

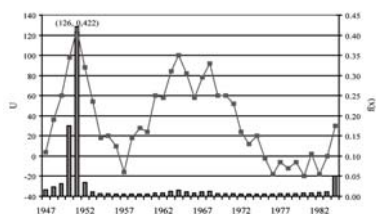
Tlaloc AMH

Asociación Mexicana de Hidráulica, A.C.

Revista Cuatrimestral

Septiembre-Enero 2007

No. 38



ARTÍCULOS

Congreso

Reseñas

XIX Congreso Nacional de Hidráulica

Conferencia: "Francisco Torres H., 2006"

Determinación de períodos de cambio climático, empleando pruebas de ruptura de series

Alfonso Gutiérrez-López, Fabiola Arellano Lara, Javier Aparicio Mijares

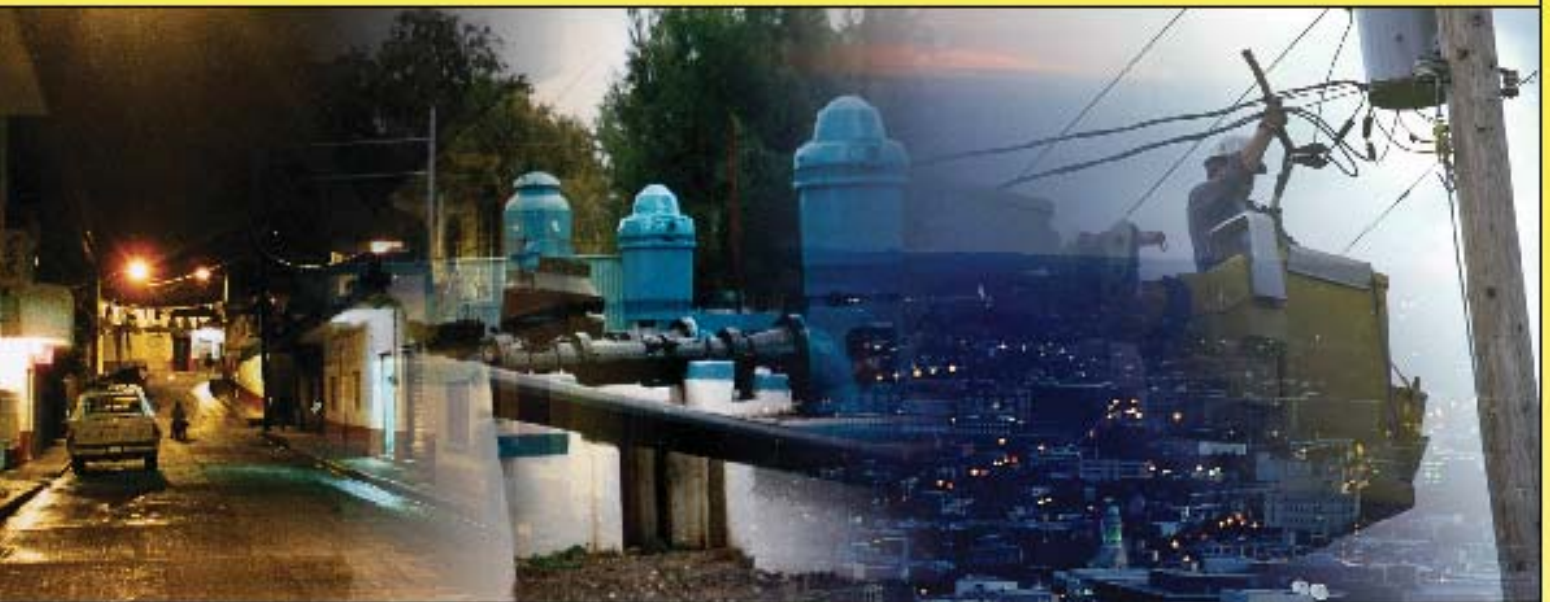
La desoida advertencia del chimalli azteca, y sus consecuencias

Roberto Llanas



AHORRE

energía eléctrica



El FIDE financia su municipio hasta con \$500,000.00 sin intereses...

