

Pronósticos climáticos en la Región de Coquimbo usando técnicas de downscaling estadística

K. Verbist^{a,b}, G. Soto^a, W. Baethgen^c, E. Gonzalez^d & D. Gabriels^b

Resumen

La variabilidad climática forma parte del clima en zonas áridas, influyendo en el manejo del secano y causando incertidumbre para la parte de la población que depende de los recursos pluviométricos anuales. En las zonas de riego también influye fuertemente, tanto por la disponibilidad de recursos hídricos, como de otros factores climáticos asociados, como heladas, por ejemplo. En algunos lugares esta variabilidad se encuentra fuertemente vinculada con los fenómenos de 'El Niño' y 'La Niña' (ENSO), a través de teleconexiones. Siendo fenómenos que originan de una alta o baja temperatura del Mar Pacífico. El conocimiento de esta información, en combinación con las predicciones de Modelos de Clima Global (GCM's) nos puede indicar con anticipación la probabilidad del desarrollo de un año Niño o Niña.

El trabajo, actualmente en desarrollo, se enfoca en la evaluación estadística del vínculo entre el ENSO y la precipitación en la Región de Coquimbo, que a su vez influye en los caudales. Se evalúa la eficiencia de modelos, que usan técnicas de downscaling estadística de los GCM, para la predicción de sequías y caudales en la Región. Los resultados preliminares muestran que las sequías y los caudales en la Región de Coquimbo, Chile, tienen cierta predictibilidad a mediano plazo (6-12 meses), cuando se incluye información del ENSO, y que los modelos estadísticos podrían formar la base de un sistema de alerta temprana para las sequías en la Región de Coquimbo.

Summary

Climatic variability is a typical characteristic of the climate in arid zones, influencing dryland management and causing uncertainty for that part of the population that is dependent on annual rainfall resources. Nevertheless, at some locations this variability is found to be highly related to the El Niño Southern Oscillation (ENSO) through so called teleconnections. Being a phenomenon that originates from low or high temperature on the Pacific Ocean, knowledge of this information, in combination with predictions from Global Climate Models (GCMs) can indicate with anticipation the development of an 'El Niño' or a 'La Niña' year.

The present work focuses on the statistical evaluation of the link between the ENSO and the precipitation in the Coquimbo Region, that in turn influences the river discharges. The accuracy of drought and discharge prediction models, that use statistical downscaling techniques of the GCMs, is evaluated for its application in the Region. The preliminary results show that droughts and discharges in the IVth Region have certain predictability on the medium term (6-12 months) and that the statistical models could form the basis of an early warning system for droughts in the Coquimbo Region.

Palabras Claves:

Variabilidad Climática, Modelos de Predicción, ENSO

^a CAZALAC, Benavente 980, La Serena - Chile, KVerbist@cazalac.org

^b University Ghent, Coupure Links 653, 9000 Gent, Belgium

^c International Research Institute for Climate and Society, 61 Rt. 9W, Palisades, New York, USA

^d CEAZA, Benavente 980, La Serena, Chile

INTRODUCCIÓN

Una observación común en zonas áridas es la ocurrencia de una variabilidad climática entre un año y otro, causando sequías en algunos años y exceso de agua o inundaciones en otros. Fig.1b muestra la variación de precipitaciones registradas en La Serena durante los meses considerados como periodo húmedo (mayo-junio-julio-agosto), indicando una variabilidad climática importante entre años consecutivos. Adicionalmente, una tendencia negativa durante el siglo pasado en el volumen pluviométrico fue identificada en la Región de Coquimbo, como indica la Fig. 1b, donde se observa una tendencia en el aumento de la probabilidad de que ocurran sequías.

