

GUÍA DE REFERENCIA PARA LA PLATAFORMA DE VISUALIZACIÓN DE SIMULACIONES CLIMÁTICAS

Proyecto
“Simulaciones climáticas regionales y marco de evaluación
de la vulnerabilidad”

Santiago, 2018
Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)²
(FONDAP 15110009)
Universidad de Chile

Directoras del proyecto

Maisa Rojas (Directora)

Laura Gallardo (Directora alterna)

Mandante del proyecto

Oficina de Cambio Climático del Ministerio del Medio Ambiente

Simulaciones climáticas regionales

Deniz Bozkurt

Marco de evaluación de la vulnerabilidad

Anahí Urquiza

Marco Billi

Plataforma de visualización de simulaciones climáticas

Mark Falvey

Francisca Muñoz

Nancy Valdebenito

Matías Meneses

Felipe Saavedra

Edición de documentos

Nicole Tondreau

Diagramación de documentos

M. Giselle Ogaz

Las simulaciones climáticas regionales se realizaron en colaboración con el Laboratorio Nacional de Computación de Alto Rendimiento (NLHPC, por sus siglas en inglés) haciendo uso del supercomputador Leftraru.

Citar este documento como: Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)² (FONDAP 15110009) “Guía de referencia para la plataforma de visualización de simulaciones climáticas”. Proyecto “Simulaciones climáticas regionales y marco de evaluación de la vulnerabilidad” mandado por el Ministerio del Medio Ambiente. Julio de 2018. Disponible en www.cr2.cl

ÍNDICE

I. Introducción	5
II. Componentes de la plataforma	5
A. Componente superior: Mapa	6
B. Componente inferior: Tablas y gráficos	8
C. Comparación de simulaciones regionales con observaciones	9
D. Plataforma de descarga	10
III. Simulaciones y productos en la plataforma	13
A. Tipos de escenarios y períodos	16
B. Macrozonas definidas	17
C. Tabla de variables consideradas en la plataforma	18
D. Tabla de simulaciones regionales y productos de la plataforma	19
E. Tabla de simulaciones globales e instituciones	21
IV. Glosario de conceptos	23
V. Siglas y acrónimos	29
VI. Referencias bibliográficas	31
VII. Anexo: Información técnica de la plataforma	33
A. Almacenamiento y actualización de datos	34
B. Tecnologías utilizadas	34
C. Entorno de ejecución	36

I. INTRODUCCIÓN

El Ministerio del Medio Ambiente contrató en 2016 el presente estudio a un equipo multidisciplinario del Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)² a través de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, el que fue desarrollado durante el año 2017.

El propósito del estudio consistió en generar información de proyecciones climáticas para Chile a través de la modelación climática a escala regional para la correcta estimación de la vulnerabilidad del país, y que, a su vez, esté disponible en una plataforma interactiva que permita apoyar el diseño de políticas públicas del país.

Este informe de síntesis sirve como guía de referencia para el uso de la plataforma de visualización de simulaciones (<http://simulaciones.cr2.cl>). El objetivo principal de la plataforma es proveer información de proyecciones climáticas a distintas instituciones de gobierno, comunidad científica y otros actores que lo requieran. La compilación y organización de las bases de datos grillados se realiza en la plataforma de almacenamiento del (CR)² y es accesible de forma abierta en <http://simulaciones.cr2.cl/descargas>. La plataforma de visualización incluye resultados de simulaciones climáticas globales y regionales, realizadas por grupos en Chile y el extranjero, así como datos observacionales en formato grillado desarrollados por el (CR)² y otros grupos e instituciones. La plataforma genera mapas, tablas, gráficos y series de tiempo para el dominio de Sudamérica, Chile y macrozonas de Chile predefinidas, así como para polígonos o puntos definidos en forma dinámica.

Las palabras claves y algunos conceptos (marcados en color rojo) se definen en la sección IV: ‘Glosario de conceptos’, en tanto que las siglas (en azul) se encuentran en la sección V: ‘Siglas y acrónimos’. Las referencias bibliográficas se listan en la sección VI: ‘Referencias Bibliográficas’.

II. COMPONENTES DE LA PLATAFORMA

La plataforma de visualización ofrece una serie de opciones para generar mapas y gráficos que facilitan el análisis de los escenarios climáticos en distintas zonas o puntos, incluyendo configuraciones predefinidas, selección de variables y de períodos del año, además de ajustes avanzados.

En la parte superior de la plataforma se ubican las opciones de selección de variable, período del año, modelos y configuración. En el sector izquierdo es posible escoger los dominios, escenarios y cálculos que se visualizarán en el mapa, y elegir un punto, macrozona o zona para el cual se generarán las tablas y gráficos. Las simulaciones originales están disponibles en la plataforma de descarga, a la que se puede acceder desde el enlace ‘Descarga de archivos’.

La plataforma de visualización está desarrollada principalmente sobre tecnología Python, JavaScript y Google Maps, y cada uno de sus componentes cumple con especificaciones con *software* libre.

Tanto la plataforma de visualización como los datos de la plataforma de descarga se almacenan en los servidores del (CR)² ubicados en el *datacenter* del Centro de Estudios de Computación (CEC) de la Universidad de Chile.

A. Componente superior: Mapa

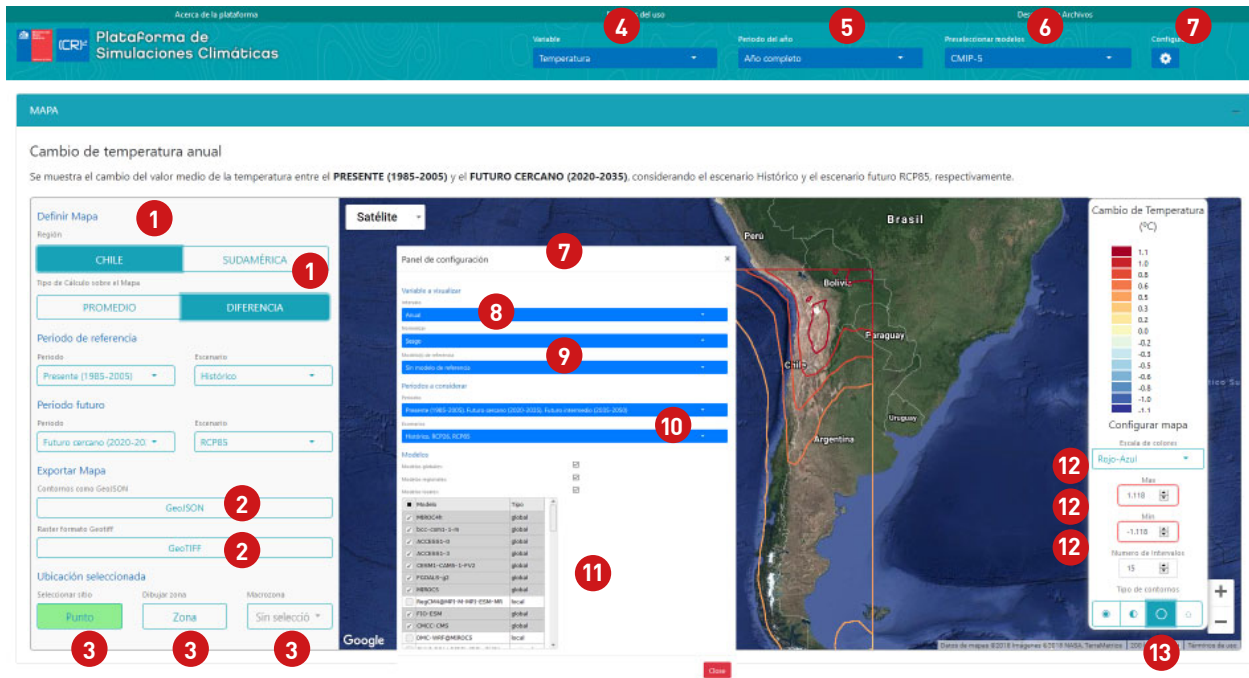


Figura 1: Se describen las partes del área del mapa de la plataforma de visualización

- 1 Selección de dominio en el mapa (Chile o Sudamérica) y el tipo de cálculo: PROMEDIO de un período o DIFERENCIA entre dos períodos.
- 2 Opciones para exportar el mapa a GeoJSON o GeoTIFF
- 3 Selección de punto sobre el mapa, macrozona o dibujar un polígono para desplegar un gráfico o tabla con los Resultados en el Panel Inferior.
- 4 Selección de variable.
- 5 Selección período de estudio: año, mes y estación del año.
- 6 Selección de uno o todos los modelos: CMIP5 (global), CORDEX (regional) y RegCM4 (Chile)
- 7 Panel de Configuración.
- 8 Seleccionar intervalo entre datos mensuales o anuales.
- 9 Aplicar normalización con o sin modelo de referencia.
- 10 Seleccionar el período y escenario a mostrar sobre el gráfico o tabla resumen.
- 11 Seleccionar modelos según categoría: global, regional o local (Chile).
- 12 Opciones para cambiar escala de colores, intervalo y rango de selección.
- 13 Genera un mapa de contorno o un área de sombreado para visualizar los resultados sobre el mapa.

