

Escenarios de Cambio Climático: Método k-NN



Discussion Brief

Junio 2020

Angélica Moncada

Cristo Facundo Pérez

Héctor Angarita

Mensajes Clave

En las próximas décadas, el cambio climático afectará de diversas formas a los ecosistemas y a las actividades humanas. Esto implica un reto adicional para la toma de decisiones relacionadas con la inversión y la planificación del recurso hídrico, particularmente para los prestadores del servicio de agua y agencias ambientales que deben enfrentar retos crecientes como crecimiento poblacional, cambio de hábitos y consumos, y degradación ambiental.

En un mediano y largo plazo, las condiciones de cambio y variabilidad climática aún son inciertas, lo que abre la posibilidad a un rango amplio de condiciones climáticas y por tanto, hidrológicas. Debido a esto, los tomadores de decisiones en los sectores donde el agua juega un papel predominante no podrán seguir basando sus decisiones en los patrones hidrológicos del pasado o en soluciones rígidas, si quieren asegurar continuidad y calidad en los sistemas hídricos.

En este documento se describe una metodología de vecinos más próximos (k-NN) que permite generar series climáticas sintéticas, las cuales muestran un rango amplio de posibles climas futuros de una región, en un horizonte de mediano y largo plazo. A su vez, las series sintéticas permiten informar modelos hidrológicos empleados en la representación de las condiciones locales en una cuenca y los potenciales efectos resultantes por cambios naturales y antrópicos.

Esto puede contribuir a desarrollar análisis de vulnerabilidades de los sistemas hídricos y explorar alternativas de adaptación robustas, que benefician a los prestadores del servicio de agua y agencias ambientales.

Antecedentes

Desde la década de 1960, diferentes centros de conocimiento han orientado sus investigaciones en simulación del sistema climático terrestre y predicción de impactos resultantes de la interacción de factores naturales y antrópicos. Dichos esfuerzos han sido coordinados desde 1990 por el Programa Mundial de Investigaciones Climáticas de las Naciones Unidas (WCRP, por sus siglas en inglés), que desarrolla proyecciones climáticas globales cada 5-7 años, a través del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP, por sus siglas en inglés).

Actualmente el CMIP5 ha desarrollado 61 Modelos de Circulación General (GCM) publicados en 2013. Estos son la principal fuente de información disponible para evaluar escenarios de cambio climático a largo plazo, y para estimar el rango de posibles climas

futuros. El CMIP5 consideró cuatro niveles de forzamiento radiativo, llamados Rutas Representativas de Concentración (RCP: RCP8.5, RCP6, RCP4.5 y RCP2.6); cada uno basado en supuestos de actividad económica, fuentes de energía, crecimiento de la población y otros factores socioeconómicos (IEA et al. 2019).

Sin embargo, el uso de los actuales GCM para la estimación del efecto del cambio climático global sobre los sistemas hidrológicos locales es limitado, debido a que el nivel de detalle espacial de los GCM (40 – 120km) no es suficiente para representar los atributos del clima a las escalas necesarias para la evaluación y planificación de los recursos hídricos. Ante la necesidad de realizar proyecciones climáticas a escala reducida, se dan desarrollado técnicas de Reducción de escala o Downscaling, ya sea mediante modelos matemáticos de base física (downscaling dinámico) o modelos estadísticos (downscaling estadístico). Tales métodos usan registros meteorológicos locales para desarrollar modelos óptimos.

Estimación de posibles climas futuros a escala regional

Este informe describe como SEI emplea un método estadístico no paramétrico de reducción de escala a partir de la base de datos del CMIP5, para generar series de proyecciones climáticas de temperatura y precipitación (2020 – 2100) que permitan informar un sistema de Evaluación y Planificación del Agua (WEAP, por sus siglas en inglés) utilizado para analizar procesos hidrológicos a escala local.

La Figura 1 muestra una breve descripción de la metodología, la cual comprende ocho (8) pasos para generar series climáticas sintéticas alimentadas por diferentes GMCs, bajo diferentes RCPs a una escala regional; y que, a su vez brindan información a WEAP.

El método k-NN permite generar series sintéticas que muestran el rango de los posibles climas futuros de una región.