Para proyectos de ahorro de energía eléctrica en iluminación, bombeo, aire acondicionado y alumbrado público.

El municipio selecciona a su proveedor o contratista.

Más de 200 municipios ya están ahorrando hasta un 40%

¡ Llame hoy mismo, con gusto le atenderemos !



*Fideicomiso para el Ahorro
de Energía Eléctrica*

Gerencia de Servicios Municipales Teléfono en el D.F.: 5250-5870
Commutador: 5254-3044 ext.: 96-040, 96-041, 96-015 Fax ext.: 96-332
Llame sin costo: 01 800 5098 417 Celular: 0155 5967 8603
torresesteban@terra.com.mx www.fide.org.mx

EDITORIAL

Tláloc AMH No. 38

Estimado amigo:

Siendo éste el último número de la gestión de este Consejo Directivo, ponemos en sus manos un ejemplar de nuestra revista que reviste especial interés; en su contenido reitera el espíritu técnico y de divulgación de Tláloc-AMH.

En este número, reproducimos la conferencia dictada por el doctor Gustavo Paz Soldán al recibir el premio Francisco Torres H., en que, con el tema “El valor económico del agua”, nos invita a reflexionar sobre la responsabilidad compartida por todos para evitar una crisis del agua y nos invita a construir un futuro sustentable con una propuesta concreta de solución.

Les damos a conocer e invitamos a incluir como lectura obligada el libro “Estimación y aprovechamiento del escurrimiento”, de Daniel Francisco Campos Aranda, que expone de manera simple y didáctica conceptos y técnicas básicas fundamentales para entender y resolver las dificultades de la estimación y manejo de los recursos hidráulicos.

Hacemos un reconocimiento a los 50 años de posgrado en Ingeniería Hidráulica en la UNAM, con una felicitación a la Institución y a todos los que desde la academia o las aulas han hecho su aportación para el fortalecimiento del conocimiento y formación de alto nivel. Enhorabuena.

Asimismo, presentamos el artículo “Determinación de períodos de cambio climático, empleando pruebas de ruptura de series”, que en el contexto de la estimación regional de los fenómenos hidrológicos extremos nos indica la importancia de tomar en cuenta la calidad de la información histórica.

Finalmente, como parte sustantiva de esta edición, les entregamos una nota informativa del XIX

Congreso Nacional de Hidráulica, evento máximo de nuestra agrupación, donde se dieron cita más de 600 especialistas en hidráulica de todo el país para analizar la problemática de este sector, bajo un tema central: la Gestión Integral del Agua.

Cuernavaca, como brillante sede, nos abrió sus puertas con gran hospitalidad y cordialidad, haciendo de nuestro congreso una ocasión verdaderamente inolvidable. Vaya nuestro reconocimiento y sentido agradecimiento a las autoridades locales y estatales por su gran e indispensable apoyo que pone de manifiesto su sensibilidad y compromiso en favor de la hidráulica mexicana.

En este último número de nuestra gestión, como en todos los demás, les entregamos una edición de calidad basada en el cariño, esmero y dedicación de todos los que la han hecho posible. Nuestro reconocimiento a su labor entusiasta y responsable.

En nombre del XXVII Consejo Directivo y del mío propio, quiero agradecer a usted su confianza, por darnos la oportunidad de servirle en esta responsabilidad al frente de nuestra querida organización, en una experiencia que se convierte en parteaguas de nuestra vida profesional y gremial.

Aprovecho para expresar los mejores deseos de éxito y trascendencia a quienes habrán de continuar con la consecución de los altos objetivos de la Asociación identificada como la más autorizada en materia de agua del país.

Gracias de nuevo y hasta siempre.