- Las **‘Variables disponibles’** son: nubosidad, humedad, escorrentía, precipitación, presión, radiación, temperatura y viento. El detalle está en la sección III.C: ‘Tabla de variables consideradas en la plataforma’.
- El **‘Período del año’** corresponde al período que se desea evaluar: puede ser un año completo (promedio anual); un período semestral verano-invierno o trimestral DEF (diciembre-enero-febrero), MAM (marzo-abril-mayo), JJA (junio-julio-agosto), o SON (septiembre-octubre-noviembre). También se puede seleccionar solo un mes del año.
- Los **‘Escenarios’** considerados son: evaluación, histórico, RCP2.6 y RCP8.5. El detalle está en la sección III.A: ‘Tipos de escenarios y períodos’.
- Los **‘Períodos de tiempo’** son: Presente (1985-2005), Futuro Cercano (2020-2034), Futuro Intermedio (2035-2049) y Futuro Lejano (2050-2064). El detalle está en la sección III.A: ‘Tipos de escenarios y períodos’.
- El **‘Intervalo’** indica si se van a observar los datos mensuales o anuales. Por defecto, la plataforma selecciona el intervalo anual, pues se visualiza mejor en los gráficos. Para ver detalles de datos mensuales, se recomienda hacer zoom sobre el período de interés.
- La plataforma cuenta con ~50 modelos globales, ~10 modelos regionales, 2 modelos con dominio Chile continental y un producto grillado (también para Chile continental) basado en observaciones. Los **modelos** se pueden seleccionar en la opción ‘Preseleccionar modelos’, o en el área ‘Modelos’ del panel de configuración. Los tipos de simulaciones disponibles se describen en la sección III ‘Simulaciones y productos en la plataforma’. El listado de las simulaciones disponibles y algunos detalles técnicos se encuentran en la sección III.D: ‘Tabla de simulaciones regionales y productos de la plataforma’ y la sección III.E: ‘Tabla de simulaciones globales e instituciones’.
- Las 7 **macrozonas** consideradas para el territorio nacional son: Altiplano, Norte Grande, Norte Chico, Chile Central, Zona Sur, Patagonia y Magallanes. La definición se encuentra en la sección III.B: ‘Macrozonas definidas’.
- En la configuración se puede elegir **normalizar** las variables, tanto para los mapas como para los gráficos resultantes. La **normalización** permite ajustar los valores de las simulaciones que provienen de los distintos modelos respecto a un período de referencia común (1985-2005). Esto sirve para observar las tendencias de cada variable en el tiempo, en lugar de mirar su valor absoluto para cada escenario. Por defecto, los datos se encuentran normalizados con respecto su promedio, sin modelos de referencia. Las **Normalizaciones** que se pueden aplicar se describen en la sección IV: ‘Glosario de conceptos’ [Normalización de datos de la Plataforma](#).
- En **‘Exportar mapa’** se puede exportar un mapa a formatos estándar [GeoJSON](#) o [GeoTIFF](#).

B. Componente inferior: Tablas y gráficos

En la parte inferior se despliega una tabla resumen y una serie de gráficos para el punto, macrozona o zona definida en el panel del mapa.



Figura 2: Se describen las partes del área de tablas y gráficos de la plataforma de visualización.

- 1 Tabla de datos para la variable sobre la región o punto seleccionado en el mapa.
- 2 Despliega un gráfico de tiempo para los distintos escenarios.
- 3 Diagrama para los distintos modelos dando a conocer la variabilidad climática de la zona geográfica para los distintos períodos.
- 4 Promedio mensual por escenario para distintos períodos obteniendo la variabilidad de cada ciclo.
- 5 Entrega información porcentual de la frecuen-

cia obtenida de un período para distintos escenarios.

- 6 Porcentaje de años donde la variable seleccionada se encuentra en el valor promedio mostrado.
- 7 Oculta o despliega el mapa.
- 8 Exportar la tabla "Resumen" en distintos formatos.
- 9 Exportar los gráficos en la plataforma a distintos formatos.

- La tabla **‘Resumen’** entrega los valores para la variable y ubicación seleccionada (latitud y longitud del punto, o bien la región o macrozona), por modelo, tipo de simulación (global, regional, local) y escenarios por período. Sobre cada columna de la tabla se entrega el promedio de los datos ± 2 veces el error estándar, para el escenario y período correspondiente.
- El gráfico **‘Proyección’** muestra un gráfico sobre el eje de tiempo para los distintos escenarios de la variable seleccionada, para los distintos períodos: presente, futuro cercano, futuro intermedio y futuro lejano.
- El gráfico **‘Diagrama de caja’** entrega un diagrama de caja para los distintos modelos seleccionados, dando a conocer la variabilidad climática de la zona geográfica seleccionada para los distintos períodos: presente, futuro cercano, futuro intermedio y futuro lejano.
- El gráfico **‘Ciclo estacional’** muestra un promedio mensual por escenario para los distintos períodos de la variable seleccionada obteniendo así la variabilidad de cada ciclo.
- El gráfico **‘Histograma’** entrega información porcentual de la frecuencia obtenida para la variable seleccionada en un cierto período para los distintos escenarios.
- El gráfico **‘Probabilidad de excedencia’** corresponde al porcentaje de años donde la variable seleccionada se encuentra en el valor promedio mostrado sobre el eje horizontal, esto para cada escenario y período.
- Actualmente existe la opción de **exportar los gráficos** a formato png, jpg, pdf y svg. La tabla se puede exportar a formato csv y xlsx.

C. Comparación de simulaciones regionales con observaciones

Una aplicación de especial interés de la plataforma de visualización es comparar el período histórico de las simulaciones climáticas con **productos de datos grillados basados en observaciones**, para así evaluar las simulaciones y los resultados de los escenarios a futuro.

Para temperatura y precipitación se puede utilizar el producto basado en observaciones CR2MET. En tanto que para las variables que registran menos observaciones existe la simulación [RegCM4@ECMWF-ERAINT](#) de evaluación, que se encuentra **forzada** por datos de **reanálisis atmosférico ERA-Interim**.

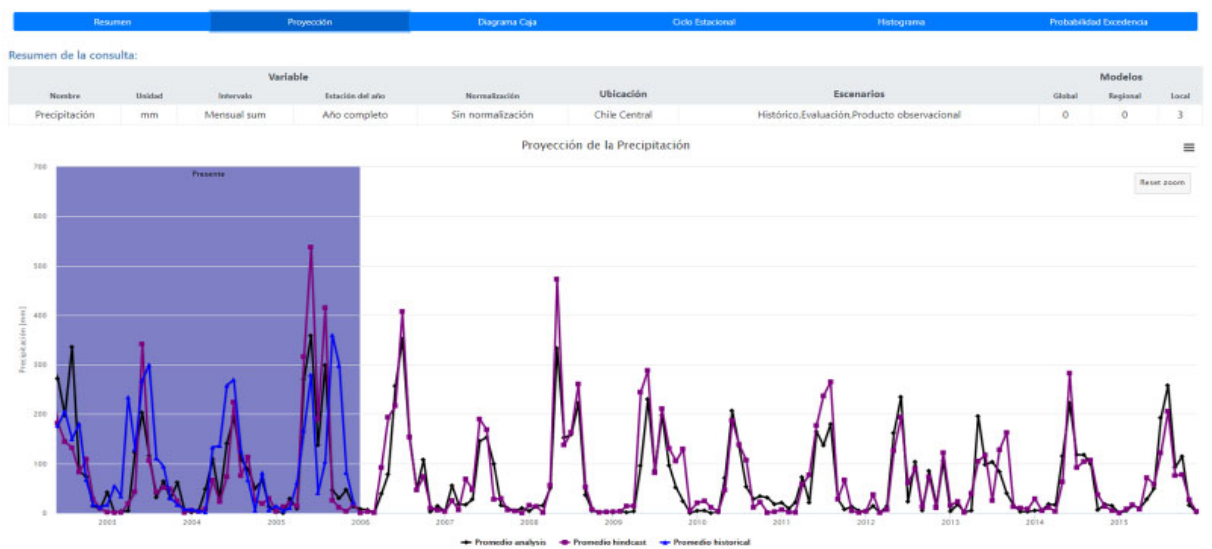


Figura 3: Ejemplo de comparación de datos en la plataforma de visualización para precipitación sin normalización. Se observa el producto grillado CR2MET en negro, la simulación RegCM4@ERA-Interim de evaluación en morado y la simulación RegCM4 histórico en azul.

D. Plataforma de descarga

Los datos originales presentados en la plataforma de visualización pueden descargarse desde el sitio de la plataforma de descarga (<http://simulaciones.cr2.cl/descargas>). Para estos datos destacamos:

- Existen resultados de gran tamaño para descarga de hasta varios GigaBytes por archivo.
- Se utiliza el almacenamiento directo como archivos de sistemas convenientemente indexados y almacenados bajo una estructura de directorios ordenada.
- Los datos almacenados son estáticos y no se modifican una vez generados. Nuevos datos o actualizaciones de los productos grillados basados en observaciones se pueden agregar al sistema de archivos.
- Todos los datos se encuentran en [NetCDF](#). Este formato es el estándar para simulaciones climáticas y hay una serie de programas que permiten su uso e interpretación.

Con respecto al diseño y objetivo de la plataforma de descarga:

- Permite seleccionar dominio (global, regional, local), experimento y escenario, resolución temporal (diaria o mensual) y variable, desplegando todos los archivos [NetCDF](#) que calzan con la selección.
- Los archivos desplegados se pueden filtrar por texto y seleccionar para recibir un enlace de descarga por correo electrónico.

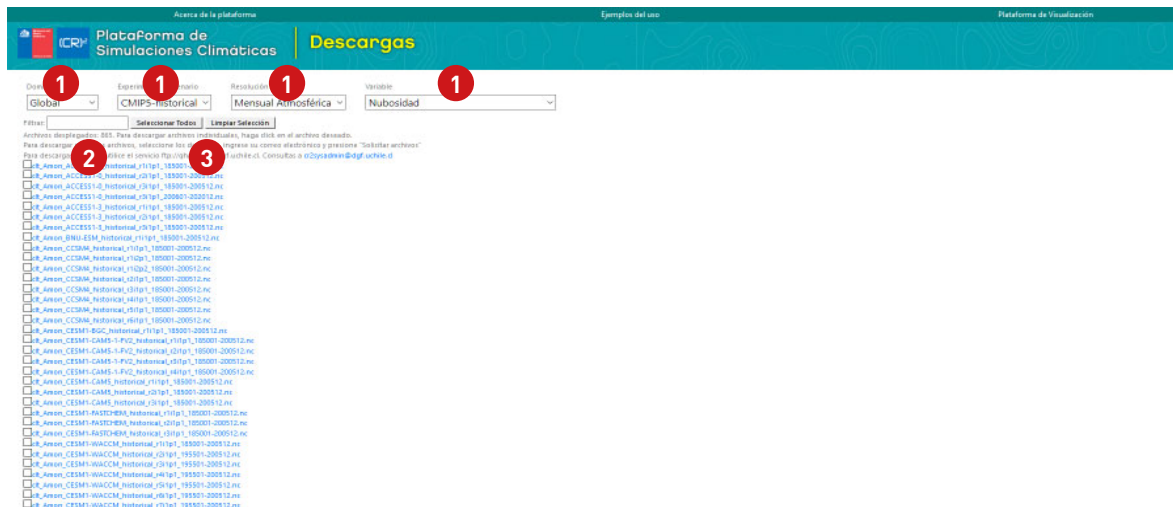


Figura 4: Se muestran las partes de la plataforma de descarga de las simulaciones.