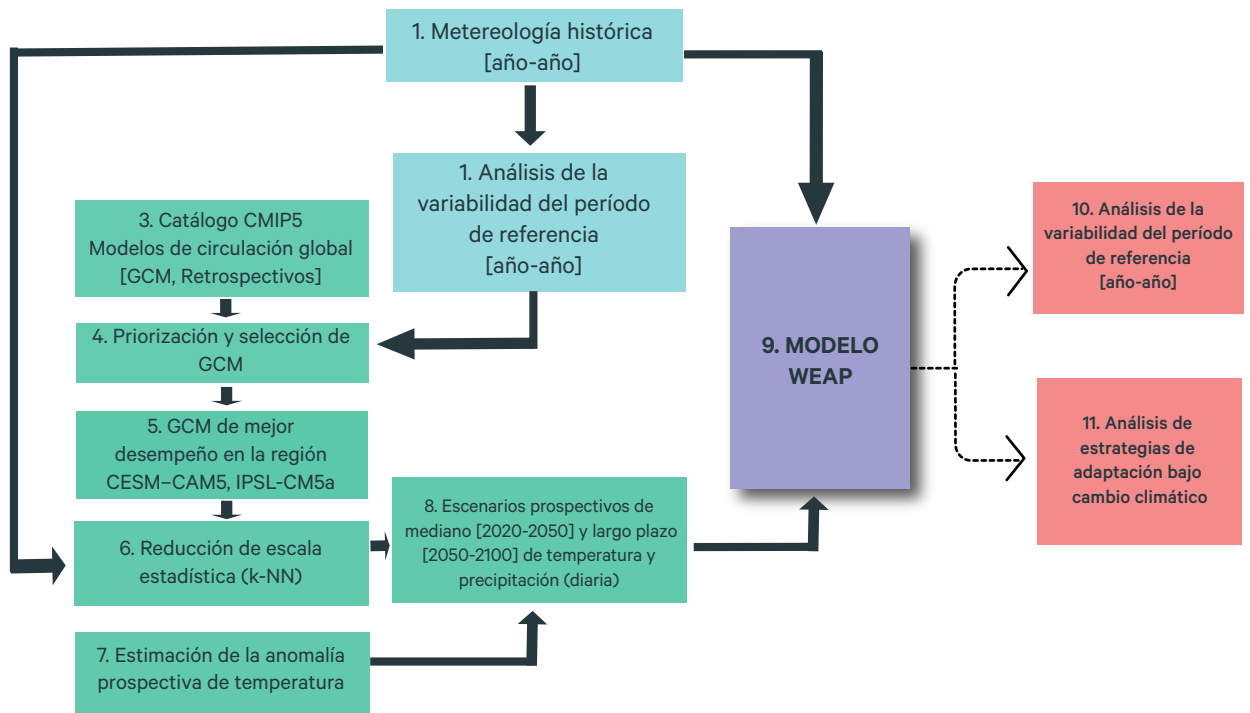


Figura 1. Proyecciones de clima bajo diferentes escenarios de cambio climático.

Inicialmente, se realiza una compilación a resolución diaria de la meteorología histórica del área de interés y que comprenda un periodo superior a dos décadas. Esta información es analizada y procesada para obtener la climatología histórica regional y otros atributos durante el periodo de referencia. Paralelamente, del catálogo del CMIP5 se priorizan y seleccionan los GCMs que contienen información disponible para el mismo periodo de referencia del clima histórico. A partir de este filtro inicial, se evalúa el desempeño de los GCMs seleccionados a través de ocho atributos climáticos, tales como rachas de días secos y húmedos, entre otros (Tabla 1). Estas ocho métricas cuantitativas y cualitativas permiten identificar y priorizar los modelos que mejor representan el clima local. La bondad de un GCM es medida por su capacidad de representar los atributos del clima local, que ocurren a diferentes escalas temporales, desde cortos periodos, como días, hasta largo periodos, como años o décadas.

Este método permite construir series de clima acordes a necesidades específicas en un contexto de planificación.

El sexto paso hace referencia al método de reducción de escala estadístico no paramétrico denominado k-NN (Gangopadhyay et al, 2005; Yates et al, 2003). Este método utiliza reglas probabilísticas que preservan atributos presentes en las series históricas, lo que resulta ser una ventaja frente a otras metodologías de reducción de escala, ya que captura atributos climáticos de resolución diaria, al tiempo que conserva la correlación espacial de las observaciones. Adicionalmente, este método permite construir series de clima acordes a necesidades específicas.

