

## APROXIMACION A LA ESTIMACION ESTADISTICA DE LA PRECIPITACION MAXIMA PROBABLE (PMP) PARA LA PLATA, BUENOS AIRES, ARGENTINA

Romanazzi, Pablo G.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Unidad de Investigación y Desarrollo en Hidrología (UID Hidrología), Departamento de Hidráulica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata (UNLP), calle 47 N° 200, 1er. Piso, Of. 6, (1900) La Plata, Buenos Aires, Argentina, [promanazzi@ing.unlp.edu.ar](mailto:promanazzi@ing.unlp.edu.ar)

**Palabras clave:** eventos extremos, Precipitación Máxima Probable (PMP), variabilidad climática.

### INTRODUCCIÓN

En los últimos 40 años se han acumulado evidencias suficientes a escala mundial para constatar un incremento del número de casos de inundaciones provocados por tormentas extremas, en especial, en ámbitos altamente urbanizados. Sin abordar la discusión de los efectos de un cambio climático o de una variabilidad climática, el conteo simple de casos de inundación es muy elevado en varias regiones del planeta, tal cual se puede constatar al revisar las estadísticas de la base mundial que publica el Centro de Investigaciones en Epidemiología de desastres (EMDAT-CRED) con sede en Bélgica. Según este antecedente, en América del Sur el número de casos de inundaciones supera ampliamente a otros tipos de desastres. Otra información de la evolución temporal de estos eventos es dada por la United Nations office for disaster risk reduction (UNISDR), indicando que la tendencia de los últimos 30 años se aproxima a un crecimiento lineal de las inundaciones y de las tormentas frente a otros tipos de desastres naturales de tipo climático (por ejemplo, temperaturas extremas o sequías) cuyo número permanece cuasi estacionario.

En el territorio nacional, y en particular en nuestra región pampeana, la alternancia de períodos secos y húmedos de ciclos plurianuales prolongados todavía no se puede catalogar como modificado dada la longitud disponible de los registros históricos de precipitaciones. No obstante, la tendencia sigue firme en el sostenimiento de períodos de exceso hídrico, tal cual se puede advertir estudiando la serie anual de precipitaciones la región pampeana (Romanazzi, 2007). Desde el año 1972 en adelante, los desvíos positivos respecto del promedio histórico de la serie crecen regularmente confirmando el período húmedo, pero no alcanza a igualar todavía la longitud de 50 años del período seco (1922 – 1972).

En la región del Gran La Plata se ha comprobado fehacientemente esta tendencia general. Al respecto Pablo Antico y Nora Sabbione (2005), investigadores de la UNLP a cargo de la estación La Plata Observatorio (perteneciente a la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, FCAYG) concluyen lo siguiente: *“... El análisis de los máximos anuales de la precipitación diaria indica un aumento tanto en la magnitud como en la frecuencia de ocurrencia de los mismos, especialmente a partir de la década del '70. Por otro lado, la distribución de los máximos anuales de la precipitación diaria muestra que éstos ocurren en su mayoría entre los meses de enero y mayo. Estos últimos resultados sugieren un aumento en la intensidad y frecuencia de las precipitaciones intensas en La Plata, especialmente en los últimos 30 años”*. Finalmente, en la región de La Plata se han registrado al menos tres eventos extremos de precipitación (2002, 2008 y 2013) que por sus características motivan a realizar un análisis que pueda poner en escala a estos sucesos frente a la tendencia general ya constatada en la región.

### ESTUDIO DE ANTECEDENTES Y METODOLOGÍA UTILIZADA

En la región del Gran La Plata, las estadísticas de inundaciones registradas con distintos grados de afectación (daños materiales en viviendas y en servicios esenciales, bloqueo de

los principales accesos, evacuados, víctimas fatales) en el período 1973-2013 dan cuenta de 44 casos reconocibles (base de datos Desinventar online), con una diversidad muy amplia de combinaciones amenaza (precipitaciones) / vulnerabilidad (exposición) y que, en forma aproximada, determinan una frecuencia promedio anual. Además, en la última década se ha comprobado la ocurrencia de tormentas que se caracterizan no sólo por su alta intensidad (en el orden de los 100 mm/h) sino por su prolongada duración (mayor a 1 hora) manteniendo ese promedio de aporte durante todo el transcurso de las mismas.

