

# *Impluvium*

Publicación digital de la Red del Agua UNAM  
Número 7, Abril - Junio 2019



# Gestión de Riesgos ante Fenómenos Hidrometeorológicos Extremos



## PRESENTACIÓN

DR. FERNANDO GONZÁLEZ VILLARREAL  
COORDINADOR TÉCNICO DE LA RED DEL AGUA UNAM

M. EN C. JORGE ALBERTO ARRIAGA MEDINA  
COORDINADOR EJECUTIVO DE LA RED DEL AGUA UNAM

**D**e acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas, el 90% de los desastres naturales están relacionados con los recursos hídricos, ya sea con su escasez o su exceso. Se calcula que desde el año 1900, más de dos mil millones de personas han sido afectadas por la sequía; de éstas, más de 11 millones han muerto por la falta de agua y alimentos. Por otro lado, se estima que para 2050, al menos dos mil millones de personas se encontrarán en condiciones de vulnerabilidad ante desastres provocados por las inundaciones. Estas predicciones podrían agravarse de no resolverse importantes problemas, como el aumento de la ocupación de zonas inundables, el crecimiento de las tasas de

deforestación y de pérdida de humedales, y el incremento de los niveles del mar.

Por su ubicación geográfica, México experimenta una alta variabilidad temporal y espacial en la disponibilidad del agua. Se estima que el 68% de la precipitación normal se concentra en los meses de junio a septiembre. Además, mientras que en las regiones centro y norte habita el 77% de la población, se cuenta únicamente con el 31% de los recursos hídricos; en contraste, la región sur dispone del 69% de los recursos hídricos para abastecer de agua a menos del 23% de la población.

La variabilidad en la disponibilidad de los recursos hídricos hace de México un país altamente vulnerable a los efectos de los fenómenos hidrometeorológicos extremos. Entre 1970 y 2017 más de 230 ciclones tropicales impactaron en las costas de México. Al mismo tiempo, se estima que existen en territorio mexicano 106 municipios vulnerables a las sequías. Ambos fenómenos afectan de manera desproporcionada a las poblaciones con menores recursos, quienes

dependen de la agricultura y la ganadería y que habitan en asentamientos irregulares a las márgenes de los cuerpos de agua.

Para avanzar en la construcción de sociedades resilientes a los efectos de los fenómenos hidrometeorológicos extremos resulta impostergable vincular los desarrollos científicos y tecnológicos de vanguardia para la gestión de riesgos con la toma de decisiones. Por ello, en este número de *Impluvium* los autores compar-ten diversas metodologías e instrumentos cuya finalidad es asegurar el desarrollo del país y el ejercicio de los derechos humanos, incluso en condiciones de riesgo. ♦



# Impluvium

**Impluvium** es una publicación de la Red del Agua UNAM; puede ser reproducida con fines no lucrativos, siempre y cuando no se mutile, se cite la fuente completa y su dirección electrónica. Los artículos compartidos son responsabilidad exclusiva de los autores y no reflejan necesariamente la opinión de la Red del Agua UNAM o de sus miembros.

.....

Comité editorial:

**Dr. Fernando J. González Villarreal**  
Coordinador Técnico Red del Agua UNAM

**M. en C. Jorge Alberto Arriaga Medina**  
Coordinador Ejecutivo de la Red del Agua UNAM

**M.I. Angélica Mendoza Mata**  
Consultora IINGEN

**Lic. Fernanda Hoyanna Rosales Ramírez**  
Red del Agua UNAM

Diseño gráfico y formación:  
**Lic. Joel Santamaría García**  
**Lic. Marie Claire Mendoza Muciño**

.....

Publicación digital de la Red del Agua UNAM.  
Número 7, Gestión de Riesgos ante Fenómenos  
Hidrometeorológicos Extremos,  
Abril - Junio 2019

[www.agua.unam.mx](http://www.agua.unam.mx)

# CONTENIDO

## **Presentación ..... 2**

FERNANDO J. GONZÁLEZ VILLARREAL

JORGE ALBERTO ARRIAGA MEDINA

## **Importancia y beneficios de la gestión del riesgo de sequía ..... 6**

DAVID ORTEGA GAUCIN

## **Avenidas de diseño Métodos estadísticos y probabilísticos de estimación ..... 12**

LUIS ALBERTO VILLARREAL MANZO

## **Sistema de alerta temprana Multi-riesgo de la ciudad de México. . . . . 42**

MARTHA LILIAN LLANOS RODRÍGUEZ

JUAN MANUEL CERNA GARCÍA

## **Repositorio de riesgos asociados a fenómenos naturales y antrópicos en México ..... 50**

AGUSTÍN FERNÁNDEZ EGUIARTE

CAROLINA CASTELÁN HERNÁNDEZ

ÁNGEL V. BAUTISTA DURÁN

## **Gestión del riesgo en José Cardel, Veracruz, ante el desbordamiento del río La Antigua provocado por el huracán Karl en septiembre de 2010. .... 58**

JOEL CARBAJAL BARRERA



# IMPORTANCIA Y BENEFICIOS DE LA GESTIÓN DEL RIESGO DE SEQUÍA

DAVID ORTEGA GAUCIN  
INVESTIGADOR DEL INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA

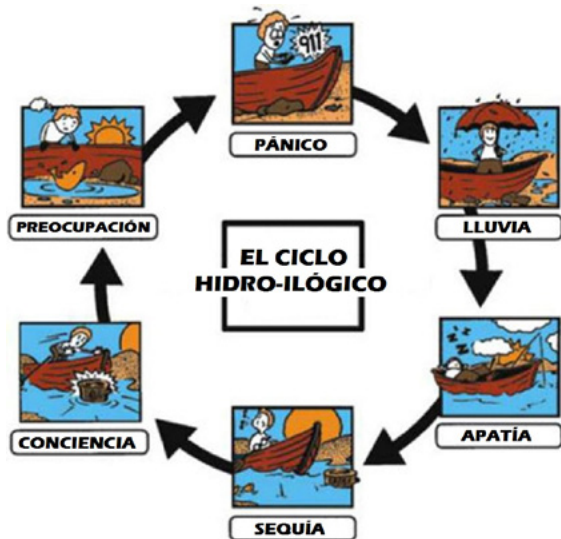
## Introducción

La sequía es un fenómeno natural que forma parte del acontecer climático de prácticamente todas las regiones del planeta, pues todas experimentan tiempos más o menos prolongados con precipitación inferior a la normal, inclusive aquéllas que se caracterizan por ser típicamente húmedas o lluviosas. Sin embargo, los efectos de la sequía son particularmente notables en las regiones áridas y semiáridas, donde por naturaleza el agua disponible es escasa e insuficiente para satisfacer las distintas necesidades humanas y de los ecosistemas. Si estas zonas ya de por sí tienen un déficit hídrico, éste se ve agravado por la presencia de sequías recurrentes que cau-

san estragos en las comunidades y en las distintas actividades sociales y económicas.

No obstante, comúnmente se piensa que la sequía es un evento raro, es decir, que ocurre esporádicamente y, en ocasiones, se piensa que jamás volverá a suceder un acontecimiento igual o de mayores proporciones que el último registrado. Como consecuencia de ello, se crea un círculo vicioso entre pánico y apatía: el llamado ciclo “hidro-ilógico” (véase Figura 1). Este ciclo fue descrito por primera vez por I.R. Tannehill en 1947 para explicar la forma en la que los seres humanos procedemos ante la sequía y la actitud que tomamos frente a este fenómeno: el pánico sobreviene cuando la sequía se presenta, y es directamente proporcional a su duración y severidad; y la apatía acontece cuando el evento ya ha pasado y se piensa que no volverá a ocurrir, e incluso se olvida. Lo cierto es que no hay nada más alejado de la realidad: la sequía es frecuente, recurrente e inevitable, y puede presentarse en cualquier momento en el futuro, inclusive con mayor duración y severidad.

Figura 1. El ciclo "hidro-ilógico".



La Figura 1 fue elaborada por el Centro Nacional de Mitigación de la Sequía (NDMC) de los Estados Unidos. Se basa en la descripción de la percepción humana hecha por Tannehill (1947), quien escribió: “Damos la bienvenida al primer día despejado después de un período de lluvia. Los días sin lluvia continúan por un tiempo y

nos complace tener un largo período de buen tiempo. Unos días más y estamos realmente en problemas. El primer día sin lluvia en un período de buen clima contribuye tanto a la sequía como el último, nadie sabe lo serio que será hasta que el último día seco termine y vuelvan las lluvias.”

Los impactos de la sequía son directamente proporcionales a los requerimientos y demandas de agua de las zonas afectadas. Cuanto mayor es la población de un lugar y más extensas son las actividades económicas como la agricultura y la ganadería, mayores son las necesidades del vital líquido. Por ello, una de las medidas básicas de gestión del riesgo de sequía es cuidar el balance entre la oferta y la demanda de agua. De ahí deriva la importancia de planear y prepararse para afrontar la presencia de una sequía severa y prolongada en los distintos sistemas hidráulicos, pues las fuentes de suministro de agua en ningún caso son ilimitadas.

### Factores que limitan la planeación para la sequía

La planeación para afrontar la sequía es fundamental, pero no ocurre de manera natural debido a múltiples obstáculos. En principio, por las percepciones erróneas que se tienen con respecto a esta anomalía climatológica y, en segundo lugar, porque la sequía es un fenómeno relativo y no existe una definición del mismo que sea aplicable a todos los lugares y a todas las circunstancias.

No significa lo mismo la sequía para un meteorólogo, quien la concibe como una disminución de la precipitación con respecto a la normal de un lugar específico, que para un agricultor de riego, quien la percibe como escasez o falta de agua para irrigar sus cultivos; o para un administrador u operador de un sistema hidráulico, quienes observan la amenaza cuando no tienen volúmenes de agua suficientes para satisfacer las demandas de los usuarios. Tampoco es igual una sequía para quien vive en el trópico húmedo de México, donde raramente se percibe como un peligro natural; que para los pobladores de las

zonas áridas del norte del país, quienes viven en constante racionamiento del vital líquido; o para los habitantes de zonas urbanas, que en general son poco sensibles a la sequía porque no la perciben hasta que falta el agua en sus grifos; o los del medio rural, donde muchas comunidades carecen de abastecimiento público debido a los altos índices de marginación social en que se encuentran. Es decir, hay diferentes maneras de percibir, concebir y vivir este fenómeno natural, las cuales están condicionadas por la ubicación geográfica de una región, por las distintas formas de vivir estos episodios meteorológicos en relación con las actividades desarrolladas y, en dado caso, por la función que corresponde desempeñar en los diferentes niveles de la administración hidráulica (Morales et al., 1999; Velasco et al., 2005).

Además, hay una falta de planeación de las instituciones gubernamentales, pues automáticamente se abocan a la atención de las crisis y sus efectos, destinando tiempo y dinero para paliar los daños de manera ineficiente, debido a la duplicidad de funciones y a la falta de coordinación



interinstitucional entre las distintas dependencias encargadas de aplicar los programas sociales de ayuda humanitaria. Esto es lo que se conoce como manejo de la crisis, en contraposición de la gestión del riesgo (Ortega-Gaucin, 2014). Pero cuando la crisis ha pasado, hay una gran resistencia para invertir tiempo y recursos en planear y prepararse para la próxima sequía, de ahí la referencia al llamado ciclo “hidro-ilógico”.

#### **Beneficios de la gestión del riesgo de sequía**

La gestión del riesgo es un enfoque preventivo centrado en el diseño de estrategias que se pondrán en marcha con antelación a la ocurrencia de una sequía para prevenir y mitigar el nivel de exposición al riesgo y, por lo tanto, la vulnerabilidad ante los impactos. Este enfoque trata de aumentar la resiliencia de los sistemas a través de medidas estructurales y no estructurales sobre una base continua (Knuston et al., 1998).

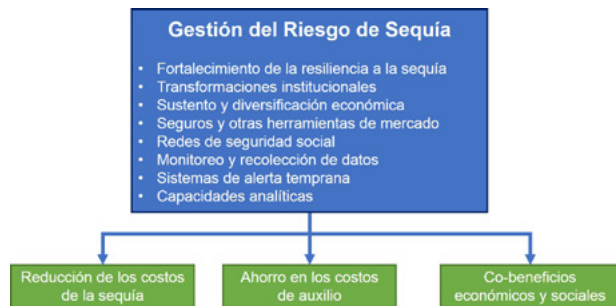
Existen motivos para diseñar y establecer estrategias de gestión del riesgo en los diferentes niveles operativos de los sistemas hidrológicos e

hidráulicos (cuencas, organismos operadores de agua potable, distritos de riego, asociaciones de usuarios, etc.). Por un lado, está demostrado que planear provisoriamente para mitigar los efectos de la sequía es la mejor opción para soportar los daños al menor costo (WMO/GWP, 2017). Por otro lado, además de mitigar los riesgos de sequía, muchas estrategias de gestión de riesgos -sobre todo las medidas estructurales relacionadas con la construcción, rehabilitación y mantenimiento de obras hidráulicas- tienen beneficios sustanciales colaterales, especialmente de tipo socioeconómico.

Algunas de estas acciones construyen resiliencia, no sólo contra las sequías sino también contra una variedad de impactos socioeconómicos y ambientales. Por ejemplo, la adopción de sistemas de riego más eficientes puede tener un impacto positivo en los sistemas agrícolas y en el uso sustentable del agua y de la tierra, no sólo durante los períodos de sequía, sino también durante los tiempos normales. La Figura 2 destaca que los beneficios de adoptar enfoques de

gestión de riesgos para hacer frente a las sequías no sólo incluyen los costos que se evitan por las pérdidas ocasionadas por la sequía y los bajos costos de recuperación después de ésta, sino también los beneficios socioeconómicos colaterales.

Figura 2. La gestión del riesgo de sequía y sus beneficios



Fuente: adaptada de WMO/GWP (2017).

Otros ejemplos podrían ser que cuando los agricultores tienen acceso a créditos para la producción, seguros para sus cosechas, tecnificación, mejores oportunidades de educación y salud para sus familias, etc., tendrán una mayor capa-

cidad de recuperación frente a los impactos de la sequía y de otros fenómenos naturales. Al mismo tiempo, estos factores también aumentan sustancialmente las capacidades de adaptación frente al cambio climático, ayudan a reducir la degradación de la tierra, facilitan la reducción de la pobreza, mejoran la seguridad alimentaria de los hogares y promueven el desarrollo sostenible.

### Conclusión

El problema con la gestión de las sequías es que, generalmente, se atienden de manera reactiva, sin planeación, sólo después de que sus impactos ya están muy avanzados. El reto es alejarse de ese paradigma de manejo de la crisis y transitar hacia uno preventivo de gestión del riesgo. Este último enfoque puede conducir a fortalecer la capacidad de las comunidades y la sociedad para hacer frente no sólo a las sequías, sino también a una gran variedad de fenómenos y peligros naturales, pues la planificación e implementación de acciones y medidas para afrontar las sequías

contribuye también a crear resiliencia y adaptación a los efectos del cambio climático. Además, este enfoque disminuye la necesidad de apoyos gubernamentales orientados al manejo de las crisis, los cuales sólo crean mayor dependencia en la población. Entonces, es necesario romper con este ciclo “hidro-ilógico”. 💧

## Bibliografía

- Knutson, C., Hayez, M. and Phillips, T. (1998). How to reduce drought risk. National Drought Mitigation Center. Lincoln, Nebraska. Disponible online: <http://drought.unl.edu/portals/0/docs/risk.pdf>
- Morales G., A., Olcina C., J. y Rico A., A.M. (1999). Diferentes percepciones de la sequía en España: adaptación, catastrofismo e intentos de corrección. *Investigaciones Geográficas*, No. 22. Anales de la Universidad de Alicante.
- National Drought Mitigation Center (NDMC). (2019). Hydro illogical cycle. Disponible online: <https://drought.unl.edu/droughtplanning/AboutPlanning/WhyPlan.aspx>
- Ortega-Gaucin, D. (2014). Sequía en México y Estados Unidos de América: diferencias esenciales de vulnerabilidad y enfoques en la atención al fenómeno. *Frontera Norte*, Vol. 26, No. Esp. 3, pp. 141-148.

