

EVALUACIÓN HIDROLÓGICA DE LA TÉCNICA DE REDUCCIÓN DE ESCALA CSD (CHAOTIC STATISTICAL DOWNSCALING) EN LA CUENCA DEL RÍO BOGOTÁ

Freddy Duarte¹, Gerald Corzo², Germán Santos³ y Oscar Hernández⁴

¹Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá – Colombia, ²IHE Delft Institute for Water Education, Delft - The Netherlands.

³Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá – Colombia; ⁴The University of Iowa, Iowa City - United States.

E-mail: freddy.duarte@escuelaing.edu.co, g.corzo@unesco-ihe.org, german.santos@escuelaing.edu.co, oscar-hernandezmurcia@uiowa.edu

Introducción

Debido a las preocupaciones globales del incremento de eventos extremos se ha visto el desarrollo del uso de modelos climáticos globales para problemas del manejo y planeación de los recursos hídricos en diferentes partes del mundo. En general, modelos globales de diferentes organizaciones en el mundo proveen basta información meteorológica para múltiples escenarios futuros. En este sentido nuevos retos se han presentado para poder usar esta información a nivel de cuenca, no solo el concepto de información a escala de grillas, sino también como transformar esta información a escala de cuenca. Diferentes técnicas existen en esta área, desde modelos físicos, hasta modelos estocásticos, como se observa en Corzo, G. et al (2009), entre las técnicas más utilizadas se resaltan: ANN (Artificial Neuronal Network), SDSM (Statistical Downscaling Model), ADC (Advanced Delta Change Method) y WRF (The Weather Research and Forecast model).

La complejidad de la transformación de datos de fenómenos de precipitación entre diferentes escalas espaciales y temporales ha motivado recientemente la incorporación de nuevas técnicas avanzadas de análisis que puede ser exitosas. Sin embargo, considerando que los sistemas climáticos y sus procesos dinámicos asociados son esencialmente no lineales, y posiblemente caóticos, la efectividad de estas técnicas puede ser limitada y dificulta la estimación determinística de la precipitación obtenida desde los GCM para modelaciones hidrológicas Sivakumar, B. (2010).

El análisis de caos en las series de tiempo se ha desarrollado en diferentes áreas de estudio, siendo utilizado ampliamente en pronósticos de series de tiempo y permitiendo la creación de modelos caóticos predictivos, como los presentados en Hernández, O. (2009).

Material y métodos

1. Caso de estudio:

La Cuenca del Río Bogotá está localizada en la parte central de Colombia en Suramérica, específicamente en el departamento de Cundinamarca. Tiene una superficie total de 5891.43 km² que corresponden a cerca del 32% del total de la superficie. En la Figura 1 se presenta la ubicación general de la Cuenca del Río Bogotá. El régimen hidrológico del río en su cauce principal es bimodal, con temporadas húmedas entre marzo-mayo y septiembre-noviembre, y temporadas secas entre diciembre-febrero y junio-agosto.

Como datos de caudales observados se seleccionaron 9 estaciones limnimétricas de la CAR (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca) a nivel diario para el año 2014 en diversos puntos de la cuenca, como se presenta en la Figura 2, con valores promedios de caudal de 9.626 m³/s, una desviación estándar promedio de 3.779 m³/s, un valor mínimo promedio de 3.396 m³/s y un valor máximo promedio de 32.960 m³/s.

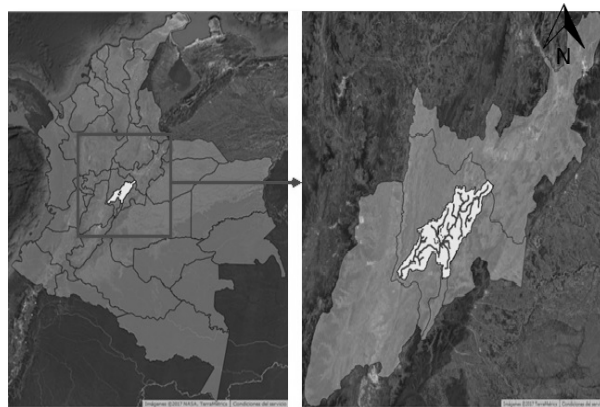


Figura 1.- Localización de la Cuenca del Río Bogotá. Localización en el país (izquierda) y localización en el departamento (derecha).