Ejemplo de estos casos son los eventos del 27 de enero de 2002 (con una hora y veinte minutos a una intensidad constante de 75 mm/h; total caído de 120 mm), el 28 de febrero de 2008 (otra vez con una hora y veinte minutos con una intensidad de 90 mm/h; total caído de 240 mm) y el registro más extremo del 2 de abril de 2013 (con 3 horas continuadas a razón de 100 mm/h y un total caído de 392 mm).

En la región siempre se han utilizado datos de las estaciones La Plata Observatorio (perteneciente a la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la UNLP) de la cual se disponen datos desde 1909 y La Plata Aero (perteneciente al Servicio Meteorológico Nacional, SMN) con inicio de registro en la década del '60. A estas estaciones históricas se suman localmente datos de particulares y, en el período 2005-2010, se cuenta con datos de una red que operó el Laboratorio de Hidrología de la UNLP para la Municipalidad de La Plata.

Estas circunstancias exigen trabajar con cautela con los estudios precedentes y obligan a realizar siempre verificaciones del desagüe usando como escenarios factibles los eventos extremos del 2002, 2008 y 2013 ya mencionados. De hecho, han ocurrido y si bien la probabilidad de ocurrencia de un evento igual o mayor es baja, no es nula. Esto significa que esos eventos deben sin duda ser incorporados a la previsión y gestión del riesgo de una inundación en la región bajo estudio. Es esencial entonces poder evaluar su magnitud en base a una graduación objetiva basada en las estadísticas históricas de las precipitaciones. Es por esta razón que, en forma complementaria a la estimación de período de retorno, se apela aquí al concepto de Precipitación Máxima Probable (PMP). Cabe comentar también que existe consenso para limitar la extrapolación de una recurrencia apoyándose sólo en leyes IDR en tanto la misma no supere los 1000 años; superado ese nivel se prefiere expresar la importancia del evento en fracciones de la PMP (WMO, 2009; De Hann et al., 2006).

### ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA PROBABLE (PMP)

En consideración a lo descripto hasta aquí, se hizo necesario buscar una forma complementaria para poder evaluar los eventos extremos ocurridos en La Plata en la última década. Y la mejor información que existe hasta el momento para llevar a cabo la estimación de la PMP es la serie de máximos anuales de precipitación diaria con una longitud de 103 años. La estadística descriptiva de la serie 1911-2013, se sintetiza en la Tabla 1 y la representación de la serie de tiempo en la Fig. 1 siguiente.

Tabla 1 – Estadística descriptiva de la serie de máximos anuales de precipitación diaria

Variable	Valor	Unidad
Media	88,7	mm
Mediana	79,0	mm
Moda	100,0	mm
Desvío estándar	45,3	mm
Rango	357,0	mm
Mínimo	35,1	mm

Máximo	392,0	mm
Tamaño de la muestra	103	años

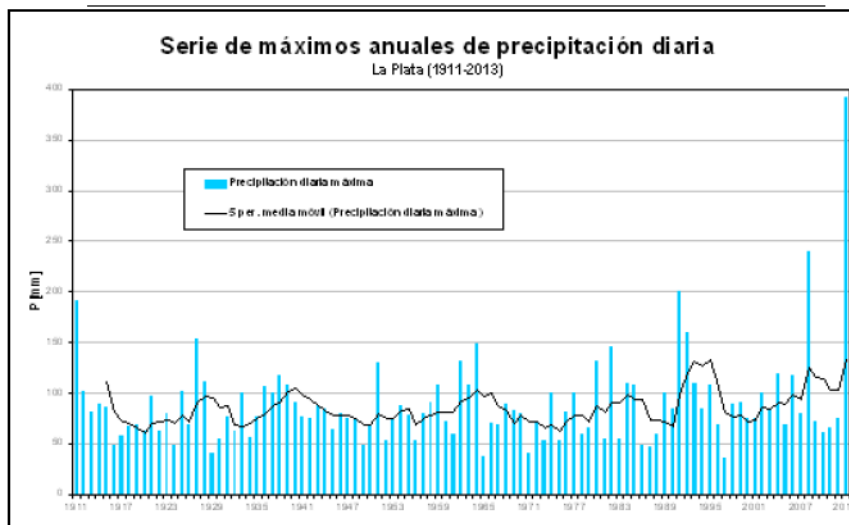


Figura 1–Serie de precipitaciones diarias máximas [mm] en el período 1911-2013

De los resultados de este análisis estadístico se desprende que la media de la muestra es de aproximadamente 90 mm que afectada de un desvío estándar (aprox. 45 mm) da un rango comprendido entre 45 mm y 135 mm diarios. En ese rango se inscriben 91 años del total de 103 años de la serie. Además, los valores más frecuentes de precipitación máxima en un día se encuentran en un rango comprendido entre 50 y 100 mm. En efecto, en el rango de 50 a 75 mm hay 36 casos y en el rango que va de 75 a 100 mm se computan otros 32 casos, totalizando así 68 años (de una serie de 103 años) donde el máximo de precipitación diaria se mueve en el rango citado en primer término.