INDICADOR	FÓRMULA	DESCRIPCIÓN
Sesgo (Bias)	$\frac{\bar{X}_{GCM}}{\bar{X}_{obs}}$ [%]	<ul style="list-style-type: none"> \bar{X}_{GCM}: Media de la señal del GCM \bar{X}_{obs}: Media regional de la señal observada
Longitud de rachas secas	$\frac{D_d}{N_d}$	<ul style="list-style-type: none"> D_d: Total de días secos en el periodo analizado ($P \leq 0.1$ mm) N_d: Número de periodos sin lluvia en el periodo analizado
Media diaria	$\frac{\sum_i X_i}{N}$ [%]	<ul style="list-style-type: none"> X_i: Señal (GCM u Observada) N: Número de días del periodo
Magnitud de eventos extremos	P95	P95: Percentil 95 (probabilidad de excedencia 0.05)
Fracción de días con lluvia ($P > 0.1$ mm)	$\frac{D_w}{N}$	<ul style="list-style-type: none"> D_w: Total de días húmedos en el periodo analizado ($P > 0.1$ mm) N: Número de días del periodo
Longitud media de rachas húmedas	$\frac{D_w}{N_w}$	<ul style="list-style-type: none"> D_w: Total de días húmedos en el periodo analizado ($P \leq 0.1$ mm) N_w: Número de periodos con lluvia en el periodo analizado
Estacionalidad mensual		Reproduce o no el patrón estacional (un máximo, dos máximos)
Oscilaciones de baja frecuencia y tele-conexiones macro climáticas	$F(ONI)$ $F(X_{GCM,n})$ $F(X_{obs,n})$	<ul style="list-style-type: none"> F: Periodograma ONI: Señal niño oceánica (media anual). $X_{GCM,n}$: Señal media anual del GCM $X_{obs,n}$: Señal media anual del observada

Una vez se cuenta con la meteorología histórica regionalizada y se han seleccionado los GCM a usar según su desempeño, se debe realizar la reducción de escala usando el método k-NN, el cual es utilizado para generar secuencias diarias del estado del tiempo (precipitación y temperatura), utilizando como predictores atributos de las series de un GCM (X) para predecir los atributos del clima local (Y).

Las series sintéticas generadas por el método k-NN no incluyen señal de cambio de temperatura, debido a que se basan en las magnitudes del periodo histórico. En el método la señal de incremento de temperatura se estima como:

$$\Delta T(t) = Ta_{GCM}(t) - \bar{Ta}_{GCM}[T]$$

Donde:

- $Ta_{GCM}(t)$: Media móvil de W días de la señal de temperatura en el modelo para el día t (Por ejemplo 01-Ene 2015)
- $Ta_{GCM}[t]$: Media móvil de W días de la señal media de temperatura en el modelo para el periodo de referencia T (Por ejemplo 1970-2010)

En cuanto a la precipitación, el método k-NN genera series aleatorias que conservan la probabilidad conjunta de los estados de humedad consecutivos – J del clima regional diario. En la Figura 2, se muestra la matriz de probabilidad conjunta que determina la regla de probabilidad J, que es derivada del análisis de la señal observada y del GCM. En la misma figura, las tablas de la derecha muestran un ejemplo del algoritmo k-NN, sobre como las secuencias del estado del tiempo son construidas mediante un recorrido aleatorio de registros históricos, donde a partir del estado de humedad registrado y utilizando la matriz de probabilidad conjunta, se establece aleatoriamente el estado de humedad del periodo siguiente.

- **Seco (Dry):** Precipitación media diaria regional menor a min (0,3,P0,05),
- **Humedo (Wet):** Precipitación media regional entre 0,3 mm y P95
- **Extremadamente húmedo:** (Extremely wet): Precipitación media regional > P95