Cordialmente

Polioproto F. Martínez Austria

Consejo Editorial

Director • • • • • *Jorge Malagón Díaz*

Editor • • • • • *Carlos A. Escalante Sandoval*
Técnico

Miembros del Consejo Editorial

- Daniel Campos Aranda*
Universidad Autónoma de San Luis Potosí
- Jaime Collado*
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
- Carlos Cruickshank Villanueva*
Instituto de Ingeniería, UNAM
- Rubén Chávez Guillén*
Comisión Nacional del Agua
- Salvador Díaz Maldonado*
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Sonora
- Ramón Domínguez Mora*
Instituto de Ingeniería, UNAM
- Rosalba Landa*
Colegio de México
- Poliopro Martínez Austria*
Comisión Nacional del Agua
- Roberto Melville*
Centro de Investigación y Estudios Superiores en Antropología Social
- Gabriela Moeller Chávez*
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
- Martín Mundo Molina*
Universidad Autónoma de Chiapas
- Lilia Reyes Chávez*
Facultad de Ingeniería, UNAM
- Rodolfo Silva Casarín*
Instituto de Ingeniería, UNAM
- Gilberto Sotelo Ávila*
Facultad de Ingeniería, UNAM
- Juan Carlos Valencia Vargas*
Comisión Nacional del Agua
- Miguel Ángel Vergara*
Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, IPN

Tlálloc AMH

Tlálloc AMH, No. 38, Septiembre - Enero 2007

ÓRGANO DE COMUNICACIÓN DE LA
ASOCIACIÓN MEXICANA DE HIDRÁULICA, A.C.

XXVI Consejo Directivo de la AMH

Presidente

Poliopro F. Martínez Austria

Vicepresidente

Jorge Malagón Díaz

Tesorero

Ángel E. Ortega Mata

Primer Secretario

Claudia Lucía Hernández Martínez

Segundo Secretario

Jorge Arturo Casados Prior

Vocales

Héctor Fernández Esparza

Agustín Félix Villavicencio

Ventas y Publicidad:

Ing. José Aarón Campos R.

Director de Promoción

Tels. 5580 4782

5557 1505

aaroncampos@prodigy.net.mx

Tlálloc AMH. Es una publicación cuatrimestral de la Asociación Mexicana de Hidráulica, A.C. Para otros intereses dirigirse a Camino Santa Teresa 187, Colonia Parques del Pedregal, C.P. 14010, México, D.F., tel. y fax (55) 5666 0835. Certificado de licitud de título núm. 12217 y de contenido núm. 8872. Reserva de derechos al uso exclusivo en trámite. El contenido de los artículos firmados es responsabilidad de los autores y no necesariamente representa la opinión de la AMH. Ninguna parte de esta revista puede ser reproducida en medio alguno, incluso electrónico, ni traducida a otros idiomas sin autorización escrita de sus editores.

El tiraje es de 2,500 ejemplares incluyendo los de reposición. Impresa en los talleres de Editores e Impresores FOC, S.A. de C.V., Los Reyes 26, Col. Jardines de Churubusco, Delegación Iztapalapa, C.P. 09410, México, D.F., Tel. 5633 2872. Editor Responsable: Jorge Malagón Díaz

Certificado de circulación pagada (o gratuita), cobertura geográfica y estudio del perfil del lector, ante la Secretaría de Gobernación con el número DGM1 397.

www.amh.org.mx

INDICE

ARTÍCULOS

Determinación de períodos de cambio climático, empleando pruebas de ruptura de series 4

La desoida advertencia del chimalli azteca, y sus consecuencias 12

NOTICIAS Y RESEÑAS

Celebra la AMH su XIX Congreso Nacional de Hidráulica 14

Exposición Internacional del Agua 2006 17

Premio “Francisco Torre H., 2006” 20

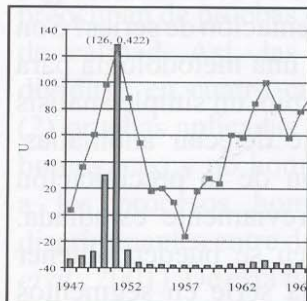
Conferencia “Francisco Torre H., 2006” 21

SEMBLANZA

50 años del Posgrado en Ingeniería Hidráulica de la UNAM 37

PUBLICACIONES

Estimación y aprovechamiento del escurrimiento 40



Determinación de períodos de cambio climático, empleando pruebas de ruptura de series

Alfonso Gutiérrez-López¹, Fabiola Arellano Lara²,
Javier Aparicio Mijares¹

¹Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA
Paseo Cuauhnáhuac 8532 C.P. 62780, Jiutepec, Morelos, México
Tel:+52(777)329 36 00
agutierrez@tlaloc.imta.mx

²Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ingeniería

Resumen

En el contexto de la estimación regional de los fenómenos hidrológicos extremos es importante tomar en cuenta la calidad de la información histórica. La primera fase de un estudio hidrológico debe consistir en hacer un inventario de la información con que se cuenta. En este artículo se presentan los procedimientos estadísticos utilizados en el proceso de detección del cambio climático: correlación sobre el rango; Pettitt; Buishand; Bayesiano de Lee y Heghinian, y el de segmentación de series propuesto por Hubert y Carbonnel. Las pruebas son aplicadas a 46 registros climatológicos provenientes de la Región Hidrológica número 10 (Sinaloa). Los resultados obtenidos permiten detectar modificaciones en las series de precipitaciones, además de identificar períodos homogéneos en donde se presume no existe un cambio climático.

Introducción

En el contexto de la estimación regional de los fenómenos hidrológicos extremos es importante tomar en cuenta la calidad de la información histórica. La primera fase de un estudio hidrológico debe consistir en hacer un inventario de la información con que se cuenta (Ouarda *et al.*, 1998; Miquel, 1984). Para facilitar esta tarea es necesario hacerse algunas preguntas, como por ejemplo: ¿Cuáles son

las principales fuentes de información para nuestro estudio? ¿Son confiables y representativas? ¿Son homogéneas o no? ¿El proceso es estacionario? ¿Es necesario proceder a una segmentación de series? Son todas estas las necesidades de una metodología para la crítica de datos. En un principio, un simple análisis estadístico de la serie permite detectar anomalías, por ejemplo, en la estimación de la precipitación mensual sobre una región previamente estudiada. (Fowler *et al.*, 2000). También se pueden obtener buenos resultados al dividir la serie en segmentos homogéneos (Paturela *et al.*, 1997; Servat, *et al.*, 1997; Laraque *et al.*, 2001). Una serie larga permite detectar diferentes períodos de excedencias y de sequías (Restrepo-Posada y Eagleson, 1982; Pekárová *et al.*, 2003), en donde el conocimiento es necesario para desarrollar por ejemplo, nuevos aprovechamientos de agua sobre una región (Fowler y Kilsbt, 2002). Estas pruebas de crítica de series cronológicas pueden utilizarse para identificar variaciones climáticas. Este análisis consiste principalmente en la interpretación de pruebas estadísticas de homogeneidad de series (Bouvier, 1983). Las series hidrológicas de lluvia o escurrimiento se caracterizan porque frecuentemente tiene anomalías. La actividad más fácil, será siempre detectar la variabilidad como un cambio en la media (Lubes-Niel, *et al.*, 1998). De esta forma es como se ha definido el índice pluviométrico regional, como la media aritmética de los valores de precipitación. Sin embargo, los problemas de homogeneidad de datos, relacionados con el método de cálculo de este índice pluviométrico pueden ser importantes. Por ejemplo, la estimación de valores faltantes permite disponer de un juego de datos más completos y de aumentar la representatividad de un índice ligado a las precipitaciones. Esto puede representar, en algunos casos una variación en valores absolutos del 10% en el índice de precipitación media y de hasta et 20% para la desviación estándar de estos índices a nivel mensual (Rossel y Garbrecht, 2000). La calidad de las series hidrológicas es de una importancia tal que muchas veces se recurre a la preparación de una «serie de prueba» es decir, una serie de datos