Se utilizó como modelo climático global el MPI-ESM-MR del instituto meteorológico Max Planck Institute bajo la primera realización histórica (1850-2005) y con el escenario RCP8.5 (2006-2100) en su primera realización a nivel diario para un total de 91676 datos, basado en el informe de Angarita, (2014), en el que se concluye que este modelo refleja adecuadamente la mayoría de los patrones de estado del tiempo local para la región de estudio, en total fueron utilizadas dos celdas del modelo con un valor promedio de 5.13 mm, una desviación estándar promedio de 6.12mm y un valor máximo promedio de 45.82mm. Para los datos locales fueron utilizadas 47 estaciones seleccionadas del IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) para el periodo 1958–2016, como se presenta en la Figura 2, observando que existe un promedio de 12239 datos de precipitación diaria por estación, para su utilización como predictandos, con un valor promedio de 2.76 mm, una desviación estándar promedio de 6.69 mm y un valor máximo promedio de 105.54mm.

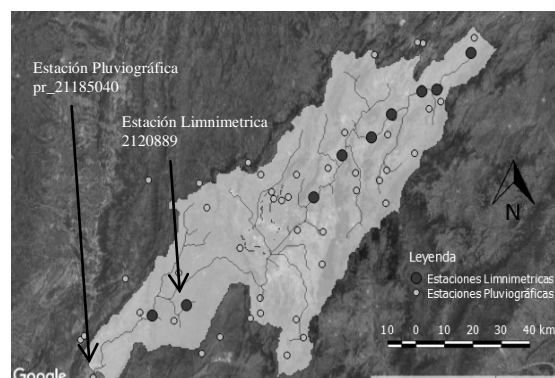


Figura 2.- Estaciones pluviográficas y limnimétricas seleccionadas para la técnica de reducción de escala y la evaluación hidrológica.

2. Técnicas de reducción de escala CSD:

La técnica de reducción de escala CSD (Chaotic Statistical Downscaling) es un nuevo método de reducción de escala estadística el cual reconstruye el espacio de fase del sistema dinámico mediante el método de los retardos (en inglés Method

of Time-Delay), donde se evalúa la presencia de caos determinístico para diferentes intervalos de acumulación de las variables climatológicas, como se presenta en la Figura 3. Posteriormente, se crea un modelo predictivo basado en la sincronización general de los dos sistemas dinámicos y la función del parámetro de los vecinos falsos mutuamente próximos.

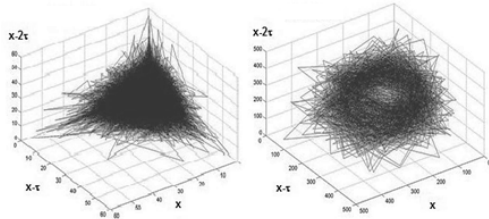


Figura 3.- Comparación del espacio de fase de la serie de tiempo de precipitación de la primera celda GCM de la cuenca del río Bogotá para acumulaciones de 1 día (izquierda) y 30 días (derecha).

En el proceso de comparación del método, se utilizó una amplia variedad de técnicas de reducción de escala estadística en la cuenca del río Bogotá, para un total de 16 técnicas, en las que se incluyen: CSD, k-NN Bootstrapping, método del factor de cambio, métodos análogos, métodos generadores de clima, métodos de tipo meteorológico y métodos lineales generalizados, la mayoría de los métodos están incluidos en Cofiño, A. (2013).

3. Modelo Hidrológico:

El modelo hidrológico aplicado en la cuenca del río Bogotá corresponde al desarrollado por Sugawara en 1967, también conocido como modelo de tanques. Para este modelo de 4 tanques, la precipitación es colocada en el tanque superior y la evaporación es sustraída individualmente de cada tanque a medida que se acaba el agua del tanque superior. Las salidas laterales de los tanques corresponden a las diferentes escorrentías (superficial, intermedio, sub-base y base), tal como se presenta en la Figura 4.

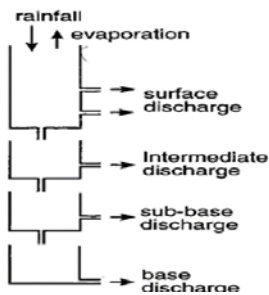


Figura 4.- Representación esquemática del modelo de tanques.
Tomada de Shrimali N. (2015).