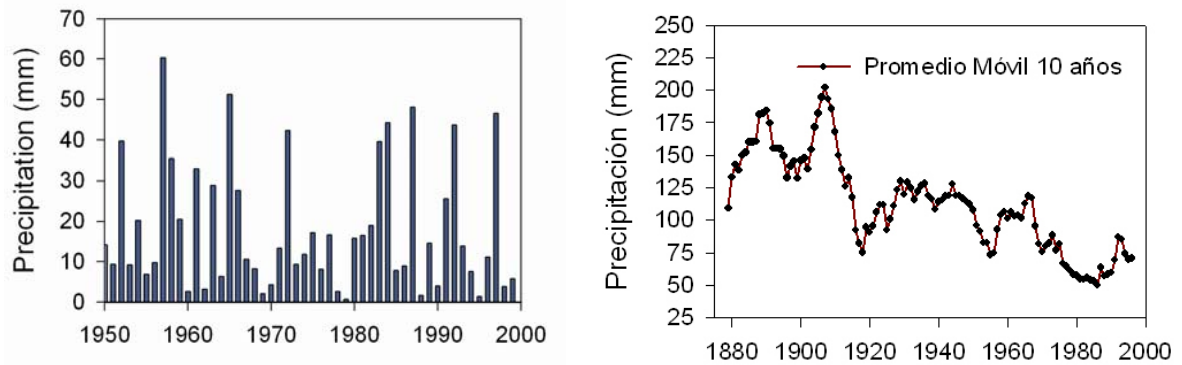


Fig. 1 Precipitación total durante la temporada húmeda (A) y la media móvil de 10 años de la precipitación total (B) para La Serena, Región de Coquimbo

Al otro lado, la variabilidad climática ha incrementado durante las últimas décadas, demostrado por ejemplo en un incremento de la Agresividad Climática (usando el Index de Fournier Modificado) durante los últimos años (Fig.2), que indica una vulnerabilidad mayor del ecosistema a la degradación del suelo por erosión hídrica.

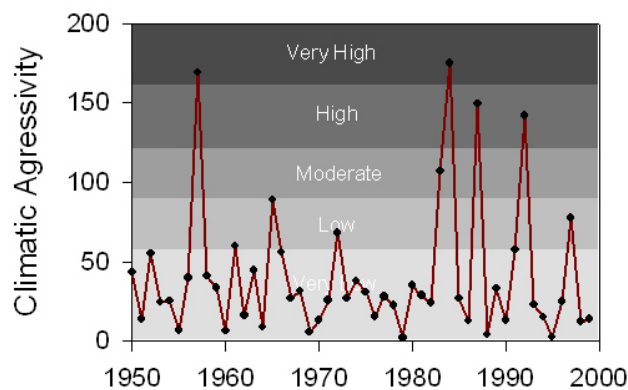


Fig. 2 Agresividad climática en La Serena

Esta incertidumbre climática afecta una parte de la población que depende de los recursos pluviométricos anuales; los agricultores de secano y los criadores de ganado que usan la vegetación natural como forraje, influenciando la producción vegetal en 2.5 millones de hectáreas (INIA, 2005). Además, la variabilidad climática probablemente ha influido en la

disminución de la población rural, frente a una mayor urbanización (incremento de la población en La Serena/Coquimbo con 80% durante los últimos 20 años).

Un conocimiento previo de los eventos extremos climáticos sería de gran importancia para un gran parte de la población y para el sector público que administra las emergencias climáticas. Un sistema de alerta temprana (SAT) podría jugar un rol importante en el mejoramiento de la agricultura de secano, optimizando la selección de cultivos en función de las condiciones pluviométricas pronosticadas. Por las mismas razones, un SAT con este enfoque tendría un impacto en los programas de reforestación para combatir la desertificación, cuyos éxitos dependen de manera importante de los recursos hídricos durante el primer año. Como ejemplo, se puede mencionar que los programas de reforestación en el Norte de Perú realizados con *Prosopis* son coordinados para coincidir con el fenómeno de 'El Niño'. Por lo tanto, un sistema de alerta temprana de eventos extremos podría ser considerado como un mejoramiento importante para el manejo del secano en la Región de Coquimbo.

Esta contribución tiene como objetivo explorar los fundamentos de dicho sistema y evaluar la factibilidad de hacer predicciones de eventos extremos a mediano plazo.

MARCO TEORICO

El tiempo no puede ser pronosticado con más de 10 días de anticipación, por el contrario, las variables climáticas, como precipitación total, cantidad de días húmedos entre otras, tienen cierta probabilidad de ser pronosticadas debido a su dependencia a fenómenos globales. Un claro ejemplo de este comportamiento es la influencia de 'El Niño Southern Oscillation' (ENSO) sobre la precipitación en los trópicos. Sin embargo, este fenómeno también tiene influencias en sectores que no presentan una conexión directa con el origen del fenómeno (el Pacífico Tropical), pudiéndose explicar a través de teleconexiones, las cuales recientemente se están investigando.