de calidad probada de cierto evento hidrológico a estudiar. De esta forma se pueden «probar» las incertidumbres de un modelo hidrológico empleando un análisis de confiabilidad. La calidad de un modelo hidrológico podrá entonces ser medida al comparar sus parámetros con aquellos de la serie de prueba (Yang y Parent, 1995). Desgraciadamente existen en la literatura especializada pocos trabajos que se preocupan de pruebas estadísticas para obtener series de calidad. Así, las pruebas estadísticas pueden dividirse en cuatro categorías: (1) análisis gráfico, (2) pruebas aplicadas a un proceso de Poisson tanto homogéneo y no homogéneo, (3) pruebas aplicadas a los procesos homogéneos y (4) las pruebas discriminantes entre dos procesos puntuales (Yagouti *et al.*, 2001). De esta forma, para mejorar la calidad de las series, para criticar y probar las series históricas de datos, este artículo propone algunos procedimientos estadísticos empleados en la detección de cambio climático. Las pruebas que se proponen son: la prueba de correlación sobre el rango, la prueba de Pettitt, la prueba de Buishand, el método Bayesiano de Lee y Heghinian, y el procedimiento de segmentación de series hidrometeorológicas de Hubert y Carbonnel (Lubes-Niel *et al.*, 1998).

Pruebas de Tendencia y de Autocorrelación

El análisis de una serie temporal tiene por objeto mejorar la comprensión de los mecanismos estadísticos que generan una serie de observaciones (Kendall y Stuart, 1943; 1999). Este objetivo, sin embargo, sólo puede ser estudiado a través de una serie de mediciones. En el entendido que una serie cronológica es la representación parcial de un fenómeno complejo que en realidad es la representación substancial de un conjunto de series que representan diversos fenómenos asociados. Estos procedimientos que se muestran, pueden ser puntuales o regionales. Una exploración “por sitio” se sugiere antes de proceder a las interpretaciones que tomen en cuenta la dimensión espacial de los fenómenos generadores de dichas series puntuales. De esta forma se pueden identificar cuatro componentes dentro de una serie temporal (Lubes-Niel, 1994): una tendencia,

una periodicidad: oscilación más o menos regular alrededor de una tendencia, una auto-correlación o lo que se conoce como efecto de memoria: la magnitud de una observación es dependiente de la magnitud de las observaciones precedentes, un componente aleatorio: el ruido blanco residual que queda si se eliminan los anteriores, una ruptura, definida como un cambio sobre la media o en la distribución de probabilidad.

Más que buscar una descomposición sistemática de estos cuatro elementos, es mejor implementar pruebas estadísticas que permitan identificar cada una de ellos. La literatura consagrada a la aproximación estadística de series cronológicas de variables hidroclimatológicas es particularmente abundante (WMO, 1966; y Kendall y Stuart 1943; 1999). Las primeras pruebas se refieren al carácter aleatorio de las series. Con la hipótesis en donde una serie es declarada no aleatoria, las pruebas son requeridas para caracterizar el carácter “no aleatoria” tal que las pruebas relativas a la detección de un punto de ruptura a priori en una fecha conocida. Las pruebas más aceptadas reposan sobre la consideración de que la media de la serie es constante a lo largo de todo el registro y periodo histórico de observación. Estas pruebas son en general buenas para hacer una distinción entre el carácter aleatorio o no de una serie, pero no permiten identificar una tendencia, discontinuidad u oscilación. Las pruebas no paramétricas no hacen hipótesis sobre la naturaleza de la distribución de probabilidad de la variable que define la serie de observaciones. Las pruebas que se dicen robustas luego que sus condiciones de aplicación son poco estrictas (Kotz *et al.*, 1981; KhronoStat, 1998).

Prueba de correlación sobre el rango

Kendall y Stuart (1943; 1999), proponen que la hipótesis nula a verificar es: “la serie de (x_i) , $i=1, N$, es aleatoria” donde x_i designa las realizaciones de la variable X observada en un intervalo de tiempo sensiblemente igual. Se calcula el número de pares P para los cuales $x_j > x_i$, $j > i$, con $i = 1, \dots, N-1$.