Si se aplica la regla práctica citada en Caamaño Nelly et al. (2003) en su versión más conservadora, entonces sobre un valor medio aproximado de 90 mm se debería adicionar 10 veces el desvío estándar de la serie histórica, es decir, unos 450 mm para dar una PMP total de 540 mm. Esto es solamente un orden de magnitud que permite relacionar mejor un volumen total de precipitación como, por ejemplo, el registro del máximo valor de la serie de 392 mm para el día 2 de abril de 2013.

La aplicación rigurosa del método de Hershfield implica usar como estimador del factor de frecuencia al valor máximo de la serie estandarizado mediante la media y el desvío pero ahora calculados sin la presencia del mismo. Este procedimiento simula cómo se alteran los estadísticos de la serie agregando un valor observado mayor en la serie cortada (o reducida) en vez de la PMP en la serie de longitud total. Los cálculos de los parámetros estadísticos para la serie de 102 años dan como resultado una Media (102 años) de 85,7 mm, un Desvío estándar (102 años) de 34,0 mm y, en consecuencia, el Factor de frecuencia estimado será de  $(392 - 85,7)/34 \approx 9$ , muy cercano al valor 10 ya mencionado y recomendado por investigaciones desarrolladas en el cono sur (Bertoni y Tucci, 1993). De esta forma, la PMP para La Plata quedaría en:  $PMP_{LP} = 88,7 \text{ mm} + 9 \times 45,3 \text{ mm} = 497,2 \text{ mm} \approx 500 \text{ mm}$ .

Por supuesto que este valor representa una apreciación puntual hecha con una sola serie de precipitaciones, resultando más apropiado que el factor de frecuencia surja de una envolvente de valores regionales producto de la consideración de un grupo de estaciones representativas. Esto llevaría entonces a considerar nuevamente un valor regional de la  $PMP_{REG} = 540 \text{ mm}$ , a confirmar con más estaciones.

En el marco del presente trabajo existe también interés en conocer los valores de la PMP para duraciones inferiores al valor diario. Se recuerda aquí que la serie de precipitaciones máximas anuales de paso diario fue elegida para estimar la PMP en ausencia de registros pluviográficos históricos que tuvieran detalle temporal suficiente como para analizar las tormentas con duraciones inferiores a las 24 hs. En efecto, la serie más antigua en la región es el récord de la precipitación máxima diaria de 103 años de longitud. De manera que no es confiable estimar a la PMP para duraciones de menor longitud sin registros pluviográficos de larga data. La experiencia demuestra (Caamaño Nelly et al., 2003) que aún contando con esos registros pluviográficos es dificultoso encontrar resultados coherentes para duraciones inferiores a las 2 horas. A manera de ensayo, se puede utilizar en forma aproximada una ecuación de tipo potencial de la siguiente forma:

$$PMP_d = a d^b \quad (1)$$

donde  $PMP_d$  es la precipitación máxima probable [mm] para una duración  $d$  en horas y los parámetros  $a$  y  $b$  son coeficientes de ajuste. Adoptando  $b = 0,475$  en base a los registros mundiales de máximos de precipitación (Chow, 1994; OMM, 2011), el valor que surge para el coeficiente  $a = 540 \text{ mm} / (24 \text{ hs})^{0,475}$  es 119,342.

A partir de la ecuación potencial así calibrada para los valores regionales, la  $PMP_d$  para diferentes duraciones se reproduce en la Tabla 2 junto a los valores correspondientes a la serie mundial de máximos de precipitación ( $a=422,0$  y  $b=0,475$ ):

Tabla 2 – Comparación de la  $PMP_d$  vs. PMP de la serie mundial

D [horas]	$PMP_d$ [mm]	$PMP_{\text{serie mundial}}$ [mm]	Observación
1	119,3	422,0	
2	165,9	586,5	
3	201,1	711,1	El 2 abril de 2013 se registran 301 mm.
6	279,5	988,4	
12	388,5	1373,8	
24	540,0	1909,5	La $P_{\text{máx}}$ mundial es 3,5 veces la PMP regional.

De la inspección de los resultados consignados en la tabla anterior surgen los siguientes comentarios:

- Los valores de la serie mundial aparentemente resultan exagerados en comparación con las observaciones disponibles. Sin embargo, cumple con la premisa básica de ser una expresión envolvente de los registros máximos conocidos. No es un juicio objetivo porque no hay datos para apoyarlo con mayor rigor, pero sin duda 3,5 veces el valor de la PMP regional hace muy incierta la utilización directa de la serie mundial. Además, hay que tomar en cuenta que la serie mundial se construye con eventos que se emplazan en muy diversos climas y regímenes meteorológicos lo cual dificulta aún más su contraste.
- Los valores obtenidos conservando el exponente de la serie mundial no cumplirían con la misión de envolver los registros actuales; en particular, para la duración 3 horas, la predicción está 100 mm por debajo de lo observado el 2 de abril de 2013.

Para salvar estas dos limitaciones, se propone aquí una relación intermedia que haga honor a las siguientes hipótesis: (a) el valor límite para 24 hs. es la PMP regional de 540 mm; (b) el valor de la  $PMP_d$  para 3 horas debe ser igual o mayor a 301 mm (precipitación del 2 de abril de 2013); (c) en arreglo a las leyes IDR disponibles para La Plata, la  $PMP_d$  de 12 horas debe aproximadamente duplicar la  $PMP_d$  de 1 hora. El ajuste de la función potencial que cumple

con estas condiciones es la siguiente:

$$PMP_d = 221,1 d^{0,281} \tag{2}$$

y los valores numéricos para cada duración (Tabla 3) junta a su gráfica (Fig. 2) como sigue:

Tabla 3 – Valores de la PMP<sub>d</sub> [mm] para diferentes duraciones [h]

D [horas]	PMP <sub>d</sub> [mm]	PMP <sub>serie mundial</sub> [mm]	PMP <sub>d</sub> propuesta [mm]
1	119,3	422,0	221,1
2	165,9	586,5	268,6
3	201,1	711,1	301,0
6	279,5	988,4	365,8
9	338,9	1198,3	409,9
12	388,5	1373,8	444,4
18	471,0	1665,6	498,1
24	540,0	1909,5	540,0

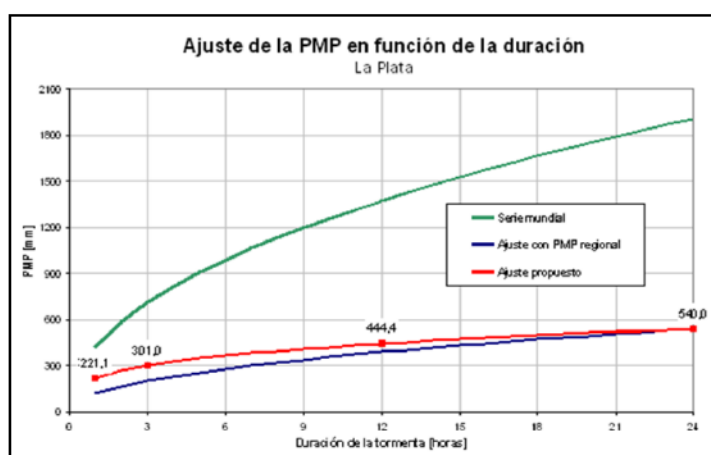


Figura 2 – Ajuste de la PMP [mm] para duraciones inferiores al día.

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para el evento del 27 de enero de 2002, el acumulado total del día llegó a 120 mm, valor que se puede referir a la PMP regional haciendo  $120 \text{ mm} / 540 \text{ mm} = 22 \%$  de la  $PM_{PR}$ . De la misma manera, referido a la PMP puntual para La Plata, se tiene  $120 \text{ mm} / 500 \text{ mm} = 24 \%$  de  $PMP_{LP}$ , diferencia no significativa con el anterior. Se debe destacar también que se trata de un evento que pertenece a un rango (100 a 125 mm/día) que se ha repetido 15 veces en una serie de 103 años. El mismo procedimiento se puede seguir con los eventos del 28 de febrero de 2008 y del 2 de abril de 2013, dando como resultado lo que se resume a continuación:

Tabla 4 – Resultados de la comparación PMP vs. Eventos observados

Evento	P total [mm]	% $PMP_{LP}$	% $PMP_{Regional}$
27/01/2002	120	24	22
28/02/2008	240	48	44
02/04/2013	392	78	73

Cabe acotar que los eventos del 2008 y 2013 son únicos en la serie, en especial, el último caso mencionado. También notar el incremento consecutivo del porcentaje de la PMP (cualquiera sea) lo cual implica una tendencia incipiente que no deja de ser preocupante.

Esta forma de medir la magnitud de la tormenta se asocia mejor al nivel de riesgo que implica su ocurrencia. Se parte de la base de que el evento extremo ya ocurrió, que puede repetirse en cualquier momento y que su magnitud ha sido expresada en forma práctica como una fracción del límite máximo estimado.

En tanto que si a una tormenta se le asocia, por ejemplo, una recurrencia decamilenaria, entonces aplicando la ecuación de riesgo inherente para una vida útil de 50 o 100 años se tiene que la probabilidad de que vuelva a ocurrir al menos una vez un evento igual o mayor es del 0,5% y del 1%, respectivamente. De este modo, setiende a experimentar (en especial para los receptores de proyectos no habituados a evaluar riesgo) una sensación de repetición del evento alejada de la actualidad (falso) y de baja chance de ocurrir (verdadero), aunque en realidad nada se puede afirmar acerca de cuándo llegará ese momento.

## CONCLUSIONES

Los valores de precipitación registrados en la última década en La Plata (27/1/2002, 28/2/2008 y 2/4/2013) merecen un tratamiento especial. La metodología que surge como más apropiada para caracterizar su magnitud es la que utiliza como baremo a la PMP, definida en este caso mediante el registro histórico más prolongado de la región (serie de 103 años de precipitación máxima diaria). Así, la PMP se puede estimar entonces en 540 mm para la región del Gran La Plata y en 500 mm para la vertical de La Plata (estimación local). En este marco, las precipitaciones registradas más grandes desde la última década son equivalentes a un 24%, 48% y a un 78% de la PMP<sub>LP</sub>.

A partir de estas definiciones, se estimó también una ley que define la PMP para diferentes duraciones horarias. En comparación con la serie mundial de precipitaciones máximas, esta nueva ley produce resultados que se ubican un 50% por debajo hasta una duración de 3 horas y del orden del 30 al 35% por debajo para duraciones mayores.

## REFERENCIAS

- Antico, P. L. y Sabbione, N. C., 2010. Variabilidad temporal de la precipitación en la ciudad de La Plata durante el período 1909-2007: tendencias y fluctuaciones cuasiperiódicas. *Geoacta* 35:44-53.
- Bertoni, J. C. y Tucci, C. M., 1993. *Hidrología, Ciência e Aplicação*. Editora da Universidade, UFRGS-EDUSP, Porto Alegre.
- Caamaño Nelly, G., Dasso, C. y García, C., 2003. *Lluvias de diseño: conceptos, técnicas y experiencias*. Editorial Científica Universitaria, Córdoba.
- Chow, V. T., Maidment, D. R. y Mays, L. W., 1994. *Hidrología Aplicada*. Mc Graw Hill, Bogotá.
- De Hann, L. y Ferreira, A., 2006. *Extreme value theory, an introduction*. Springer.
- EmergencyEventsDatabase (EMDAT) & Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED); <http://www.emdat.be/>
- Hershfield, D. M., 1961. Estimating the probable maximum precipitation, *Proc. ASCE, J. Hydraul. Div.*, 87(HY5), 99-106.
- Hershfield, D. M., 1965. Method for estimating probable maximum precipitation, *J. American Waterworks Association*, 57, 965-972.
- Ministerio de Infraestructura PBA, 2011. *Manual para el diseño de Planes Maestros*. Dirección Provincial de Saneamiento y Obras Hidráulicas (DiPSOH), La Plata.
- Organización Meteorológica Mundial, 2011. *Guía para prácticas hidrológicas: Hidrología – De la medición a la información Hidrológica*. Volumen I, OMM N° 168, Serie Tiempo – Clima – Agua.
- Romanazzi, P., 2007. Estimación de la PMP para precipitaciones mensuales en el noreste pampeano. *XXI Congreso Nacional del Agua*, H:165, Tucumán, Argentina.
- Romanazzi, P., 2014. Aproximación a la estimación estadística de la Precipitación Máxima Probable (PMP) para La Plata, Provincia de Buenos Aires, Argentina. *II Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras, Santa Fe, Argentina*.
- Sistema de inventario de efectos de desastres (Desinventar online); <http://online.desinventar.org/>

- United Nations office for disaster risk reduction (UNISDR); <http://www.unisdr.org>
- World Meteorological Organization, 2009. *Manual on Estimation of Probable Maximum Precipitation (PMP)*. WMO N° 1045, Weather, climate & water series.