- 1 Seleccionar Dominio, Experimento/Escenario, Resolución temporal y Variable
- 2 Filtra los archivos desplegados por texto ingresado.
- 3 Permite seleccionar todos los archivos para recibir por correo un enlace desde donde descargar los datos.

Otra forma de acceder a los datos asociados a la plataforma de descarga e información complementaria, como datos topográficos, datos satelitales, reanálisis y otros productos basados en observaciones, es mediante el uso de un cliente ftp que permita su descarga desde el sitio ftp del (CR)² [ft p://qhawayra2.dgf.uchile.cl/](http://qhawayra2.dgf.uchile.cl/)

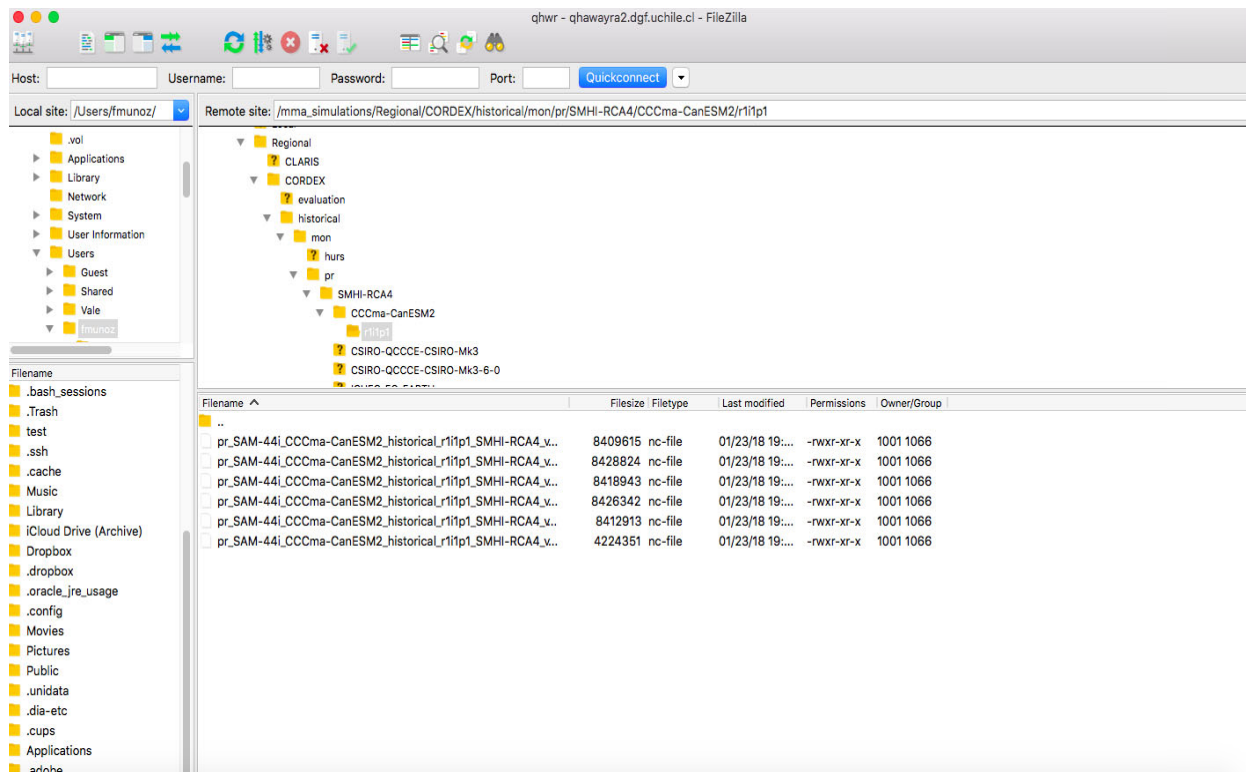


Figura 5: Acceso a los datos de simulaciones por ftp. En este ejemplo se utilizó el programa Filezilla

III. SIMULACIONES Y PRODUCTOS EN LA PLATAFORMA

En esta sección se describen las simulaciones y resultados disponibles en la plataforma (<http://simulaciones.cr2.cl>). Se consideran tres conjuntos de simulaciones climáticas según su contexto de realización y resolución espacial: globales, para América del Sur y para Chile continental (Figura 6). Nos referimos a ellas como simulaciones climáticas globales, regionales y locales, respectivamente.

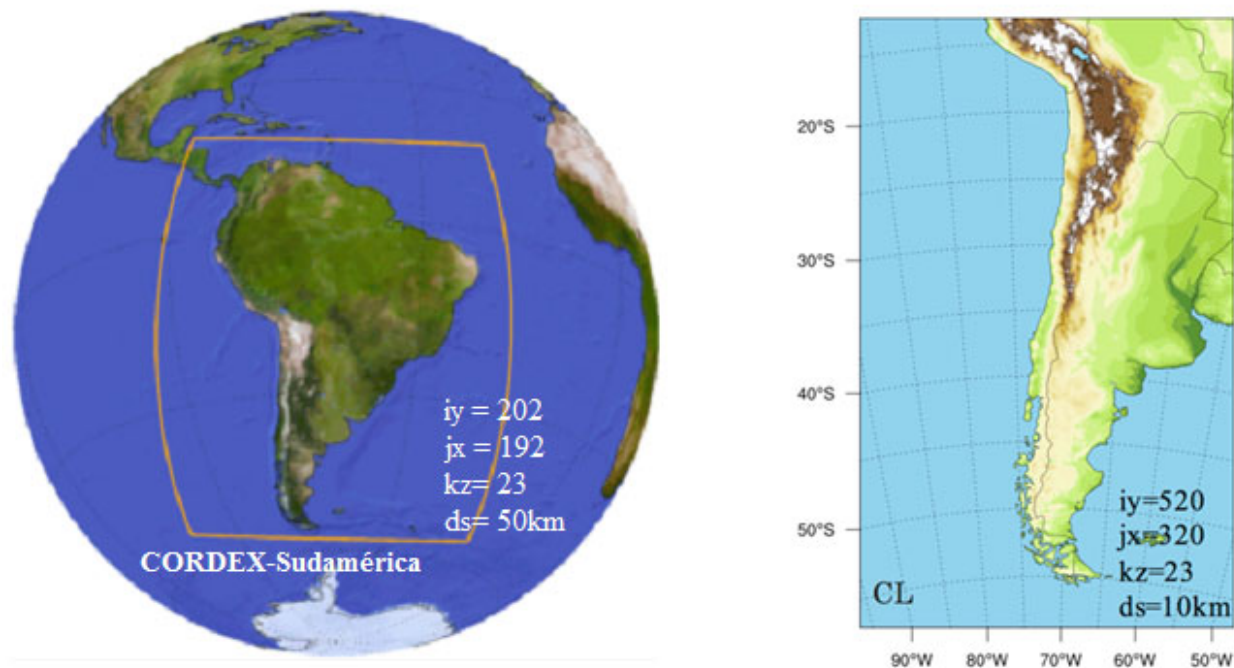


Figura 6: En la plataforma de visualización se consideran dos dominios: CORDEX-Sudamérica, y CL (Chile). En la figura se indica la cantidad de grillas en el eje de las latitudes (iy), eje longitudes (jx) y los niveles de presión (kz). Esta configuración da lugar a la resolución espacial indicada por ds: 50km en el caso de CORDEX, 10km en el caso del dominio CL. Las simulaciones globales se encuentran recortadas al dominio CORDEX-Sudamérica

Simulaciones climáticas globales (GCM, por sus siglas en inglés)

Tienen aproximadamente 100 a 200 km de resolución. Son simulaciones hechas con múltiples modelos climáticos acoplados para el ejercicio internacional de intercomparación de modelos CMIP5 en el marco de la preparación del quinto reporte del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) (Stocker et al., 2013).

Este ejercicio fue organizado por el Programa Mundial de Investigación Climática (WRC) e involucró a alrededor de 30 grupos de investigación que condujeron simulaciones climáticas globales para: 1) evaluar los mecanismos responsables de las diferencias entre modelos asociadas a la comprensión insuficiente de procesos como, por ejemplo, la retroalimentación del ciclo del carbono y de las nubes; 2) examinar la predictibilidad climática y explorar la habilidad de los modelos de realizar proyecciones a escalas de tiempo decadal; 3) determinar por qué los modelos producen rangos de respuestas frente forzamientos similares.

Una descripción de estas simulaciones se encuentra en Taylor et al. (2012), mientras que un listado de los nombres de las simulaciones y las instituciones asociadas está disponible en la sección III.E: ‘Tabla de simu-

laciones globales e instituciones'. Actualmente, se encuentra en marcha un nuevo ejercicio de modelación climática global (Eyring et al., 2016) en el marco del sexto informe de evaluación del IPCC (AR6, por sus siglas en inglés).

En la plataforma de visualización las simulaciones globales se encuentran recortadas a un dominio equivalente a Sudamérica, como se muestra en la Figura 6. Para utilizar el dominio global, referirse a la plataforma de descarga.

