

Algunas respuestas antes de leer este documento

¿Qué es un escenario climático?

Cada vez sentimos más que el clima está cambiando. La causa principal es el calentamiento global, debido a la contaminación con gases de efecto invernadero que hacen que la temperatura del planeta se incremente. Esto produce cambios en diversas partes del planeta. En el Perú también podemos sentir estos cambios.

Una necesidad es adaptarnos a estos cambios del clima. Para eso son necesarios hacer escenarios climáticos hacia el futuro, que nos permitan tomar decisiones acertadas.

Los Escenarios climáticos son estudios científicos que nos permiten conocer de qué manera podría cambiar el clima en determinada zona y cómo eso va a afectar. ¿Habrá más o menos agua? ¿Cuánto aumentará la temperatura donde sembramos nuestros alimentos?

¿Cómo se genera un escenario climático? (los modelos)

Existen varias maneras de hacer un escenario climático y se les denomina modelos. Podríamos decir los modelos se generan a través de un proceso realizado por científicos que analizan el clima de determinada zona, los cambios ocurridos en los últimos años y las perspectivas de aumento del clima futuro por el calentamiento global.

A esas variables se agregan otras, como un determinado periodo de tiempo. Los escenarios de climáticos están basados en el supuesto de un incremento en concentraciones de CO₂ y otros gases de efecto invernadero, los que modifican la radiación natural de la atmósfera.

¿Cuál es su importancia para las zonas de intervención del Proyecto Glaciares 513?

La importancia de los escenarios para las zonas de intervención del proyecto Glaciares radica en que es una herramienta que puede servir para mejorar las acciones de prevención frente al cambio climático. Conociendo los datos que arroja el estudio podemos inferir cómo avanzará el derretimiento de los glaciares, la disponibilidad de agua, etc.

¿Cuáles son las principales conclusiones encontradas?

Sobre la temperatura, existe una alta probabilidad de que esta aumente entre 2.8°C a 4.2°C sobre las zonas de Ancash y Cusco, teniendo como fecha el año 2100.

Sobre las precipitaciones, los resultados muestran que los cambios son inciertos o que estos no serían significativos.

ESTUDIOS PRELIMINARES SOBRE CLIMA, ADAPTACIÓN Y COMUNIDAD DEL PROYECTO GLACIARES EN EL DISTRITO DE SANTA TERESA - GLACIARES 513 EN CUSCO -	ESTUDIOS PRELIMINARES SOBRE CLIMA, ADAPTACIÓN Y COMUNIDAD DEL PROYECTO GLACIARES EN LA PROVINCIA DE CARHUAZ - GLACIARES 513 EN ANCASH -
SECCIÓN 3: ¿CÓMO ES ACTUALMENTE Y CÓMO SERA EL CLIMA EN EL FUTURO EN LA REGIÓN CUSCO?	SECCIÓN 3: ¿CÓMO ES ACTUALMENTE Y CÓMO SERA EL CLIMA EN EL FUTURO EN LA REGIÓN ANCASH?
¿CÓMO SERÍA EL CLIMA EN CARHUAZ Y SANTA TERESA PARA EL AÑO 2100?	

LOS ESCENARIOS CLIMÁTICOS FUTUROS EN CARHUAZ Y SANTA TERESA (HACIA EL AÑO 2100)

Autores:

Daniela Lorenzi, Mario Rohrer, Simone Schauwecker
Meteodat GmbH, Zurich, Suiza.

Índice

Algunas respuestas antes de leer este documento	1
1 Introducción y Objetivos	4
2 Nuevos Escenarios Climáticos del IPCC	5
2.1 Introducción	5
2.2 Características de las Vías Representativas de Concentraciones (RCP)	5
3 Proyecciones estacionales de temperatura y precipitación	9
4 Proyecciones de temperatura en resolución diaria	13
4.1 Los modelos climáticos GFDL-CM3 y CCSM4.0	14
4.2 Selección de puntos de malla adecuados	16
4.3 Calidad de los datos diarios de la temperatura superficial del aire de los GCM	17
5 Conclusiones	19
6 Bibliografía	21
7 Glosario	22

1 Introducción y Objetivos

En el marco del Proyecto Glaciares se realizaron dos estudios relacionados con el clima en las zonas de intervención. El primero versa sobre el clima en las regiones de la Cordillera Blanca y Cordillera Negra, en el departamento de Áncash. El segundo sobre el clima en el distrito de Santa Teresa, provincia de La Convención, departamento de Cusco. El objetivo de estos dos estudios fue contribuir al conocimiento del clima en ambas regiones y desarrollar una línea de base para el Proyecto Glaciares.

Este informe es la continuación de los dos informes anteriores sobre el clima actual y se enfoca en las tendencias futuras de la temperatura y la precipitación en las dos regiones mencionadas. Además, se efectúa una estimación de la calidad de proyecciones de la temperatura diaria, generadas por modelos globales.

En el capítulo 2 se proporciona una visión general de los nuevos escenarios de emisión de gases de efecto invernadero, las llamadas “*vías representativas de concentraciones*” de gases invernaderos (en inglés: *Representative Concentration Pathways* (RCP)). En el capítulo 3 se realiza un análisis a las tendencias estacionales de la temperatura y la precipitación para el periodo que comprende desde el año 2010 hasta el año 2095. Finalmente, en el capítulo 4, presentamos un análisis de las proyecciones de la temperatura diaria en las dos zonas de intervención, basándonos en dos modelos globales seleccionados (GFDL-CM3 y CCSM4.0). Los modelos han sido seleccionados debido a que los dos son “Earth System Models”, incluyendo por ejemplo la implementación de la vegetación y uso del suelo de forma dinámica. El modelo GFDL-CM3 tiene una resolución espacial relativamente gruesa, mientras que el otro modelo se caracteriza por una resolución espacial más fina entregando así información a una escala más pequeña.

2 Nuevos Escenarios Climáticos del IPCC

2.1 Introducción

A fines del año 2013, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC)¹ publicó su Quinto Informe (AR5) sobre la actualidad científica respecto al conocimiento que tenemos acerca del Cambio Climático. Para lograr esto, los grupos que desarrollan modelos climáticos², han ejecutado la quinta fase de un proyecto denominado: “Proyecto de Intercomparación de Modelos Climáticos (CMIP5)”. Este proyecto existe por la necesidad de unificar criterios respecto a los modelos climáticos elaborados por diversas instituciones, incluyendo sus metodologías y resultados. Existen una veintena de grupos internacionales que vienen desarrollando modelos denominados: Modelos Acoplados Atmósfera-Océano (AOGCM, por sus siglas en inglés)³, y participan del CMIP5.

Los nuevos Modelos Climáticos Globales (GCM) del quinto informe del IPCC (AR5) en el marco del CMIP5 tienen los siguientes objetivos (Taylor, 2012):

- Un enfoque dirigido a la adaptación y mitigación del Cambio Climático.
- La retroalimentación del ciclo del carbono: Modelos del Sistema Terrestre
- Una mejor evaluación de los aspectos ciertos - e inciertos - del Cambio Climático
- Facilitar la evaluación del modelo en comparación con las observaciones para evaluar la confiabilidad de las proyecciones de los modelos

Los modelos AOGCM son forzados principalmente por concentraciones de gases atmosféricos - antropogénicos⁴ y naturales – como gases de efecto invernadero (GEI), aerosoles provenientes de erupciones volcánicas, quema de biomasa, o contaminación. También son forzados por cambios de uso de suelo y por supuesto por radiación solar. Como la trayectoria de emisiones de GEI para el futuro no es conocida se utilizan distintos escenarios de desarrollo económico-social.

Las características de los nuevos escenarios del quinto informe del IPCC (AR5) son descritas en el capítulo siguiente.

2.2 Características de las Vías Representativas de Concentraciones (RCP)

En el marco del quinto informe del IPCC (AR5) se han desarrollado cuatro posibles “*vías representativas de concentraciones*” de gases invernaderos (en inglés: **Representative**

¹ El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) fue establecido conjuntamente en 1988 por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) con el mandato de analizar la información científica necesaria para abordar el problema del cambio climático y evaluar sus consecuencias medioambientales y socioeconómicas, y de formular estrategias de respuesta realistas.

² Un modelo climático es una representación numérica del sistema climático basada en las propiedades físicas, químicas y biológicas de sus componentes, en sus interacciones y en sus procesos de retroefecto, y que recoge todas o algunas de sus propiedades conocidas.

