



## MÉTODO DE SVANIDZE PARA LA GENERACIÓN DE TORMENTAS EN LA CIUDAD DE MÉXICO (PRIMERA ETAPA)

PARTICIPANTES: RAMÓN DOMÍNGUEZ MORA, MARITZA L. ARGANIS JUÁREZ, ALEJANDRO MENDOZA RESÉNDIZ, ELISEO CARRIZOSA ELIZONDO, BERNARDO ECHAVARRÍA SOTO, JUAN JOSÉ BAÑOS MARTÍNEZ Y HUMBERTO GUZMÁN GARCÍA  
INSTITUTO DE INGENIERÍA, UNAM

### INTRODUCCIÓN

En el análisis de eventos hidrológicos extremos es necesaria la generación de series de tiempo más largas que las registradas históricamente. Es importante que las series sintéticas reproduzcan las características estadísticas de las series históricas, sus autocorrelaciones y las posibles correlaciones cruzadas. Los registros sintéticos pueden usarse posteriormente para simular el comportamiento del sistema hidrológico analizado.

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Durante 22 años el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACM) ha operado una red de 49 estaciones pluviográficas que registran información en tiempo real; de esa temporalidad, solo 12 años de información son continuos. El crecimiento acelerado de la ciudad de México hace necesario estudiar tanto las lluvias de gran magnitud puntual, como aquellas que por su extensión espacial pueden causar problemas al sistema general de drenaje y al control de crecientes.

### JUSTIFICACIÓN

Las estadísticas de lluvias en 24 horas pueden considerarse confiables, pero no incluyen suficientes escenarios extremos. Los modelos de generación de tormentas deben considerar la posible dependencia entre el máximo puntual y la extensión espacial de las tormentas o la persistencia temporal. Es importante contar con modelos que constituyan una herramienta práctica y sencilla para generar eventos de tormentas que pueden tener condiciones más extremas que los históricos.

## OBJETIVOS Y ALCANCES

Desarrollar un método para generar tormentas sintéticas para datos de tormentas diarias máximas. Una vez que el método ha sido validado, habrá que extender la metodología para incluir las variaciones temporales para su aplicación a nivel horario.

Se aplicó un modelo de generación de tormentas basado en el método de Svanidze, en el que con un doble procedimiento se selecciona aleatoriamente, por un lado, un valor de la precipitación máxima sintética obtenida a partir de la función de distribución que se determina de los registros de precipitaciones máximas anuales; y, por otro lado, se selecciona aleatoriamente una tormenta histórica y se escala multiplicando los valores registrados en cada estación por una constante tal, que en el centro de la tormenta se obtenga la precipitación máxima sintética

Se utilizó la información histórica que registra el SACM para 49 estaciones de la red pluviográfica de la zona metropolitana del año 1988, cuando se presentó un evento de gran magnitud, y para el periodo de años de 1993 a 2008. Los datos dudosos fueron filtrados.

## VALIDACIÓN DEL PROCEDIMIENTO

El desempeño del procedimiento propuesto se evalúa mediante la comparación de las funciones de distribución de las precipitaciones media y máxima de las tormentas generadas, con las distribuciones de las históricas.

Una vez que se logra reproducir adecuadamente las funciones de distribución de los valores máximos y medios de las tormentas históricas, se comprueba si también se reproducen los parámetros estadísticos de las lluvias registradas individualmente en cada una de las estaciones climatológicas.

## APLICACIÓN Y RESULTADOS

Se produjeron 1000 tormentas sintéticas con el procedimiento de generación mencionado, y se obtuvieron las funciones de distribución de las precipitaciones medias y máximas para compararlas con las históricas (figura 1).

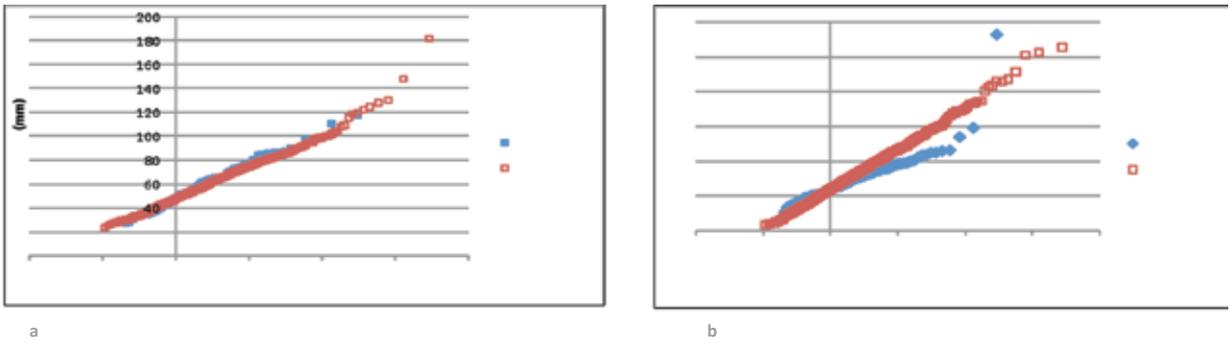


Figura 1. Funciones de distribución de probabilidad empírica histórica y sintética (a) para la precipitación máxima y (b) para la precipitación media.

Debido a que la función de distribución de las medias no se reproduce bien, se realizó un análisis más minucioso de la correlación entre valores máximos y valores medios. Si bien la figura 2 (a) parece indicar que la distribución espacial de la tormenta es independiente de su valor máximo, esto se debe a que al calcular los valores interviene el valor máximo, es decir, se obtiene una correlación espuria.

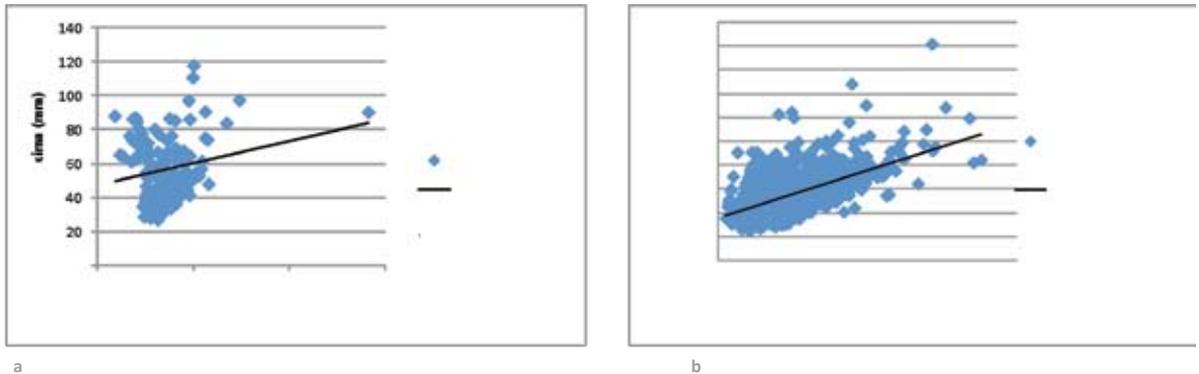


Figura 2. Relación entre la precipitación media espacial y la precipitación máxima para (a) las 143 tormentas históricas y (b) las 1000 tormentas sintéticas primer procedimiento.

Se definió entonces un índice de extensión espacial (IEE) dividiendo cada valor medio entre su respectivo máximo (con lo que se elimina la correlación espuria). En la figura 3 se observa que la magnitud del máximo y la distribución espacial de las tormentas sí están correlacionados.

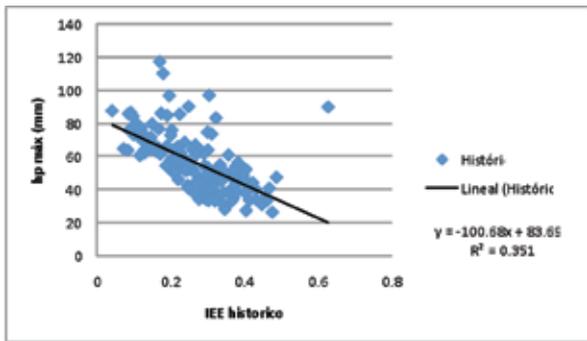


Figura 3. Relación entre el índice de extensión espacial y la precipitación máxima.

En un intento de eliminar esta correlación se decidió separar la población en dos grupos de tormentas: las tormentas grandes, con los 71 datos por arriba de la mediana de la muestra, y las tormentas pequeñas, las 72 restantes, por debajo de la mediana. Al obtener el índice de extensión espacial ya casi no se observa correlación (figura 4).

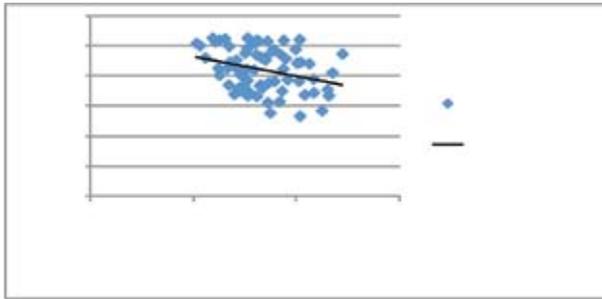
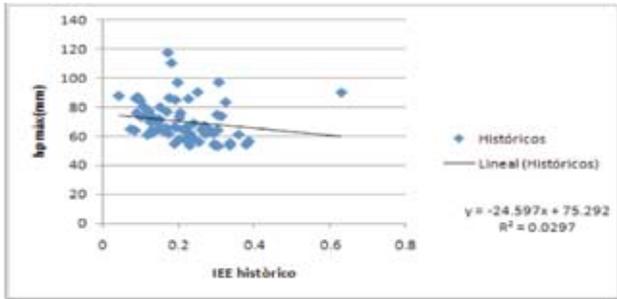


Figura 4. Relación entre el índice de extensión espacial y la precipitación máxima para los datos históricos: (a) tormentas grandes y (b) tormentas pequeñas.

**SEGUNDO PROCEDIMIENTO DE GENERACIÓN**

Se generaron otras 1000 tormentas sintéticas con el nuevo procedimiento. Se consideró que si  $PSMAX_k \geq$  la mediana, entonces se seleccionaba aleatoriamente una tormenta del grupo de las tormentas grandes y, en caso contrario, del grupo de las tormentas chicas. Al comparar las funciones de distribución de la hp máx. y hp media se observó una mejor coincidencia con este segundo procedimiento de generación (figura 5). Adicionalmente, el índice de extensión espacial tiene un comportamiento similar al histórico (figura 6). Finalmente se compararon los estadísticos estación por estación; se observó buena concordancia, como se muestra en la figura 7, para el caso de la precipitación media.

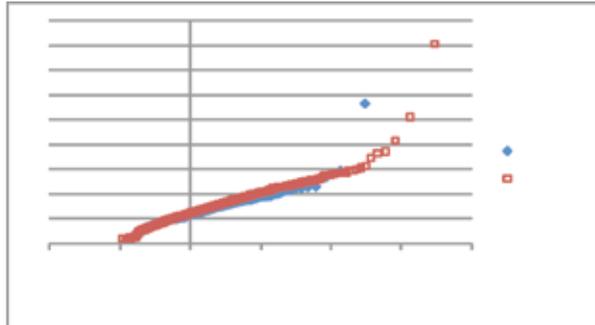
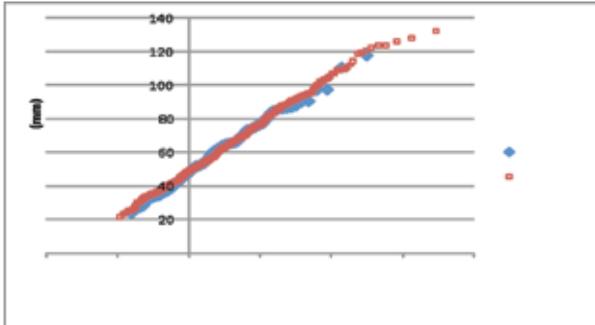


Figura 5. Función de distribución de probabilidad empírica histórica y sintética (a) para la precipitación máxima y (b) para la precipitación media. Segundo procedimiento de generación.

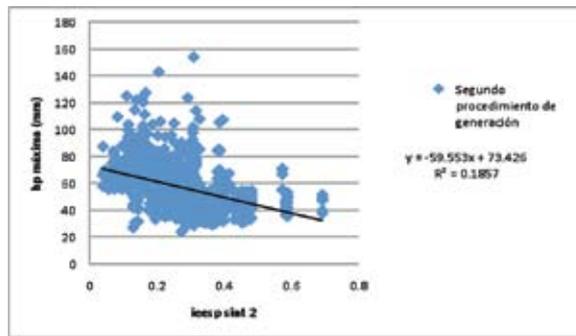


Figura 6. Relación entre el índice de extensión espacial y la precipitación máxima.

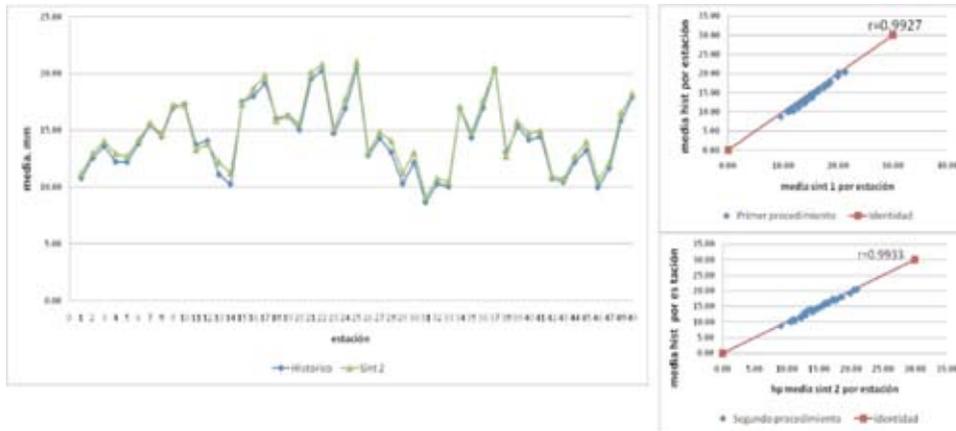


Figura 7. Comparación de la media de la precipitación estación por estación.

## CONCLUSIONES

En esta primera etapa se corroboró la aplicabilidad del método generador de tormentas a nivel diario. Como un resultado adicional se puede citar que cuando se consideró dividir la serie histórica de tormentas máximas en dos grupos, se identificó una correlación relativamente alta en el grupo de tormentas pequeñas, lo que no se esperaba, y motivó a que en la segunda etapa se contemple hacer una separación de las tormentas máximas en tres grupos para analizar si con ello mejora el proceso de generación sintética. ❖