Simulaciones climáticas regionales (RCM, por sus siglas en inglés)

La mayoría las simulaciones existentes para Sudamérica tienen aproximadamente 48 km de resolución y provienen de los proyectos CORDEX y CLARIS (Sánchez et al., 2015). Hay simulaciones forzadas tanto por simulaciones globales de CMIP5, como por por reanálisis atmosférico ERA-Interim. La plataforma de visualización no considera el antiguo escenario de emisiones A1B utilizado por las simulaciones CLARIS, por lo que estas últimas solo estarán disponibles desde la plataforma de descarga.

El objetivo de las simulaciones climáticas regionales es evaluar las condiciones más probables del sistema climático regional en un escenario futuro caracterizado por distintos efectos forzantes, con mejor resolución que las simulaciones globales, y con una estandarización estricta en los dominios y formatos de los resultados. Esto permite comparar y utilizar distintas simulaciones realizadas en diversas instituciones para un mismo dominio.

Simulaciones climáticas locales

Tienen aproximadamente entre 10 km y 25 km de resolución. En rigor son simulaciones regionales, pero con un dominio menor al definido por CORDEX, en este caso correspondiente al territorio chileno. Contamos con simulaciones que usaron el modelo regional PRECIS, y el modelo global ECHAM5 como forzante, realizadas por el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile (DGF), a 25 km de resolución. Éstas no se despliegan en la plataforma de visualización por haber sido generadas con el antiguo escenario de emisiones A1B, pero se encuentran disponibles en la plataforma de descarga.

Se cuenta con simulaciones generadas con el modelo regional WRF v3.4.1 y el modelo global MIROC5 como forzante realizadas por la Dirección Meteorológica de Chile (DMC), a 25 km de resolución, actualmente en etapa de evaluación. Por último, se utilizarán simulaciones realizadas con el modelo regional RegCM4 y el modelo global MPI-ESM-MR como forzante, a 44 km y 10 km de resolución, ejecutadas por el (CR)² en el contexto del proyecto “Simulaciones climáticas regionales y marco de evaluación de la vulnerabilidad” solicitado por el Ministerio de Medio Ambiente (MMA), usando infraestructura del Laboratorio Nacional de Computación de Alto Rendimiento de la Universidad de Chile (NLHPC, por sus siglas en inglés).

- **Configuración experimental y simulaciones RegCM4:**

RegCM4 es un modelo climático regional de la atmósfera y la superficie continental de área limitada y alta resolución espacial que puede ser localizado en cualquier parte del globo. Este modelo re-suelve una versión de hidrostática de las ecuaciones atmosféricas que se basa en el modelo MM5-NCAR. El modelo RegCM4 describe los procesos de interacción suelo-planta-atmósfera utilizando un submodelo de la superficie terrestre llamado BATS (Dickinson et al., 1993). Este submodelo considera la presencia de vegetación y la interacción del suelo con los

cambios de tiempo, energía y vapor de agua entre la atmósfera y la superficie. La configuración física del modelo [RegCM4](#) es la siguiente:

Convección de cúmulos	Grell (Grell et al., 1994)
Esquema clausura de cúmulo Grell	Fritsch & Chappel (Fritsch and Chappell, 1980)
Superficie terrestre	BATS (Dickinson et al., 1993)
Capa límite planetaria	Holtslag (Holtslag et al., 1990)
Esquema de radiación	NCAR-CCSM3 (Kiehl et al., 1996)

Tabla 1: Configuración física del modelo RegCM4 usada en las simulaciones.

Las condiciones de borde laterales de las simulaciones para el período ‘Evaluación’ (1979-2015) son el [reanálisis atmosférico ERA-Interim](#), mientras que el [modelo climático](#) global [MPI-ESM-MR](#) actúa como [forzante](#) para el período histórico (1979-2005). También se generaron proyecciones usando [escenarios de emisiones RCP2.6](#) y [RCP8.5](#) con el mismo modelo [MPI-ESM-MR](#) como [forzante](#) para el período 2006-2050. (Bozkurt et al., en preparación).

Simulaciones con estas mismas configuraciones para el período 2050-2100 están en desarrollo y serán incorporadas en las plataformas de visualización y de descarga.

CR2MET

Es un [producto grillado basado en observaciones](#) y [reanálisis atmosférico](#). Contiene información meteorológica diaria (precipitación, temperaturas medias y extremas) en una grilla rectangular de 0.05 ° latitud-longitud (aproximadamente 5 km) para el territorio de Chile continental y el período 1979-2016.

La técnica utilizada para la construcción del producto de precipitación se basa en una regionalización estadística de datos del [reanálisis atmosférico ERA-Interim](#) (datos disponibles en grillas de aproximadamente 70 km). El método utiliza modelos estadísticos como funciones de transferencia para traducir precipitación, flujos de humedad y otras variables de gran escala de [ERA-Interim](#), en precipitación regional. Los modelos estadísticos consideran la topografía local y se definen mediante un conjunto de parámetros calibrados con observaciones locales de precipitación.

Los productos de temperatura y temperaturas extremas (máximas y mínimas diarias) se construyeron con un enfoque distinto: además de la información local (topografía y observaciones de temperatura) y de variables de gran escala ([ERA-Interim](#)), se consideraron datos de temperatura superficial estimada mediante imágenes satelitales ([MODIS LST](#)).

Reanálisis de referencia

Para este proyecto se utilizan [reanálisis atmosféricos](#) globales [ERA-Interim](#) de aproximadamente 80 km de resolución -desde 1979 a la fecha- generados por el Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Plazo Medio ([ECMWF](#)), como [forzante o condición de borde](#) para simulaciones regionales y locales, y como entrada para el [producto grillado basado en observaciones](#) CR2MET. Los [reanálisis atmosféricos](#) no se encuentran disponibles en la plataforma de visualización ni en la de descarga.

A. Tipos de escenarios y períodos

Los tipos de escenario que se consideran en la plataforma de visualización son:

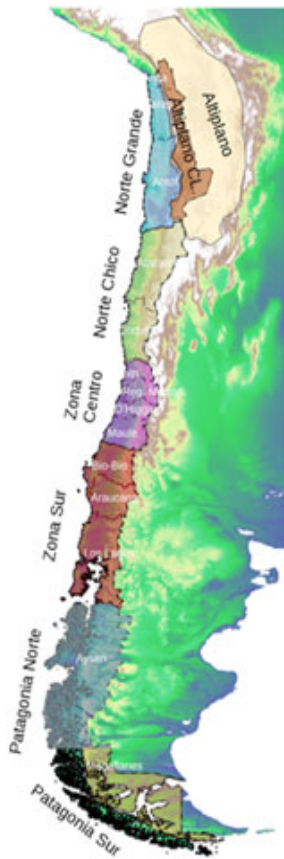
- **Evaluación** (*Evaluation*): simulaciones con modelos regionales para un período estándar (usualmente 1979-2015), forzadas con **reanálisis atmosférico ERA-Interim** como **condición de borde**. El propósito de estas simulaciones es evaluar el desempeño del modelo regional con condiciones de borde “perfectas”.
- **Histórico** (*Historical*): simulaciones climáticas para un período estándar (usualmente 1850-2005), **forzadas** por condiciones de borde observadas tales como gases de efecto invernadero, erupciones volcánicas y radiación solar. Estos experimentos incluyen modelos globales (*historical*) o regionales forzados con condiciones de borde a partir de un modelo global histórico.
- **Proyección RCP2.6:** (**RCP2.6**) Simulaciones forzadas por el escenario de emisión **RCP2.6** para un período estándar (usualmente 2006-2100). Este tipo de simulaciones incluyen modelos globales (**RCP2.6**) o regionales forzados con condiciones de borde a partir de un modelo global **RCP2.6**. Ver ‘**Trayectorias de concentración representativas RCP2.6**’.
- **Proyección RCP8.5:** (**RCP8.5**) Simulaciones forzadas por el escenario de emisión **RCP8.5** para un período estándar (usualmente 2006-2100). Estos experimentos incluyen modelos globales (**RCP8.5**) o regionales forzados con condiciones de borde a partir de un modelo global **RCP8.5**. Ver ‘**Trayectorias de concentración representativas RCP8.5**’.

En la plataforma de visualización se consideran los siguientes períodos:

- **Presente:** se considera el período 1985-2004 como el ‘Presente’. Es válido para los escenarios de evaluación, históricos, y para el **producto grillado basado en observaciones** CR2MET. Éste se utiliza como referencia para la diferencia entre períodos futuros y el actual, y para la **normalización de series de tiempo de la plataforma**.
- **Futuro cercano:** corresponde al rango entre 2020-2034. Solo para para los escenarios futuros de proyección **RCP2.6** y **RCP8.5**.
- **Futuro intermedio:** corresponde al rango entre 2035-2049. Solo para para los escenarios futuros de proyección **RCP2.6** y **RCP8.5**.
- **Futuro lejano:** corresponde al rango entre 2050-2064. Solo para para los escenarios futuros de proyección **RCP2.6** y **RCP8.5**.

B. Macrozonas definidas

El análisis y gráficos de la plataforma de visualización se realizarán en base a macrozonas. Para la definición de las macrozonas de la plataforma nos hemos basado en la división administrativa de Chile del Atlas del Agua 2016 de la Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas.



- ◇ Zona 1: Altiplano (17-24 °S)
- ◇ Zona 2: Norte Grande (19-26 °S)
- ◇ Zona 3: Norte Chico (26-32 °S)
- ◇ Zona 4: Chile central (32-36.5 °S)
- ◇ Zona 5: Zona sur (36.5-44 °S)
- ◇ Zona 6: Patagonia (44-51 °S)
- ◇ Zona 7: Magallanes (51-55 °S)

Figura 7: Macrozonas definidas para Chile

C. Tabla de variables consideradas en la plataforma

Las variables climáticas que se describen a continuación fueron definidas en conjunto con la mesa de incumbentes reunida para el proyecto (CR)² “Simulaciones Climáticas regionales y marco de evaluación de la vulnerabilidad” solicitado por el Ministerio de Medio Ambiente (MMA).