³ Los modelos de circulación general acoplados atmósfera/océano/hielo marino (español: MCGAAO) permiten hacer una representación integral del sistema climático.

⁴ Resultante de la actividad del ser humano o producido por este.

Concentration Pathways - RCP), que son los sucesores de los escenarios SRES⁵ (Special Report on Emissions Scenarios) del cuarto informe del IPCC (AR4). La denominación “representativas” se agregó para mostrar que se trata de representaciones para un mayor número de escenarios. La diferencia más importante entre las denominaciones SRES y RCP, es que para los nuevos escenarios se ha considerado la realización de varios objetivos de la política climática y energética. Por eso los escenarios RCP dan una imagen del desarrollo socio-económico más realista que los escenarios SRES.

Por el contrario a los escenarios SRES, que son caracterizados por las emisiones mundiales de CO₂ que se alcanzarán al final del siglo 21, los RCP tienen su nombre por el fenómeno denominado: forzamiento radiativo⁶. Este fenómeno se considera que es de carácter antropogénico. El periodo que es considerado **entre los años 1850 y 2100**. Se considera que para el año 2100, los datos que arrojarán los RCP están en el orden de:

- RCP 2.6 W/m²
- RCP 4.5 W/m²
- RCP 6.0 W/m²
- RCP 8.5 W/m².

A continuación se describe brevemente los principales supuestos y características de estas cuatro vías de concentraciones que arrojan los RCP: (véase también Tabla 1).

Tabla 1: Visión de conjunto de los “Representative Concentration Pathways” (RCP). La tercera columna muestra la concentración estimada de los gases de efecto invernadero (GEI) en el año 2100 expresada en concentración de CO₂. La cuarta columna indica el aumento estimado de la temperatura global en el año 2100 con respecto al periodo 1980-1999. (Van Vuuren et al., 2011)

	Descripción	Concentración de CO ₂ en el año 2100	Aumento de temperatura global estimada en el año 2100
RCP 8.5	Vía de Concentración con forzamiento radiativo alto, llegando a 8.5 W/m² en 2100. Continuación del aumento después de 2100.	~1370 ppm CO ₂	3.4 – 5.5 °C
RCP 6	Vía de Concentración con forzamiento radiativo medio, llegando a 6 W/m² en 2100. Estabilización después de 2100.	~850 ppm CO ₂	
RCP 4.5	Vía de Concentración con forzamiento radiativo medio, llegando a 4.5 W/m² en 2100. Estabilización después de 2100.	~650 ppm CO ₂	1.5 – 2.5 °C
RCP2.6	Vía de Concentración con forzamiento radiativo bajo. Llegará a 3 W/m² antes de 2100. Después disminución a 2.6 W/m² en 2100	~490 ppm CO ₂ ~400 ppm CO ₂	0.7 – 1.4 °C

⁵ Los SRES es un informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) que se publicó en 2000.

⁶ Se denomina Forzamiento Radiativo a la variación de la irradiancia vertical neta en la tropopausa por efecto de un cambio interno o externo del forzamiento del sistema climático.

RCP8.5: El Pathway⁷ RCP8.5 representa una vía de emisiones y concentraciones relativamente altas. Sus principales supuestos incluyen:

- Alto crecimiento demográfico.
- Relativamente bajo crecimiento del Producto Bruto Interno (PBI), con tasas modestas de cambios tecnológicos y de eficiencia energética.

Estos supuestos conllevaría importantes demandas energéticas y consecuentes altas emisiones de gases de efecto invernadero. ***En este escenario no se implementan políticas de Cambio Climático.***

Por eso el escenario RCP8.5 también es llamado ***“business as usual”***- escenario que significa ***“todo sigue como hasta ahora”***.

Basados en este escenario se calcula que para el año 2100 habría un aumento de la temperatura global de entre 3.4 y 5.5 °C, respecto a la temperatura media global en el periodo 1980-1999 (Tabla 1).

RCP6: Esta vía representa emisiones y concentraciones de gases de efecto invernadero y cambio de uso de suelo⁸ que se traducen en un forzamiento radiativo de 6 W/m² hasta el año 2100. Esta vía requiere de disminuciones significativas a partir del año 2060.

Se debe resaltar que sin políticas que limiten las emisiones, en esta vía se llegaría a mayores valores de forzamiento radiativo al año 2100.

RCP4.5: Al igual que el Pathway PCP6, también el RCP4.5 es un escenario de estabilización, que llega a un forzamiento radiativo de 4.5 W/m² al año 2100, sin haberlo excedido antes.

El RCP4.5 es más ambicioso que el RCP6 y resulta en un calentamiento global de aproximado 2 °C, lo que corresponde con el objetivo climático de limitar el calentamiento global a 2 °C.

RCP2.6: La cuarta vía o ruta de emisiones y concentraciones es representativa sobre escenarios de mitigación cuyo objetivo es limitar el calentamiento global por debajo de los 2 °C a fin de siglo. La vía es caracterizada por un forzamiento radiativo que llegará a 3 W/m², pero luego disminuirá a 2.6 W/m² hacia el año 2100. Alcanzar esta meta requiere de reducciones netas en emisiones bastante drásticas. Es por eso que este escenario se considera algo utópico.

El registro del CMIP5 incluye una larga lista de experimentos. Es posible representar estos experimentos como un círculo, el cuál mostramos líneas abajo, pero antes una explicación del mismo. El círculo interior representa los experimentos que se realizarán por todos los grupos de modelización. Los círculos exteriores son adicionales y se harán sólo por una parte de los modelistas.

⁷ En esta parte del documento utilizaremos el término en inglés **Pathway**, para denominar la vía de concentración.

⁸ Se denomina “Cambio de uso del suelo” cuando hay un cambio en el conjunto total de disposiciones, actividades y aportes de que es objeto determinado tipo de cubierta terrestre (conjunto de acciones humanas). Fines sociales y económicos a que responde la gestión de las tierras (por ejemplo pastoreo, extracción de madera, conservación).

Además, se puede decir que el hemisferio inferior de este círculo abarca los experimentos que deberían contribuir a una mejor comprensión de los modelos. El sector izquierdo superior incluye los experimentos para la verificación y comprobación de los modelos. El sector derecho superior representa las proyecciones climáticas o estos escenarios que normalmente formarán la información de base para la adaptación al cambio climático. Veamos este círculo en la Figura 1.

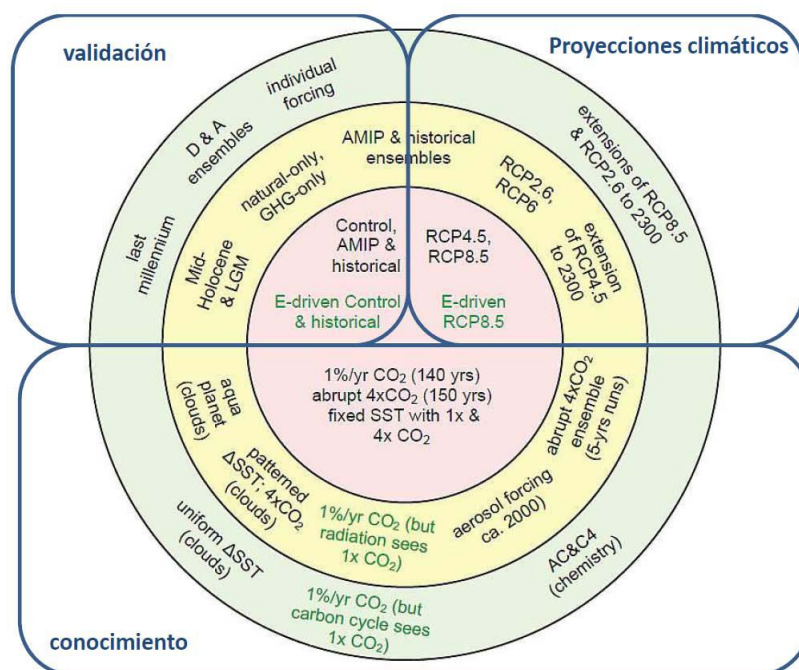


Figura 1: Resumen esquemático de los experimentos de CMIP5 con los niveles 1 y 2 organizados en torno a un núcleo central (=resultados que son calculados por todos modelos). La letra verde indica las simulaciones que se realizan sólo en los modelos con representaciones del ciclo del carbono. Los experimentos en el hemisferio superior son adecuados tanto para la comparación con las observaciones (izquierda) o para realizar proyecciones (derecha), mientras que los del hemisferio inferior tienen el objetivo de proporcionar una mejor comprensión del sistema climático y el comportamiento del modelo (Taylor et al., 2012, adaptado)

3 Proyecciones estacionales de temperatura y precipitación

Los modelos climáticos (GCM) son representaciones matemáticas de las leyes físicas y de los procesos que rigen el clima. De esta manera, los GCM se constituyen como la herramienta fundamental para los estudios relativos a la futura evolución del clima. Como el sistema climático es no lineal - y enormemente complejo - las proyecciones provenientes de los GCM son afectadas por una variedad de incertidumbres. Una posibilidad para estimar el rango de la incertidumbre es comparar proyecciones de diferentes GCM que sean lo más independiente posible.

