argentina, Tendencias y Proyecciones”, https://www.argentina.gob.ar/ambiente/cambio-climatico/modelos-climaticos , Anexo V, “Metadatos para los recursos de la base de datos”.
Índice de Vulnerabilidad Social	3ª Comunicación de la Rep. Argentina a la CMNUCC, “Vulnerabilidad social, amenaza y riesgo frente al Cambio climático.” https://www.argentina.gob.ar/ambiente/cambio-climatico/adaptacion-y-vulnerabilidad

El índice de vulnerabilidad Social contiene varios indicadores censales: analfabetismo, mortalidad infantil, población de 0 a 14 años, población de 65 y más años, hacinamiento crítico, falta de acceso a agua potable y cloacas, desocupados, nivel educativo de jefes de

hogar, hogares sin cónyuge. Para mayor información sobre su construcción ver “Vulnerabilidad social, amenaza y riesgo frente al cambio climático” por Claudia Natenzon en la 3ª Comunicación de la Rep. Argentina a la CMNUCC.

Tabla 3. Capas utilizadas del censo 2010

Indicador	Datos del 2010	Fuente/metadato
Tasa de mortalidad Infantil	“Subtotal” (de niños menores a un año) y “Nacidos vivos”.	Ministerio de Salud: http://deis.msal.gov.ar/ReporteInteractivo/
Porcentaje de población de 0 a 14 años	“Edades en grandes grupos”= “0 -14”.	Redatam: Población https://redatam.indec.gob.ar/argbin/RpWebEngine.exe/PortalAction?&MODE=MAIN&BASE=CPV2010A&MAIN=WebServerMain.inl
Porcentaje de población de 65 y más años	“Edades en grandes grupos”= “65 y más”	Redatam: Población https://redatam.indec.gob.ar/argbin/RpWebEngine.exe/PortalAction?&MODE=MAIN&BASE=CPV2010A&MAIN=WebServerMain.inl
Hogares con hacinamiento Crítico	“Hacinamiento”= “más de 3 personas por cuarto”.	Redatam: Hogares https://redatam.indec.gob.ar/argbin/RpWebEngine.exe/PortalAction?&MODE=MAIN&BASE=CPV2010A&MAIN=WebServerMain.inl
Porcentaje de hogares sin agua potable	“Procedencia del agua para beber y cocinar” =sumatoria de todas las categorías excepto “Red Pública”	Redatam: Hogares https://redatam.indec.gob.ar/argbin/RpWebEngine.exe/PortalAction?&MODE=MAIN&BASE=CPV2010A&MAIN=WebServerMain.inl
Porcentaje de hogares sin cloacas	“Desagüe del inodoro” y “Tiene botón, cadena, mochila, etc.”= Sumatoria de todas las categorías excepto “Desagüe a red cloacal con descarga de agua”	Redatam: Hogares https://redatam.indec.gob.ar/argbin/RpWebEngine.exe/PortalAction?&MODE=MAIN&BASE=CPV2010A&MAIN=WebServerMain.inl

Tabla 4. Otras capas utilizadas

Capa	Fuente/metadato
Red ferroviaria	IGN, https://geoadmin.agroindustria.gob.ar/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/6d6a72d0-0a9f-4a54-8db3-8639619064da
Red vial	IGN, https://geoadmin.agroindustria.gob.ar/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/d4736958-9d99-4888-b805-891135a08388
Áreas protegidas	MAyDS, IDE Ambiental (2019) https://mapas.ambiente.gob.ar/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/07a1b33f-e510-4966-8d49-72cf884bffe8
Riesgo de dengue	Ministerio de Salud, 2020 https://geoportal.conae.gov.ar/geoexplorer/composer/
Producción de Trigo	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca - Campaña 2015/2016 https://geoportal.agroindustria.gob.ar/tematizador/agricola/
Producción Girasol	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca - Campaña 2015/2016? https://geoportal.agroindustria.gob.ar/tematizador/agricola/
Producción Soja	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca - Campaña 2015/2016 https://geoportal.agroindustria.gob.ar/tematizador/agricola/
Producción Maíz	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca - Campaña 2015/2016 https://geoportal.agroindustria.gob.ar/tematizador/agricola/
Plantaciones forestales	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (2018) https://geoportal.agroindustria.gob.ar/visor/

Cálculo de los mapas de riesgo

Los mapas de riesgo, o mapas de cruce entre mapas de cambio climático y mapas de vulnerabilidad, se calculan de la siguiente manera:

- Primero, cualquiera sea el mapa (clima o vulnerabilidad), los valores se normalizan entre 0 y 1: $(VAL - VAL_{min}) / (VAL_{max} - VAL_{min})$, donde VAL_{min} y VAL_{max} son los valores mínimos y máximos para esa capa en particular.
- Segundo, se calcula el producto entre el mapa normalizado de clima y el mapa normalizado de vulnerabilidad.
- Finalmente, el resultado obtenido (entre 0 y 1) está dividido en 5 categorías:
 - o Riesgo Muy Bajo (valores entre 0 y 0.2)
 - o Riesgo Bajo (valores entre 0.2 y 0.4)
 - o Riesgo Moderado (valores entre 0.4 y 0.6)

- o Riesgo Alto (valores entre 0.6 y 0.8)
- o Riesgo Muy Alto (valores entre 0.8 y 1)

Por la forma de calcular, todos los mapas de riesgo tienen valores en cada intervalo de riesgo. La categoría de riesgo es relativa a los mapas seleccionados y en particular de las opciones de selección del mapa climático.