El Niño y la Niña originan respectivamente un calentamiento o un enfriamiento de la temperatura del mar en el Pacífico, que principalmente es observado en la zona comprendida entre los 5S-5N y 170W-120W, conocido como Zona NIÑO 3.4 (Fig.1). La temperatura del mar es expresada en términos de su anomalía respecto a un año promedio, como se observa en la Figura 2, indicando condiciones El Niño con temperaturas más altas y La Niña, cuando la temperatura del mar está bajo el promedio.

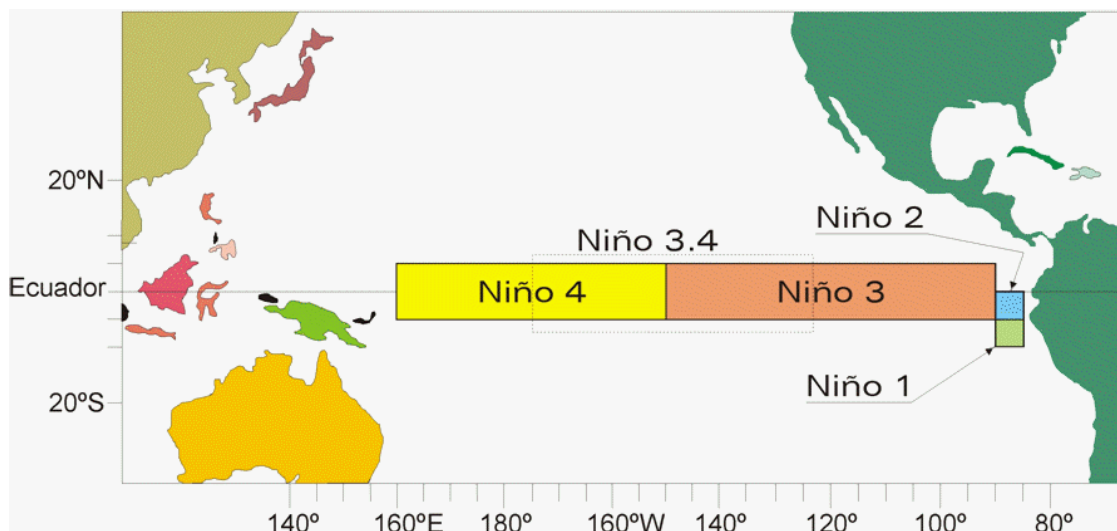


Fig.1 Regiones del Pacífico Ecuatorial cuyas anomalías en la temperatura del agua superficial del mar se utilizan como índices para determinar la intensidad del Niño o de la Niña.

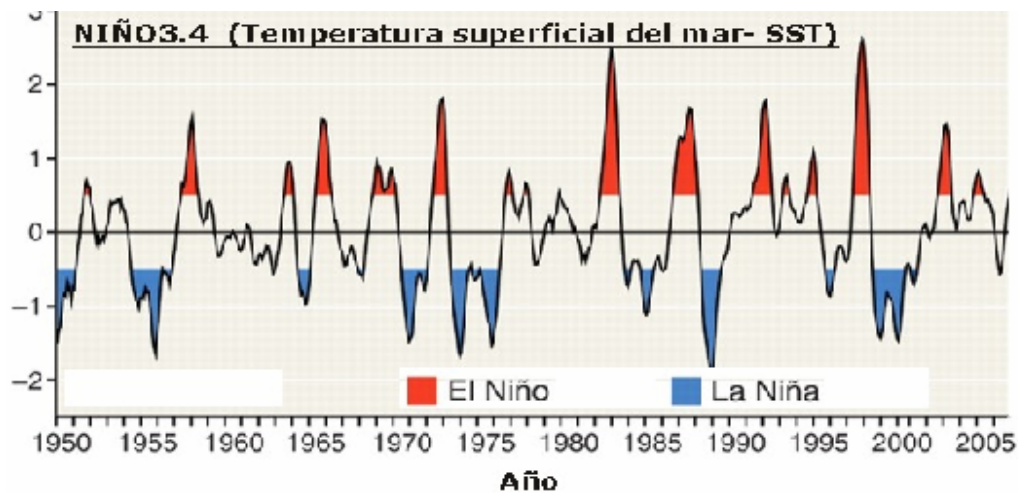


Fig.2 Anomalías de la temperatura del agua superficial en la región NIÑO3.4

En el aspecto hidrológico, el Niño provoca fuertes lluvias en la costa de Ecuador, Perú y norte de Chile, regiones que, desde Guayaquil hacia el sur, son en tiempos normales extremadamente áridas. Las precipitaciones son fomentadas por la alta evaporación en el mar, cuyas aguas superficiales registran temperaturas varios grados superiores a las normales. Además, las tormentas son favorecidas por las presiones más bajas que se registran en aquella zona. Por el contrario, en la otra parte del Pacífico, la disminución de la temperatura de las aguas y el aumento de la presión atmosférica provocan sequías en Indonesia y en el norte de Australia, regiones que son normalmente muy húmedas (Uriarte, 2003).