Dado que los escenarios de los diferentes GCM son afectados de incertidumbres y pueden mostrar grandes diferencias, se han analizado las proyecciones de 5 GCM independientes. Los GCM elegidos proceden todos de otro grupo de modelación como el Centro Nacional de Investigación Atmosférica de los Estados Unidos (NCAR) o del Instituto de Investigaciones Meteorológicas del Japón (MRI) (Tabla 2). Estos son modelos climáticos frecuentemente usados para las investigaciones respecto a escenarios.

Tabla 2: Modelos Globales del CMIP5 usados en este estudio para visualizar las tendencias estacionales.

Nombre del GCM	Centro de Modelación	País
CESM1-BGC	NCAR National Center for Atmospheric Research (Centro Nacional de Investigación Atmosférica)	Estados Unidos
GFDL-CM3	NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (Laboratorio Geofísico de Dinámica de fluidos)	Estados Unidos
HadGEM2-CC	UK Met Office Hadley Center (Centro Hadley de la Oficina Meteorológica del R. U.)	Inglaterra
MPI-ESM-LR	Max Planck Institute for Meteorology (Instituto Max Planck de Meteorología)	Alemania
MRI-CGCM3	Meteorological Research Institut (Instituto de Investigaciones Meteorológicas)	Japón

Para dar una primera impresión sobre el desarrollo futuro de la temperatura y la precipitación en la región de la Cordillera Blanca y la Cordillera Negra, se han examinado escenarios producidos con diferentes modelos GCM de última generación, desarrollados en el marco del IPCC CMIP5. Como primer paso se han analizado datos mensuales que hasta hoy son disponibles de numerosos GCM y que son libre acceso. Por ejemplo, a través del *Climate Explorer* del Real Instituto Meteorológico Neerlandés (KNMI).

Este capítulo se enfoca en el desarrollo de la temperatura y la precipitación estacional durante tres meses: diciembre, enero y febrero, los que forman parte de los meses más lluviosos en la Cordillera Blanca. La principal razón para el uso de este enfoque, es que en la Cordillera Blanca dicho periodo estacional (diciembre – febrero), se caracteriza por la presencia de continua precipitación.

Cabe resaltar que además de la temperatura, la precipitación es muy importante para el comportamiento de los glaciares. Por ejemplo, si la temperatura aumenta, la precipitación cambia su estado y cae en forma de lluvia en vez de nieve. La falta de nieve tiene dos importantes efectos para un glaciar:

- En primer lugar, menos nieve significa menos material para acumular el volumen del glaciar.
- En segundo lugar, el cambio de nieve a lluvia también provoca una reducción en el albedo⁹ que a la vez acelera aún más el retroceso del glaciar.

La Figura 2 y la Figura 3 muestran el desarrollo de la temperatura y la precipitación estacional durante los tres meses mencionados: diciembre, enero y febrero. Las curvas representan medias espaciales para un dominio con longitud 77-78° Oeste y latitud 8-10° Sur, que corresponde aproximadamente con la región de las cordilleras Blanca y Negra.

Cabe recordar, que tal y como fue mencionado en el capítulo 2.2 de este documento, las proyecciones de los GCM del CMIP5 están basando en llamadas “vías representativas de concentraciones” de gases invernaderos (RCP). En este estudio se trabajó con el escenario de emisión RCP8.5. EL RCP8.5 es un escenario fuerte pero realista, que representa una vía con “business as usual”, es decir, que no se han realizado acciones para cambiar el estado de las cosas.

Las proyecciones de la temperatura media estacional para el periodo entre los años 1960-2100 se encuentran en la Figura 2. Las curvas azules son las proyecciones de los diferentes GCM basadas en el RCP8.5; las rojas son las medias móviles correspondientes a 10 años.

En el periodo entre los años 2010 y 2100, todos los modelos muestran una tendencia positiva, es decir, que la temperatura aumentaría. Para el periodo 2010 – 2095, se estima que el aumento de la temperatura estacional varía entre 2.8°C (MRI-CGCM3) y 4.2°C (GFDL-CM3). Además, llama la atención que la variabilidad interanual¹⁰ del GCM japonés (MRI-CGCM3) es muy pequeña.

Para el periodo comprendido entre los años 1980 – 2010, los GCM también muestran un aumento pequeño de la temperatura. Esto contrasta con los resultados del análisis de la climatología de la Cordillera Blanca, que no constata ninguna tendencia significativa en este periodo, para la mayoría de las estaciones examinadas.

⁹ El albedo es la fracción de radiación solar reflejada por una superficie u objeto, frecuentemente expresada en términos porcentuales.

¹⁰ Variabilidad del clima se refiere a las variaciones en el estado medio y otros datos estadísticos (como las desviaciones típicas, la ocurrencia de fenómenos extremos, etc.) del clima en todas las escalas temporales y espaciales, más allá de fenómenos meteorológicos determinados.

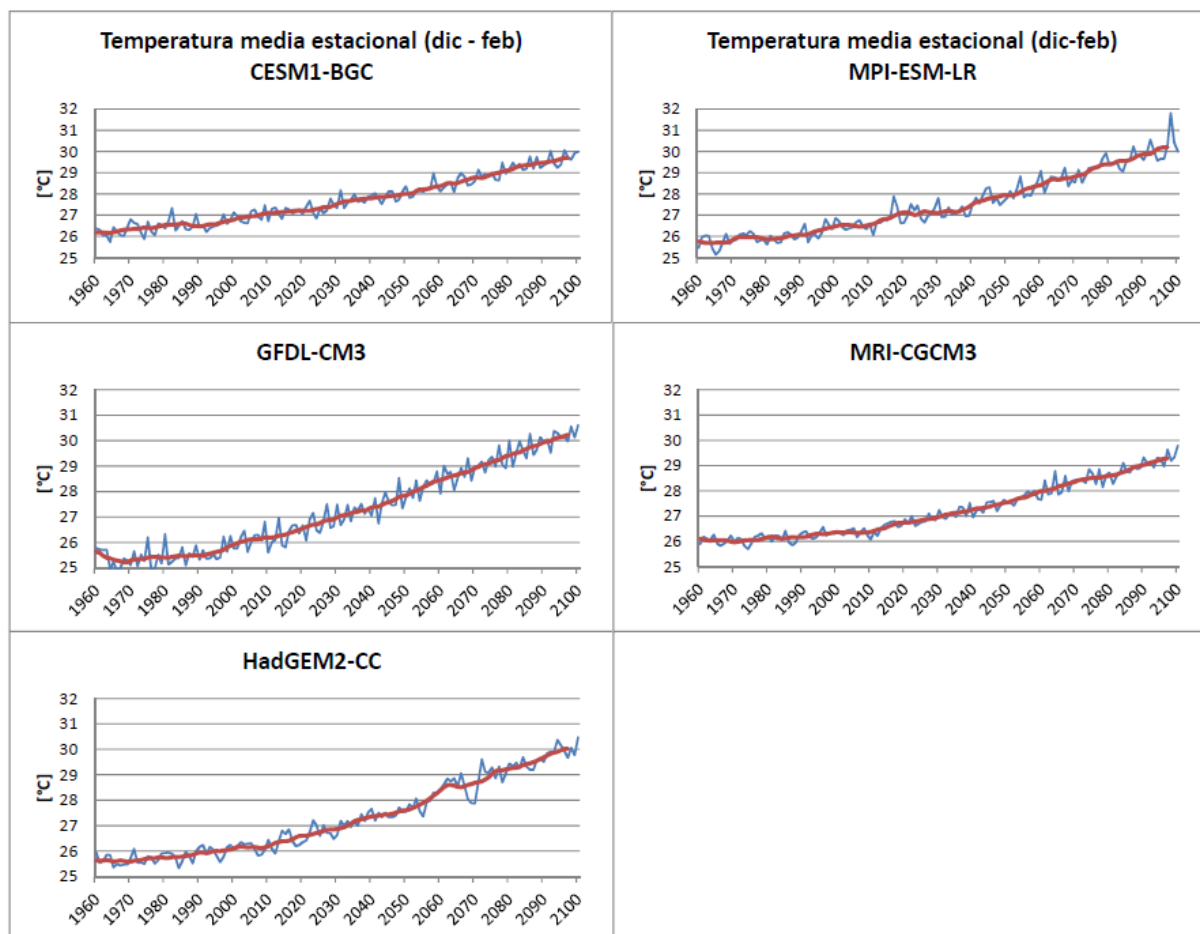


Figura 2: Tendencias de la temperatura media estacional (diciembre – febrero) proveniente de 5 modelos globales de CMIP5 para la región Cordillera Blanca basando en el escenario de emisión RCP8.5. Las líneas rojas son las medias móviles de 10 años. Para el periodo 2010 – 2095 el aumento de la temperatura (dic-feb) para las diferentes modelos varía entre aproximadamente 2.8 °C y 4.2 °C. (Fuente: IPCC).