## *Agradecimiento*

*Este artículo fue realizado en el marco del proyecto de investigación PDCPN-2017/4924 del Programa CONACYT de Proyectos de Desarrollo Científico para atender Problemas Nacionales.*

- Tannehill, I.R. (1947). *Drought its causes and effects*. Princeton University Press. Princeton, New Jersey. 264 pp.
- Velasco, I., Ochoa, L., & Gutiérrez, C. (2005). Sequía, un problema de perspectiva y gestión. *Región y Sociedad*, Vol. 17, No. 34, pp. 35-71.
- World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP) (2017). *Benefits of action and costs of inaction: Drought mitigation and preparedness – a literature review* (N. Gerber and A. Mirzabaev). Integrated Drought Management Programme (IDMP) Working Paper 1. WMO, Geneva, Switzerland and GWP, Stockholm, Sweden.



# AVENIDAS DE DISEÑO MÉTODOS ESTADÍSTICOS Y PROBABILÍSTICOS DE ESTIMACIÓN

LUIS ALBERTO VILLARREAL MANZO  
COLEGIO DE POSTGRADUADOS, CAMPUS PUEBLA.  
TEL 01 (222)2851445 EXT. 2038  
lavilla@colpos.mx

## Introducción

El diseño y la planeación de obras hidráulicas están siempre relacionadas con eventos hidrológicos futuros; por ejemplo, la avenida de diseño para el vertedor de una presa es un evento que tal vez no se ha presentado jamás, o al menos no en el período de datos disponible, pero que es necesario conocer para determinar las dimensiones de la obra. La complejidad de los procesos físicos que tienen lugar en la generación de esta avenida hace, en la mayoría de los casos, imposible una estimación confiable de la misma por métodos basados en las leyes de la mecánica o la física, sea porque estos métodos son insuficientes, sea por-

que el modelo matemático resultante sería muy grande, complicado y difícil de manejar.

Por ello, y como sucede en la mayoría de las ciencias, con mucha frecuencia el estadístico es el camino obligado en la solución de los problemas. En particular, la probabilidad y la estadística juegan un papel de primer orden en el análisis hidrológico.

## Análisis de probabilidad

Algunos fenómenos meteorológicos se derivan de una secuencia extremadamente compleja de eventos naturales. Por tanto, la predicción de la magnitud de eventos futuros es arriesgado, a menos que, haya un completo entendimiento de todos los factores controlables.

Los escurrimientos de una cuenca son un ejemplo de una variable hidrológica dependiente, la cual es el resultado de una cadena de otras variables hidrológicas independientes, como una lluvia torrencial, condiciones de baja infiltración del suelo, suelos de la cuenca saturados, etc.

Muchas veces el hidrólogo puede dar una respuesta satisfactoria, pero con la posibilidad de que un evento futuro exceda una magnitud determinada. Este tipo de respuestas o predicciones- pueden darse cuando se ha asumido que todos los eventos hidrológicos -como los escurrimientos- siguen algunos tipos de distribuciones de probabilidad. De esta forma, si los eventos de escurrimientos son observados de registros históricos, éstos pueden mostrar la tendencia de una función de probabilidad teórica, el conocimiento de sus características puede ser usado para estimar la probabilidad de ocurrencia de un evento y su magnitud. Inversamente, la distribución de probabilidad puede ser utilizada para estimar la magnitud de un evento extremo poco común (Aparicio Mijares, 1989. p. 15).

De esta forma, los registros de escurrimientos o descargas anuales de una cuenca, pueden utilizarse para definir la distribución de probabilidad de la misma.

Teniendo la distribución de probabilidad y asumiendo que el registro de 40 años es un

ejemplo representativo de un periodo de registro largo, la magnitud del escurrimiento ocurrido sobre el promedio de una vez en 1,000 años, puede estimarse a partir del conocimiento de las propiedades de la distribución probabilística.

El procedimiento de prueba, para entrar al conocimiento de las funciones de distribución de probabilidades, para los eventos observados, es llamado Análisis de Probabilidad. Cualquier variable hidrológica puede ser analizada de esta forma, sin embargo, las variables más comúnmente analizadas son los escurrimientos máximos y la intensidad de lluvia registrada durante un intervalo de tiempo particular (Benjamin y Cornell, 2014).

### **Análisis de series anuales**

La posibilidad de que, en un número grande de una variable en particular, ésta se repita en un intervalo anual, por ejemplo, una cuenca que característicamente todo el tiempo produce grandes escurrimientos provocados por el derretimiento de nieve, la cuenca puede producir este

escurrimiento sólo después de la primavera. La magnitud de la descarga máxima puede variar de un año a otro, pero cada nuevo año provoca nuevas oportunidades de escurrimientos. En una serie anual, la descarga máxima en cada año de registro se utiliza en el arreglo de datos.

### Distribuciones de probabilidad

Una vez que se asigna un periodo de retorno al gasto de diseño de la obra en cuestión, generalmente es necesario, para conocer dicho gasto de diseño, hacer extrapolaciones a partir de los gastos máximos anuales registrados, pues rara vez este periodo es menor al periodo de datos.

En la estadística, existen decenas de funciones de distribución de probabilidad teóricas; de hecho, existen tantas como se quiera, y obviamente no es posible probarlas todas para un problema en particular. Por tanto, es necesario escoger, de esas funciones, las que se adapten mejor al problema bajo estudio.

Entre las funciones de distribución de probabilidad usadas en hidrología, algunas de las más comunes son:

- a) Normal,
- b) Log-Normal,
- c) Pearson III,
- d) Gumbel, y
- e) Funciones para dos poblaciones.

Las funciones Normal y Log-Normal son generalmente apropiadas para variables aleatorias que cubren todo el rango de valores de los resultados posibles del estudio en cuestión, como por ejemplo los volúmenes de escurrimiento mensual de una corriente. Las funciones Gumbel se desarrollaron para el análisis de los valores extremos de dichos resultados, como los gastos máximos o mínimos anuales. La función Pearson III ocupa un lugar intermedio.

Tabla 1. Descargas máximas anuales registradas en la Estación Hidrométrica El Pujal, Río Tampaon, Cuenca Baja del Río Pánuco.

Año	Descarga máxima	Año	Descarga máxima
1995	1404.85	2005	1271.91
1996	2097.18	2006	454.45
1997	1133.30	2007	3552.29
1998	1249.76	2008	3745.85
1999	1244.08	2009	3030.94
2000	1128.12	2010	2412.00
2001	1296.18	2011	3139.49
2002	976.67	2012	406.21
2003	1334.56	2013	3050.00
2004	1337.67	2014	1302.50

Fuente: Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS). 2015. Estación hidrométrica 26272 El Pujal, Río Tampaon.

### Ejemplo de aplicación

Los escurrimientos o descargas máximos anuales registrados en la Estación Hidrométrica El Pujal, Río Tampaon, Cuenca Baja del Río Pánuco, son las siguientes (Véase Tabla 1).

a). - ¿Cuál es la probabilidad de que, en un año cualquiera, el gasto sea mayor o igual a  $4\ 000\ m^3/s$ ?

b). - Se planea construir, cerca de este sitio, un bordo para protección contra inundaciones. ¿Cuál debe ser el gasto de la avenida de diseño, si se desea que el período de retorno sea de 50 años?

Suponer que los datos de descargas máximas anuales siguen una distribución Normal.

### Solución

#### Distribución Normal

La media y desviación estándar de los datos son, respectivamente:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{20} x_i}{n} = 1\ 778.40\ m^3/s \quad (1)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{20} x_i^2}{n-1}} = 1\ 012.76\ m^3/s \quad (2)$$

La media y desviación estándar de la población, pueden estimarse como:

$$\mu = \bar{x} = 1\,778.40 \text{ m}^3/\text{s} \quad (3)$$

$$\sigma = s = 1\,012.76 \text{ m}^3/\text{s} \quad (4)$$

a) Para  $x = 4\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ , la variable estandarizada  $z$  es:

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} = \frac{4000.00 - 1778.40}{1012.76} = 2.19 \quad (5)$$

De la tabla de probabilidades acumuladas de la distribución Normal, se obtiene:

$$F(x) = F(z) = P(x \leq 4\,000) = 0.9857 \quad (6)$$

Por lo que la probabilidad de que el gasto máximo anual sea mayor o igual que  $4\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ , resulta:

$$P(x \geq 4\,000) = 1 - P(x \leq 4\,000) = 1 - 0.9857 = 0.0143 \quad (7)$$

b) Se tiene que:

Donde:

$$T = \frac{1}{P(X \geq x)} = \frac{1}{1 - P(X \leq x)} \quad (8)$$

$T$  = Periodo de retorno, número de años en que, en promedio, se presenta un evento.

Por tanto:

$$*P(X \leq x) = \frac{T-1}{T} \quad (9)$$



\*La probabilidad de que la variable aleatoria  $X$ , tome un valor menor o igual que  $x$ .

Entonces, para  $T = 50$  años, la función de distribución de probabilidad es:

$$F(x) = P(X \leq x) = \frac{49}{50} = 0.98 \quad (10)$$

De la misma tabla de probabilidades acumuladas, se obtiene la variable estandarizada:

$$z = 2.053 \quad (11)$$

Por tanto, despejando  $x$  de la ecuación (5), resulta:

$$\begin{aligned} x &= z * \sigma + \mu = (2.053) * (1\ 012.76) + 1\ 778.40 = 3\ 857.60 \\ x &= 3\ 857.60 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned} \quad (12)$$

Entonces, conforme la distribución Normal, el gasto de diseño para un período de retorno de 50 años será de 3 857.60 m<sup>3</sup>/s.

### Distribución Log-Normal

La media y desviación estándar de los datos, estimadores de la población, son:

$$\text{Media} = \alpha = \sum_{i=1}^{20} \frac{\ln x_i}{20} = 7.32 \quad (13)$$

$$\text{Desv. Estándar} = \beta = \sum_{i=1}^{20} \left[ \frac{(\ln x_i - 7.32)^2}{20} \right]^{\frac{1}{2}} = 0.596 \quad (14)$$

a). - Para  $x = 4\ 000$  m<sup>3</sup>/s, la variable estandarizada, es:

$$z = \frac{\ln x - \alpha}{\beta} \quad (15)$$

$$z = \frac{\ln(4\ 000) - 7.32}{0.5961} = 1.63 \quad (16)$$

De la tabla de probabilidades acumuladas de la Normal:mm

$F(x) = F(z) = 0.9484$ , por lo tanto:

$$P(x \geq 4\ 000) = 1 - P(x \leq 4\ 000) = 1 - F(x) = 1 - 0.9484 = 0.0516 \quad (17)$$

c) De la ecuación (9), se obtiene:

$$F(x) = P(X \leq x) = \frac{49}{50} = 0.98 \quad (18)$$

De la tabla de la distribución Normal, para el valor de  $F(x)$  de (18), resulta:

$$z = 2.053 \quad (19)$$

Despejando  $x$  de la ecuación (15), resulta:

$$x = e^{z\beta + \alpha}, \text{ entonces:} \quad (20)$$

$$x = e^{(2.053)(0.5961) + 7.32} = e^{8.54} = 5\,134.79 \text{ m}^3/\text{s}$$

Entonces, de acuerdo con la distribución Log-Normal, el gasto de diseño para un período de retorno de 50 años será de **5 134.79 m<sup>3</sup>/s**.

#### Distribución Pearson III o Gamma de tres parámetros

a). - Cálculo de los valores  $\alpha_1$ ,  $\beta_1$  y  $\delta_1$ . El coeficiente de sesgo  $\gamma$ , es:

$$\gamma = \sum_{i=1}^{20} \frac{(xi - \bar{x})^3}{s^3} \quad (21)$$

Sustituyendo (3), (4) y  $n = 20$ , en (21), resulta:

$$\gamma = \sum_{i=1}^{20} \frac{(xi - 1778.40)^3}{(1012.76)^3} = 0.635 \quad (22)$$

Donde  $xi$  son las descargas máximas anuales de la Tabla 1.

Entonces:

$$\beta_1 = \left(\frac{2}{\gamma}\right)^2 = \left(\frac{2}{0.635}\right)^2 = 9.92 \quad (23)$$

$$\alpha_1 = \frac{s}{\sqrt{\beta_1}} = \frac{1012.76}{\sqrt{9.92}} = 321.55 \quad (24)$$

$$\delta_1 = \bar{x} - \alpha_1 * \beta_1 \quad (25)$$

$$\delta_1 = 1778.40 - (321.55)(9.92) = -1\,411.376 \quad (26)$$

Para 4 000 m<sup>3</sup>/s, la variable estandarizada “ $y$ ” es:

$$y = \frac{x - \delta_1}{\alpha_1} \quad (27)$$

Sustituyendo datos en (27), resulta:

$$y = \frac{4\,000 - (-1411.376)}{321.55} = 16.83 \quad (28)$$

El valor de  $x^2$  y el número de grados de libertad, son:

$$F(y) = F\left(\frac{x^2}{v}\right) = F(x^2 | 2\beta_1) \quad (29)$$

$$x^2 = 2y = 2(16.83) = 33.66 \quad (30)$$

$$v = 2\beta_1 = 2(9.92) = 19.84 \quad (31)$$

De la tabla de valores seleccionados de  $x^2$ , se obtiene, para estos valores de  $x$  y  $v$  (se tomaron 20 grados de libertad):

$$F(x) = 97.03\% \quad (32)$$

Por tanto:

$$P(X \leq 4\,000) = 1 - F(4\,000) = 1 - 0.9703 = 0.0297 \quad (33)$$

b). De acuerdo con los problemas anteriores:  
 $P(X \leq x) = F(x) = F(y) = 0.98\%$

De la misma tabla de  $X^2$ , se obtiene por interpolación, para  $v = 20$ ;  $X^2 0.98 = 35.30$ ; entonces:

$$y = \frac{35.30}{2} = 17.65 \quad (34)$$

Despejando  $x$  de (27), resulta:

$$x = y \alpha_1 + \delta_1$$

$$x = (17.65)(321.55) + (-1411.376) \quad (35)$$

$$\boxed{x = 4\,264.27 \text{ m}^3/\text{s}}$$

**Distribución Gumbel**

Para 20 años de registro, de la tabla de valores  $\mu_y$  y  $\sigma_y$ , se tiene:

$$\begin{aligned}\mu_y &= 0.5236, \text{ y} \\ \sigma_y &= 1.0628\end{aligned}$$

Por tanto:

$$\alpha = \frac{\sigma_y}{s} = \frac{1.0628}{1012.76} = 0.001049 \left(\frac{m^3}{s}\right)^{-1} \quad (36)$$

$$\beta = \bar{x} - \frac{\mu_y}{\alpha} \quad (37)$$

$$\beta = 1\,778.40 - \frac{0.5236}{0.001049}$$

$$\beta = 1\,778.40 - 499.142$$

$$\beta = 1\,279.258 \text{ m}^3/\text{s} \quad (38)$$

a) Para  $x = 4\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ , de la ecuación:

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} \quad (39)$$

$$F(x) = e^{-e^{-0.001049(4000-1279.258)}}$$

$$F(x) = e^{-e^{-2.8541}}$$

$$F(x) = 0.94, \text{ por tanto:}$$

$$F(x) = \left(X \geq 4\,000 \frac{m^3}{s}\right) = 1 - 0.94 = 0.060 \quad (40)$$

b) Para  $T = 50$  años, de la ecuación (10):

$$F(x) = 0.98$$

Y despejando  $x$  de la ecuación (39), resulta:

$$x = \beta - \frac{1}{\alpha} \ln \ln \left(\frac{T}{T-1}\right) \quad (41)$$

Entonces:

$$x = 1279.258 - \frac{1}{0.001049} \ln \ln \left( \frac{1}{0.98} \right)$$

$$x = 1279.258 - 953.289 \ln \ln(1.0204)$$

$$\boxed{x = 4\ 999.31\ m^3/s} \quad (42)$$

### Funciones de Distribución para Dos Poblaciones

En muchos lugares de México, especialmente en las zonas costeras, los gastos máximos anuales pertenecen a dos poblaciones diferentes; la primera, es la de los gastos producidos por precipitaciones relacionadas con los fenómenos meteorológicos dominantes en la región en estudio, y la segunda, es la de los gastos producidos por precipitaciones ciclónicas, normalmente mayores que las primeras.