Nomenclatura	Nombre	Unidades	Ejemplos de aplicaciones
clt	Nubosidad (Cloud area fraction)	%	<ul style="list-style-type: none"> Tendencia, cobertura, importante en productividad primaria del mar, desarrollo de microalgas. Análisis de servicios de transporte zonas extremas. Sirve para estimar radiación solar superficial, tasas de enfriamiento nocturno, evapotranspiración.
evspsbl	Evapotranspiración (Evapotranspiration)	Kg/ m ² s	<ul style="list-style-type: none"> Para balances hidrológicos de embalses Estimación del consumo agrícola y forestal. A escala urbana mide cobertura vegetal Análisis agrometeorológico
hurs	Humedad Relativa (Near-Surface Relative Humidity)	%	<ul style="list-style-type: none"> Se utiliza para estimar evapotranspiración. Se utiliza en salud y ecosistemas.
huss	Humedad Específica (Near-Surface Specific humidity)	%	<ul style="list-style-type: none"> Se utiliza para estimar el riesgo de incendios.
mrros	Escorrentía (Surface Runoff)	Kg/ m ² s	<ul style="list-style-type: none"> Determinar disponibilidad y variabilidad estacional de agua. Estimaciones de oferta y disponibilidad de agua, evaluación de eventos extremos. Disponibilidad de agua para los ecosistemas.
pr	Precipitación (Precipitation)	Kg/ m ² s	<ul style="list-style-type: none"> Estimaciones de oferta, disponibilidad y variabilidad del recurso hídrico para distintos sectores productivos. Evaluación de eventos extremos y desastres hidrometeorológicos. Análisis de eventos de turbiedad. Análisis de las variaciones o tendencias de precipitaciones en las desembocaduras de ríos donde ocurren procesos biológicos de interés para la pesca.
prc	Precipitación convectiva (Convective Precipitation)	Kg/ m ² s	<ul style="list-style-type: none"> Generación de indicadores y evaluación de co-beneficios. Análisis de servicios de transporte zonas aisladas. Análisis del diseño de obras de infraestructura y viviendas. Análisis de posibles impactos a escala ciudad.
ps	Presión de aire superficial (Surface Air Pressure)	Pa	<ul style="list-style-type: none"> Junto a otras forzantes, como el viento, determina condiciones locales climáticas que tienen importancia en la producción primaria del océano (por ejemplos: zonas de surgencia, florecimiento de algas nocivas).
psl	Presión a nivel del mar (Sea Level Pressure)	Pa	<ul style="list-style-type: none"> Diseño de edificación pública. Tendencia y evaluación de circulación atmosférica.
rlds	Radiación superficial incidente de onda larga (Surface Downwelling Longwave Radiation)	W/m ²	<ul style="list-style-type: none"> Análisis de fotosíntesis fitoplancton (radiación solar en superficie del mar). Análisis de crecimiento de la vegetación. Se utiliza para estimar evapotranspiración y cobertura nival. Se usa en salud y ecosistemas. Diseño de proyectos de energías renovables no convencionales. Balance de energía superficial. Determina parámetros de ventilación en una cuenca.
rlus	Radiación superficial emergente de onda larga (Surface Upwelling Longwave Radiation)	W/m ²	
rlut	Radiación de onda larga emergente en el tope de la atmósfera (Top of the Atmosphere Outgoing Longwave Radiation)	W/m ²	
rsds	Radiación superficial incidente de onda corta (Surface Downwelling Shortwave Radiation)	W/m ²	
rsus	Radiación superficial emergente de onda corta (Surface Upwelling Shortwave Radiation)	W/m ²	

tas	Temperatura a 2 m (Near-Surface Air Temperature)	K	<ul style="list-style-type: none"> Se relaciona con el consumo de agua potable. Salud pública. Análisis de distribución y ciclo de distintas especies de peces.
tasmax	Temperatura máxima diaria (Daily Maximum Near-Surface Air Temperature)	K	<ul style="list-style-type: none"> Se utiliza para estimar evapotranspiración y cobertura nival. Permite estimar isoterma cero, la que a su vez se utiliza para definir áreas de drenaje de la cuenca durante las tormentas. Diseño de obras de infraestructura
tasmin	Temperatura mínima diaria (Daily Minimum Near-Surface Air Temperature)	K	<ul style="list-style-type: none"> Planificación para emergencia (isoterma cero) Análisis de olas de calor, islas de calor urbano, efectos del espacio construido. Análisis de heladas. Importante en el ciclo y distribución de las especies.
ts	Temperatura superficial del suelo (Surface Temperature)	K	<ul style="list-style-type: none"> Probabilidad de establecimiento de plagas. Incide en el ciclo de crecimiento de mosca de la fruta. Importante en el ciclo de la vegetación y las especies terrestres y su distribución.
tos	Temperatura superficial del mar (Sea Surface Temperature)	K	<ul style="list-style-type: none"> Importante en el ciclo y distribución de las especies marinas.
uas	Viento hacia el este de la superficie (Eastward Near-Surface Wind)	m/s	<ul style="list-style-type: none"> Intensidad, frecuencia, importante en las corrientes marinas. La velocidad del viento es una variable utilizada para estimar evapotranspiración. Análisis de servicios de transporte. Diseño de infraestructura costera, edificación pública Incide en la ventilación urbana. Puede contribuir en planificación urbana.
vas	Viento hacia el norte de la superficie (Northward Near-Surface Wind)	m/s	

D. Tabla de simulaciones regionales y productos de la plataforma

Se detallan las características principales de las simulaciones locales, regionales y productos disponibles en la plataforma de visualización y de descarga.

Simulaciones locales	PRECIS-ECHAM5	WRF3.4.1-MIROC5	RegCM4-MPI-ESM-MR	CR2MET
Experimento	A1B	histórico rcp 2.6 rcp 8.5	evaluación histórico rcp 2.6 rcp 8.5	cr2met
Intervalo de datos	diaria, mensual	diaria, mensual	diaria, mensual	diaria, mensual
Variables	clt, hurs, mrros, pr, psl, rsds, tas, tasmax, tasmin, uas, vas	pr, tas, tasmax, tasmin	clt, evspsbl, hurs, huss, mrros, pr, prc, ps, psl, rlds, rlus, rlut, rsds, rsus, tas, tasmin, tasmax, uas, vas	pr, tas, tasmax, tasmin
Institución-modelo principal	DGF-PRECIS	DMC-WRF	ICTP-RegCM4	CR2-CR2MET
Modelo global forzante	ECHAM5	MIROC5	ERA-Interim MPI-ESM-MR	Basado en: ERA-Interim + MODIS + observacionales
Ensamblés	r1i1p1	r1i1p1	r1i1p1	
Período	A1B (1970 - 2080)	histórico (1970-1999) rcp2.6 (2030-2057) rcp8.5 (2030-2057)	evaluación (1979-2015) histórico (1975-2005) rcp 2.6 (2006-2050) rcp 8.5 (2006-2050)	cr2met (1979-2016)
Rango Longitud (°)	- 85 a - 62	- 82 a - 60	- 97 a - 47.05	-76.975 a -66.025

Rango Latitud (°)	- 57 a - 18	-58 a - 15	- 59 a -12.02	- 56.975 a -17.025
Resolución espacial	~ 25 km	~ 25 km	~ 10 km	~ 5 km

Simulaciones regionales	CLARIS	CORDEX
Experimento	evaluación A1B	evaluación histórico rcp 2.6 rcp 8.5
Intervalo de datos	diaria, mensual	diaria, mensual
Variables	clt, hurs, huss, mrros, pr, prc, psl, rsds, tas, tasmax, tasmin, uas, vas	clt, hurs, mrros, prc, psl, rlus, rsds, tas tasmin, vas, evspsbl, huss, pr, ps, rlds, rlut, rsus, tasmax, uas
Institución-modelo principal	CIMA-MM5 INPE-Eta IPSL-LMDZ MPI-REMO SMHI-RCA4 UCL-PROMES USP-RegCM3	SMHI-RCA4 ICTP-RegCM4
Modelo global forzante	ERA-Interim ECHAM5 HadCM3-Q0 IPSLA1B	ERA-Interim CCCma-CanESM2 CSIRO-QCCCE-CSIRO-Mk3 ICHEC-EC-EARTH IPSL-IPSL-CM5A-MR MIROC-MIROC5 MOHC-HadGEM2-ES MPI-M-MPI-ESM-LR MPI-M-MPI-ESM-MR NCC-NorESM1-M NOAA-GFDL-GFDL-ESM2M
Ensamblajes	r1i1p1, r2i1p1, r3i1p1	r1i1p1 - r12i1p1
Período	A1B (1961-2100) ERA-Interim (1990-2008)	evaluación (1980-2100) histórico (1951-2005) rcp 2.6 (2006-2100) rcp 8.5 (2006-2100)
Rango Longitud (°)	- 82.25 a - 34.25	- 106.25 a - 16.25
Rango Latitud (°)	- 13.25 a - 56.75	- 18.75 a - 58.25
Resolución espacial	~ 50 km	~ 50 km

E. Tabla de simulaciones globales e instituciones

Se detallan las instituciones que participaron en el proyecto CMIP5. De estos modelos se han descargado simulaciones para los períodos históricos y **escenarios RCP2.6 y RCP8.5**.