En cuanto a la proyección de las precipitaciones, no hay tendencias claras (Figura 3). Todas las proyecciones de la precipitación estacional muestran o ninguna tendencia o un aumento pequeño para la Cordillera Blanca y Negra en el siglo 21. Como ya hemos visto en el caso de la temperatura, también para la precipitación los modelos dan una imagen bastante consistente.

Cabe señalar que el sistema atmósfera - océano tierra, tiene una variación interna con fenómenos como el ENOS¹¹, la oscilación de Madden-Julian¹² o la Oscilación Decadal del Pacífico¹³; que tienen

¹¹ El ENOS es un fenómeno oceánico-atmosférico que consiste en la interacción de las aguas superficiales del océano Pacífico tropical con la atmósfera circundante. Además, el ENOS está relacionado con trastornos climáticos en muchas partes del mundo así como con alteraciones significativas en diversos tipos de ecosistemas tanto terrestres como marinos. (<http://www.imn.ac.cr/educacion/enos.html>)

¹² Se llaman "oscilaciones intraestacionales" o "oscilación de Madden y Julian" (MJO), a aquellas que se observan en los patrones de precipitación tropical y que tienen un ciclo que varía alrededor de 30-60 días. Se caracteriza por un desplazamiento hacia este donde pueden individualizarse zonas de lluvia intensa seguidas de zonas sin lluvias en la región tropical, sobre todo en los océanos Índico y Pacífico. El núcleo de mayor precipitación se individualiza primero en el oeste del océano Índico y se propaga hacia el este sobre el Pacífico oeste y central. (<http://www.cima.fcen.uba.ar/~gonzalez/sclima/productos/madden/index.htm>)

¹³ La Oscilación Decadal del Pacífico (ODP) ha sido descrito como una fluctuación (variabilidad climática) de largo período en el océano Pacífico, el cual afecta principalmente la cuenca del Pacífico y el clima de América del Norte.

periodos de ocurrencia de años o décadas. Se recomienda tener en cuenta las posibles consecuencias de la variabilidad climática de estos fenómenos, ya que pueden interferir con el calentamiento de la atmósfera debido a los gases de efecto invernadero. Es en parte por estas variaciones, que a menudo se caracterizan como oscilaciones, que distintos eventos extremos pueden ocurrir de manera conjunta en el tiempo.

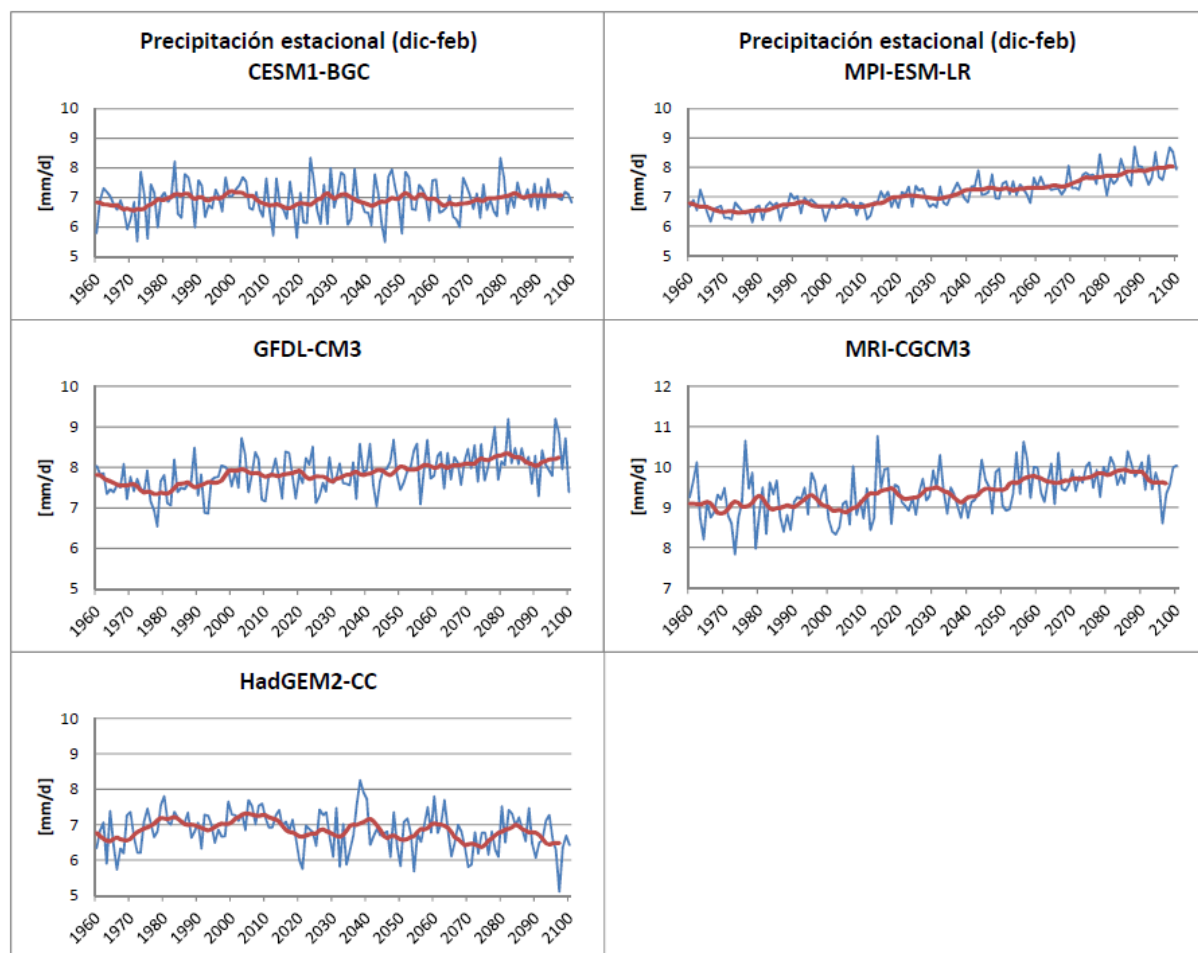


Figura 3: Proyecciones de precipitación durante el verano austral (diciembre – febrero), proveniente de 5 modelos globales del CMIP5 para la región de la Cordillera Blanca (Ancash), basado en el escenario de emisión RCP8.5. Las líneas rojas son las medias móviles de 10 años. Los modelos dan un imagen bastante consistente y muestran o ninguna tendencia o un aumento pequeño en el siglo 21. (Fuente: IPCC).

Para escenarios futuros del clima en las cuencas del Río Santa (Ancash) y del Río Urubamba (Cusco), nos remitimos también a los informes elaborados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI (2009 y 2007).¹⁴ En estos estudios se han generado proyecciones de la temperatura y de la precipitación utilizando un modelo regional (RCM) y un modelo global de alta resolución (MRI-TL959L60). En contraste del presente informe, dichas proyecciones están basadas en

Desde el punto de vista oceanográfico y atmosférico, la ODP sería el marco de fondo para otras oscilaciones de menor período, tal como El Niño Oscilación Sur (ENOS).

(<http://tarwi.lamolina.edu.pe/licochea/enos/tema/2/enos2.html>)

¹⁴<http://issuu.com/praa/docs/praa-senamhi-eccc-mantaro-2100> y <http://issuu.com/praa/docs/praa-senamhi-eccc-urubamba-2100>.

escenarios de emisión de gases de efecto invernadero elaborados en el marco del cuarto informe del IPCC (AR4).