El fenómeno del Niño es suficientemente influyente en la climatología, no sólo del Pacífico, sino de otras regiones del mundo, como para hacer aumentar o disminuir la temperatura media global en más de 0,5 °C. Tal es lo ocurrido durante los meses de apogeo del Niño de 1997-1998. La variación en los campos de presión sobre el Pacífico tropical repercute en el sistema general de circulación atmosférica, por lo que también se nota la influencia del Niño más allá de la región directamente concernida, si bien los efectos se debilitan con la lejanía. Así, por ejemplo, se suelen producir catastróficas sequías en el noreste de Brasil y se agudiza la tendencia a la sequía en la región suroccidental de Estados Unidos. Como efecto positivo, es de señalar una menor frecuencia de huracanes en el Atlántico (Uriarte, 2003).

En este trabajo se usaron dos métodos de pronósticos climáticos. En primer lugar se aplicaron modelos GCM que acoplan el océano, la atmósfera y la tierra para interpretar la variación de la temperatura del mar con el fin de pronosticar el comportamiento de esta a mediano plazo. La Fig. 3 muestra un ejemplo que pronostica la anomalía de la temperatura del mar, usando un GCM acoplado. Se observa que el modelo entrega una serie de pronósticos, partiendo de la misma situación inicial, que varía ligeramente entre simulaciones debido a la complejidad de los procesos involucrados. Sin embargo, es posible identificar una tendencia en el promedio de los resultados los cuales indican un aumento en la temperatura y el desarrollo del fenómeno 'El Niño'. En segundo lugar, se pueden utilizar estas predicciones de la temperatura del mar como estimaciones iniciales en GCM para el pronóstico de precipitaciones.

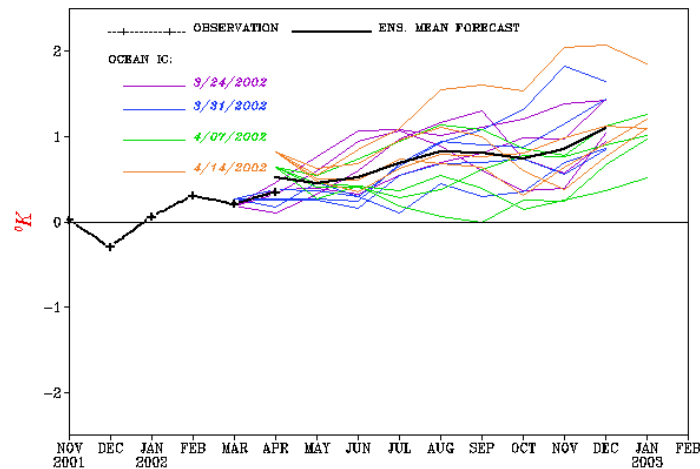


Fig.3 Pronósticos de la evolución de las anomalías en la temperatura del mar en la zona Niño 3.4 usando un modelo acoplado de clima global (ECHAM 4.5)

RESULTADOS

Se describen los resultados preliminares de la evaluación de la influencia del ENSO sobre las precipitaciones en la Región de Coquimbo y sus efectos sobre los caudales y además, explora la posibilidad de construir modelos de predicción de eventos extremos, usando una técnica de downscaling estadística.

Correlaciones

En primer lugar, se evaluaron las correlaciones entre el clima y los caudales en la Región de Coquimbo y los indicadores relacionados con el ENSO. Estos indicadores incluyen la temperatura del mar, precipitaciones en el Pacífico, vientos, como principales. La Figura 4a muestra la correlación entre la anomalía de la temperatura del mar y la precipitación en la IV Región, registrados entre 1950 y 2000. Donde es posible observar que las precipitaciones están altamente relacionadas con la temperatura del mar en la zona denominada "Niño 3.4", indicando que temperaturas altas en esta zona causan mayores precipitaciones en la Región de Coquimbo. Resultados similares fueron encontrados para el caso de los caudales del Río Elqui (fig 4b).