Para este modelo, los datos de entrada de precipitación correspondieron a los resultados obtenidos del modelo CSD, y los parámetros de los tanques fueron supuestos y posteriormente corregidos mediante un proceso de calibración.

Evaluación de resultados

Como parte del proceso de comparación de las técnicas de reducción de escala, se presentan los periodos de retorno y las precipitaciones anuales esperadas en la Figura 5 para la estación pr_21185040, observando la gran diferencia en los periodos de retorno entre las técnicas de reducción de escala.

Al comparar los resultados obtenidos entre los caudales observados (medidos) y los caudales calculados (resultados del modelo hidrológico), se observa que los caudales calculados

representan adecuadamente los valores extremos durante el año 2014, tal como se presenta en la Figura 6 para la sub-cuenca de la estación 2120889. Sin embargo, también se observa un desfase significativo respecto al caudal promedio observado.

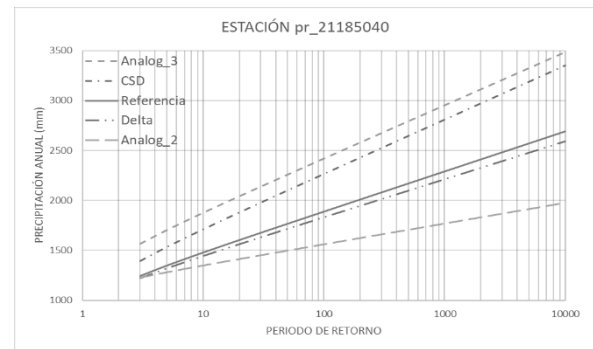


Figura 5.- Comparación de los periodos de retorno para diferentes técnicas de reducción de escala en la estación pr_21185040.

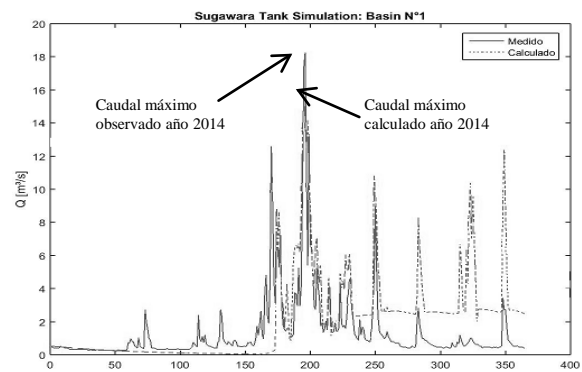


Figura 6.- Comparación de los caudales modelados y observados para la sub-cuenca de la estación 2120889 en el año 2014.

Conclusiones y recomendaciones

Se concluye que los resultados obtenidos de la técnica de reducción de escala CSD mediante el modelo hidrológico de Sugawara, representan adecuadamente los valores de caudales extremos (ver Figura 6). Estos valores extremos presentan una alternativa viable para determinar caudales de diseño de estructuras hidráulicas. Sin embargo, es necesario mejorar el modelo propuesto CSD para representar adecuadamente los valores medios de caudales. Así mismo, es clara una variación de los periodos de retorno futuros en función de las diferentes técnicas de reducción de escala (ver Figura 5), observando variaciones de -17 a 28% en comparación con el periodo histórico de referencia. Este es un resultado muy importante ya que es probable que afecte los riesgos de inundación en la zona.

Referencias

- Angarita, H. (2014)** "Metodología para incluir variabilidad climática y escenarios de cambio climático en el modelo WEAP de la macro Cuenca del Río Magdalena".
- Cofiño, A. et al (2013)** *MeteoLab: An open-source Matlab toolbox for Meteorology & Climate*. Cantabria
- Corzo, G. et al (2009)** *Downscaling Global Climate Models Using Modular Models and Fuzzy Committees*, Delft, UNESCO-IHE
- Hernández, O.; (2009)** *Analysis and Optimization of Chaotic Models for Storm Surge Prediction*. Delft. UNESCO-IHE
- Shrimali N. (2015)** *Evaluation of irrigation cum artificial recharge structures in Machhan river basin through mathematical model*
- Sivakumar, B.; Berndtsson, R. (2010)** *Advances in Data-Based Approaches for Hydrologic Modeling and Forecasting*.