Modelo CMIP5	Institución/descripción
ACCESS1-0 ACCESS1-3	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO), Australia and Bureau of Meteorology (BOM), Australia.
bcc-csm1-1 bcc-csm1-1-m	Beijing Climate Center, China Meteorological Administration, China.
BNU-ESM	Beijing Normal University Earth System Model, China.
CanCM4 CanESM2	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis, Canadá.
CCSM4	National Center for Atmospheric Research, Estados Unidos.
CESM1-BGC CESM1-CAM5 CESM1-CAM5-1-FV2 CESM1-FASTCHEM CESM1-WACCM	National Science Foundation, Department of Energy, NCAR, Estados Unidos.
CMCC-CESM CMCC-CM CMCC-CMS	Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici, Italia.
CNRM-CM5 CNRM-CM5-2	Centre National de Recherches Meteorologiques, Meteo-France, Francia.
CSIRO-Mk3-6-0 CSIRO-Mk3L-1-2	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO), Australia.
EC-EARTH	Consortium of European Research Institutions and Researchers, Based on State-of-the-Art Models for the Atmosphere, the Ocean, Sea Ice and the Biosphere.
FGOALS-g2 FGOALS-s2	The Flexible Global Ocean-Atmosphere-Land System model, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, China.
FIO-ESM	The First Institute of Oceanography Earth System Model, SOA, China.
GFDL-CM2p1 GFDL-CM3 GFDL-ESM2G GFDL-ESM2M	NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, Estados Unidos.
GISS-E2-H GISS-E2-H-CC GISS-E2-R GISS-E2-R-CC	The Goddard Institute for Space Studies, NASA, Estados Unidos.
HadCM3 HadGEM2-AO HadGEM2-CC HadGEM2-ES	Hadley Centre, Reino Unido.
INM-CM4	Institute for Numerical Mathematics, Rusia.
IPSL-CM5A-LR IPSL-CM5A-MR IPSL-CM5B-LR	Institut Pierre-Simon Laplace, Francia.
MIROC-ESM MIROC-ESM-CHEM MIROC4h MIROC5	Atmosphere and Ocean Research Institute (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Japón.
MPI-ESM-LR MPI-ESM-MR MPI-ESM-P	Max Planck Institute for Meteorology, Alemania.
MRI-CGCM3 MRI-ESM1	Meteorological Research Institute, Japón.
NorESM1-ME NorESM1-M	Norwegian Climate Centre, Noruega.

IV. GLOSARIO DE CONCEPTOS

Se incluye un glosario de conceptos relevantes. La principal fuente de definiciones proviene del documento IPCC, 2014: Anexo II: Glosario. (Mach et al., 2014).

Cambio climático (*Climate change*)

Variación del estado del clima identificable (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales o a **forzamientos externos**, tales como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas o cambios antropógenos persistentes de la composición de la atmósfera o del uso del suelo. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), define el cambio climático como “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la **variabilidad natural** del clima observada durante períodos de tiempo comparables”. La CMNUCC diferencia, pues, entre el cambio climático atribuible a las actividades humanas que alteran la composición atmosférica y la **variabilidad del clima** atribuible a causas naturales. IPCC, 2014: Anexo II: Glosario.

Ensamble (*Ensemble*)

Conjunto de simulaciones de modelos que caracterizan una predicción climática o una **proyección** climática. Las diferencias en las condiciones iniciales y la formulación de los modelos dan lugar a diferentes evoluciones de los sistemas de los modelos y pueden aportar información sobre la **incertidumbre** asociada con el error de los modelos y con el error en las condiciones iniciales en el caso de los pronósticos climáticos y sobre la **incertidumbre** asociada con el error de los modelos y con la **variabilidad del clima** generada internamente en el caso de las **proyecciones climáticas**. IPCC, 2014: Anexo II: Glosario.

Escenario de emisiones (*Emission scenario*)

Representación plausible de la evolución futura de las emisiones de sustancias que podrían ser radiativamente activas (por ejemplo, gases de efecto invernadero y aerosoles), basada en un conjunto coherente de supuestos sobre los factores que las impulsan (por ejemplo, el desarrollo demográfico y socioeconómico, el cambio tecnológico, la energía y el uso del suelo) y las principales relaciones entre ellos. Los escenarios de concentraciones, obtenidos a partir de los escenarios de emisiones, se introducen en un **modelo climático** para obtener **proyecciones climáticas**. IPCC, 2014: Anexo II: Glosario.

Forzamiento externo (*External forcing*)

Agente de forzamiento ajeno al sistema climático que induce un cambio en este. Son forzamientos externos las erupciones volcánicas, las variaciones solares, los cambios antropógenos de la composición de la atmósfera y el cambio de uso del suelo. El forzamiento orbital también constituye un forzamiento externo, puesto que la insolación se modifica con la excentricidad de los parámetros orbitales, la inclinación y la precesión de los equinoccios. IPCC, 2014: Anexo II: Glosario.

Forzamiento radiativo (*Radiative forcing*)

La potencia de los elementos impulsores se cuantifica como forzamiento radiativo en unidades de vatios por metro cuadrado (W/m^2), como figura en anteriores evaluaciones del IPCC. El forzamiento radiativo es el cambio en el flujo de energía causado por un elemento impulsor y se calcula en la tropopausa o en la parte superior de la atmósfera. IPCC, 2014: Anexo II: Glosario.

Forzante o condición de borde (*Forcing conditions or border conditions*)

En el contexto de la modelación climática numérica (con un modelo computacional), las condiciones de borde son un conjunto de condiciones físicas en los bordes físicos del dominio de simulación. Si el mo-

delo es un **modelo climático** regional, las condiciones de borde pueden provenir de otro modelo (un modelo global) o un análisis de observaciones (**reanálisis atmosférico**) y también se puede denominar modelo forzante. En el caso de un modelo global, las condiciones de borde pueden ser las trayectorias de gases de efecto invernadero, aerosoles, o uso de suelo, y el forzante se denomina un **escenario de emisiones**, por ejemplo.

Incertidumbre (Uncertainty)

Estado de conocimiento incompleto que puede deberse a una falta de información o a un desacuerdo con respecto a lo que es conocido o incluso cognoscible. Puede deberse a distintas circunstancias, desde la imprecisión en los datos hasta una definición ambigua de un concepto o término, o una **proyección** incierta del comportamiento humano. Por ello, la incertidumbre puede representarse mediante magnitudes cuantitativas (por ejemplo, una función de densidad de probabilidad), o mediante asertos cualitativos (que reflejen, por ejemplo, una apreciación de un equipo de expertos). IPCC, 2014: Anexo II: Glosario.

Tipos de incertidumbre

- Incertidumbre de emisiones. Se aborda con la construcción de múltiples escenarios igualmente probables.
- Incertidumbre del modelo. Los modelos no representan todos los procesos relevantes de manera perfecta, etc. Se aborda usando **ensambles**.
- Incertidumbre en condiciones iniciales o borde. Se aborda usando múltiples simulaciones.
- **Variabilidad natural**. Se aborda usando múltiples simulaciones con condiciones iniciales algo distintas.

Modelo climático o modelo climático acoplado (Climate model coupled climate model)

Representación numérica del sistema climático basada en las propiedades físicas, químicas y biológicas de sus componentes, en sus interacciones y en sus procesos de retroalimentación, y que recoge todas o algunas de sus propiedades conocidas. El

sistema climático se puede representar mediante modelos de diverso grado de complejidad; en otras palabras, para cada componente o conjunto de componentes es posible identificar un espectro o jerarquía de modelos que difieren en aspectos tales como el número de dimensiones espaciales, el grado en que aparecen representados explícitamente los procesos físicos, químicos o biológicos, o el grado de utilización de parametrizaciones empíricas. Los modelos de circulación general atmósfera-océano acoplados proporcionan la más completa representación del sistema climático actualmente disponible. Se está evolucionando hacia modelos más complejos que incorporan química y biología interactivas. Los modelos climáticos se utilizan como herramienta de investigación para estudiar y simular el clima y para fines operativos, en particular predicciones climáticas mensuales, estacionales e interanuales. IPCC, 2014: Anexo II: Glosario.

Normalización de datos de la Plataforma (Data normalization)

En la Plataforma, la normalización permite ajustar los valores de las simulaciones que provienen de los distintos modelos respecto a un período de referencia común (1985-2005), y sirve para observar las tendencias de cada variable en el tiempo en vez de mirar su valor absoluto para cada escenario. Por defecto, los datos se encuentran normalizados con respecto a su promedio, sin modelos de referencia. La normalización de los datos se puede modificar en la sección Configuración de la Plataforma. Véase también **Normalización de mapas de la Plataforma** y **Normalización de series de tiempo de la Plataforma**.

Normalización de mapas de la Plataforma (Map normalization)

Los mapas de la Plataforma generalmente muestran los valores de la variable seleccionada sin normalizar. Por ejemplo, cuando se selecciona el Tipo de Cálculo PROMEDIO en el mapa, se despliega siempre el promedio de la variable para el

período seleccionado, sin normalización. Cuando se selecciona el Tipo de Cálculo DIFERENCIA, hay dos casos. Si la variable ha sido normalizado con el método “FACTOR”, el valor mostrado en el mapa es el cambio relativo, definido como: $100 \cdot (\text{FUTURO} / \text{PRESENTE} - 1)$. En los otros casos, el mapa despliega la diferencia simple FUTURO – PRESENTE. Véase también [Normalización de series de tiempo de la Plataforma](#).

Normalización de series de tiempo de la Plataforma (Time series normalization)

En el caso de las series de tiempo, el proceso de normalización consiste en que las series tengan la misma media en el período de referencia que llamamos PRESENTE (1985-2005). En la Tabla 2 se define la normalización por FACTOR y por SESGO, y su aplicación depende de la variable seleccionada. Las variables a las que se aplica la normalización por FACTOR son: precipitación, radiación, escorrentía, presión atmosférica superficial, humedad específica. Las variables a las que se aplica SESGO son: temperatura, velocidad del viento, presión a nivel del mar, humedad relativa. En el caso de normalización por FACTOR sin modelo de referencia, las unidades cambian a porcentaje, y en los otros casos se mantienen las unidades originales.

En la Tabla 2, V es la serie de tiempo a ser normalizada. El prom_p de V corresponde al promedio de todos los datos de los modelos seleccionados por el usuario en la plataforma de visualización, sobre el período de 1985-2005. V_{ref} en tanto corresponde a una selección de datos, que se puede usar de referencia para la normalización.