Regresando al problema en cuestión, suponiendo que ambas poblaciones tienen una distribución Gumbel.

En la siguiente tabla se presentan los gastos máximos anuales ordenados de mayor a menor (Véase Tabla 2).

Tabla 2. Descargas máximas anuales, ordenadas de mayor a menor, registradas en la Estación Hidrométrica El Pujal, Río Tampoan, Cuenca Baja del Río Pánuco.

m	T (años)	Descarga máxima (m <sup>3</sup> /s)
1	21.00	3745.85
2	10.50	3552.29
3	7.00	3139.49
4	5.25	3050.00
5	4.20	3030.94
6	3.50	2412.00
7	3.00	2097.18
8	2.63	1404.85
9	2.33	1337.67
10	2.10	1334.56
11	1.91	1302.50
12	1.75	1296.18
13	1.62	1271.91
14	1.50	1249.76
15	1.40	1244.08
16	1.31	1133.30
17	1.24	1128.12
18	1.17	976.67
19	1.11	454.45
20	1.05	406.21

Supóngase que los primeros siete gastos fueron producidos por una tormenta ciclónica.

De este modo,  $N_n = 13$ ,  $N_T = 20$  y:

Donde:

Es el número de años de registro en el que el gasto máximo no se produjo por una

$$p = \frac{13}{20} = 0.65 \quad (43)$$

tormenta ciclónica,

**$N_n$**  Es el número total de años del registro, y

Es la probabilidad de que, en un año cualesquiera, el gasto máximo no sea producido por una tormenta ciclónica.

**$N_T$**

Las medias y desviaciones estándar de las poblaciones no ciclónicas y ciclónicas, son:

Los parámetros  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\beta_1$  y  $\beta_2$  son, entonces, de acuerdo a las ecuaciones (36) y (37):

$$\bar{x}_1 = 1118.48 \text{ m}^3/\text{s} ; S_1 = 324.99 \text{ m}^3/\text{s} \quad (44)$$

$$\bar{x}_2 = 3003.96 \text{ m}^3/\text{s} ; S_2 = 583.80 \text{ m}^3/\text{s} \quad (45)$$

La función de distribución de probabilidad resulta ser:

$$\alpha_1 = \frac{0.9921}{324.99} = 0.003053 \text{ (m}^3/\text{s)}^{-1} \quad | \quad (46)$$

$$\alpha_2 = \frac{0.9921}{583.80} = 0.001699 \text{ (m}^3/\text{s)}^{-1} \quad (47)$$

$$\beta_1 = 1118.48 - \frac{0.5057}{0.003053} = 952.8396 \text{ m}^3/\text{s} \quad (48)$$

$$\beta_2 = 3003.96 - \frac{0.5057}{0.001699} = 2706.3143 \text{ m}^3/\text{s} \quad (49)$$

Para  $x = 4\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ , de la ecuación (50), se obtiene:

$$F(x) = e^{-e^{-0.003053(x-952.8396)}} [0.72 + (0.28)e^{-e^{-0.001699(x-2706.3143)}}] \quad (50)$$

Por tanto:

$$F(x) = e^{-e^{-9.303} [0.72 + (0.28) e^{-e^{2.20}}]} \quad (51)$$

$$F(x) = 1 [0.72 + (0.28) 0.8949]$$

$$nF(x) = 0.9706 = F(4\ 000)$$

b) Aquí se requiere un valor de x tal que:

$$P\left(x \geq 4\ 000 \frac{m^3}{seg}\right) = 1 - 0.9706 = 0.0294 \quad (52)$$

$$F(x)=0.97$$

De la ecuación (50), por tanteo:

Entonces:

x (m <sup>3</sup> /s)	F(x)
4 000	0.9706
3 900	0.9656
4 100	0.9750
3 950	0.9682
3 975	0.9694
3 987	0.9700

$$x=3\ 987\ m^3/s \quad (53)$$

### Límites de aplicabilidad y selección de la función de distribución de probabilidad

En la tabla 3 se resumen los resultados obtenidos, (Véase Tabla 3).

Se observa que la diferencia entre una y otra función no es muy significativa, aunque una selección apresurada de cualquiera de las funciones podría traducirse en una estructura sobrediseñada y costosa o subdiseñada y peligrosa. Por ello, se debe seleccionar la función con sumo cuidado.

Un método que se utiliza para seleccionar la mejor función, consiste simplemente en inspeccionar una gráfica donde se hayan dibujado cada una de las diferentes funciones junto con los puntos medidos u obtenidos. La función de distribución de probabilidad que se seleccione, será la que se apege visualmente mejor a los datos medidos.

El papel de probabilidad, es un gráfico con ordenadas para el valor de la variable x y con

abscisas para representar la probabilidad o el período de retorno ( $Tr$ ).

Este método se utiliza a veces, incluso, para ajustar las funciones de distribución de probabilidad a los datos medidos, dibujando en papel especial para cada función de datos, escogiendo la función, para la que el conjunto de puntos sea semejante a una línea recta y finalmente trazando a ojo dicha línea recta para poder efectuar las extrapolaciones necesarias.

Es un método muy subjetivo, sin embargo; a la vez, es muy ilustrativo y recomendable para ser utilizado con otros métodos.

Tabla 3. Resumen de resultados obtenidos de las funciones de distribución de probabilidad aplicados.

Función de distribución de probabilidad	$P(x \geq 4\,000\text{ m}^3/\text{s})$	X para $T = 50$ años (m <sup>3</sup> /s)
Normal	0.0143	3 857.60
Log-Normal	0.0516	5 134.79
Pearson III	0.0290	4 264.27
Gumbel	0.0600	4 999.31
Gumbel Dos Poblaciones	0.0294	3 987.00

### Método del Error Cuadrático Mínimo (MECM)

Otro método utilizado para seleccionar la función de distribución, es el método del error cuadrático mínimo (MECM). Este método es menos subjetivo que el anterior, consiste en calcular, para cada fdp, el error cuadrático: Donde:

$$E = \left[ \sum_{i=1}^n (x_{ci} - x_{mi})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (54)$$

$X_{ci}$  es el i-ésimo dato calculado con la FDP,  
 $X_{mi}$  es el i-ésimo dato del registro hidrométrico en cuestión, y

$E$  es el error cuadrático mínimo.

La función de probabilidad de mayor ajuste al registro hidrométrico será entonces aquella que cumpla un valor de  $E$  cercano a cero

En la tabla 4 se muestran los gastos estimados para cada una de las FDP analizadas, y los errores cuadráticos correspondientes, (Véase Tabla 4).



Para el caso de la distribución Gumbel de dos poblaciones no es posible determinar una ecuación para el cálculo de gastos máximos debido a que la función de distribución de probabilidad de Gumbel de dos poblaciones es implícita, eso implica que la solución de dicha ecuación debe realizarse a través de algún método para determinar raíces en una función (Ruíz, R., 2017. p. 114). La incertidumbre debida al desconocimiento de la distribución de probabilidades de los datos, es un tema de controversia, en realidad el viejo método de comparar gráficamente la distribución de probabilidades, conjuntamente con el juicio ingenieril y la experiencia en hidrología, pueden conducir en forma más precisa y rápida a seleccionar la distribución teórica más adecuada a los datos disponibles.

#### Intervalo de confianza para la media y la varianza de una distribución Normal. Q máximo.

La interpretación de un intervalo de confianza es que, antes de tomar la muestra, la probabilidad de que el intervalo aleatorio (L, L) cubra el pará-

metro  $\theta$  es  $1 - \alpha$ . De acuerdo con la interpretación de la probabilidad como frecuencia relativa, la afirmación es que, en muestras repetidas de la misma población, el intervalo de confianza obtenido contendrá a  $\theta$  el  $(1 - \alpha)$  por ciento de las veces. Por esa razón, también se dice “el intervalo  $100(1-\alpha)$  %”. Add  $1-\alpha$  se le llama el nivel de confianza del intervalo.

A continuación, se estiman los intervalos de confianza para el problema objeto del presente análisis.

$$Media = \bar{x} \pm t \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (55)$$

$$t = \frac{t_{\alpha}}{2}, n - 1 \quad \alpha = 0.05 \quad (56)$$

$$t = 0.025, 20-1$$

$$t = 0.025, 19 = 2.0930 \text{ (De la tabla } t \text{ de Student)} \quad (57)$$

Tabla 4. Descargas máximas estimadas para cada FDP analizada y sus errores cuadráticos correspondientes.

T (años)	$X_m$ (m <sup>3</sup> /s)	Normal		Log-Normal		Pearson III		Gumbel	
		$X_c$ (m <sup>3</sup> /s)	$(x_m - x_c)^2$	$X_c$	$(x_m - x_c)^2$	$X_c$	$(x_m - x_c)^2$	$X_c$	$(x_m - x_c)^2$
21.00	3,745.85	3,449.45	87,850.59	4,038.24	85493.72	5406.776	2,758,676.51	4158.41	170,203.06
10.00	3,552.29	3,074.73	228,060.88	3,238.96	98174.82	4838.495	1,654,323.82	3424.51	16,328.13
7	3,139.49	2,872.18	71,454.21	2,874.94	69985.31	4233.271	1,196,356.44	3061.74	6,044.86
5.25	3,050.00	2,669.63	144,682.25	2,551.84	248168.33	4030.719	961,809.36	2761.08	83,473.50
4.20	3,030.94	2,497.46	284,601.34	2,305.91	525667.40	3598.086	321,654.13	2520.63	260,418.32
3.50	2,412.00	2,335.42	5,864.80	2,096.14	99764.68	2969.018	310,269.05	2317.62	8,907.93
3.00	2,097.18	2,224.01	16,086.97	1,963.11	17975.41	2542.794	198,572.19	2139.81	1,817.44
2.63	1,404.85	2,092.36	472,663.95	1,816.73	169641.45	1718.806	98,568.12	1982.12	333,238.39
2.33	1,337.67	1,960.70	388,162.39	1,681.26	118053.17	1519.967	33,232.12	1830.82	243,196.80
2.10	1,334.56	1,829.04	244,508.49	1,555.89	48988.34	1385.198	2,564.21	1694.88	129,829.12
1.91	1,302.50	1,727.76	180,847.77	1,465.86	26685.35	1251.862	2,564.21	1564.48	68,632.71
1.75	1,296.18	1,596.10	89,953.93	1,356.55	3644.87	1124.011	29,642.23	1437.22	19,892.52
1.62	1,271.91	1,474.57	41,071.89	1,262.91	81.09	968.082	92,311.45	1317.71	2,098.06
1.50	1,249.76	1,332.79	6,893.25	1,161.79	7738.97	804.1456	198,572.19	1189.60	3,618.84
1.40	1,244.08	1,221.38	515.20	1,088.05	24344.47	687.062	310,269.05	1064.43	32,273.08
1.31	1,133.30	1,069.47	4,074.52	994.99	19130.40	424.368	502,584.58	930.85	40,987.23
1.24	1,128.12	887.17	58,056.32	893.76	54926.82	247.0188	776,339.32	806.38	103,519.54
1.17	976.67	725.13	63,272.57	812.45	26967.77	-76.6004	1,109,378.54	652.96	104,784.96
1.11	454.45	482.07	762.71	704.15	62350.30	-841.8828	1,680,478.73	480.44	675.72
1.05	406.21	117.47	83,368.71	568.16	26226.50	-1254.716	2,758,676.51	217.92	35,453.37
Suma			2,472,752.74	34,431.68	1,734,009.18	35,576.48	14,996,842.77	35,553.61	1,665,393.59
C			1,572.50		1,316.82		3,872.58		1,290.50

Sustituyendo datos en (55), resulta:

$$Media = 1\,778.40 \pm 2.0930 * \frac{1\,012.76}{\sqrt{20}}$$

$$Media = 1\,778.40 \pm 226.46$$

De (58);

Desviación estándar

$$\bar{x} \text{ sup} = 2\,004.86 \quad (59)$$

$$\bar{x} \text{ inf} = 1\,551.94 \quad (60)$$

$$S \pm t \frac{S}{\sqrt{2n}} \quad (61)$$

Sustituyendo datos en (61), resulta:

$$1\,012.76 \pm 2.0930 * \frac{1\,012.76}{\sqrt{40}}$$

$$Desviación\ estándar = 1\,012.76 \pm 160.13$$

$$S \text{ sup} = 1\,172.89 \quad (62)$$

$$S \text{ inf} = 852.63 \quad (64)$$

Entonces:

$$\bar{x} \text{ sup} + S \text{ sup} = 2\,004.86 + 1\,172.89 = 3\,177.75 \quad (65)$$

$$\bar{x} \text{ inf} + S \text{ inf} = 1\,551.94 + 852.63 = 2\,404.57 \quad (66)$$

$$\bar{x} \text{ sup} - S \text{ sup} = 2\,004.86 - 1\,172.89 = 831.97 \quad (67)$$

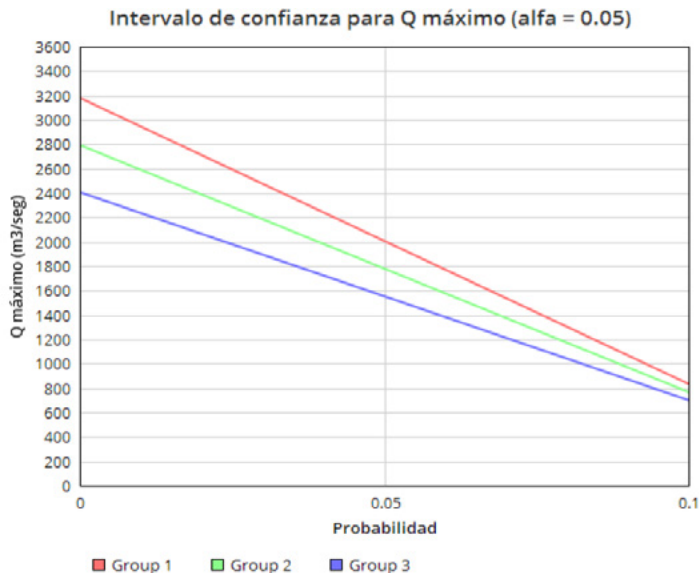
$$\bar{x} \text{ inf} - S \text{ inf} = 1\,551.94 - 852.63 = 699.31 \quad (68)$$

$$\bar{x} + S = 1\,778.40 + 1\,012.76 = 2\,791.16 \quad (69)$$

$$\bar{x} - S = 1\,778.40 - 1\,012.76 = 765.64 \quad (70)$$

Por último, se grafican en escala milimétrica (59), (60), (65), (66), (67), (68), (69) y (70), esta gráfica se muestra a continuación (Véase Figura 1).