Estas correlaciones indican que la temperatura del mar, y por consecuencia el ENSO, tienen alta influencia en la precipitación y consecuentemente en los caudales, sin embargo, para poder realizar pronósticos, es necesario que esta relación se mantenga durante varios meses. Como es un sistema que cambia lentamente, la temperatura del mar puede indicar una situación 'Niño' o 'Niña' varios meses antes de que sean observables los efectos en la Región. Un claro ejemplo es lo que ocurre en los caudales, donde se observa un atraso de seis meses en la reacción de estos frente a la influencia de las temperaturas en el Pacífico. Para las precipitaciones, se observaron lapsos de hasta 4 meses, lo cual permite hacer pronósticos a corto plazo.

Sin embargo, con la utilización de modelos GCM, es posible obtener pronósticos a mediano o largo plazo, debido a que estos modelos permiten usar datos de la temperatura del mar para hacer predicciones de las precipitaciones con varios meses de anticipación, que a su vez, pueden ser relacionados con las precipitaciones y los caudales observados en la Región. En Fig. 5 se puede observar esta relación entre las precipitaciones medidas y pronosticadas, donde cabe mencionar que la precipitación medida muestra una alta correlación con la precipitación pronosticada por el GCM en dos ubicaciones: la zona Niño 3.4 (en correspondencia con la temperaturas del mar – Fig.4a) y el Norte de Chile. Esta última correlación indica que el modelo es capaz de simular las precipitaciones en la Región, usando temperaturas del mar con varios meses de anticipación, aumentando el plazo de pronóstico.

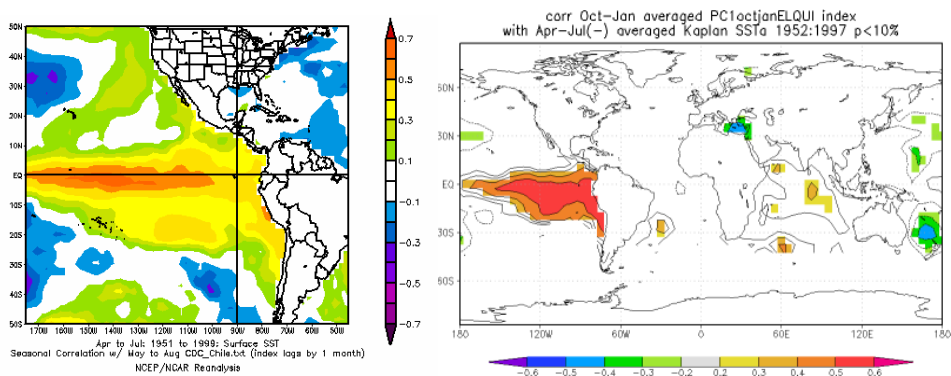


Fig. 4 Correlaciones entre la temperatura del Mar Pacífico y las precipitaciones en la IV Región (a) y el caudal en el Río Elqui (b)

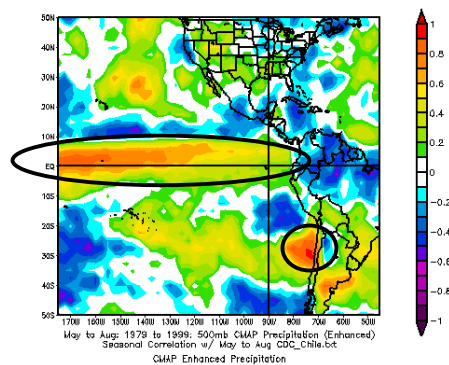


Fig. 5 Correlaciones entre las precipitaciones pronosticadas por GCM ECHAM 4.5 usando la temperatura del mar de marzo y las precipitaciones de la IV Región durante el invierno.

Modelos de predicción

Las correlaciones observadas demuestran que existe cierta probabilidad de predecir el clima y los caudales en la Región, que a través de modelos estadísticos pueden proporcionar una herramienta útil para hacer pronósticos. Para este objetivo, el International Research Institute (<http://portal.iri.columbia.edu/>) desarrolló el 'Climate Prediction Tool' o CPT, que permite capturar estas correlaciones en modelos matemáticos, usando análisis de componentes principales (PCA) o análisis de correlaciones canónicos (CCA).