4 Proyecciones de temperatura en resolución diaria

Las posibles consecuencias del Cambio Climático sobre los seres humanos y los sistemas naturales son muy variadas. Los cambios en la temperatura y la precipitación pueden afectar, por ejemplo, los ciclos hidrológicos de manera significativa, comprometiendo la disponibilidad espacio-temporal de los recursos hídricos. Esto también afectaría la sostenibilidad de diversas actividades humanas como la agricultura, la industria y el desarrollo urbano.

El calentamiento global y sus impactos no son uniformes, pero muestran una gran variabilidad espacial¹⁵. Por eso es muy importante disponer de información relativa al cambio climático a escalas que van desde el ámbito regional al ámbito local.

Hasta el día de hoy, la mayor parte de la información regional o local relacionada con el cambio climático está basada en la utilización de modelos climáticos (GCM). Los GCM son capaces de simular realísticamente las características de la circulación global atmosférica en gran escala y la respuesta de la circulación global a algunos forzamientos del sistema climático, por ejemplo, el incremento en las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI).

Una desventaja de los GCM es su baja resolución espacial, que era en el orden de unos cientos kilómetros para los GCM usados en el Cuarto Informe de Evaluación (AR4) del IPCC. Por dicha baja resolución espacial, los GCM tienen dificultad de reproducir procesos y patrones regionales debido a que no representan los forzantes regionales que modulan la estructura espacial y temporal del clima regional (por ej. topografía, tipo de suelo, etc.). Con el fin de sortear este problema se han desarrollado diversas técnicas de “regionalización” o “downscaling” para generar informaciones regionales o locales partiendo de las proyecciones de los GCM.

Principalmente existen dos grandes categorías de downscaling: el *downscaling dinámico* y el *downscaling estadístico*.

Para el downscaling dinámico se usan Modelos de Clima Regional (RCM) que son similares a los GCM pero de mayor resolución espacial (~10 -50 km).

El downscaling estadístico consiste en establecer relaciones empíricas entre las variables climáticas de gran escala, que son los resultados de los GCM y las variables climáticas de superficie locales (datos observados).

Ambas técnicas tienen ventajas y desventajas. Unas desventajas importantes son que el downscaling dinámico es computacionalmente muy demandante, es decir, que necesita superordenadores. Por el contrario, el downscaling estadístico requiere grandes cantidades de datos observados para establecer las relaciones estadísticas.

¹⁵ Variabilidad del clima se refiere a las variaciones en el estado medio y otros datos estadísticos (como las desviaciones típicas, la ocurrencia de fenómenos extremos, etc.) del clima en todas las escalas temporales y espaciales, más allá de fenómenos meteorológicos determinados.

Dado que para este estudio no se tuvo disponibilidad ni salidas de modelos regionales ni largas series homogéneas de datos observados de las regiones Cordillera Blanca y Santa Teresa, se ha decidido trabajar con salidas diarias provenientes de GCM. Otro motivo importante para el uso de salidas diarias es que para poder llevar a cabo los estudios de impacto y adaptación a nivel regional, se usan por ejemplo modelos hidrológicos o modelos de cultivos que necesitan datos diarios como datos de entrada.

Es por estas razones que un objetivo principal de este estudio fue analizar la calidad de las realizaciones¹⁶ de los GCM a nivel diario e investigar si existen realizaciones fiables de la temperatura diaria para las regiones de la Cordillera Blanca en Ancash y del distrito de Santa Teresa en Cusco. Con ese fin se han comparado realizaciones de la temperatura proveniente de modelos climáticos recientes - desarrollados en el marco de CMIP5 (véase capítulo 2) – con series de tiempo observadas en estaciones meteorológicas de la Cordillera Blanca.

4.1 Los modelos climáticos GFDL-CM3 y CCSM4.0

Como ya fue explicado en los párrafos anteriores, una meta de este estudio fue examinar la calidad de las realizaciones diarias provenientes de los GCM. Si la calidad de las realizaciones es satisfactoria, se puede usar directamente las proyecciones, por ejemplo como datos de entrada para modelos hidrológicos o modelos de cultivos en estudios de impacto.

A sabiendas de la publicación del Quinto Informe (AR5) del IPCC sobre la actualidad del entendimiento científico sobre el cambio climático a fines del año 2013, hemos trabajado en este estudio con datos de los nuevos GCM del CMIP5. Los GCM de esta generación incorporan más procesos y retroalimentaciones (feedbacks) físicos y normalmente tienen una resolución espacial más alta que los modelos anteriores. Por todo eso sus resultados normalmente son más fiables.

Desafortunadamente el acceso a los datos de CMIP5 tiene dos problemas: es complicado y la descarga de los datos es de muy larga duración. Frecuentemente, el acceso a los datos es restringido a distintos grupos de usuarios. Además hasta el día de hoy, faltan las proyecciones de unos grupos de modelación.

Por esas razones el presente estudio se ha concentrado en analizar las salidas de dos GCM:

- El primero es el GFDL-CM3 del Laboratorio Geofísico de Dinámica de fluidos (NOAA).
- El segundo es el modelo CCSM4.0 del Centro Nacional de Investigación Atmosférica (NCAR)

Los modelos son así llamados “Earth System Models”, que significa que estos modelos incluyen entre otras cosas vegetación interactiva, ciclo de carbono interactivo y una mejor representación de química atmosférica. Veamos la Tabla 3.

¹⁶ Corrida de un modelo de circulación general. Las realizaciones de un modelo se distinguen por ejemplo en el forzamiento natural y antropogénico.

Tabla 3: Resolución espacial y vertical de dos nuevos modelos globales, desarrollados en el marco de CMIP5, para cuales se han examinado la calidad de la temperatura diaria en este estudio.

Nombre del GCM	Centro de modelación	Resolución espacial [lat x lon deg]	Niveles verticales
GFDL-CM3	NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (EU)	2 x 2.5	48
CCSM4.0	NCAR National Center for Atmospheric Research (EU)	0.9 x 1.25	26

La Tabla 3 muestra la resolución espacial y vertical de los modelos. El GFDL-CM3 tiene una resolución espacial de aproximadamente 200 – 250 km y 48 niveles verticales. Eso significa que en la horizontal la superficie terrestre está dividida en una malla de aprox. 200 a 250 km por celda. En la vertical la atmósfera está dividida en 48 capas. La resolución horizontal del CCSM4.0 es marcadamente más fina (~100 km). El número de niveles verticales es 26.

En la Figura 4 está ilustrada la resolución horizontal y la topografía del GFDL-CM3 y CCSM4.0. La resolución horizontal del CCSM4.0 es más del doble de la resolución horizontal del GFDL-CM3. La altitud máxima del GFDL-CM3 en el Perú es aprox. 3530 msnm, aquella del CCSM4.0 4160 m. En ambos modelos la altitud máxima - con 1720 msnm (GFDL-CM3) y 2300 msnm (CCSM4.0) - es mal representada para la región de la Cordillera Blanca, porque en esta región solo un área estrecha está situada encima de 3000 msnm.

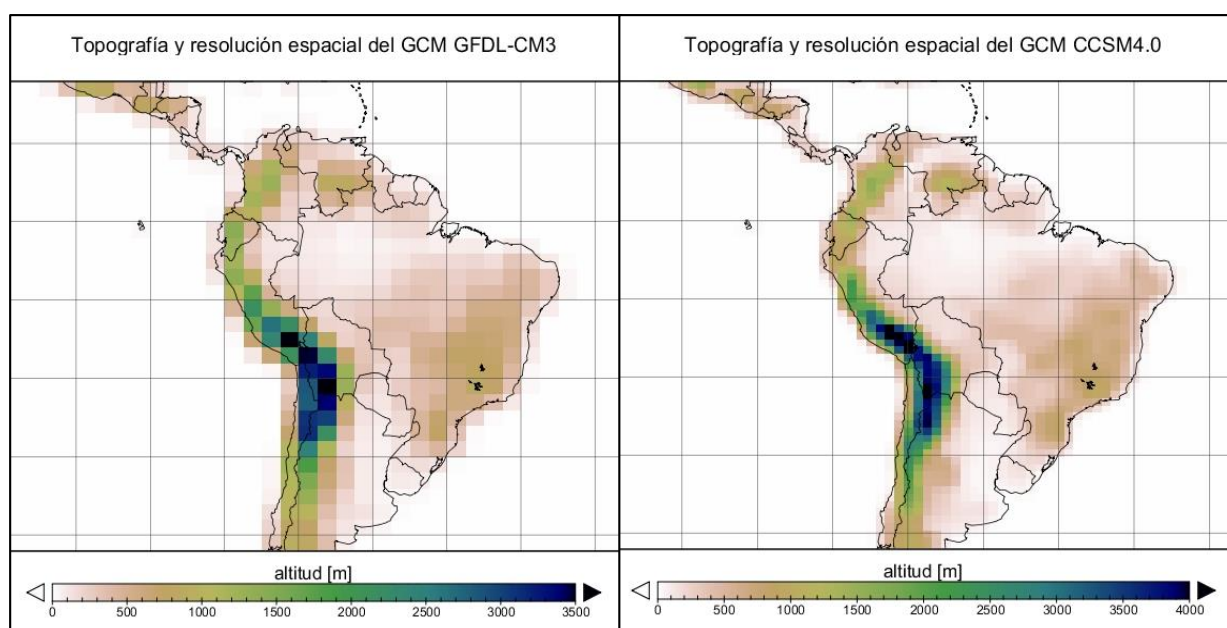


Figura 4: Topografía y resolución espacial de los modelos globales GFDL-CM3 (izquierda) y CCSM4.0 (derecha). La resolución del CCSM4.0 es más del doble de la resolución del GFDL-CM3. En el Perú la altitud máxima en el GFDL-CM3 es 3530 msnm GFDL y 4160 msnm en el CCSM4.0 (Fuente: IPCC).

4.2 Selección de puntos de malla adecuados

Como es un objetivo de este estudio volver disponible las proyecciones fiables de la temperatura diaria para las regiones de la Cordillera Blanca y Santa Teresa, el primer paso es la selección de puntos de malla adecuados de los GCM. Es decir, se tiene que buscar puntos de malla de ambos GCM que se encuentran dentro, o por lo menos, alrededor de las dos regiones.

En la Figura 5 se ve la ubicación de unos puntos de malla del GFDL-CM3 en turquesa y del CCSM4.0 en amarillo. Los puntos de malla marcados son puntos que están en la región de la Cordillera Blanca o Santa Teresa o por los menos son los más cercanos a las dos regiones. Como hemos visto en el capítulo anterior, el GFDL-CM3 todavía tiene una resolución espacial bastante gruesa de 200 a 250 km. Por eso, de dicho GCM no existe ningún punto de malla en las regiones observadas. Por lo tanto se han analizado los datos de cuatro puntos de malla ubicados alrededor de las dos regiones. Por el contrario, el CCSM4.0 si dispone de un punto de malla que está ubicado directamente en la Cordillera Blanca. Por esta razón, en este estudio nos enfocamos en un solo punto de malla del CCSM4.0.



Figura 5: Ubicación de los puntos de malla del GFDL-CM3 (turquesa) y del CCSM4.0 (amarillo). Además se han señalado unos sitios (rojo) para una mejor orientación (Fuente: GoogleEarth).

4.3 Calidad de los datos diarios de la temperatura superficial del aire de los GCM

En este capítulo hablaremos sobre la calidad de los datos diarios, especialmente de la temperatura superficial del aire, provenientes de los GCM. Con ese fin se han comparado realizaciones de los GCM con los datos observados. Una buena coincidencia de las realizaciones de los GCM con los datos observados permitiría utilizar las proyecciones diarias de los GCM directamente como datos de entrada en modelos de impacto.

En la Figura 6 se muestran realizaciones de la temperatura de la superficie del aire en resolución diaria para los cuatro puntos de malla del GFDL-CM3, indicados en la Figura 5. Se han mostrado los datos desde el año 1997 hasta el año 2005. Las líneas azules representan los puntos de malla GFDL_CM3-GP1 y GFDL_CM3-GP2, ubicados cerca de la Cordillera Blanca. Las líneas rojas representan los datos de los puntos de malla GFDL_CM3-GP3 y GFDL_CM3-GP4, ubicados alrededor de Santa Teresa.

Llama la atención que los desarrollos anuales de todos los puntos de malla son bastante peculiares y poco naturales. Además, la diferencia entre las temperaturas máximas y las mínimas anuales aparece muy grande. Estas declaraciones están apoyadas por los datos observados en diferentes estaciones meteorológicas de la Cordillera Blanca (Figura 7). Las temperaturas medias diarias observadas en estas estaciones entre los años 2003 y 2011, muestran un desarrollo anual muy diferente comparado con los puntos de la malla. Sobre todo la variación anual observada, que en todas las estaciones es mucho menor que en las realizaciones del GCM GFDL-CM3.

Una razón para el desarrollo anual atípico de las temperaturas diarias del GFDL-CM3 puede ser que la temperatura superficial del aire depende mucho de la topografía. Pero en el capítulo 4.1 hemos visto que la topografía es mal representada en el modelo GFDL-CM3 por su resolución espacial bastante gruesa. Además, la temperatura superficial del aire es una variable con parámetros fijos y no explícitamente calculada, por eso es más propensa a errores.

Debido a estos resultados, postulamos que los datos diarios de la temperatura superficial del aire generados por el GCM GFDL_CM3 no son suficientemente fiables para usarlos directamente como datos de entrada en, por ejemplo, modelos hidrológicos o modelos de cultivos. En ese sentido se recomienda usar solo las proyecciones mensuales del GFDL-CM3 para estudios de impacto. Para recibir datos diarios se puede aplicar un downscaling estadístico o un método de delta. El método de delta consiste en adicionar un escenario futuro, es decir un valor constante (delta) a series de datos observados.

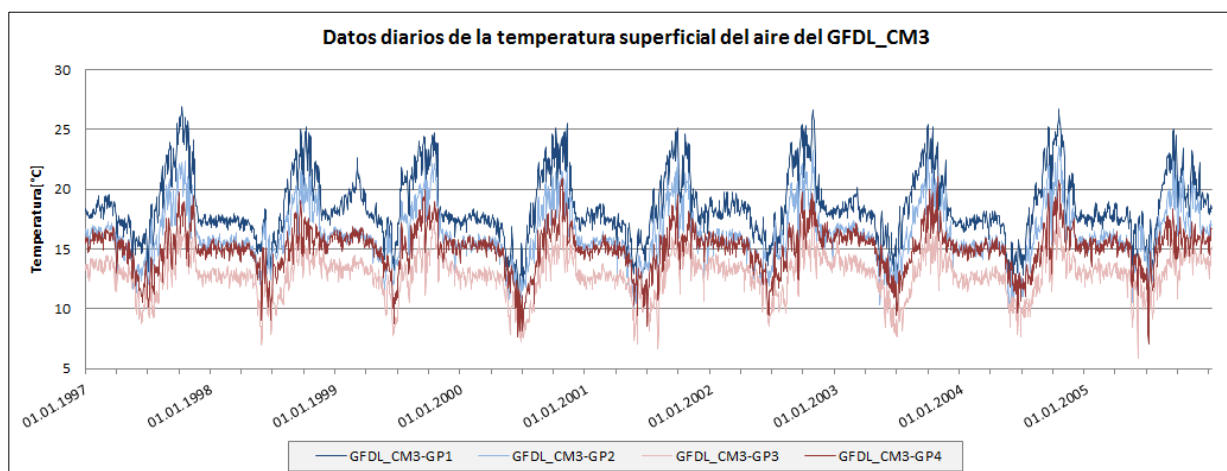


Figura 6: Temperatura superficial del aire proveniente del GCM GFDL-CM3 (datos diarios) para el periodo 1997 – 2005. Las líneas azules son realizaciones de los dos puntos de malla alrededor de la Cordillera Blanca. Las realizaciones representativas para la región Santa Teresa están figuradas en rojo. Para todos los puntos de malla la variación anual de la temperatura aparece atípica y en comparación con datos observados, es demasiado grande (véase Figura 7) (Datos: IPCC).

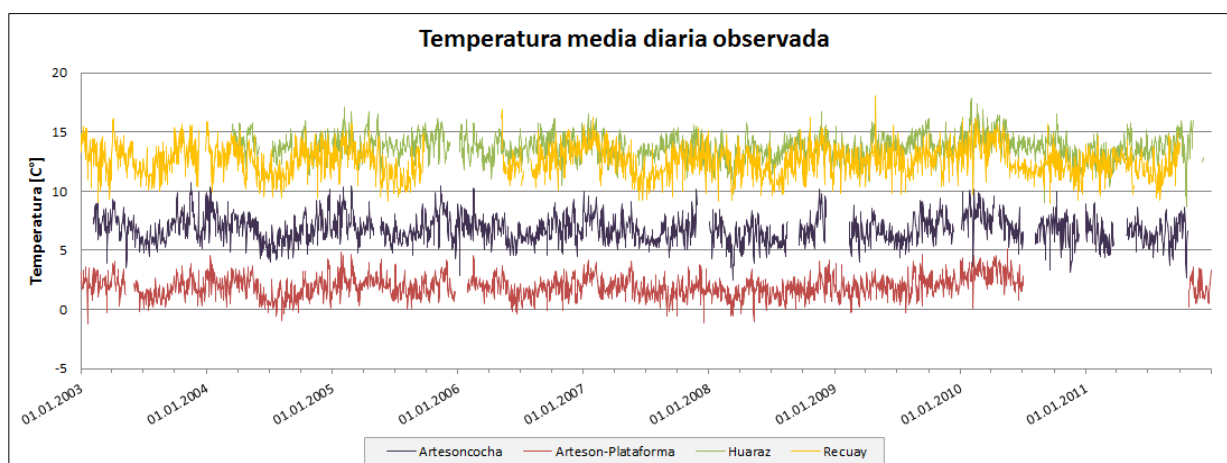


Figura 7: Temperatura media diaria observada (2003-2011) de unas estaciones meteorológicas en la Cordillera Blanca. En comparación con las realizaciones del GFDL-CM3 (véase Figura 6), la variación anual observada en las estaciones es mucho menor (Datos: SENAMHI y Unidad de Glaciología).

Después de analizar los datos del GFDL-CM3, esta sección se dedica a las temperaturas diarias generadas por el modelo climático CCSM4.0. La Figura 8 muestra una realización de la temperatura diaria del CCSM4.0 (azul) y las series de temperatura de las estaciones Huaraz (verde) y Recuay (amarillo) para un periodo de ocho años. Comparado con las temperaturas del GFDL-CM3, aquellas del CCSM4.0 coinciden mucho mejor con las mediciones. No solo el desarrollo anual sino también la variación interanual son bastante similares a los de las observaciones en Huaraz y Recuay.

Debido a estos resultados se puede recomendar - además de las proyecciones mensuales – usar también las proyecciones diarias de la temperatura superficial del aire directamente para estudios de impacto. Una gran ventaja de las salidas diarias del GCM CCSM4.0 de frente de salidas de otros GCM y RCM es que no solo los datos mensuales, sino también los datos diarios son disponibles para todos los interesados.

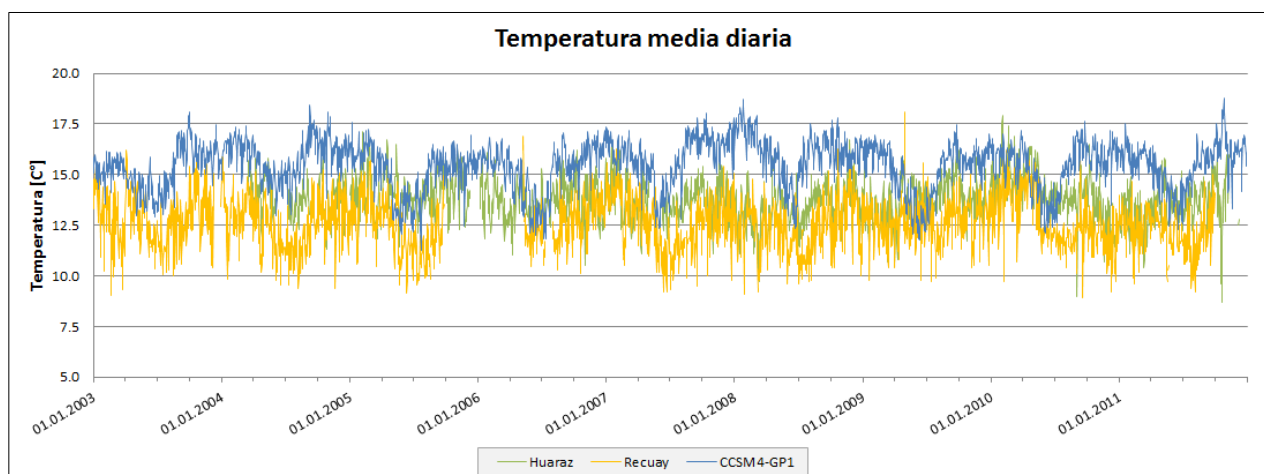


Figura 8: Comparación de la temperatura diaria generada por el modelo global CCSM4.0 (azul) y de la temperatura medida en las estaciones Huaraz (verde) y Recuay (amarillo). El desarrollo de los datos del CCSM4.0 coincide bastante bien con los datos observados en Huaraz y Recuay (Datos: Unidad de Glaciología y IPCC)

5 Conclusiones

A fines del año 2013, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) publicó su Quinto Informe (AR5) sobre el la actualidad acerca del entendimiento científico sobre el cambio climático. Para esto, los grupos que desarrollan modelos climáticos (GCM), han ejecutado la quinta fase del Proyecto de Intercomparación de Modelos Climáticos (CMIP5), con nuevos GCM mejorados y nuevos escenarios de emisión, los “Representative Concentration Pathways” (RCP).

Una meta de este estudio es dar una primera impresión sobre el desarrollo futuro de la temperatura y precipitación en la región de la Cordillera Blanca y la Cordillera Negra, considerando las salidas de los nuevos GCM del CMIP5. Por eso se han analizado datos mensuales que hasta hoy están **disponibles** de numerosos GCM. Para cinco de dichos GCM, se han calculado **proyecciones estacionales** para el periodo de los meses de diciembre, enero y febrero, basando en el escenario de emisión RCP8.5.

En el caso de la temperatura se ha demostrado que en el periodo 2010 -2100, todos los modelos analizados muestran una tendencia positiva, es decir, un incremento de la temperatura. **Para el periodo 2010 - 2095 el aumento de la temperatura estacional varía entre aproximadamente 2.8°C (MRI-CGCM3) y 4.2°C (GFDL-CM3).** Este aumento en la temperatura puede causar por ejemplo un retroceso marcado especialmente de pequeños glaciares de baja elevación. Cambios en el ciclo hidrológico por desglaciación pueden afectar la agronomía, el ecosistema y la hidroeléctricidad. Además, el retroceso glaciar contribuye en muchos casos a la formación de lagunas pro-glaciares, asociados con incidencias de desastres por desbordes y aluviones.

En cuanto a la precipitación no hay tendencias tan claras. **Todas las proyecciones de la precipitación estacional muestran o ninguna tendencia o un aumento pequeño** para la Cordillera Blanca y Negra en el siglo 21. No solo para la temperatura sino también para la precipitación, los modelos dan una imagen bastante consistente.

En este estudio, también se han examinado las **salidas diarias de dos modelos globales**. El primero GCM es el GFDL-CM3 del Laboratorio Geofísico de Dinámica de Fluidos (NOAA). El segundo es el modelo CCSM4.0 del Centro Nacional de Investigación Atmosférica (NCAR). Con este análisis hemos podido averiguar si la calidad de la temperatura diaria generada por los GCM, es suficiente buena para usar las proyecciones diarias directamente como datos de entrada para, por ejemplo, modelos hidrológicos o modelos de cultivos. Por eso se han comparado realizaciones de la temperatura superficial del aire a nivel diario – provenientes de los dos GCM - con datos observados.

Se ha demostrado que, en el caso del modelo **GFDL-CM3**, el desarrollo anual de la temperatura diaria es bastante peculiar y poco natural. Además, la diferencia entre las temperaturas máximas y las mínimas anuales es demasiado grande comparado con las temperaturas medidas.

Por estas razones se postula que los **datos diarios de la temperatura superficial del aire generados por el GCM GFDL_CM3 no son suficientemente fiables** para usarlos directamente como datos de entrada en modelos usados en estudios de impacto. En este contexto se recomienda usar solo las proyecciones mensuales del GFDL-CM3.

En contraste con las temperaturas del GFDL-CM3, **las temperaturas diarias generadas por el CCSM4.0 coinciden mucho mejor con las mediciones**. No solo el desarrollo anual sino también la variación interanual son bastante similares a los de las observaciones en las estaciones ubicadas en Huaraz y Recuay (ANCASH). Por eso se puede recomendar - además de las proyecciones mensuales – usar también las proyecciones diarias de la temperatura superficial del aire directamente para estudios de impacto.

Una gran ventaja de las salidas diarias del GCM **CCSM4.0** frente a algunos otros GCM y RCM es que no solo las salidas mensuales sino también las **salidas diarias** son **disponibles para todos los interesados**.