Figura 1. Intervalo de confianza para la media y la varianza de una distribución Normal. Q máximo.



### Pruebas de bondad de ajuste.

Esta prueba es muy útil para determinar si los datos de una muestra pueden modelarse mediante una función probabilística específica. Las pruebas de bondad de ajuste más conocidas son la  $X^2$  y la Kolmogorov-Smirnov.

### Prueba de $X^2$

Por su parte, la prueba  $X^2$  es la más popular. Fue propuesta por Karl Pearson en 1900. A continuación, se realiza la prueba de bondad de ajuste  $X^2$  al presente estudio.

Para aplicar la prueba, el primer paso es dividir los datos en un número  $k$  de intervalos de clase, como se muestra en la tabla 5, donde se ha escogido  $k = 8$ , (Véase Tabla 5).

Posteriormente, se calcula el parámetro estadístico:

$$D = \sum_{i=1}^k \frac{(\theta_i - \epsilon_i)^2}{\epsilon_i} \tag{55}$$

Donde  $\theta_i$  es el número observado de eventos en el intervalo  $i$  y  $e_i$  es el número esperado de eventos en el mismo intervalo.

$e_i$  se calcula como:

$$e_i = n [ F(S_i) - F(I_{i-1}) ] \quad i = 1, 2, \dots, k. \quad (56)$$

Donde  $F(S_i)$  es la función de distribución de probabilidad en el límite superior del intervalo  $i$ ,  $F(I_{i-1})$  es la misma función en el límite inferior y  $n$  es el número de eventos. En las siguientes tablas se muestran los valores  $e_i$  para las funciones de distribución analizadas, (Véase Tablas 6, 7, 8, 9 y 10).

Una vez calculado el parámetro  $D$  para cada función de distribución considerada, se determina el valor de una variable aleatoria con distribución  $X^2$  para  $v = k-1-m$  grados de libertad y un nivel de significancia de  $\alpha$ , donde  $m$  es el número de parámetros estimados a partir de los datos.

Tabla 5. División de los datos hidrométricos en intervalos de clase.

Intervalo $i$	Límite Inferior ( $I_i$ )	Límite Superior ( $S_i$ )	Marca de Clase	Número Observado ( $e_i$ )
1	0	500	250	2
2	500	1000	750	1
3	1000	1500	1250	10
4	1500	2000	1750	0
5	2000	2500	2250	2
6	2500	3000	2750	0
7	3000	3500	3250	3
8	3500	4000	3750	2
$n$				20

Para aceptar una función de distribución dada, se debe cumplir:

$$D \leq \chi^2_{1-\alpha, k-1-m} \quad (57)$$

El valor de  $\chi^2_{1-\alpha, k-1-m}$  se obtiene de tablas de la función de distribución  $X^2$ .

Los valores de  $\alpha$  que se usan son del 10, 5 y 1%. El valor de  $\alpha$ , en la teoría estadística, es la probabilidad de rechazar la hipótesis nula:

$$H_0: \text{La función de distribución de probabilidad es } D(\alpha, \beta, \dots) \quad (58)$$

Tabla 6. Valores del parámetro estadístico D para la función de distribución Normal

Función de distribución	Intervalo	F(S <sub>i</sub> )	F(l <sub>i</sub> )	ε <sub>i</sub>	$(\theta_i - \epsilon_i)2/\epsilon_i$	D
Normal	1	0.1038	0.0392	1.2920	0.3880	
	2	0.2206	0.1038	2.3360	0.7641	
	3	0.3936	0.2206	3.4600	12.3617	
	4	0.5871	0.3936	3.8700	3.8700	
	5	0.7611	0.5871	3.4800	0.6294	
	6	0.8869	0.7611	2.5160	2.5160	
	7	0.9554	0.8869	1.3700	1.9393	
	8	0.9857	0.9554	0.6060	3.2067	
Suma				18.9300		25.6752

Tabla 7. Valores del parámetro estadístico D para la función de distribución Log-Normal

Función de distribución	Intervalo	F(S <sub>i</sub> )	F(l <sub>i</sub> )	ε <sub>i</sub>	$(\theta_i - \epsilon_i)2/\epsilon_i$	D
Log-Normal	1	0.0322	0.0000	0.6440	2.8552	
	2	0.2451	0.0322	4.2580	2.4929	
	3	0.4960	0.2451	5.0180	4.9463	
	4	0.6808	0.4960	3.6960	3.6960	
	5	0.8023	0.6808	2.4300	0.0761	
	6	0.8749	0.8023	1.4520	1.4520	
	7	0.9207	0.8749	0.9160	4.7413	
	8	0.9484	0.9207	0.5540	3.7742	
Suma				18.9680		24.0339

**Tabla 8. Valores del parámetro estadístico D para la función de distribución Pearson III.**

Función de distribución	Intervalo	F(Si)	F(li)	$\epsilon_i$	$(\theta_i - \epsilon_i)2/\epsilon_i$	D
Pearson III	1	0.9990	0.0000	19.9800	16.1802	
	2	0.9946	0.9990	18.8930	16.9459	
	3	0.9811	0.9946	18.6274	3.9958	
	4	0.9548	0.9811	18.1149	18.1149	
	5	0.9105	0.9548	17.2552	13.4870	
	6	0.9062	0.9105	17.2135	17.2135	
	7	0.7565	0.9062	14.2238	8.8565	
	8	0.6883	0.7565	13.0095	9.3170	
Suma			137.3173		104.1109	

**Tabla 9. Valores del parámetro estadístico D para la función de distribución Gumbel**

Función de distribución	Intervalo	F(Si)	F(li)	$\epsilon_i$	$(\theta_i - \epsilon_i)2/\epsilon_i$	D
Gumbel	1	0.1037	0.0217	1.6402	0.0789	
	2	0.2616	0.1037	3.1580	1.4747	
	3	0.4523	0.2616	3.8134	10.0365	
	4	0.6253	0.4523	3.4605	3.4605	
	5	0.7574	0.6253	2.6423	0.1561	
	6	0.8484	0.7574	1.8194	1.8194	
	7	0.9073	0.8484	1.1779	2.8188	
	8	0.94407	0.90731	0.7351	2.1763	
Suma			18.4468		22.0211	

Tabla 10. Valores del parámetro estadístico D para la función de distribución Gumbel dos poblaciones

Función de distribución	Intervalo	F(Si)	F(li)	$\epsilon_i$	$(\theta_i - \epsilon_i)2/\epsilon_i$	D
Gumbel dos poblaciones	1	0.0134	0.0000	0.2678	11.2070	
	2	0.3029	0.0134	5.7899	3.9626	
	3	0.5966	0.3029	5.8745	2.8972	
	4	0.7009	0.5966	2.0853	2.0853	
	5	0.7807	0.7009	1.5971	0.1017	
	6	0.8709	0.7328	2.7609	2.7609	
	7	0.9356	0.8709	1.2938	2.2499	
	8	0.8686	0.9356	-1.3400	-8.3251	
Suma			18.3293		16.9396	

Cuando en realidad es cierta, esto es, de cometer un *error tipo I*.

Sin embargo,  $\alpha$  no se puede hacer arbitrariamente pequeña sin incrementar, al mismo tiempo, la probabilidad de cometer un error tipo II, que es el de aceptar  $H_0$  cuando en realidad no es verdadera. El valor más común de  $\alpha$  es de 0.05; para este nivel de significancia suelen aceptarse varias funciones de distribución de probabilidad. De ser el caso, y si se usa solamente este

criterio para aceptar una función, se escogería la que tuviera el menor valor de D.

Así, seleccionando un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$ , se tiene, para funciones de dos parámetros, de la tabla de  $X^2$ .

$$X^2_{0.95,5} = 11.0705 \tag{59}$$

Para funciones de tres parámetros:

$$\chi^2_{0.95,4} = 9.4877 \tag{60}$$



Para funciones de cuatro parámetros estimados de los datos:

$$\chi^2_{0.95,3} = 7.8147 \quad (61)$$

Comparando  $\chi^2_{0.95, 10}$ ,  $\chi^2_{0.95, 9}$  y  $\chi^2_{0.95, 8}$ , y con los valores de D correspondientes a cada una de las funciones analizadas, no se aceptaría a ninguna de ellas.

Se debe tener cuidado al aplicar la prueba, puse sus resultados dependen mucho de la selección de los intervalos y del tamaño de la muestra, e incluso pueden resultar contradictorios para una misma muestra. Sus resultados deben tomarse con mucha reserva, en especial cuando se usan para discriminar una función de distribución de probabilidad de otra y son, en cambio, mucho más útiles para compararlas.

### Prueba de Kolmogorov-Smirnov.

Esta prueba consiste en comparar el máximo valor absoluto de la diferencia D entre la función de probabilidad observada  $F_o(X_m)$  y la estimada  $F(X_m)$ .

$$D = \text{máx} |F_o(X_m) - F(X_m)| \quad (62)$$

Con un valor crítico d que depende del número de datos y el nivel de significancia seleccionado (tabla de valores críticos d). Si  $D < d$ , se acepta la hipótesis nula.

La función de distribución de probabilidad observada se calcula como:

$$F_o(X_m) = 1 - \frac{m}{n+1} \quad (63)$$

Donde m es el número de orden del dato  $X_m$  en una lista de mayor a menor y n es el número total de datos, (Véase Tablas 11, 12 y 13).

Se encuentra encerrado en un rectángulo el valor de D para cada función de distribución. De acuerdo a esta prueba, se aceptarían únicamente las funciones de distribución Log-Normal y Normal para un nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ , para el cual el valor crítico de d es 0.29 con  $n=20$ . La función de distribución con el menor valor de D es la Log-Normal, por lo que, según esta prueba, esta función sería la preferible.

### Prueba del Software de Funciones de Distribución AX+B Ver. 1.30

Con la finalidad de comparar resultados de las pruebas realizadas con las funciones de distribución de probabilidad analizadas en forma tradicional –desarrollo de cálculos numéricos secuenciales–, se probó un procedimiento de cálculo automático y electrónico a través de la aplicación del software de funciones de distribución AX+B ver. 1.30, desarrollado por la empresa Hydrobits –Desarrollo de Software para Hidrología e Hidráulica–, mismo que representa, según sus desarrolladores, un esfuerzo para facilitar la

Tabla 11. Resultados de la prueba de Kolmogorov-Smirnov para las funciones de distribución Normal y Log-Normal

m	Xm	Fo(Xm)	F(Xm) Normal		F(Xm) Log- Normal	
1	3745.85	0.9524	0.9738	0.0214	0.9357	0.0167
2	3552.29	0.9048	0.9599	0.0551	0.9236	0.0188
3	3139.49	0.8571	0.9099	0.0528	0.8907	0.0336
4	3050.00	0.8095	0.8962	0.0867	0.8810	0.0715
5	3030.94	0.7619	0.8925	0.1306	0.8790	0.1171
6	2412.00	0.7143	0.7357	0.0214	0.7823	0.0680
7	2097.18	0.6667	0.6217	0.0450	0.7088	0.0421
8	1404.85	0.6190	0.3557	0.2633	0.4522	0.1668
9	1337.67	0.5714	0.3336	0.2378	0.4207	0.1507
10	1334.56	0.5238	0.3300	0.1938	0.4168	0.1070
11	1302.50	0.4762	0.3192	0.1570	0.4013	0.0749
12	1296.18	0.4286	0.3156	0.1130	0.3974	0.0312
13	1271.91	0.3810	0.3085	0.0725	0.3859	0.0049
14	1249.76	0.3333	0.3015	0.0318	0.3745	0.0412
15	1244.08	0.2857	0.2981	0.0124	0.3707	0.0850
16	1133.30	0.2381	0.2643	0.0262	0.3156	0.0775
17	1128.12	0.1905	0.2611	0.0706	0.3121	0.1216
18	976.67	0.1429	0.2148	0.0719	0.2327	0.0898
19	454.45	0.0952	0.1515	0.0563	0.0228	0.0724
20	406.21	0.0476	0.0885	0.0409	0.0139	0.0337

Tabla 12. Resultados de la prueba de Kolmogorov-Smirnov para las funciones de distribución Pearson III y Gumbel

m	Xm	Fo(Xm)	F(Xm) Pearson III		F(Xm) Gumbel	
1	3745.85	0.9524	0.04382	0.9086	0.07240	0.8800
2	3552.29	0.9048	0.07287	0.8319	0.08796	0.8168
3	3139.49	0.8571	0.18528	0.6719	0.13238	0.7248
4	3050.00	0.8095	0.20969	0.5998	0.14442	0.6651
5	3030.94	0.7619	0.21486	0.5470	0.14712	0.6148
6	2412.00	0.7143	0.38343	0.3309	0.26264	0.4516
7	2097.18	0.6667	0.46917	0.1975	0.34555	0.3211
8	1404.85	0.6190	0.65774	0.0387	0.58385	0.0352
9	1337.67	0.5714	0.67603	0.1046	0.60966	0.0382
10	1334.56	0.5238	0.67688	0.1531	0.61086	0.0870
11	1302.50	0.4762	0.68561	0.2094	0.62322	0.1470
12	1296.18	0.4286	0.68733	0.2588	0.62566	0.1971
13	1271.91	0.3810	0.69394	0.3130	0.63503	0.2541
14	1249.76	0.3333	0.69997	0.3666	0.64358	0.3102
15	1244.08	0.2857	0.70152	0.4158	0.64577	0.3601
16	1133.30	0.2381	0.73169	0.4936	0.68831	0.4502
17	1128.12	0.1905	0.73310	0.5426	0.69029	0.4998
18	976.67	0.1429	0.77435	0.6315	0.74691	0.6041
19	454.45	0.0952	0.91658	0.8213	0.90716	0.8119
20	406.21	0.0476	0.92971	0.8821	0.91794	0.8703

Tabla 13. Resultados de la prueba de Kolmogorov-Smirnov para la función de distribución Gumbel 2 poblaciones

m	Xm	Fo(Xm)	F(Xm) Gumbel 2 poblaciones	
1	3745.85	0.9524	0.04418	0.9082
2	3552.29	0.9048	0.05953	0.8452
3	3139.49	0.8571	0.10770	0.7494
4	3050.00	0.8095	0.12115	0.6884
5	3030.94	0.7619	0.12415	0.6378
6	2412.00	0.7143	0.23513	0.4792
7	2097.18	0.6667	0.28530	0.3814
8	1404.85	0.6190	0.44014	0.1789
9	1337.67	0.5714	0.47132	0.1001
10	1334.56	0.5238	0.47287	0.0509
11	1302.50	0.4762	0.48951	0.0133
12	1296.18	0.4286	0.49292	0.0643
13	1271.91	0.3810	0.50641	0.1255
14	1249.76	0.3333	0.51927	0.1859
15	1244.08	0.2857	0.52266	0.2369
16	1133.30	0.2381	0.59542	0.3573
17	1128.12	0.1905	0.59912	0.4086
18	976.67	0.1429	0.71586	0.5730
19	454.45	0.0952	0.99261	0.8974
20	406.21	0.0476	0.99642	0.9488

tarea del hidrólogo y de cualquier otro profesional de las ciencias de la tierra (Merlos, 2017).

### Resultados de la prueba del software.

El programa  $AX+B$  es capaz de realizar el ajuste de funciones de distribución de probabilidad a series de datos, esto mediante la aplicación de diversos procesos para estimar los parámetros de cada una de las siguientes funciones: Normal, Log-Normal de dos parámetros, Log-Normal de tres parámetros, Gumbel, Exponencial, Exponencial de dos parámetros, Gamma de dos parámetros, Gamma de tres parámetros, Doble Gumbel, Log-Normal doble, Frechet y Doble Frechet.

Los procesos de estimación de los parámetros de las funciones de distribución de probabilidad, se basan en los métodos de momentos (M), momentos lineales (ML) y de máxima verosimilitud (MV).

Además, a fin de encontrar la función de distribución con el mejor ajuste, el programa incorpora las siguientes pruebas de bondad: Error Cuadrático, Kolmogorov-Smirnov, Chi Cua-

drado, Anderson Darling y Nash-Sutcliffe. En la tabla 14, se presenta el reporte de resultados de la aplicación del programa  $AX+B$  a la serie de datos analizada (Véase Tabla 14).

### Selección de la función de distribución

En la tabla 15 se resumen los resultados de las pruebas efectuadas en los apartados 4 y 6, (Véase Tabla 15).

En esta tabla se han calificado las funciones según el orden de preferencia indicado para cada prueba, dando 1 a la “mejor” y 5 a la “peor”. De estos resultados se concluye que la función que mejor se ajusta a los datos es la Log-Normal. Este resultado puede corroborarse mediante la inspección de las figuras de las distribuciones de probabilidad analizadas, además por haber tenido el mejor ajuste en la prueba Kolmogorov-Smirnov,

Tabla 14. Reporte de resultados de la aplicación del programa AX + B a la serie de datos analizada.

Función	EEA	Orden	Kolmogorov	Orden 2	Anderson Darling	Orden 3	Ji Cuadrado	Orden 4	Nash-Sutcliffe	Orden 6
Frechet doble (Momentos)	234.2346	1	0.1654	2	0.828	8	0.2347	4	0.8875	19
Log Normal doble de dos parámetros (MV)	245.2795	2	0.1766	4	1.1452	17	0.2095	1	0.9054	9
Log Normal doble de dos parámetros (Momentos)	252.6425	3	0.1852	6	1.4061	20	0.215	2	0.8921	17
Log Normal doble de dos parámetros (Stigth)	253.8596	4	0.1893	7	1.5284	23	0.2183	3	0.89	18
Gumbel doble (ML)	261.7659	5	0.2064	15	1.5015	21	0.2455	5	0.9122	3
Gumbel doble (Momentos)	262.4036	6	0.2061	14	1.5273	22	0.2458	6	0.9127	2
Gumbel doble (MV)	263.4607	7	0.2053	13	1.5441	24	0.2478	7	0.9078	6
Gumbel doble (MC)	299.834	8	0.2468	24	2.8915	27	0.3469	8	0.8528	22
Gamma de dos parámetros (ML)	307.6865	9	0.1965	10	0.609	4	0.443	11	0.9096	5
Log Normal de dos parámetros (MV)	310.9261	10	0.1669	3	0.2687	2	0.3869	9	0.8983	15
Gamma de dos parámetros (Momentos)	312.0926	11	0.2003	12	0.6988	7	0.4673	14	0.9073	7
Gumbel (ML)	314.5765	12	0.2099	16	0.8562	9	0.49	16	0.9128	1
Gamma de tres parámetros (MV)	315.4002	13	0.1828	5	0.4519	3	0.4215	10	0.9031	12
Gumbel (Momentos)	319.67	14	0.2129	19	0.9366	12	0.52	18	0.9103	4
Gamma de tres parámetros (Momentos)	321.1739	15	0.1995	11	0.6958	6	0.4647	13	0.907	8
Gamma de dos parámetros (MV)	327.1395	16	0.2111	17	0.965	13	0.5518	20	0.8976	16
Gumbel (ME)	327.2072	17	0.217	20	1.048	15	0.5635	22	0.9051	10
Log Normal de tres parámetros (Momentos)	331.5564	18	0.2264	21	1.121	16	0.5194	17	0.9023	13
Log Normal de dos parámetros (Stigth)	337.6373	19	0.1949	9	0.9998	14	0.5441	19	0.8703	21
Gumbel (MV)	341.4895	20	0.2121	18	0.8965	11	0.6421	23	0.9012	14
Log Normal de dos parámetros (Momentos)	342.0389	21	0.1903	8	0.8646	10	0.5616	21	0.8713	20
Exponencial de dos parámetros (Momentos)	349.0894	22	0.3727	28	0.664	5	0.8441	27	0.8198	24
Log Normal de tres parámetros (MV)	349.1861	23	0.2357	22	1.3294	18	0.6456	24	0.9048	11
Normal (Momentos/MV)	369.9273	24	0.2639	25	1.8948	25	0.6895	25	0.5611	28
Normal (ML)	373.6857	25	0.2672	26	1.9539	26	0.7743	26	0.7101	27
Exponencial de dos parámetros por (MV)	388.1573	26	0.2369	23	1.3616	19	0.4874	15	0.8055	25
Gumbel (MC)	421.0907	27	0.2861	27	3.4267	28	1.2151	28	0.779	26
Frechet (Momentos)	430.2809	28	0.1651	1	0.2475	1	0.446	12	0.8496	23

ya que esta prueba tiene la ventaja sobre la  $\chi^2$  de que compara los datos con el modelo estadístico sin necesidad de agruparlos. La función seleccionada sería entonces la Log-Normal en este caso, aunque la diferencia de esta función con la Gumbel es mínima.

Los resultados son similares a los obtenidos con el programa AX+B, (Tabla 14), donde se puede observar que, aparte de la función Doble Frechet, en general las funciones de distribución Log-Normal y Gumbel tuvieron tanto el menor error cuadrático como el mejor ajuste con las pruebas de bondad de Kolmogorov-Smirnov, Chi Cuadrado, Nash-Sutcliffe y Anderson Darling (Véase Figuras 2, 3, 4, 6, 7, 8 y 9).

### Conclusiones

Respondiendo a las cuestiones planteadas al inicio del trabajo, se concluiría que:

- a). La probabilidad de que, en un año cualquiera, el gasto sea mayor o igual a 4 000.00 m<sup>3</sup>/s, es del 5.16%.

- b). El gasto de diseño para la construcción del bordo de contención, para un período de retorno de 50 años, deberá ser del orden de 5 134.79 m<sup>3</sup>/s. 💧

Tabla 15. Resumen de resultados de las pruebas efectuadas a los datos hidrométricos

Función	Error cuadrático mínimo	$\chi^2$	Kolmogorov-Smirnov
Normal	3	Se rechaza	2
Log-Normal	2	Se rechaza	1
Pearson III	4	Se rechaza	4
Gumbel	1	Se rechaza	3
Gumbel 2 poblaciones	No aplica	Se rechaza	5

Figura 2. Gastos máximos y períodos de retorno, con línea de tendencia, de la función de distribución Normal.

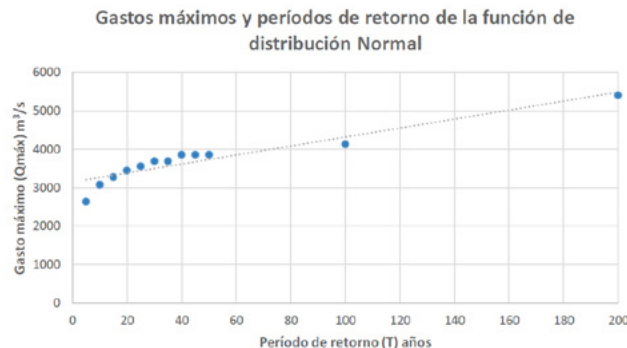


Figura 3. Gastos máximos y períodos de retorno, con línea de tendencia, de la función de distribución Log-Normal.

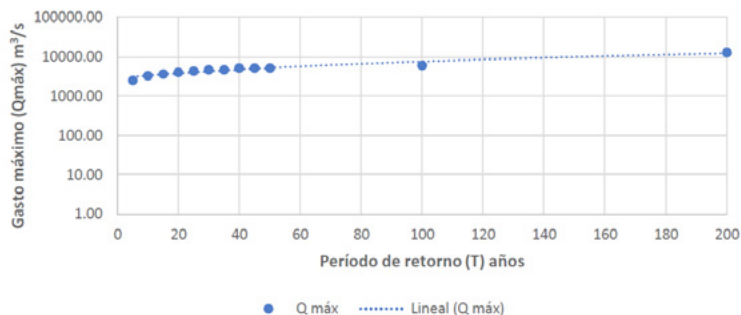


Figura 4. Gastos máximos y períodos de retorno, con línea de tendencia, de la función de distribución Pearson III.

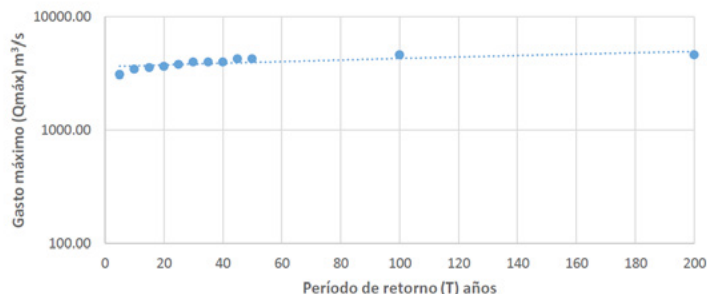


Figura 5. Gastos máximos y períodos de retorno, con línea de tendencia, de la función de distribución Gumbel.

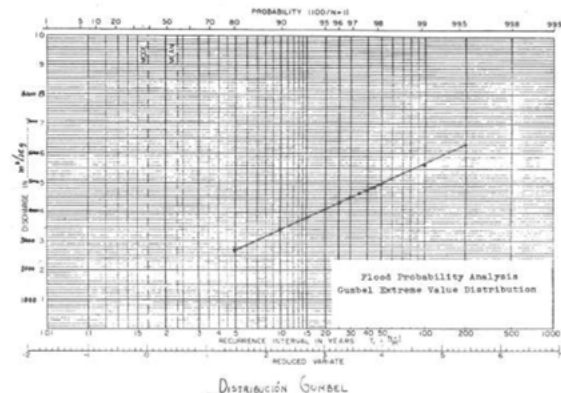


Figura 6. Gastos máximos y períodos de retorno, con línea de tendencia, de la función de distribución Log-Normal doble de dos parámetros, método de máxima verosimilitud, de acuerdo a los resultados del programa AX + B ver. 1.30.

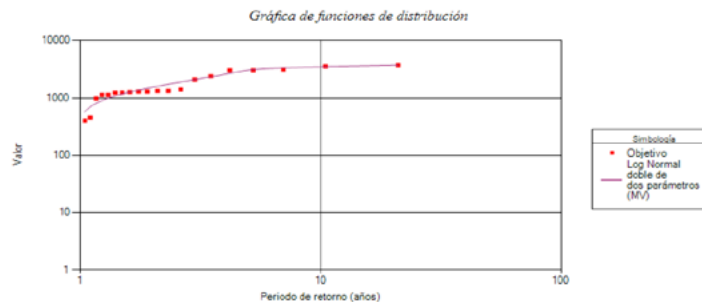


Figura 7. Gastos máximos y períodos de retorno, con línea de tendencia, de la función de distribución Gumbel doble, método de momentos lineales, de acuerdo a los resultados del programa AX + B ver. 1.30.

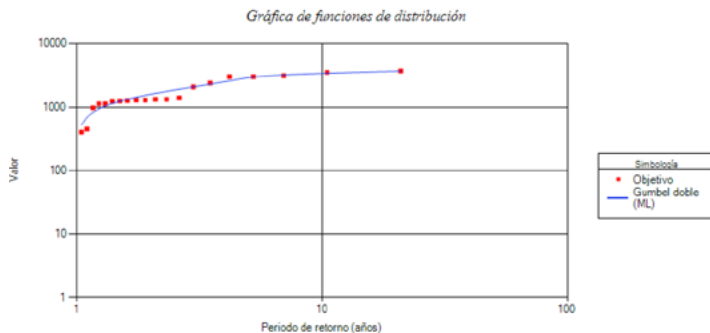


Figura 8. Gastos máximos y períodos de retorno, con línea de tendencia, de la función de distribución Gamma de tres parámetros o Pearson Tipo III, método de máxima verosimilitud, de acuerdo a los resultados del programa AX + B ver. 1.30.

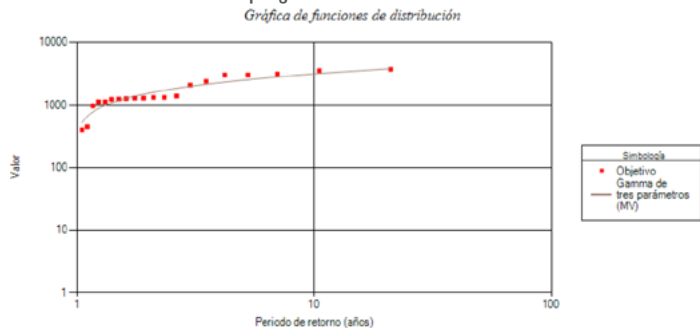
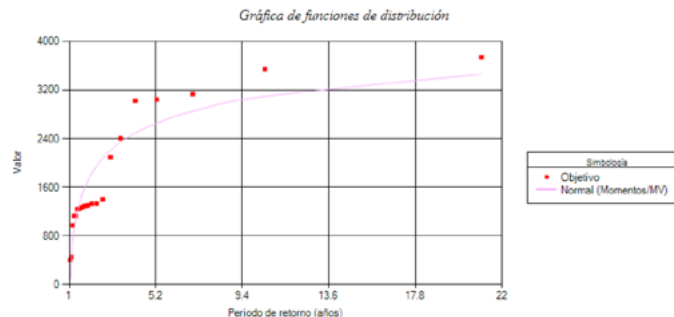


Figura 9. Gastos máximos y períodos de retorno, con línea de tendencia, de la función de distribución Normal, métodos de momentos y de máxima verosimilitud, de acuerdo a los resultados del programa AX + B ver. 1.30.





## Bibliografía

- Aparicio, M.F. 1989. Fundamentos de hidrología de superficie. Noriega Editores. Ed. LIMUSA, México, D.F.
- Benjamin, J.R. y Cornell, C.A. 2014. Probabilidad, estadística y decisiones para ingenieros civiles. McGraw-Hill. New York, E.U.A.
- Campos, A.F. 1987. Procesos del ciclo hidrológico. Editorial Universitaria Potosina. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2015. Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS). Estación hidrométrica 26272 El Pujal, Río Tampaon.
- Infante, G.S. y Zárate de L.G., 1984. Métodos estadísticos; un enfoque interdisciplinario. Editorial Trillas. México, D.F.
- Merlos, V.F. 2017. Manual de usuario AX+B 1.30. Software de funciones de distribución. www.hydrobits.com Guadalajara, Jalisco, México.
- Ruiz, R. 2017. Métodos estadísticos. Hidrología. Tema VII. Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de: <http://dicyg.fi-c.unam.mx/~rruiz/Hidrologia/TEMA%20VII-1.pdf>.
- Schulz, E.F. 1976. Problems in applied hydrology. Water resources publications. Fort Collins, Colorado, U.S.A.



# SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA MULTI-RIESGO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

MARtha LILIAN LLANOS RODRÍGUEZ  
JUAN MANUEL CERNA GARCÍA

SECRETARÍA DE GESTIÓN INTEGRAL DE RIESGOS Y PROTECCIÓN CIVIL

## Introducción

El objetivo principal de la protección civil es salvaguardar a las personas, su patrimonio y su entorno en caso de riesgo (pág. 3, Ley General de Protección Civil, SINAPROC, 2012).

De acuerdo con un estudio realizado por la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE, 2013) sobre el Sistema Nacional de Protección en México (SINAPROC), un área que ha desarrollado el SINAPROC en las dos últimas décadas es la gradual creación y aceptación de los Sistemas de Alerta Temprana (SAT) para los ciclones tropicales, las

inundaciones, los terremotos y los volcanes (Ver tabla 1).

Una alerta temprana se define como un conjunto de procedimientos e instrumentos a través de los cuales se monitorea una amenaza o evento adverso (natural o antrópico) de carácter previsible, se recolectan y procesan datos e información, ofreciendo pronósticos o predicciones temporales sobre su acción y posibles efectos (UNESCO, 2016).

El diagnóstico del Plan Nacional de Protección Civil 2014-2018 (PNPC) señala que los esfuerzos para cumplir con los objetivos relacionados con el monitoreo y alerta, especialmente de los fenómenos naturales, se caracterizan por una coordinación deficiente (SEGOB, 2014).

Además, se enfatiza sobre la necesidad de homologar los medios de comunicación por los cuales se hacen públicas las alertas a los estados. Se reconoce que, en los últimos años, se han hecho inversiones para aumentar y desarrollar los sistemas de monitoreo y sistemas de alerta; no obstante, también se acepta la urgente nece-

sidad de expandir y consolidar el monitoreo y alerta de los diversos fenómenos naturales que inciden en el país, con lo que se podría avisar con oportunidad a las autoridades y público en general de los peligros que pongan en riesgo su vida y su patrimonio.

La multiplicación de los daños ocasionados por los efectos de fenómenos hidrometeorológicos en la Ciudad de

*Una alerta temprana se define como un conjunto de procedimientos e instrumentos a través de los cuales se monitorea una amenaza o evento adverso (natural o antrópico) de carácter previsible...*

México requiere del establecimiento de una dinámica en materia de protección civil con énfasis en la prevención, con el propósito de disminuir sensiblemente las afectaciones

a la población. De esta manera, se debe mantener un Sistema de Alerta Temprana por Tiempo Severo, que permita avisar sobre el probable o eminente impacto de eventos meteorológicos con la mayor oportunidad.

Considerando estos elementos, el objetivo general de esta dinámica es dotar de información a los tomadores de decisiones de la Secretaría de Gestión Integral de Riesgos y Protección Civil y, en general, del Gobierno de la Ciudad de México, para brindar una atención rápida y eficiente en caso de la presencia de tiempo severo, como lluvia intensa, granizo, nevadas, viento fuerte y temperaturas altas y bajas, que pudieran provocar daños a los ciudadanos o a sus bienes.

#### Los objetivos particulares son:

- Informar oportunamente de las condiciones meteorológicas en la Ciudad de México basados en la vigilancia permanentemente, que utiliza redes de observación de superficie y altura y de percepción remota, con satélites y radares meteorológicos.
- Anticipar las condiciones meteorológicas con previsiones a corto y muy corto plazo, empleando las salidas de modelos numéricos de escala regional a muy alta resolución espacial.

**Tabla 1. Sistema de Alertas implementadas en México.**

Riesgo	Sistema de alerta temprana	Instituciones (*instituciones principales)	Cobertura	Principales características			
				Fecha de inicio de operaciones	Tipo de alerta	Tiempo de anticipación	Medios de comunicación
Terremoto	Sistema de Alerta Sísmica (SAS)  Sistema de Alerta Sísmica para el Estado de Oaxaca (SASO)	CIRES* CIRES*	Ciudad de México  Ciudad de Oaxaca	1991 2004	Alertas de públicas	60s 30s	Radio VHF BlackBerry  Radio local Escuelas Públicas
Ciclón Tropical	Sistema de Alerta Temprana para Ciclones Tropicales (SIAT-CT)	SEGOB* SEMAR CFE PEMEX	Nacional	2000, actualizado 2003	Alertas con códigos de colores	72 horas	Medios de comunicación
Hidrometeorológicos	Sistema de Alerta Temprana por Tiempo Severo	SGIRP	Ciudad de México	2019	Alertas públicas	2 horas a 15 minutos	Medios masivos, pantallas espectaculares y redes sociales
Inundación	Sistema de alerta Hidrometeorológica	CONAGUA SMN CENAPRED	Municipal	Proyecto	No estandarizadas	90-120 min	Autoridades de Protección Civil
Tsunamis	Centro de Alertas de Tsunami (CAT) (monitoreo internacional)  Sistema Nacional de Alerta de Tsunamis	SEMAR* SEGOB PTWC  SEMAR	Costa del Pacífico	En proceso	Por desarrollarse	Minutos (tsunamis locales)	Por desarrollarse

Fuente: OCDE 2013

- Mantener informada a la población de las acciones a tomar antes, durante y después de una emergencia por tiempo severo.

Para alcanzar estos objetivos, se han planteado las siguientes estrategias.

Se debe generar vigilancia meteorológica, entendida como el acopio de información de las estaciones meteorológicas automáticas, imágenes meteorológicas satelitales y de radar Doppler.

El Sistema de Alerta Temprana por Tiempo Severo se desarrolló en cuatro líneas de acción, las cuales se relacionan con la observación, registro, pronóstico y difusión de las condiciones meteorológicas. Para ello, se han determinado los siguientes ejes estratégicos:

1. Operar la red de estaciones meteorológicas de superficie de la Secretaría de Gestión Integral de Riesgos y Protección Civil.
2. Recopilar la información meteorológica generada por las redes de observación operadas por otros organismos en la Ciudad de México y estados circunvecinos.

3. Diseñar y manejar bases de datos meteorológicos.
4. Ejecutar el modelo de pronóstico numérico Weather Research and Forecasting (WRF) a muy alta resolución espacial, asimilando información de las redes meteorológicas disponibles.
5. Realizar análisis y pronósticos meteorológicos enfocando el interés en el área que cubre la Ciudad de México.
6. Preparar boletines, notas, infografías y comunicados para una información efectiva.

### Procedimiento para la aplicación de la alerta

Se elabora un boletín meteorológico dos veces al día -a las 7 y a las 14 horas- y un informe meteorológico dos veces al día -a las 17 y 20 horas-. Además, cuando el cambio en las condiciones meteorológicas lo requieran, se realizan boletines especiales sin horario determinado.

Adicionalmente, se actualiza el nivel de riesgo generado por las expectativas de tiempo severo en cada una de las 16 Alcaldías de la Ciudad de México cada que sea necesario.

La categorización de los niveles de riesgo por fenómenos meteorológicos utilizada para emitir el Sistema de Alerta Temprana Multi-Riesgo en la Ciudad de México es la siguiente:

### Clasificación

Las alertas que se manejan se integran utilizando los siguientes criterios:

Como se observa en la figura, la tarea fundamental de los meteorólogos es determinar el nivel

Figura 1. Clasificación de los niveles de alerta por fenómenos meteorológicos.

<b>Alerta Verde</b>	<b>Lluvia</b> <16 mm/24h	<b>Viento</b> <39 km/h	<b>Granizo</b> Sin presencia	<b>Temperaturas altas</b> <26° C	<b>Temperaturas bajas</b> >6° C	<b>Nevada</b> Sin presencia
<b>Alerta Amarilla</b>	<b>Lluvia</b> 15-29 mm/24h	<b>Viento</b> 40-49 km/h	<b>Granizo</b> Pequeño	<b>Temperaturas altas</b> 26-28° C	<b>Temperaturas bajas</b> -6-6° C	<b>Nevada</b> Aguasvieja
<b>Alerta Naranja</b>	<b>Lluvia</b> 30-49 mm/24h	<b>Viento</b> 50-59 km/h	<b>Granizo</b> Mediano	<b>Temperaturas altas</b> 29-31° C	<b>Temperaturas bajas</b> 1-3° C	<b>Nevada</b> Ligera
<b>Alerta Roja</b>	<b>Lluvia</b> 50-70 mm/24h	<b>Viento</b> 60-69 km/h	<b>Granizo</b> Grande	<b>Temperaturas altas</b> 32-34° C	<b>Temperaturas bajas</b> (-2)-0° C	<b>Nevada</b> Nevada
<b>Alerta Púrpura</b>	<b>Lluvia</b> >70 mm/24h	<b>Viento</b> >70 km/h	<b>Granizo</b> Muy grande	<b>Temperaturas altas</b> >34° C	<b>Temperaturas bajas</b> < (-3)° C	<b>Nevada</b> Abundante

Alerta	Criterios de clasificación				
<b>Verde</b>	Condiciones promedio en la CDMX				
<b>Amarillo</b>	Presencia de hidrometeoros ligeros que ocasionan daños si se asocian a otras circunstancias				
<b>Naranja</b>	Fenómenos meteorológicos cuya intensidad puede producir daños en estructuras frágiles				
<b>Rojo</b>	Fenómenos meteorológicos cuya intensidad provoca daños				
<b>Púrpura</b>	Fenómenos meteorológicos con intensidad pocas veces registrada, que ocasiona daños graves				

de riesgo, cuya señal es la pauta para activar de manera preventiva el Sistema de Gestión Integral de Riesgos y Protección Civil ante fenómenos hidrometeorológicos.

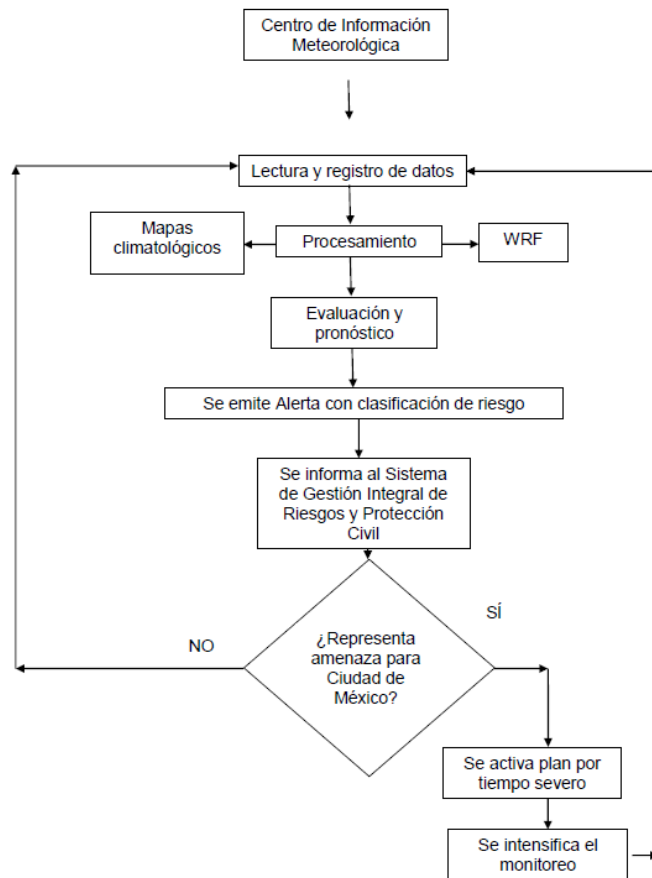
Acciones de acuerdo a los elementos de la SGIRPC de la Ciudad de México

De acuerdo con la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de Naciones Unidas en 2006, un sistema completo y eficaz de alerta temprana está compuesto por cuatro elementos:

- a. Conocimiento de los riesgos
- b. Servicio de seguimiento y alerta
- c. Difusión y comunicación
- d. Capacidad de respuesta

Estos elementos van desde el conocimiento hasta la preparación y la capacidad de respuesta. También afirman que los mejores sistemas de alerta temprana establecen sólidos vínculos internos y ofrecen canales eficaces de comunicación entre todos estos elementos.

Dado que el operador de la Alerta es la Secretaría de Gestión Integral de Riesgos y Protección



Civil de la Ciudad de México, estos elementos se componen de la siguiente forma:

### **Conocimiento de los riesgos: Atlas de Peligros y Riesgos**

- Recopilar sistemáticamente la información de los peligros, riesgos y vulnerabilidades por fenómenos hidrometeorológicos en la Ciudad de México
- Elaborar evaluación del riesgo.
- Elaborar mapas de riesgo

### **Servicio de seguimiento y alerta: Coordinación de Alerta Temprana Multi-Riesgo**

- Monitorear de las condiciones meteorológicas de la Ciudad de México.
- Elaborar boletines, informes y avisos referentes a la expectativa de la presencia tiempo severo.
- Generar la Alerta

### **Difusión y comunicación a la Coordinación de Promoción y Difusión**

- Divulgar la información sobre riesgos
- Elaborar infografías sobre la Alerta
- Publicar en redes sociales boletines e informes meteorológicos y Alerta

### **Capacidad de Respuesta: Dirección General Táctico Operativa**

- Desarrollar la respuesta ante tiempo severo en el ámbito de la Ciudad de México.
- Elaborar planes de gestión en caso de emergencia o desastre. 💧



## Bibliografía


Cámara de Diputados del Congreso de la Unión (2012). Ley General de Protección Civil. Recuperado de: [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGPC\\_030614.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGPC_030614.pdf) . Consultado en septiembre del 2015

UNESCO (2016). Sistemas de Alerta Temprana. Recuperado de: <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/San-Jose/pdf/Panama%20MANUAL%20INFORMATIVO.pdf> . Consultado en junio 2016.

SEGOB (2014). Programa Nacional de Protección Civil 2014-2018. Recuperado de: [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5343076&fecha=30/04/2014](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5343076&fecha=30/04/2014)

SINAPROC Civil (2012). Ley General de Protección Civil. Recuperado de: <http://www.proteccioncivil.gob.mx/work/models/ProteccionCivil/Resource/6/1/images/lgpc.pdf>. Consultado en agosto del 2015

OCDE (2013). Estudio de la OCDE sobre el Sistema de Protección Civil en México, OECD Publishing. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264200210-es>



# REPOSITORIO DE RIESGOS ASOCIADOS A FENÓMENOS NATURALES Y ANTRÓPICOS EN MÉXICO

AGUSTÍN FERNÁNDEZ EGUIARTE  
CAROLINA CASTELÁN HERNÁNDEZ  
ÁNGEL V. BAUTISTA DURÁN

CENTRO DE CIENCIAS DE LA ATMÓSFERA, UNAM

## Introducción

El Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030 (ONU, 2015) plantea elaborar, actualizar periódicamente y difundir información sobre el riesgo de desastres basada en la ubicación, incluidos mapas de riesgos, para los encargados de adoptar decisiones, el público en general y las comunidades con riesgo de exposición a los desastres, utilizando tecnología de información geoespacial. Esto se puede estructurar mediante un repositorio geoespacial.

De igual forma, el Marco de Sendai recomienda promover el intercambio y uso de datos

e información mediante tecnologías de las comunicaciones y tecnologías geoespaciales, es decir, por medio de metadatos geográficos interoperables.

Coincidiendo con los criterios del Marco de Sendai, en el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM se encuentra en proceso la conformación de un Repositorio de riesgos asociados a fenómenos naturales y antrópicos en México, que incorpora los fenómenos hidrometeorológicos, climáticos y de cambio climático.

## Antecedentes

El Repositorio de riesgos asociados a fenómenos naturales y antrópicos en México se desarrolla con base en los repositorios geoespaciales del Atlas Climático Digital de México (Fernández et al., 2012); el de Actualización de los escenarios de cambio climático para estudios de impactos, vulnerabilidad y adaptación (Fernández et al., 2014); el de Bioclima, cambio climático y ecosistemas en el estado de Tabasco, México (Fernández et al., 2017); así como en el Repositorio Institucio-

nal del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM, que combina bases de datos geoespaciales, conjuntamente con artículos científicos y tesis de maestría y doctorado que se producen en la dependencia (Fernández et al., 2018).

El Repositorio de riesgos asociados a fenómenos naturales y antrópicos en México constituye una nueva opción dentro de las facilidades del Atlas Climático Digital de México, denominada “Riesgos y protección civil de México”. En él se tiene acceso a las 302,401 localidades rurales, rurales ameznadas y urbanas del país, así como al nombre y el municipio de cada localidad, a sus correspondientes atlas y unidades estatales y municipales de riesgos, a su Índice de vulnerabilidad social, y a un vínculo al Repositorio de riesgos asociados a fenómenos naturales y antrópicos de México. Véase Figura 1. Dicha opción se encuentra en desarrollo.

Entre las categorías de peligros establecidas en el Repositorio se encuentra la denominada “Peligros de desastres asociados a fenómenos hidrometeorológicos, climáticos y de cambio cli-

mático”, véase Figura 2. En el metadato correspondiente se accede a una descripción de los fenómenos y a un listado en el que es posible acceder a información y datos de diversas fuentes, incluyendo pronósticos meteorológicos. Véase Figura 3.

Figura 1. Acceso al Repositorio de riesgos asociados a fenómenos naturales y antrópicos en México mediante las facilidades del Atlas Climático Digital de México

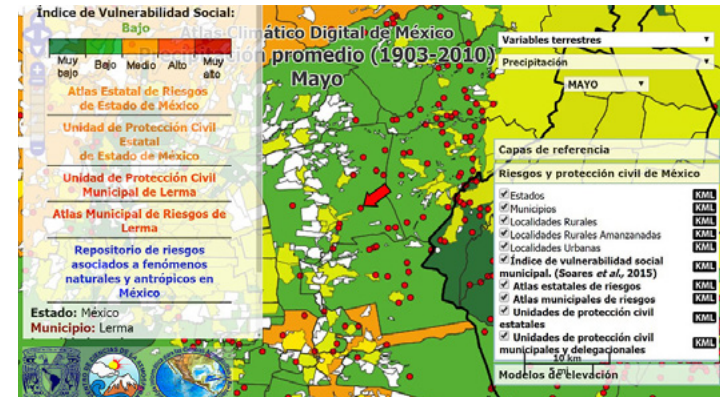


Figura 2. Categoría de Peligros de desastres asociados a fenómenos hidrometeorológicos, climáticos y de cambio climático



Figura 3. Listado y acceso a datos e información sobre fenómenos hidrometeorológicos, climáticos y de cambio climático extremos



## Desarrollo

### GeoNetwork Opensource

El Repositorio se estructura con base en la tecnología GeoNetwork Opensource (2019a), que es una aplicación informática de software libre y código abierto de catalogación para recursos referenciados al espacio geográfico. Es decir, es un catálogo de información orientada a lugares.

GeoNetwork dispone de un mecanismo para la edición de metadatos geográficos, funciones de búsqueda y visualización interactiva de mapas en Internet. Actualmente es utilizado en numerosas iniciativas y proyectos alrededor del planeta. De igual forma, proporciona una interfaz de utilización sencilla y amigable para la búsqueda de datos geoespaciales a través de múltiples catálogos. Los usuarios pueden afinar la búsqueda y rápidamente obtener los registros de su interés.

Las capas geoespaciales e incluso los servicios, mapas o conjuntos de datos no geográficos, pueden ser descritos en el catálogo. La descripción de la información se incorpora mediante

el editor de metadatos, el cual es compatible con estándares internacionales para recursos geoespaciales y para documentación no espacial. Asimismo, con GeoNetwork es posible crear esquemas de metadatos particulares.

Los protocolos que maneja el sistema GeoNetwork para la interoperabilidad de los datos y la información son los siguientes: Open Geospatial Consortium Catalog Service for the Web (CSW), Open Archives Initiative – Protocol for Metadata Harvesting (OAI-PMH), OpenSearch y Z39.50. El protocolo utilizado para la interoperabilidad de los datos y los recursos documentales en el Repositorio de riesgos asociados a fenómenos naturales y antrópicos en México fue el OAI-PMH.

*El protocolo utilizado para la interoperabilidad de los datos y los recursos documentales en el Repositorio de riesgos asociados a fenómenos naturales y antrópicos en México fue el OAI-PMH.*

### Metadatos geográficos

Los metadatos se definen como los datos que describen los datos o información sobre los datos. Conforman un conjunto de información estructurada que describe los datos almacenados en sistemas administrativos. Los metadatos pueden proporcionar un breve resumen sobre el contenido, propósito, calidad y ubicación geográfica de los datos, así como información sobre su creación.

Los estándares de metadatos proporcionan a los generadores de datos un conjunto de términos y definiciones documentados en un formato estructurado para describir adecuadamente sus datos, facilitando a los usuarios su aplicación en diversas disciplinas y necesidades específicas.

Los metadatos estructurados o estandarizados constituyen un soporte eficiente de acceso a los datos mediante un conjunto de elementos y terminologías comunes que permiten búsquedas eficientes y expeditas de los datos requeridos. Los metadatos basados en estándares geoespaciales (GeoNetwork Opensource, 2019b) describen

la consistencia y calidad de la información, evitando la pérdida de partes importantes sobre el conocimiento de los datos.

Los datos geográficos se refieren al conjunto de datos con una componente geográfica o de ubicación espacial. Son usualmente generados por organismos o instituciones especializadas que tienen como fin ponerlos al alcance y al servicio de diversos usuarios para facilitar la perspectiva de la apropiación social del conocimiento y que sean de utilidad para analistas, investigadores, programadores, desarrolladores de sistemas de información y tomadores de decisiones tanto públicos como privados.

La catalogación adecuada y estandarizada de los datos geoespaciales facilita a los usuarios una mejor evaluación de los mismos para optimizar su producción, almacenamiento y actualización.

El estándar de metadatos ISO 19115:2003 y sus correspondientes complementos: ISO 19115-1:2014, ISO 19115-2:2019, ISO/TS 19115-3:2016 e ISO/TS 19139-2:2012 (Sánchez-Maganto et. al., 2008), fueron aprobados

por la comunidad internacional como herramientas para definir metadatos en el campo de los datos y la información geográfica. Los metadatos del Repositorio de riesgos asociados a fenómenos naturales y antrópicos en México se estructuran en el estándar ISO 19139.

### **GeoServer Opensource**

GeoServer Opensource (2019) es un servidor en código abierto para compartir e interoperar datos geográficos utilizando estándares abiertos del Open Geospatial Consortium (OGC, 2019). El Servidor de mapas que permite visualizar y tener acceso a todas y cada una de las localidades urbanas, rurales ameznadas y rurales del país, se incorporará como una nueva componente del Atlas Climático Digital de México denominada “Riesgos y protección civil de México”. Dicho Servidor de mapas se desarrolla mediante tecnología GeoServer Opensource. Véase Figura 1.

### **Conclusiones**

El Repositorio es una herramienta en línea que integra, de manera interdisciplinaria, datos geográficos y conocimiento científico generado por especialistas en geociencias y ciencias sociales enfocados a la prevención en la gestión de riesgos de desastres asociados a fenómenos naturales y antrópicos

Su flexibilidad, gratuidad mediante Internet y su plataforma amigable permiten que el Repositorio sea de utilidad a los tomadores de decisiones, tanto públicos como privados de cualquier nivel operativo, y para que los pobladores de las más de 300 mil localidades rurales y urbanas del país, partiendo de su ubicación, avancen en la apropiación social del conocimiento científico disponible sobre los distintos riesgos originados por fenómenos naturales y antrópicos en los entornos en que viven, y conozcan las medidas preventivas establecidas para enfrentarlos.

Los fenómenos naturales y antrópicos no respetan coinciden con las fronteras municipales ni estatales, por lo que el Repositorio integra diná-

micamente las escalas regional, estatal, municipal y local, siendo también de utilidad para los sectores educativos y de investigación del país para generar nuevo conocimiento científico.

El Repositorio es un medio totalmente interactivo, escalable, interoperable y actualizable en Acceso Abierto.

Por último, el Repositorio se desarrolla en código abierto, lo cual permite su escalamiento, adecuación y actualización sin restricciones. Optimiza el gran gasto que implica la elaboración y puesta al día de los atlas estatales y municipales de riesgo y potencia el uso del Atlas Nacional de Riesgo en la gestión integral de riesgo de desastres. ♦



## Bibliografía

- Fernández-Eguiarte, A., Bautista-Durán, A. V., Castelán-Hernández, C. I., Ávalos-Urbina, L. A., Herrera-Moro, E., Amescua-García, C. M. y Herrera-Moro, D. (2018). Repositorio Institucional del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM. Recuperado el 28 de junio de 2019 de:
- <http://ri.atmosfera.unam.mx:8586/geonetwork/>.
- Fernández-Eguiarte, A., Castelán-Hernández, C. I., Bautista-Durán, A. V., Trejo-Vázquez, R. I., Zavala-Hidalgo, J. y Romero-Centeno, R. (2017). Bioclima, cambio climático y ecosistemas en el estado de Tabasco y áreas adyacentes, México (Repositorio geoespacial). Recuperado el 28 de junio de 2019 de:
- [http://uniatmos.unam.mx:8085/tabasco\\_repositorio/](http://uniatmos.unam.mx:8085/tabasco_repositorio/).
- Fernández-Eguiarte, A., Zavala-Hidalgo, J., Romero-Centeno, R. y Trejo-Vázquez, R. I. (2014). Actualización de los escenarios de cambio climático para estudios de impactos, vulnerabilidad y adaptación (Repositorio geoespacial). Recuperado el 28 de junio de 2019 de: <http://atlasclimatico.unam.mx:8550/geonetwork/>.
- Fernández-Eguiarte, A., Zavala-Hidalgo, J., Romero-Centeno, R. y Lobato-Sánchez, R. (2012). Atlas Climático Digital de México (Repositorio geoespacial). Recuperado el 28 de junio de 2019 de: <http://atlasclimatico.unam.mx/geonetwork/>
- GeoNetwork Opensource. (2019a). Home - GeoNetwork Opensource. Recuperado el 28 de junio de 2019 de: <http://geonetwork-opensource.org>
- GeoNetwork Opensource. (2019b). Metadata in Spatial Data Management. Recuperado el 28 de junio de 2019 de: [https://geonetwork-opensource.org/manuals/2.10.4/eng/users/quick-startguide/metadata\\_concepts/index.html](https://geonetwork-opensource.org/manuals/2.10.4/eng/users/quick-startguide/metadata_concepts/index.html)
- GeoServer Opensource. (2019). Geoserver. Recuperado el 28 de junio de 2019 de: <http://geoserver.org/>
- Sánchez-Maganto, A., Nogueras-Iso, J., y Ballari, D. (2008). Normas sobre metadatos (ISO19115, ISO19115-2, ISO19139, ISO 15836). En López- Ariza, F. J., y Pascual-Rodríguez, A. F. (Eds.), Introducción a la normalización en información geográfica: la familia ISO 19100. (pp. 230). Jaén, España. ISBN 978-84-612-2075-5
- OGC. (2019). Welcome to The Open Geospatial Consortium. Recuperado el 28 de junio de 2019 de: <http://www.opengeospatial.org/>
- ONU. (2015). Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030. Recuperado el 28 de junio de 2019 de:
- [https://www.unisdr.org/files/43291\\_spanishsendaiframeworkfordisasterri.pdf](https://www.unisdr.org/files/43291_spanishsendaiframeworkfordisasterri.pdf)

# GESTIÓN DEL RIESGO EN JOSÉ CARDEL, VERACRUZ, ANTE EL DESBORDAMIENTO DEL RÍO LA ANTIGUA PROVOCADO POR EL HURACÁN KARL EN SEPTIEMBRE DE 2010.

JOEL CARBAJAL BARRERA  
ESTUDIANTE DE MAESTRÍA DE CIENCIAS DE LA SOSTENIBILIDAD, UNAM

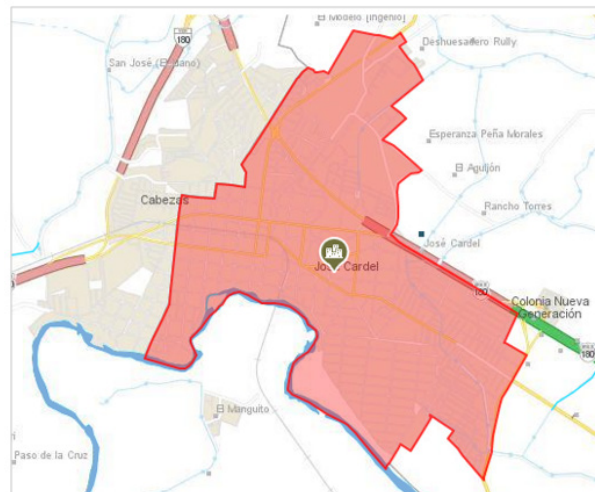
## Introducción

El artículo tiene como objetivos: a) evaluar la severidad de las inundaciones y b) adquirir sensibilidad acerca de la amenaza que representan los flujos de una inundación. La zona de estudio se ubica en José Cardel, Veracruz, México, (véase Figura 1).

Larios-Tlali et al. (2015a) indican que el río La Antigua se ubica dentro de la Región Hidrológica 28 Papaloapan (RH28), incluye cuatro subcuencas, RH28Bc, RH28Bd, RH28Be y

RH28Bf. La zona de José Cardel corresponde a la subcuenca RH28Be. De las cuatro, ésta es la que presenta mayor recurrencia y prevalencia de daños a eventos de origen hidrometeorológicos.

Figura 1. Región de estudio.



Para la evaluación de la severidad de las inundaciones provocadas por el desbordamiento del río La Antigua se generaron un conjunto de mapas de profundidad, velocidad y peligro para los resultados en los pasos de tiempo siguientes, una vez que comienza a simularse el tránsito de la avenida (véase Tabla 1):

Tabla 1. Periodos de tiempo utilizados para la generación de los mapas referidos.

Fecha	Hora	Tiempo
18/09/2010	06:00 h	21,600 s desde el inicio del modelo
18/09/2010	12:00 h	43,200 s desde el inicio del modelo
18/09/2010	18:00 h	64,800 s desde el inicio del modelo
19/09/2010	00:00 h	86,400 s desde el inicio del modelo
19/09/2010	06:00 h	108,000 s desde el inicio del modelo
19/09/2010	12:00 h	129,600 s desde el inicio del modelo

El que corresponde con el momento de mayor gasto registrado durante el evento.

La metodología utilizada fue tomada de (Uptdale-Clarke et al, 2005) quienes proponen la siguiente ecuación y precisiones:

$$H = d (v + 0.5) + DF$$

Donde **H** es el grado del peligro (amenaza); **d** representa a la profundidad (depth) del flujo, expresada en m; **v** es su velocidad, expresada en m/s; y **DF** es un “factor de escombros” (debris factor) que adopta un valor  $DF=0.5$ , si  $d \leq 0.25$ , y  $DF=1.00$ , si  $d > 0.25$ .

Además, el grado de peligro fue clasificado en tres niveles (véase Tabla 2).

Tabla 2. Rangos propuestos por la metodología utilizada y que indican el color en el cual se determina un tipo de peligro para un determinado sector de la sociedad.

Rango	Categoría	Simbología
$H < 0.75$	Peligro para algunos	Amarillo
$0.75 \leq H < 2.00$	Peligro para la mayoría	Naranja
$H \geq 2.00$	Peligro para todos	Rojo

Las categorías en que la metodología clasificó los grados de peligro incluyen a los siguientes grupos de la población:

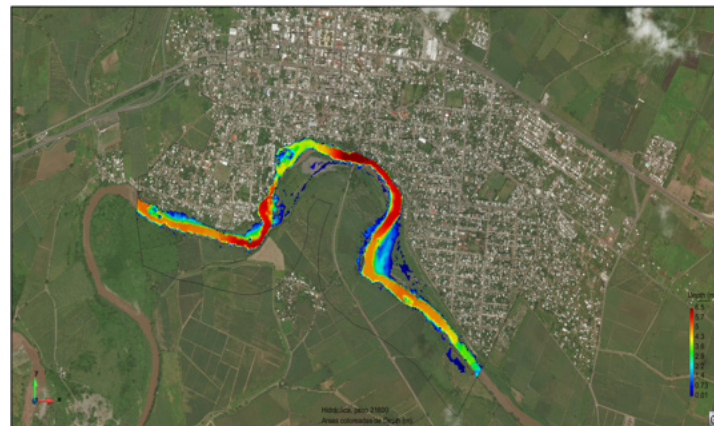
- peligro para algunos: niños, ancianos y personas con discapacidades físicas;
- peligro para la mayoría: los anteriores más el público general;
- peligro para todos: los anteriores más el personal de servicios de emergencia.

### Metodología.

Mediante la extracción de los archivos del programa Iber, el cual es un modelo matemático bidimensional para la simulación del flujo de superficie libre en ríos y estuarios, se obtuvieron 14 archivos, 7 de profundidad y 7 de velocidad (véase Figura 2).

Los archivos en formato .txt obtenidos en Iber se convirtieron a formato raster en el programa ArcGIS para realizar la operación de la ecuación y, de esta forma, generar los mapas de peligro. Al sumarla velocidad de cada periodo determinado + 0.5 y multiplicarlo por la profundidad de cada periodo se obtuvo el “DF” (debris factor) con su respectiva condicionante. Finalmente, se sumó la operación anterior con este “DF”.

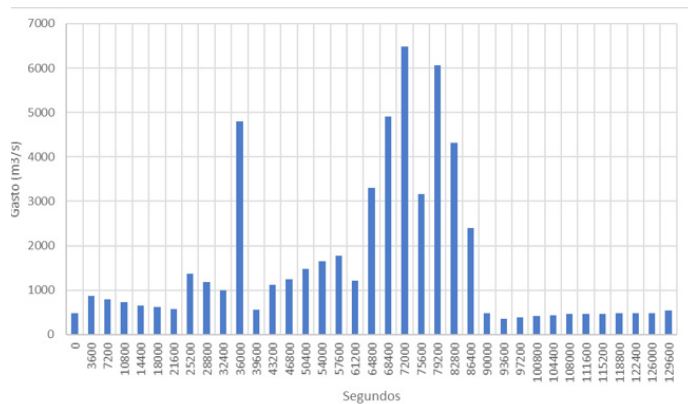
Figura 2. Visualización de los resultados de Iber en el postproceso



### Resultados

Siguiendo la metodología descrita se generaron 21 mapas para cada periodo. Se obtuvo el hidrograma exportándolo de Iber y se identificó que fue en los 72,000 segundos, una vez iniciada la modelación, en donde se presentó el mayor gasto pico en  $m^3/s$  (véase Figura 3).

Figura 3. Hidrograma obtenido de la modelación en Iber.

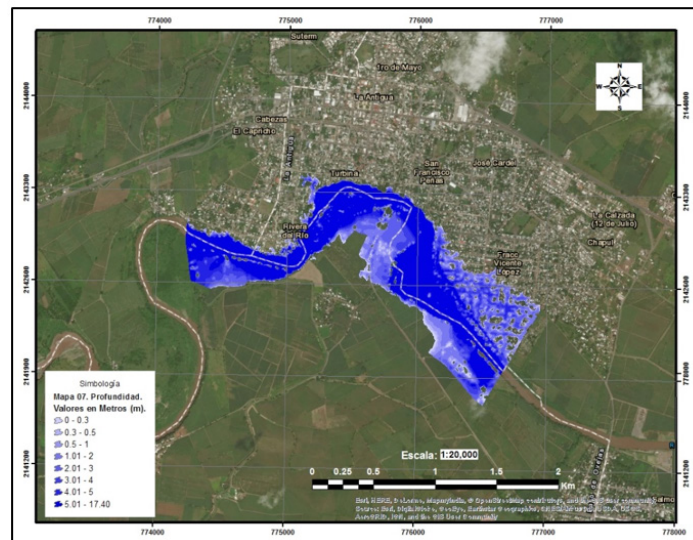


De los 21 mapas generados se presentan 3 para ejemplificar los datos obtenidos de profundidad, velocidad y peligro, correspondientes al tiempo de mayor gasto registrado durante el evento  $m^3/s$ . Véase las Figura 4, 5 y 6.

**Análisis de los resultados.**

Los mapas son representativos y describen lo ocurrido durante la inundación porque en se aprecian claramente las variaciones de profundidad, velocidad y peligro para cada paso de tiempo determi-

Figura 4. Mapa de profundidad del día 18/09/2010 a las 20:00 h. 72,000 segundos desde el inicio del modelo.



nado. A las seis horas de haber iniciado el evento, la profundidad en el río incrementa, pero aún no ha desbordado. A las doce horas posteriores al evento se aprecia que la mancha de inundación ya se extiende hacia las zonas habitadas, pero el peli-

Figura 5. Mapa de velocidad del día 18/09/2010 a las 20:00 h. 72,000 segundos desde el inicio del modelo.

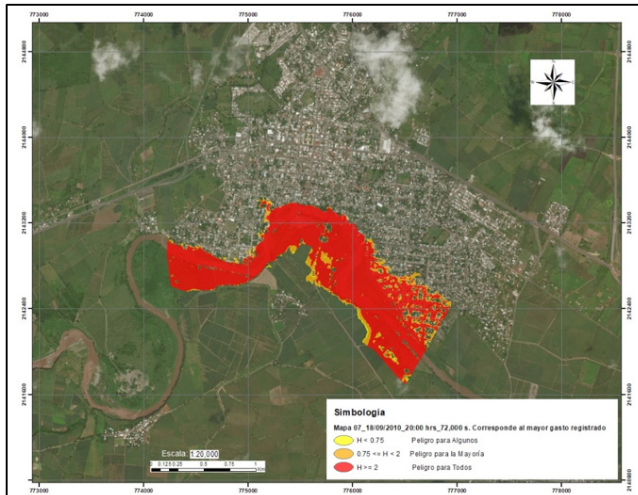
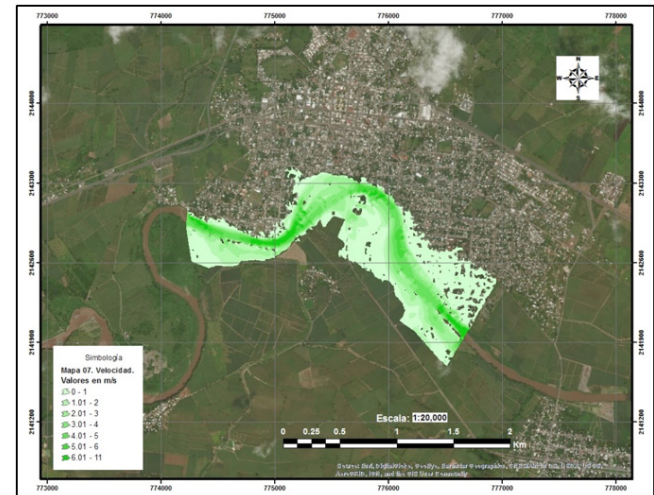


Figura 6. Mapa de peligro del día 18/09/2010 a las 20:00 h. 72,000 segundos desde el inicio del modelo.



gro se presenta para algunos, porque el tirante y la velocidad son menores. Diez y ocho horas después del evento se observa un incremento considerable en los niveles de peligro, la mancha aumenta espacialmente en gran dimensión y el peligro en las zonas habitadas pasa a ser un “peligro para la

mayoría.” Veinticuatro horas posteriores al análisis del evento se aprecia la misma extensión de la mancha de inundación del periodo de tiempo anterior, aunque existen lugares en donde hay zonas de “peligro para todos”. Treinta horas más delante, el agua comienza a bajar, sobre todo en

los meandros del río. Treinta y seis horas posteriores al inicio del evento se presentan características similares al periodo anterior, pero demuestra la amplia duración del evento, pues después de seis horas persisten varias zonas con peligro para la mayoría. El pico más alto del evento, en donde se registró el mayor gasto, 72,000 segundos un vez iniciado el evento, ocurre 20 horas posteriores al comienzo del análisis. Prácticamente toda la mancha de inundación se encuentra en la categoría de “peligro para todos”, en donde ni siquiera los cuerpos de rescate deberían acercarse, a no ser por la vía aérea.

#### **Comparación de los resultados del modelo con impactos reportados en notas periodísticas e informes de investigaciones técnicas y científicas**

De acuerdo con Larios-Tlali et al. (2015), quienes han realizado estudios que incluyen modelaciones hidráulicas para el río La Antigua y sus afluentes utilizando la metodología del Centro Nacional de Prevención de Desastres para la elaboración de los mapas de riesgo de inundación (CENAPRED,

2011), nueve localidades, en donde habitan 27,673 personas, poseen un nivel de riesgo alto, ocho un nivel medio, 3,193 personas, y seis un nivel bajo, 2,902 personas.

Estos datos indican que 96.8% de la población total que habita en la subcuenca RH28Be radica en una zona con riesgo a inundación. Los autores concluyen que las comunidades más cercanas al río La Antigua, cuyas viviendas son en su mayoría de materiales de baja resistencia, son las de mayor riesgo.

Por otra parte, los reportes indican que hubo impactos considerables. “La Jornada” (18 de septiembre de 2010) señala que la ciudad José Cardel, municipio La Antigua, fue la más afectada después de la zona conurbada Veracruz-Boca del Río. Allí se reportan cientos de viviendas destechadas, comercios dañados y, al menos, dos puentes fracturados. Se identifican como colonias afectadas: “la colonia El Cascajal, la comunidad de Salmoral, San Pancho, los municipios de La Antigua, Paso de Ovejas y Ursulo Galvan.

### Conclusiones.

Al realizar un análisis entre los mapas generados y la información documental recabada, se observa que las colonias afectadas de acuerdo con el modelo corresponden con las que se mencionan en las notas periodísticas. En éstas, aparecen más colonias de las que se ubicaron en el Sistema de Información Geográfica, sin embargo, las que sí se encontraron corresponden a lo que se menciona en la prensa.

Se estima que una altura de 1.5m o más representa peligro para todos, por lo que se debería de proceder a una total evacuación del lugar. Para algunos tirantes de inundación no existe posibilidad de afrontamiento. Las casas, que en algunas partes eran de paredes de tabique y losa de concreto, también fueron rebasadas, poniendo en riesgo incluso a las personas que se ubicaron en las azoteas.

La generación de mapas facilita la comunicación del riesgo. Para aumentar la efectividad de los mapas para determinar acciones de prevención y

mitigación se estima necesario vincular a la sociedad, al gobierno y a la academia.

La vocación de las personas que se asientan en las márgenes de los ríos determina en gran medida su disposición a reubicarse, por ello, los planes de regulación y ordenamiento debieran formularse considerando este tipo de aspectos. Además, se recomienda priorizar las medidas institucionales sobre las estructurales, así, se privilegia la prevención y se ahorra dinero, que pudiera servir para el desarrollo social. 💧



## Bibliografía

- Larios-Tlali, Hugo, Torres-Benites, Elibeth, Quevedo-Nolascol, Abel, Martínez-Menes, Mario R., & Salgado-Trán-sito, Jorge A. (2015). Riesgo de inundación en la subcuenca del río La Antigua, Veracruz, México. *Tecnología y ciencias del agua*, 6(3), 39-56. Recuperado en 05 de diciembre de 2018, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-24222015000300004&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222015000300004&lng=es&tlng=es).
- Morales y Rivera (2010) Karl golpea e inunda el centro histórico de Veracruz. *La Jornada*. Recuperado de <https://www.jornada.com.mx/2010/09/18/politica/002n1pol>
- Sosa et al. (2013). Papel de la respuesta institucional ante los fenómenos extremos: Impacto del Huracán Karl en Veracruz. Recuperado de [http://www.pincc.unam.mx/congresonacional2013/documentos\\_descargables/PDF/pdf%20ibero%20puebla/SosaCapistranDulceMaria.pdf](http://www.pincc.unam.mx/congresonacional2013/documentos_descargables/PDF/pdf%20ibero%20puebla/SosaCapistranDulceMaria.pdf)
- Udale-Clarke, H., Ramsbottom, D., Dyer, B., Wade, S., Segura Domínguez, S., Bain, V., Davison, M. y Surendran, S. (2005). Phase 2: Framework and Guidance for Assessing and Managing Flood Risk for New Development - Full Document and Tools (R&D Technical Report No. FD2320/TR2) (p. 372). London, UK: Defra - Flood Management Division.



Participa en el próximo número  
del periódico digital

# Impluvium

dedicado al tema de:

## Aguas transfronterizas

a través de las siguientes categorías:

/ Artículo / Nota informativa / Reseña de libro /  
/ Resumen de proyecto /

Tienes hasta el 31 de agosto de 2019  
para enviar tu colaboración. Consulta  
los detalles de la convocatoria en

[www.agua.unam.mx](http://www.agua.unam.mx)

### Guía para la presentación de contribuciones

1. La contribución debe ser un texto de corte académico; no debe personalizarse.
2. Los trabajos deben contener: título, nombre del autor o autores y su profesión, introducción, desarrollo, conclusiones y bibliografía consultada.
3. Las contribuciones deberán entregarse en formato de procesador de textos Microsoft Word, con letra Arial de 12 puntos e interlineado doble.
4. Los textos no deberán exceder 1,700 palabras, incluyendo la bibliografía.
5. Las imágenes que deseen utilizarse en el texto deben entregarse en archivo independiente en formato jpg a 150 dpi. En el documento de Word se referirán de la siguiente manera: Véase Figura 1.
6. Se utilizará el sistema de citas y referencias bibliográficas Harvard-APA. Este estilo presenta las citas dentro del texto del trabajo, utilizando el apellido del autor, la fecha de publicación y la página, por lo que no se requieren notas al pie de página. Ejemplo (González Villarreal, 2013, p. 25). Al final del trabajo la bibliografía se agrupará en el apartado “Bibliografía” y se colocará de la siguiente manera: autor, título, editorial, lugar de publicación y año de publicación.
7. Los editores realizarán una corrección de estilo y consultarán con los autores cualquier modificación sobre el contenido de la contribución.



# ***Impluvium***

Publicación digital de la Red del Agua UNAM

Número 7, Abril - Junio 2019

[www.agua.unam.mx](http://www.agua.unam.mx)