Con la utilización de CPT se construyeron modelos preliminares, usando registros de precipitaciones mensuales desde 1950 a 2000 y caudales en los últimos 20 años. En ambos casos se observó que al menos un componente principal relacionó fuertemente la temperatura del mar (o las precipitaciones pronosticadas con ella) con las precipitaciones o los caudales de la Región, como consecuencia lógica del análisis de las correlaciones.

Como ejemplo se muestra en Fig. 6 los resultados obtenidos con la precipitación pronosticada con el GCM y la precipitación registrada en cada estación pluviométrica de la Región durante los últimos 50 años. Se observa una fuerte correlación ($R^2 > 0.7$) entre el componente principal de ambas variables en la mayoría de las estaciones de la Región, indicando que el modelo predice la variabilidad en las precipitaciones registradas.

Debido a que el modelo ha sido construido con datos hasta 2000, fue posible evaluar o validar su comportamiento con datos del 2001 a 2005. En Fig. 7 se muestran los resultados mostrando la alta correlación, indicando la capacidad del modelo de predecir estos eventos que no fueron incluidos en el proceso de construcción del modelo.

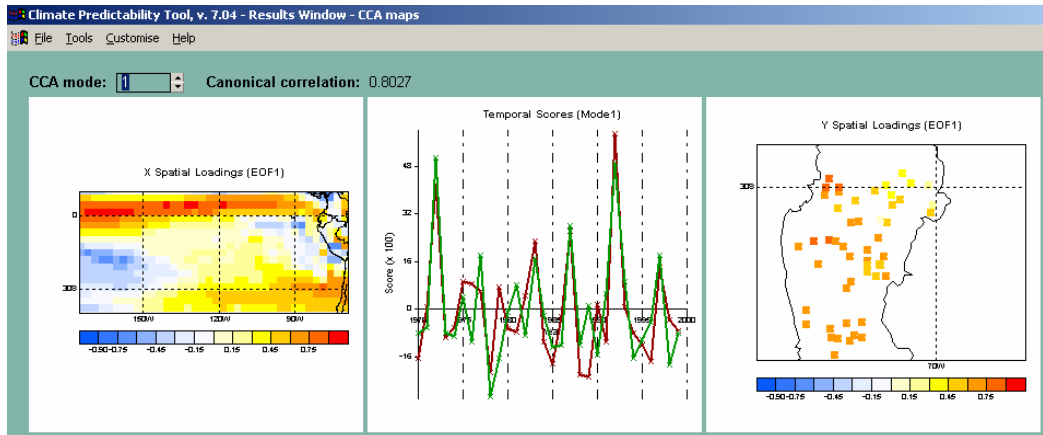


Fig. 6 Correlaciones entre la precipitación pronosticada por ECHAM 4.5 y la precipitación registrada en cada estación de la Región de Coquimbo

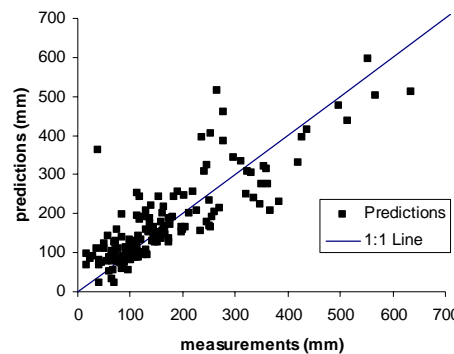


Fig. 7 Relación entre la precipitación registrada (X) y la precipitación pronosticada (Y) para las estaciones de la Región, por el periodo 2001-2005

DISCUSIÓN

Los resultados preliminares presentados en este estudio muestran una alta correlación entre la temperatura del Pacífico en la zona ecuatorial, que corresponde a la zona que da origen a los fenómenos de 'El Niño' y 'La Niña', y las precipitaciones y caudales de la Región de Coquimbo. Además fue posible observar que el GCM es adecuado para pronosticar la precipitación registrada en la Región, con varios meses de anticipación.

Estos resultados necesitan ser evaluados y comprobados con un análisis más profundo, tarea que actualmente se está realizando, especialmente a través del reanálisis de los registros pluviométricos, usando directamente los datos diarios. Esto podrá evitar la influencia del rellenado de los datos en las correlaciones y en la modelación, que posiblemente contribuirá a la construcción de modelos de mayor precisión.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido financiada por el Fondo UNESCO-Flandes y por Departamento de Ciencias e Innovación del Gobierno de Flandes. Además cuenta con el apoyo del International Research Institute, de la Universidad de Columbia, de CAZALAC y de la Oficina Regional de ALC del Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO.