

# AVANCES EN EL ESTUDIO DE TORMENTAS CONVECTIVAS

Jorge Fabián Bonilla

Instituto Nacional del Agua, Centro Regional Andino, Belgrano Oeste 210, Capital, Mendoza, Argentina.  
Teléfono de contacto: +54 261 4288005 - +54 261 156819511  
E-mail: jbonilla@ina.gob.ar

## Introducción

Las tormentas convectivas son un fenómeno meteorológico que se caracteriza por ser local, de alta intensidad, corta duración y núcleos pequeños. Para poder caracterizarlos es necesario conocer la precipitación total en el núcleo, además de la distribución espacial y temporal.

En la zona del piedemonte de Mendoza este tipo de tormentas se producen fundamentalmente en la época de verano, aunque se considera que el período de lluvias intensas es entre el 1 de octubre de un año, hasta el 31 de marzo del año próximo.

Este tipo de fenómenos es importante estudiarlos bajo tres escenarios bien diferenciados: el primero referido al proyecto de obras hidráulicas, donde se debe disponer de una Tormenta de Proyecto relacionada con un Tiempo de Recurrencia. El segundo es para los sistemas de alerta temprana, en caso de disponer datos de precipitación en tiempo real y el tercero para evaluar el cambio en los regímenes de precipitación producto de alteraciones climáticas.

El primero de los casos, al menos en el piedemonte de Mendoza está resuelto a través de la publicación de las curvas I-D-F (Intensidad – Duración – Frecuencia) (INA-CRA, 2008) que se muestran en la Figura 1. En las mismas, además, se presenta un modelo de hietograma patrón y una curva de decaimiento espacial obtenidos mediante técnicas estadísticas.

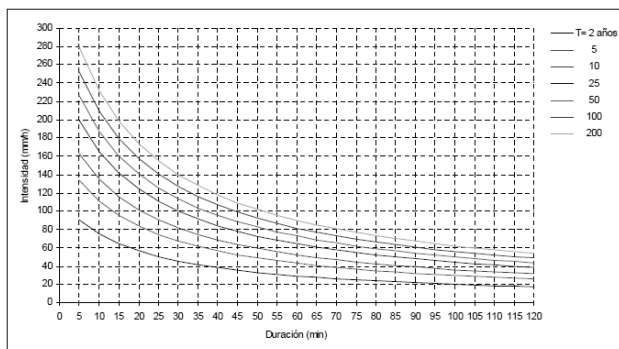


Figura 1.- Curvas IDF del INA-CRA.

El segundo caso, si se dispone de datos en tiempo real, la intensidad de precipitación instantánea y el hietograma de la tormenta en curso son fácilmente determinables. Sin embargo, la obtención de la distribución espacial no es directa.

Dentro de los métodos existentes, el promedio no da buenos resultados al no tener en cuenta la distribución de los pluviómetros, los polígonos de Thiessen no son adecuados para zonas de montaña, siendo las isoyetas el procedimiento más adecuado.

Las isoyetas representan líneas de igual precipitación, que pueden ser trazadas mediante técnicas de interpolación de datos o mediante modelos matemáticos como las isoyetas elípticas.

El último escenario, respecto al cambio del régimen de precipitación por alteraciones climáticas (o cambio climático) hay que analizar los patrones de intensidad, distribución espacial y temporal a lo largo del tiempo y determinar si los mismos han sufrido cambios estadísticamente significativos.

## Objetivo

El trabajo tiene como objetivo arribar a un método que permita determinar en forma sistematizada un modelo de isoyetas elípticas apto para incorporar a un sistema de alerta temprana y que además sirva de herramienta para el estudio y análisis de los cambios en la distribución espacial de tormentas a lo largo del tiempo.

## Antecedentes

Entre el año 2015 a 2017 se desarrolló un método para el trazado de isoyetas elípticas en base a pocas observaciones, que se aplicó con éxito a la determinación del decaimiento espacial en la zona de San Rafael, Mendoza (Bonilla, 2017).

Este método consiste en un laborioso análisis matemático y gráfico, para arribar a coeficientes de decaimiento regional, que conlleva un tiempo de proceso lo suficientemente largo como para impedir aplicarlo a sistemas de alerta temprana.

Sintéticamente consiste en suponer inicialmente las isoyetas circulares. Esta simplificación permite encontrar un coeficiente de decaimiento mediante métodos gráficos.

Luego a partir de una transformación matemática se logra encontrar el coeficiente de decaimiento regional, lo que permite estimar el decaimiento espacial de una tormenta en función del área considerada.

El presente trabajo encuentra un método más eficiente para encontrar el decaimiento espacial con pocas observaciones y generar en tiempo real isoyetas elípticas en base a pocas observaciones.

## Materiales y métodos

### Hipótesis

Se tienen en cuenta una serie de hipótesis de partida:

- Las tormentas son del tipo convectivas de núcleo único.
- El núcleo de la precipitación es cercano a los pluviómetros.
- La tormenta registrada corresponde a un evento intenso.
- Se disponen de al menos tres observaciones simultáneas.

### Modelo de decaimiento lineal

El decaimiento sobre el eje menor de las elipses se puede expresar mediante la Ecuación 1:

$$P_b = P_o \cdot e^{-k \cdot b^2} \quad [1]$$

Donde:

- $P_b$ : Precipitación en un punto del eje menor
- $P_o$ : Precipitación en el núcleo de la tormenta
- $k$ : Coeficiente de decaimiento lineal
- $b$ : Distancia al centro de las elipses

### Modelo de decaimiento espacial

La relación entre ejes de la elipse se expresa en la Ecuación 2:

$$c = a/b \quad [2]$$

Siendo 'a' el eje mayor de la elipse y 'b' el eje menor.

A partir del análisis diferencial (Figura 2), se puede determinar la expresión del decaimiento espacial.

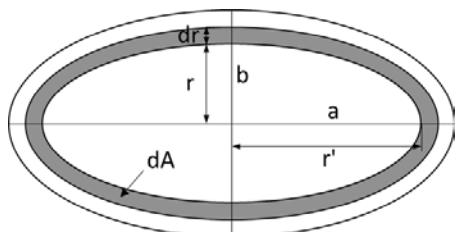


Figura 2.- Análisis diferencial del decaimiento espacial.

La precipitación media se puede obtener con la Ecuación 3:

$$p_m[\%] = \frac{\int_A p_r \cdot dA_r}{\int_A dA_r} \quad [3]$$

Donde:

$p_r$ : Precipitación a distancia "r"

$dA_r$ : Diferencial de área para la integración

Se define el coeficiente 'w' como la relación (Ecuación 4):

$$w = k/c \quad [4]$$

Operando se llega a la Ecuación 5:

$$p_m[\%] = \frac{\pi}{w \cdot A} \cdot \left(1 - e^{-\frac{w \cdot A}{\pi}}\right) \quad [5]$$

Donde:

$p_m$ : Porcentaje de precipitación en el núcleo

$A$ : Área considerada

$w$ : Coeficiente de decaimiento regional

El problema se reduce a obtener el valor adecuado de 'w'

#### Ajuste mediante datos de precipitación puntual

Dados tres registros de precipitación al menos, se puede definir las isoyetas correspondientes obteniendo los siguientes parámetros:

$X_o, Y_o$  Posición del centro de las isoyetas

$\alpha, c$  Ángulo y forma de las elipses

$P_o, k$  Valor en el centro y decaimiento lineal

Para encontrar el mejor conjunto de isoyetas, se puede condicionar que las mismas produzcan el menor error cuadrático medio, expresado como indica la Ecuación 6:

$$ecm = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - P)^2 \quad [6]$$

Siendo:

$P_i$ : Dato de precipitación medido

$P$ : Isoyeta que pasa por el pluviómetro

$n$ : Número de registro disponibles

La determinación de una ecuación analítica que brinde todos los parámetros de las elipses óptimas es una tarea compleja y de difícil resolución.

Se opta por una solución de tipo iterativa mediante un software informático diseñado específicamente para tal fin. El método consiste en probar con distintos juegos de los 6 parámetros independientes, delimitados entre parámetros definidos, calculando el error cuadrático medio en cada caso y eligiendo el menor de ellos. Para las coordenadas, el valor de 'Pc', 'c' y 'k' se toman umbrales, definidos por el usuario.

## Resultados

Un ejemplo de la aplicación del modelo sobre las tormentas ya estudiadas de Mendoza se puede ver en la Figura 3:

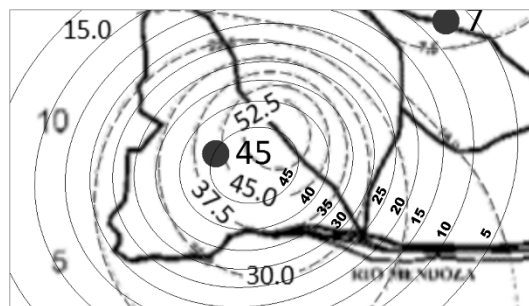


Figura 3.- Isoyetas generadas en forma automática.

La comparación de la curva de decaimiento espacial lograda, respecto a la disponible muestra una marcada coincidencia:

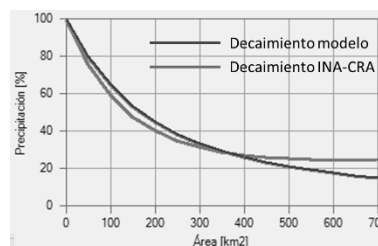


Figura 4.- Comparación de curvas de decaimiento espacial.

El software desarrollado por ejemplo para el caso de la Figura 4, donde fueron necesarias 700.000 iteraciones, logró completar las mismas en aproximadamente 4 s, lo que lo hace apto para ejecuciones en tiempo real. El equipo de prueba fue una Notebook con procesador Intel T4300, 2 Gb de RAM, de 8 años de antigüedad. El error cuadrático medio fue inferior a 0.1 mm.

## Conclusiones

Las pruebas realizadas con datos medidos y estudios estadísticos previos muestran que el modelo calcula adecuadamente los parámetros y éstos se ajustan a la información disponible.

El poder de procesamiento en un equipo de prestaciones medias indica que es apto para usarlo en una modelación en tiempo real.

El cálculo sistematizado de 'c', 'k' y el resto de los parámetros, permiten obtener 'w', de modo de poder aplicarlo a cada una de las tormentas intensas disponibles y analizar el cambio a lo largo del tiempo. Esto convierte a este desarrollo en una herramienta apta para estudiar los efectos de cambio climático.

## Apreciaciones finales

Este trabajo representa únicamente un avance en las técnicas de análisis de tormentas convectivas. El uso sistemático del mismo permitirá ajustar detalles y obtener conclusiones a partir de los resultados obtenidos, ese trabajo se desarrolla en la actualidad.

Se considera un paso adelante en el ansiado modelo hidrológico en tiempo real, necesario para predecir caudales y utilizarlo como alerta temprana en el piedemonte de Mendoza.

## Referencias

- INA Centro Regional Andino (2008). *Relaciones Intensidad Duración Frecuencia (IDF) para el pedemonte del Gran Mendoza*. INA-CRA.
- Bonilla, J. (2017). "Estimación de la distribución espacial de tormentas intensas, mediante isoyetas elípticas en zonas de limitada disp. de datos". Conagua 2017, Córdoba, Argentina, pp 120-133.