6 Bibliografía

Los mapas se realizaron utilizando el software GoogleEarth ([http:// earth.google.com/](http://earth.google.com/))

Falvey, Mark, and René D. Garreaud. 2009. "Regional Cooling in a Warming World: Recent Temperature Trends in the Southeast Pacific and Along the West Coast of Subtropical South America (1979–2006)." *Journal of Geophysical Research* 114 (D4) (February 18): 1–16. doi:10.1029/2008JD010519. <http://www.agu.org/pubs/crossref/2009/2008JD010519.shtml>.

IPCC: <http://www.ipcc-data.org/>

KNMI Climate Explorer: climexp.knmi.nl

Proyecto Glaciares. 2012. "Adaptación Al Cambio Climático y Reducción De Riesgos De Desastres Por El Retroceso De Los Glaciares En La Cordillera De Los Andes." <http://proyectoglaciares.wix.com/boletin01-py-glaciares#!>

Schwarb, M., D. Acuña, Th. Konzelmann, M. Rohrer, N. Salzmänn, B. Serpa Lopez, and E. Silvestre. 2011. "A Data Portal for Regional Climatic Trend Analysis in a Peruvian High Andes Region." *Advances in Science and Research* 6 (August 16): 219–226. doi:10.5194/asr-6-219-2011. <http://www.adv-sci-res.net/6/219/2011/>.

SENAMHI. 2007. "Escenarios de cambio climático en la cuenca del Río Urubamba para el año 2100." *Proyecto Regional Andino De Adaptación*.

SENAMHI. 2009. Escenarios climaticos en la cuenca del río Santa para el año 2030.

Taylor, KE. Stouffer, RJ. Meehl, GA. 2012. An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(4): p.485–498.

Van Vuuren, D.P., et al. (2011): The representative concentration pathways: an overview, *Climatic Change* 109, 5-31.

7 Glosario

Adaptación

En los sistemas humanos, el proceso de ajuste al clima real o proyectado y sus efectos, a fin de moderar los daños o aprovechar las oportunidades beneficiosas. En los sistemas naturales, el proceso de ajuste al clima real y sus efectos; la intervención humana puede facilitar el ajuste al clima proyectado. (Informe especial del IPCC, uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura)

Albedo

Fracción de radiación solar reflejada por una superficie u objeto, frecuentemente expresada en términos porcentuales. El albedo de los suelos puede adoptar valores altos, como en las superficies cubiertas de nieve, o bajos, como en las superficies cubiertas de vegetación y los océanos. El albedo de la Tierra varía principalmente en función de la nubosidad, de la nieve, del hielo, de la superficie foliar y de los cambios en la cubierta del suelo. (AR4 Glosario)

Antropogénico

Resultante de la actividad del ser humano o producido por este. (AR4 Glosario)

Atmosphere-Ocean General Circulation Models (AOGCM)

Los modelos de circulación general acoplados atmósfera/océano/hielo marino (español: MCGAAO) permiten hacer una representación integral del sistema climático. (<http://www.lenntech.es/efecto-invernadero/glosario-cambio-climatico.htm>)

Ciclo de carbono

Término empleado para describir el flujo del carbono (en diversas formas, por ejemplo, como dióxido de carbono) en la atmósfera, los océanos, la biosfera terrena y la litosfera. (AR4 Glosario)

Fenómeno ENOS

El ENOS es un fenómeno oceánico-atmosférico que consiste en la interacción de las aguas superficiales del océano Pacífico tropical con la atmósfera circundante. Además, el ENOS está relacionado con trastornos climáticos en muchas partes del mundo así como con alteraciones significativas en diversos tipos de ecosistemas tanto terrestres como marinos. (<http://www.imn.ac.cr/educacion/enos.html>)

Forzamiento radiativo

Variación de la irradiancia vertical neta (expresada en watios por metro cuadrado (Wm^{-2})) en la tropopausa por efecto de un cambio interno o externo del forzamiento del sistema climático. (AR4 Glosario)

Gases de efecto invernadero o gas invernadero

Componente gaseoso de la atmósfera, natural o antropógeno, que absorbe y emite radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja emitida por la superficie de la Tierra, por la atmósfera y por las nubes. Esta propiedad ocasiona el efecto invernadero. El vapor de agua (H_2O), el dióxido de carbono (CO_2), el óxido nitroso (N_2O), el metano (CH_4) y el ozono (O_3) son

los gases de efecto invernadero primarios de la atmósfera terrena. Además del CO₂, del N₂O y del CH₄, el Protocolo de Kioto contempla los gases de efecto invernadero hexafluoruro de azufre (SF₆), los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC). (AR4 Glosario)

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) fue establecido conjuntamente en 1988 por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) con el mandato de analizar la información científica necesaria para abordar el problema del cambio climático y evaluar sus consecuencias medioambientales y socioeconómicas, y de formular estrategias de respuesta realistas. (www.ipcc.com)

Mitigación

Intervención antropogénica para reducir el forzamiento antropogénico del sistema climático; abarca diversas estrategias encaminadas a reducir las fuentes y emisiones de gases invernadero y a potenciar sus sumideros. (AR4 Glosario)

Modelos climáticos

Representación numérica del sistema climático basada en las propiedades físicas, químicas y biológicas de sus componentes, en sus interacciones y en sus procesos de retroefecto, 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 una jerarquía de modelos que difieren en aspectos tales como el número de dimensiones espaciales, el grado en que aparecen representados los procesos físicos, químicos o biológicos, o el grado de utilización de parametrizaciones empíricas. Los modelos de circulación general acoplados atmósfera/océano/hielo marino (MCGAAO) 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 operacionales, en particular predicciones climáticas mensuales, estacionales e interanuales. (AR4 Glosario)

Oscilación decadal del Pacífico

La Oscilación Decadal del Pacífico (ODP) ha sido descrita como una fluctuación (variabilidad climática) de largo período en el océano Pacífico, el cual afecta principalmente la cuenca del Pacífico y el clima de América del Norte. (<http://tarwi.lamolina.edu.pe/licochea/enos/tema/2/enos2.html>)

Oscilación Madden-Julian

Se llaman "oscilaciones intraestacionales" o "oscilación de Madden y Julian" (MJO), a aquellas que se observan en los patrones de precipitación tropical y que tienen un ciclo que varía alrededor de 30-60 días. Se caracteriza por un desplazamiento hacia el este donde pueden individualizarse zonas de lluvia intensa seguidas de zonas sin lluvias en la región tropical, sobre todo en los océanos Índico y Pacífico. El núcleo de mayor precipitación se individualiza primero en el oeste del océano Índico y se propaga hacia el este sobre el Pacífico oeste y central.

(<http://www.cima.fcen.uba.ar/~gonzalez/sclima/productos/madden/index.htm>)

Realizaciones

Corrida de un modelo de circulación general. Las realizaciones de un modelo se distinguen por ejemplo en el forzamiento natural y antropogénico.

Representative Concentration Pathways (RCP)

Escenarios que incluyen series de tiempo de las emisiones y concentraciones de la gama completa de gases de efecto invernadero y de aerosoles y gases químicamente activos, así como uso del suelo / cubierta terrestre. La palabra “representative” significa que cada RCP proporciona sólo uno de muchos escenarios posibles que conduzcan a las características específicas del forzamiento radiativo. El término “Pathway” hace hincapié en que no sólo los niveles de concentración a largo plazo son de interés, sino también la trayectoria tomada en el tiempo para llegar a ese resultado. (AR5 Glosario, traducido de la versión en inglés)

Special Report on Emissions Scenarios (SRES)

El informe especial sobre escenarios de emisiones (IE-EE) es un informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) que se publicó en 2000.

Uso del suelo / tierras

Conjunto total de disposiciones, actividades y aportes de que es objeto determinado tipo de cubierta terrestre (conjunto de acciones humanas). Fines sociales y económicos a que responde la gestión de las tierras (por ejemplo, pastoreo, extracción de madera, conservación). (Informe especial del IPCC, uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura)

Variabilidad del clima

La variabilidad del clima se refiere a las variaciones en el estado medio y otros datos estadísticos (como las desviaciones típicas, la ocurrencia de fenómenos extremos, etc.) del clima en todas las escalas temporales y espaciales, más allá de fenómenos meteorológicos determinados. La variabilidad se puede deber a procesos internos naturales dentro del sistema climático (variabilidad interna), o a variaciones en los forzamientos externos antropogénicos (variabilidad externa). (AR4 glosario)