Tipo de Normalización	Con o Sin Modelo de Referencia	Fórmula de $V_{\text{normalizada}}$
FACTOR: Normalización aplicando un factor a variables cuya distribución está acotada.	SIN modelo referencia	$= \frac{V}{\text{prom}_p(V)} \cdot 100$
	CON modelo referencia	$= \frac{V \cdot \text{prom}_p(V_{\text{ref}})}{\text{prom}_p(V)}$
SESGO: Normalización aplicando un sesgo a variables cuya distribución es similar a una curva gaussiana.	SIN modelo referencia	$= V - \text{prom}_p(V)$
	CON modelo referencia	$= V - \text{prom}_p(V) + \text{prom}_p(V_{\text{ref}})$

Tabla 2: Normalizaciones que se aplican a los datos seleccionados.

En la plataforma existe como modelo de referencia el producto CR2MET, también una simulación de evaluación realizada por el (CR)2 forzada por [ERA-Interim](#) en la plataforma RegCM4@ECMWF-ERAINT. Por último, existe la opción de utilizar como modelo de referencia el promedio de todos los modelos existentes sobre el período 1985-2005. El prom_p de V_{ref} está definido por el promedio de los datos de los modelos de referencia sobre el período 1985-2005. Véase también [Normalización de mapas de la Plataforma](#).

Producto grillado basado en observaciones (Gridded dataset)

Consiste en campos de datos grillados que asimilan datos observacionales con métodos estadísticos o dinámicos. Como método de validación de los procesos meteorológicos, se utilizan mapas grillados de temperatura o precipitación por ejemplo, que han asimilado observaciones satelitales o de superficie, con alguna metodología estadística o dinámica.

Existen muchas instituciones dedicadas a generar este tipo de mapas que simplifican la obtención de datos en zonas donde hay pocas estaciones meteorológicas de superficie, típicamente grillados de precipitación o temperatura, basados en **reanálisis atmosférico**, observaciones satelitales y/o de superficie. Estos datos son asimilados con métodos estadísticos o modelos. Un ejemplo de este producto es CR2MET.

Proyección (*Projection*)

Evolución futura que podría seguir una magnitud o un conjunto de magnitudes, generalmente calculada mediante un modelo. A diferencia de las predicciones, las proyecciones están condicionadas por supuestos relativos, por ejemplo, eventualidades socioeconómicas y tecnológicas futuras que podrían o no hacerse realidad. Véase también **proyección climática**. IPCC, 2014: Anexo II: Glosario.

Proyección climática (*Climate projection*)

Respuesta simulada del sistema climático a diversos **escenarios de emisiones** o de concentraciones futuras de gases de efecto invernadero y aerosoles, frecuentemente basada en simulaciones mediante **modelos climáticos**. Las proyecciones climáticas se diferencian de las predicciones climáticas por su dependencia del **escenario de emisiones**, concentraciones, **forzamiento radiativo** utilizado, basado en supuestos relativos, por ejemplo, a un devenir socioeconómico y tecnológico que puede o no materializarse. IPCC, 2014: Anexo II: Glosario.

Reanálisis atmosférico (*Atmospheric reanalysis*)

Campos generados por un **modelo climático** que incorpora observaciones a través de asimilación de datos. Los reanálisis son realizados a nivel global y requieren de gran infraestructura computacional.

Trayectorias de concentración representativas (*RCPs representative concentration pathways*)

Escenarios que abarcan series temporales de emisiones y concentraciones de la gama completa de gases de efecto invernadero y aerosoles y gases qui-

micamente activos, así como el uso del suelo y la cubierta terrestre. La palabra “representativa” significa que cada trayectoria de concentración ofrece uno de los muchos posibles escenarios que conducirían a las características específicas de **forzamiento radiativo**. La palabra trayectoria hace hincapié en que únicamente son de interés los niveles de concentración a largo plazo, pero también indica el camino seguido a lo largo del tiempo para llegar al resultado en cuestión. Las trayectorias de concentración representativas generalmente hacen referencia a la parte de la trayectoria de concentración hasta el año 2100, para las cuales los modelos de evaluación integrados han generado los correspondientes **escenarios de emisiones**. Las trayectorias de concentración ampliadas describen ampliaciones de las trayectorias de concentración representativas entre 2100 y 2500 calculadas mediante normas sencillas generadas a partir de las consultas con las partes interesadas y no representan escenarios plenamente coherentes. IPCC, 2014: Anexo II: Glosario.

RCP2.6

Trayectoria en la que el **forzamiento radiativo** alcanza el valor máximo a aproximadamente 3 W/m² antes de 2100 y posteriormente disminuye (la correspondiente trayectoria de concentración ampliada en el supuesto de que las emisiones sean constantes después de 2100).

RCP4.5 y RCP6.0

Dos trayectorias de estabilización intermedias en las cuales el **forzamiento radiativo** se estabiliza a aproximadamente 4.5 W/m² y 6.0 W/m² después de 2100 (la correspondiente trayectoria de concentración ampliada en el supuesto de que las emisiones sean constantes después de 2150).

RCP8.5

Trayectoria alta para la cual el **forzamiento radiativo** alcanza valores >8.5 W/m² en 2100 y sigue aumentando durante un lapso de tiempo (la correspondiente trayectoria de concentración ampliada en el supuesto de que las emisiones sean constantes después de 2100 y las concentraciones sean constantes después de 2250).

Valor agregado (*Added value*)

El concepto de “valor agregado” (AV, por sus siglas en inglés) busca evaluar si el ejercicio de correr un modelo regional (RCM/CORDEX), a partir del **forzante o condiciones de borde** tomado de un **modelo climático** global (GCM/CMIP5) mejora la simulación de algún aspecto o variable del clima.

Valor Agregado =

$$\frac{((X_{CMIP5}-X_{OBS})^2-(X_{CORDEX}-X_{OBS})^2)}{\max((X_{CMIP5}-X_{OBS})^2,(X_{CORDEX}-X_{OBS})^2)}$$

Variabilidad del clima o variabilidad natural (*Climate variability*)

Denota las variaciones del estado medio y otras características estadísticas (desviación típica, fenómenos extremos, etc.) del clima en todas las escalas espaciales y temporales más amplias que las de los fenómenos meteorológicos. La variabilidad puede deberse a procesos internos naturales del sistema climático (variabilidad interna) o a variaciones del **forzamiento externo** natural o antropógeno (variabilidad externa). Véase también **cambio climático**. IPCC, 2014: Anexo II: Glosario.

V. SIGLAS Y ACRÓNIMOS

AR6	IPCC Sixth Assessment Report https://wg1.ipcc.ch/AR6/AR6.html
BATS	Biosphere-atmosphere Transfer Scheme
CLARIS	A Europe–South America network for Climate Change Assessment and Impact Studies http://www.cima.fcen.uba.ar/ClarisLPB/wp5_DataPortal.php
CMIP5	Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 https://esgf-node.llnl.gov/projects/cmip5/
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. En inglés: UNFCCC United Nations Framework Convention on Climate Change https://unfccc.int/
CORDEX	Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment http://www.cordex.org/
CR2	Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia http://www.cr2.cl
DGF	Departamento de Geofísica Universidad de Chile http://www.dgf.uchile.cl
DMC	Dirección Meteorológica de Chile http://www.meteochile.cl
ECHAM5	European Centre Hamburg Model (Global Climate Model) http://www.mpimet.mpg.de/en/science/models/mpi-esm/echam/
ECMWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets
ERA-Interim	Global ‘European Reanalysis’ de ECMWF
FCFM	Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile http://ingenieria.uchile.cl/
GCM	General Circulation Models http://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/gcm_guide.html
GeoJSON	Estándar abierto para codificar estructuras de datos geográficos. Basado en JSON (JavaScript Object Notation)
GeoTIFF	Estándar abierto de metadatos que permite georeferenciar información, embebida en un archivo gráfico TIFF (Tag Image File Format)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change http://www.ipcc.ch/index.htm
MIROC5	Model for Interdisciplinary Research on Climate http://www.icesfoundation.org/Pages/ScienceItemDetails.aspx?siid=181
MMA	Ministerio del Medio Ambiente http://mma.gob.cl/
MODIS LST	MODIS Land Surface Temperature https://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/mod11.php
MPI-ESM-MR	Max Planck Institute for Meteorology Earth System Model https://www.mpimet.mpg.de/en/science/models/mpi-esm/
NetCDF	Network Common Data Form. Formato para compartir datos científicos matriciales.
NLHPC	National Laboratory for High Performance Computing / Laboratorio Nacional de Computación de Alto Rendimiento de la Universidad de Chile http://www.nlhpc.cl
PRECIS	Providing Regional Climates for Impact Studies https://www.metoffice.gov.uk/services/climate-services/international/precis
RCM	Regional Climate Model https://www.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg1/380.html
RegCM4	Regional Climate Model system https://www.ictp.it/research/esp/models/regcm4.aspx
WRCP	World Climate Research Programme http://www.wcrp-climate.org/
WRF	Weather Research and Forecasting https://www.mmm.ucar.edu/weather-research-and-forecasting-model