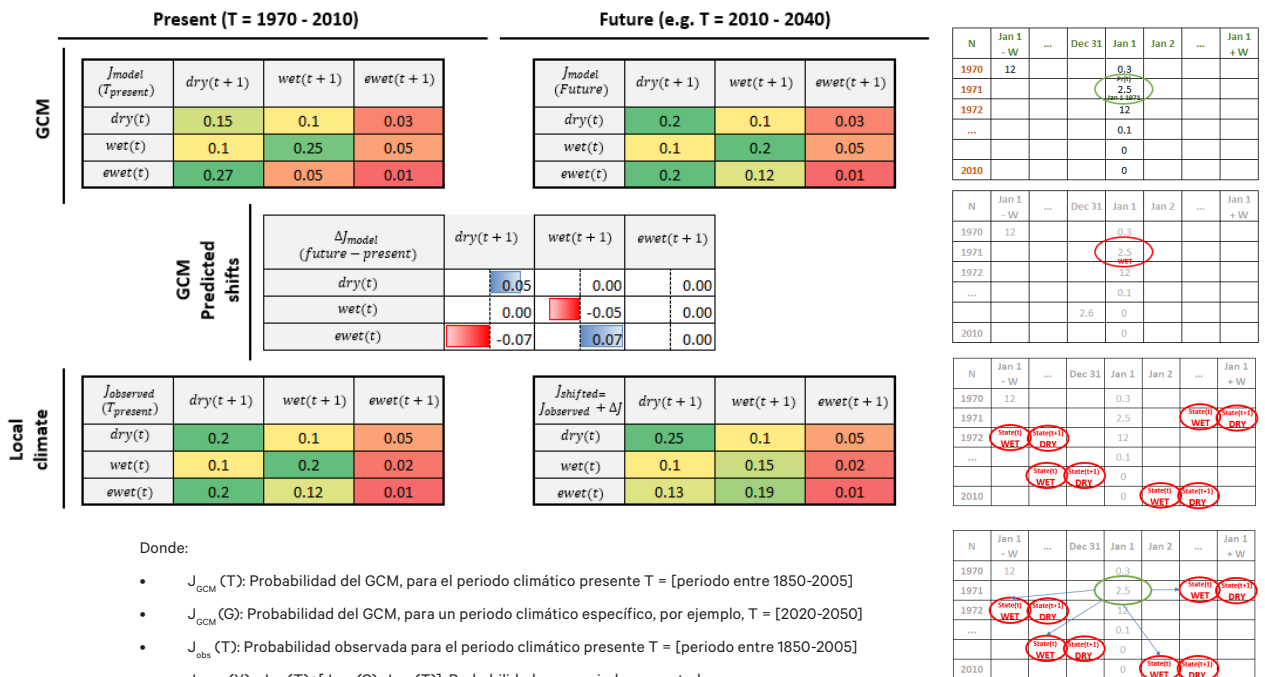


Figura 2. Matriz de probabilidad conjunta de dos estados de humedad consecutivos construida a partir de la información histórica del clima y GCMs de mayor desempeño

Publicado por

Instituto de Ambiente de Estocolmo
Linnégatan 87D, Box 24218
104 51 Estocolmo, Suecia
Tel: +46 8 30 80 44

Autores:

angelica.moncada@sei.org
cristo.perez@sei.org
hector.angarita@sei.org

Contacto comunicaciones:

natalia.ortiz@sei.org

Visítanos: sei.org

Twitter: [@SEIresearch](https://twitter.com/SEIresearch)
[@SEIenEspañol](https://twitter.com/SEIenEspañol)
[@SEIClimate](https://twitter.com/SEIClimate)

El Instituto de Ambiente de Estocolmo es una organización internacional de investigación y política sin fines de lucro que aborda los desafíos del medio ambiente y el desarrollo. Conectamos la ciencia y la toma de decisiones para desarrollar soluciones para un futuro sostenible para todos.

Nuestro enfoque es altamente colaborativo: la participación de las partes interesadas está en el centro de nuestros esfuerzos para desarrollar capacidades, fortalecer las instituciones y equipar a los socios a largo plazo.

Nuestro trabajo abarca temas de clima, agua, aire y uso de la tierra, e integra evidencia y perspectivas sobre gobernanza, economía, género y salud humana.

En nuestros ocho centros en Europa, Asia, África y América, participamos en procesos de políticas, acciones de desarrollo y prácticas comerciales en todo el mundo.

Una vez obtenida la serie sintética, las secuencias de precipitación son evaluadas en términos de tendencias de las magnitudes de eventos extremos. Estas magnitudes son corregidas mediante un mapeo de cuantiles, sobre la función de distribución de extremos corregida.

Referencias

- Gangopadhyay, S., Clark, M., & Rajagopalan, B. (2005). Statistical downscaling using K -nearest neighbors. *Water Resources Research*, 41(2). <https://doi.org/10.1029/2004WR003444>
- Gutmann, E., Pruitt, T., Clark, M. P., Brekke, L., Arnold, J. R., Raff, D. A., & Rasmussen, R. M. (2014). An intercomparison of statistical downscaling methods used for water resource assessments in the United States. *Water Resources Research*, 50(9), 7167–7186. <https://doi.org/10.1002/2014WR015559>
- Yates, D., Gangopadhyay, S., Rajagopalan, B., & Strzepek, K. (2003). A technique for generating regional climate scenarios using a nearest-neighbor algorithm. *Water Resources Research*, 39(7). <https://doi.org/10.1029/2002WR001769>