Cruce de mapas espaciales

Los cruces de mapas espaciales se realizan a la escala de los departamentos/partidos de la República Argentina y permiten identificar los departamentos con mayor riesgo. La exportación de los mapas de riesgo resultantes del cruce se puede hacer en formato PDF o shapefile.

Tabla 5. Cruces de capas espaciales

Capas de vulnerabilidad	de	Capas de evento extremo
Índice de Vulnerabilidad Social		Valor absoluto y cambio en temperatura máxima Valor absoluto y cambio en temperatura mínima Valor absoluto y cambio en temperatura media Valor absoluto y cambio en precipitación media Mapa de número de días de precipitación diaria mayor a 50mm Mapa de ocurrencia de temperaturas máximas mayores a 35°C Mapa de cantidad de días con heladas (FD) Mapa de cantidad de Noches Tropicales (Tmín > 20°C)
Mortalidad infantil Población de 0-14 Población de más de 65		Valor absoluto y cambio en temperatura máxima Valor absoluto y cambio en temperatura mínima Valor absoluto y cambio en temperatura media Mapa de número de días de precipitación diaria mayor a 50mm Mapa de ocurrencia de temperaturas máximas mayores a 35°C Mapa de cantidad de días con heladas (FD) Mapa de cantidad de Noches Tropicales (Tmín > 20°C)
Falta de acceso a la red de agua potable Falta de acceso a cloacas		Valor absoluto y cambio en temperatura máxima Valor absoluto y cambio en precipitación media Mapa de cantidad de días con heladas (FD) Mapa de cantidad de Noches Tropicales (Tmín > 20°C)
Hacinamiento crítico		Valor absoluto y cambio en precipitación media Mapa de cantidad de días con heladas (FD)
Producción: Girasol, Maíz, Soja Rendimiento Girasol,		Mapa de precipitación promedio en Abril/Mayo Mapa de precipitación promedio en Enero/Febrero

maíz y soja	
-------------	--

Cuando se toma valor absoluto, se observa cuál sería el valor de la variable en cuestión (temperatura máxima, mínima o media) en el período futuro elegido (2030, 2050 o 2100) mientras que cuando se selecciona “diferencia con el presente” lo que se observa es la diferencia entre el valor absoluto futuro con respecto al clima histórico (1961-1990). Es decir que en algunos lugares el valor absoluto de la temperatura esperado puede ser muy alto pero tal vez no manifestarse demasiado cambio con la temperatura actual, mientras que en otros casos si bien la temperatura esperada no pareciera demasiado alta sí lo es la diferencia con respecto a los valores históricos. Por ejemplo, valores pequeños de cambio de temperatura podrían tener impactos en la biodiversidad, o valores absolutos altos de temperaturas mínimas y máximas tienen influencia en las olas de calor.

En el caso de la producción de granos, se toma la precipitación promedio de abril y mayo porque son meses en los que suele llover mucho y puede traer complicaciones y caída de rendimientos al momento de la cosecha de los cultivos de verano. La precipitación de enero y febrero es crítica para indicar sequía..

Cruce de mapas espaciales (clima) con mapas de datos vectoriales

Los cruces de un mapa espacial (clima) con una capa de datos vectoriales se realizan mostrando la capa climática de interés de fondo y superponiendo la capa vectorial (ejemplo, rutas, infraestructuras, zonas protegidas, etc.) permitiendo identificar las zonas en riesgo por el cambio climático.

Por las características diferentes de las dos capas (un archivo raster espacial y un archivo vectorial), se exportan ambas por separado en formato shape y el mapa combinado en formato pdf.

Tabla 6. Cruce de mapas vectoriales con mapas espaciales

Capas de vulnerabilidad	Capas de evento extremo
Ordenamiento territorial de bosques nativos Plantación forestal Áreas protegidas	Mapa de zonas combinando reducción de precipitación y aumento de temperatura Mapa de ocurrencia de temperaturas máximas mayores a 45°C
Ferrocarril Infraestructura vial (rutas nacionales y provinciales)	Mapa de número de días de precipitación diaria mayor a 200mm Mapa de ocurrencia de temperaturas máximas mayores a 45°C
Dengue riesgo ambiental	Valor absoluto y cambio en temperatura máxima Valor absoluto y cambio en temperatura mínima Valor absoluto y cambio en temperatura media

	Valor absoluto y cambio en precipitación media
--	--

Referencias

Tencer, B., Rusticucci M., Jones P. & Lister D. (2011). *A Southeastern South American Daily Gridded Dataset of Observed Surface Minimum and Maximum Temperature for 1961-2000*. Bull. Amer. Meteor. Soc., 92, 1339-1346. <http://dx.doi.org/10.1175/2011BAMS3148.1>