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bozkurt, D., Rojas, M., Boisier, J.P., Rondanelli, R., Garreaud, R., 2018. High-resolution regional climate simulations over the Pacific coast and Andes Cordillera of southern South America: Present climate conditions and added value analysis.
- Dickinson, E., Henderson-Sellers, A., Kennedy, J., 1993. Biosphere-atmosphere Transfer Scheme (BATS) Version 1e as Coupled to the NCAR Community Climate Model. <https://doi.org/10.5065/D67W6959>
- Eyring, V., Bony, S., Meehl, G.A., Senior, C.A., Stevens, B., Stouffer, R.J., Taylor, K.E., 2016. Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. *Geoscientific Model Development* 9, 1937–1958. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-1937-2016>
- Fritsch, J.M., Chappell, C.F., 1980. Numerical Prediction of Convectively Driven Mesoscale Pressure Systems. Part I: Convective Parameterization. *J. Atmos. Sci.* 37, 1722–1733. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1980\)037<1722:NPOCDM>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1980)037<1722:NPOCDM>2.0.CO;2)
- Grell, A., Dudhia, J., Stauffer, D., 1994. A description of the fifth-generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5). <https://doi.org/10.5065/D60Z716B>
- Holtlag, A. a. M., De Bruijn, E.I.F., Pan, H.-L., 1990. A High Resolution Air Mass Transformation Model for Short-Range Weather Forecasting. *Mon. Wea. Rev.* 118, 1561–1575. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1990\)118<1561:AHRAMT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1990)118<1561:AHRAMT>2.0.CO;2)
- Kiehl, T., Hack, J., Bonan, B., Boville, A., Briegleb, P., Williamson, L., Rasch, J., 1996. Description of the NCAR Community Climate Model (CCM3). <https://doi.org/10.5065/D6FF3Q99>
- Sánchez, E., Solman, S., Remedio, A.R.C., Berbery, H., Samuelsson, P., Da Rocha, R.P., Mourão, C., Li, L., Marengo, J., de Castro, M., Jacob, D., 2015. Regional climate modelling in CLARIS-LPB: a concerted approach towards twentyfirst century projections of regional temperature and precipitation over South America. *Climate Dynamics* 45, 2193–2212. <https://doi.org/10.1007/s00382-014-2466-0>
- Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.K., Tignor, S.K., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M. (Eds.), 2013. *Climate Change 2013 - The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324>
- Taylor, K.E., Stouffer, R.J., Meehl, G.A., 2012. An Overview of CMIP5 and the Experiment Design. *Bulletin of the American Meteorological Society* 93, 485–498. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00094.1>

VII. ANEXO: INFORMACIÓN TÉCNICA DE LA PLATAFORMA

Tanto la plataforma de visualización como los datos de la plataforma de descarga se almacenan en los servidores del (CR)² ubicados en el *datacenter* del Centro de Estudios de Computación (CEC) de la Universidad de Chile.

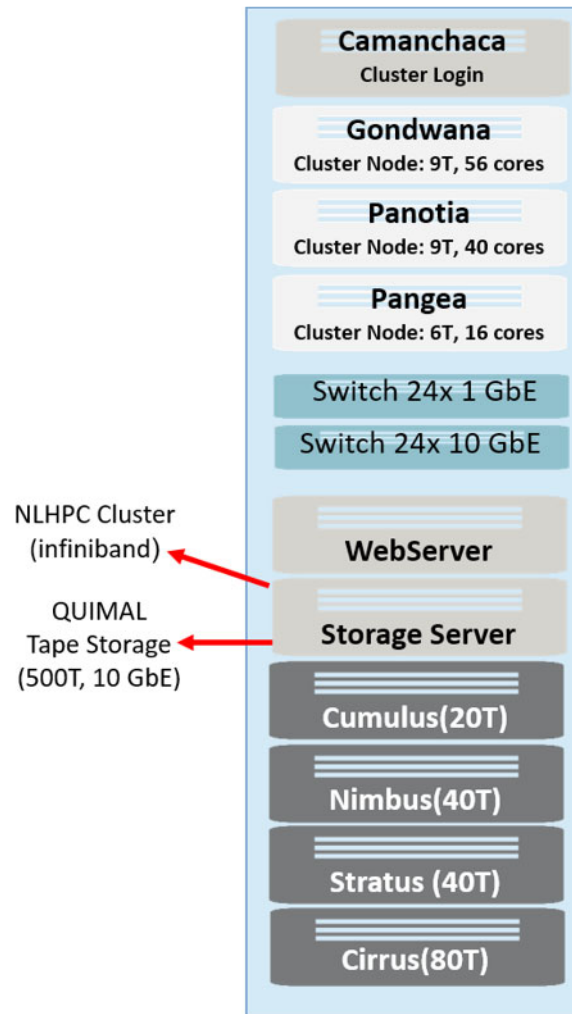


Figura A.1: Esquema de servidores del (CR)².

A. Almacenamiento y actualización de datos

Las simulaciones globales regionales y locales indicadas son matrices de datos grillados que se almacenan en formato binario. Los datos contenidos en la Plataforma de Almacenamiento de la Plataforma de Simulaciones consisten en las variables superficiales definidas para los períodos 'Historical', 'RCP2.6', 'RCP8.5', y todos los **ensambles** disponibles. La disponibilidad de estas simulaciones va variando con el tiempo, especialmente para Simulaciones Regionales y para el dominio de Chile, por lo que se considera su actualización semestral.

- **Simulaciones Globales:** 14TB. Consisten en datos diarios y mensuales para aproximadamente 50 modelos.
- **Simulaciones Regionales:** 300GB. Consisten en datos mensuales principalmente, para aproximadamente 10 modelos. Más simulaciones, escenarios, variables o resoluciones temporales podrían quedar disponibles los próximos meses o años, por lo que se considera un constante monitoreo a los nodos que los publican.
- **Simulaciones Locales:** 1.2TB. Consiste en datos diarios y mensuales para simulaciones. Más períodos de simulación o variables podrían quedar disponibles en los próximos meses o años. En particular, para las simulaciones RegCM4 se agregará el período 2050-2100 para los escenarios rcp 2.6 y rcp 8.5, y eventualmente más simulaciones para el dominio. Por esto se considera un constante monitoreo a las instituciones que las generan.
- **Producto basado en observaciones CR2MET:** 22G. Consiste en datos diarios y mensuales para temperaturas y precipitación. Puede mejorar el procedimiento para generar los datos grillados y extenderse su período al tiempo presente. Por esto se considera una constante actualización de este producto.

La infraestructura de almacenamiento disponible del (CR)² consiste en:

- Un dispositivo de Storage: Cumulus. Dell PowerVault MD3600i con capacidad de 340 T, conectados por Iscsi 10GbE.
- Un sistema de archivos de cinta: QUIMAL Archiving System: que consta de 500TB para almacenamiento de resultados y respaldos. Conexión 10GbE.

B. Tecnologías utilizadas

El proyecto ha sido desarrollado sobre tecnología web y cada uno de sus componentes cumple con especificaciones de *software* libre, de acuerdo a las necesidades de contar con códigos abiertos, libertad para su distribución, operación, modificación, entre otros. Se ha considerado *software* y arquitectura abierta, entre otras razones, para simplificar su mantención, permitir en el futuro interactuar con otros sistemas o

migrar a otras plataformas.

- **NetCDF:** Todas las simulaciones se encuentran disponibles en este formato. Consiste en matrices binarias con una serie de metadatos. Este es el formato estándar para simulaciones climáticas y hay múltiples programas que permiten su uso e interpretación.
- **Python3:** Es un lenguaje interpretado de scripting, y se utiliza en distintos aspectos de la Plataforma de Simulaciones.
 - **Para pre-procesar los datos de la siguiente forma:** extrae las variables de los archivos originales, consolida y estandariza los datos, pre-calcula estadísticas e interpola los datos a grillas comunes. Estos programas se pueden volver a ejecutar si se actualizan los datos de las simulaciones de entrada.
 - **El servicio de la Plataforma de Simulaciones:** genera los datos que se visualizan en la aplicación web, y genera los archivos que se exportan desde la misma.
 - **El servicio de la Plataforma de Descarga:** genera un enlace de descarga temporal para los archivos seleccionados y envía un correo con los detalles para la descarga.
- **PHP:** lenguaje de scripting ejecutado en el servidor, se utiliza para llamar al servicio de la Plataforma de Simulaciones en el puerto correspondiente.
- **JSON:** formato de texto ligero utilizado para el intercambio de datos, en el cual se encuentran los archivos de configuración y definición de la Plataforma de Simulaciones.
- **HTML, CSS:** se utiliza el lenguaje de marcado HTML para la página web que despliega la Plataforma de Simulaciones así como para la Plataforma de Descargas. Se utiliza CSS u hojas de estilo para añadir apariencia gráfica a los documentos.
- **Javascript:** lenguaje de programación interpretado que se utiliza para ejecutar código en el navegador del usuario.
- **Highcharts:** es una librería escrita en Javascript que permite la creación de gráficos interactivos para insertar en un sitio web. En el caso de la Plataforma de Simulaciones se utiliza para generar las tablas de resumen y todos los gráficos del panel inferior.
- **Google Maps:** es un servidor de aplicaciones de mapas en la web. Desde Julio de 2018 requiere de una cuenta Google con una api-key para poder cobrar si es que la aplicación recibe más de 100.000 cargas de mapas al mes.
- **Google Analytics:** herramienta de Google que informa sobre las estadísticas de la Plataforma de Simulaciones y de Descarga, desde qué lugares los navegantes llegan al sitio, que sistema operativo utilizan, etc.

C. Entorno de ejecución

Los servidores de datos se encuentran formateados y configurados para almacenamiento redundante de datos (tolerancia a fallos) para minimizar los riesgos de pérdida de información.

Constan de dos servidores configurados con alta disponibilidad de almacenamiento (Storage) y de Servicios Web de las siguientes características:

- Qhawayra: Dell PowerEdge R520, 12 cores hyperthreaded Intel Xeon CPU E5-2430, 198G RAM, y almacenamiento de 8 TeraBytes.
- Qhawayra2: Dell PowerEdge R530, 16 cores hyperthreaded Intel Xeon CPU E5-2630, 198G RAM, y almacenamiento de 8 TeraBytes.

Las características de la máquina virtual donde se ejecuta la Plataforma de Simulaciones y la Plataforma de Descarga son:

- Sistema Operativo: CentOS Linux version 7.5
- Lenguaje de Desarrollo en Servidor: PHP version 5.6.36, Python 3.4.8
- Servidor Web: Apache



Santiago, 2018
Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)²
(FONDAP 15110009) Universidad de Chile