Para N grande, con la hipótesis nula, la variable τ tal que:

$$\tau = 1 - \frac{4Q}{N(N-1)} \text{ con } Q = \frac{N(N-1)}{P} - P \quad [1]$$

Sea una distribución normal de media nula y de varianza igual a:

$$\sigma_\tau^2 = \frac{2(2N+5)}{9N(N-1)} \quad [2]$$

Resulta que si la hipótesis nula es verdadera, la variable $U = \tau / \sigma_\tau$ es una variable normal reducida. Para un riesgo dado α de primer orden, la región de aceptación de la hipótesis nula está comprendida entre: $-U_{1-\alpha/2} \sigma_\tau$ et $U_{1-\alpha/2} \sigma_\tau$. La hipótesis alternativa de esta prueba es la de la presencia de una tendencia. Ya que esta prueba se interesa directamente a la distribución asintótica de la variable P, esta prueba tiene el nombre de prueba de Mann-Kendall. A título de ejemplo el valor de τ / σ_τ , para los registros de precipitación de la estación Tamazula, (lluvia anual para el periodo 1947-1985), es de -0,7621 (calculado según las ecuaciones 1 y 2). De esta forma, la hipótesis nula (serie cronológicamente aleatoria) es aceptada con un intervalo de confianza de 90%. Este mismo valor de la variable reducida es entonces igualmente aceptado para los intervalos de confianza de 95% y 99%.

Auto-correlograma

Otra medida del carácter aleatorio de una serie cronológica está dada por el coeficiente de auto-correlación de orden 1, conocido con el nombre de correlograma (WMO, 1966; Chatfield, 1989). Si existen dependencias significativas entre los términos sucesivos de una serie no aleatoria, el coeficiente de auto-correlación de orden k será significativamente diferente de cero. Este coeficiente se calcula de la siguiente forma:

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{N-k} (x_t - \bar{x}_1)(x_{t+k} - \bar{x}_2)}{\sqrt{\left[\sum_{t=1}^{N-k} (x_t - \bar{x}_1)^2 \sum_{t=1}^{N-k} (x_{t+k} - \bar{x}_2)^2 \right]}} \quad [3]$$

donde

\bar{x}_1 media de las observaciones (x_i) , $i = 1, N-k$

\bar{x}_2 media de las observaciones (x_i) , $i = k+1, N$

Según Chatfield (2000), si una serie cronológica es aleatoria, para un N grande, entonces $r_k \approx 0$ para todo valor de k diferente de cero. El hecho es que para una serie cronológica aleatoria y para un valor de N grande, r_k seguirá una distribución normal de media nula y de varianza $1/N$. De esta forma, será posible definir una región de confianza contenida en un intervalo dado, bajo la hipótesis nula del auto-correlograma. Para un límite de confianza dado de $1-\alpha/2$, la región de confianza está definida por: $\pm \frac{U_{1-\alpha/2}}{\sqrt{N}}$

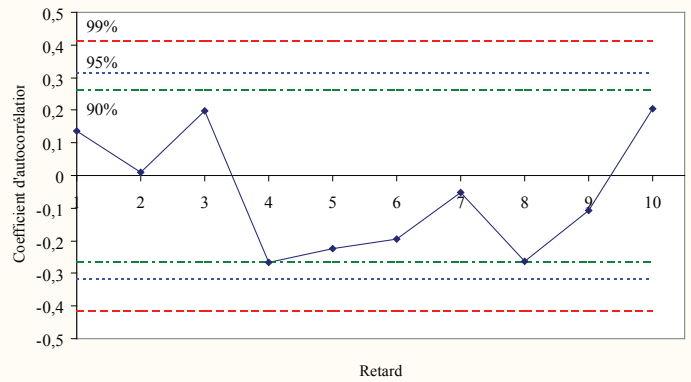


Figura 1. Auto-correlograma anual de la estación Tamazula 1947-1985

Donde U designa la variable normal reducida. Una importante particularidad debe observarse en el comportamiento del correlograma, para valores pequeños de k, en particular para $k = 1$ (WMO, 1966). En efecto, en general para los primeros 20 valores de r_k , no es raro que un valor salga de la región de confianza, aun cuando la serie es aleatoria. Lo anterior ejemplifica las dificultades de interpretación de un auto-correlograma. Para la estación Tamazula (serie anual, $N = 39$) se calculó el intervalo de confianza para 99% es $\pm 0,4125$. Intervalo de confianza de 95% es $\pm 0,3138$ y para 90% es $\pm 0,2634$. Se observa en la figura 1, que un intervalo más estricto, por ejemplo, al 90% el coeficiente de auto-correlación no es significativamente diferente de cero para todos los valores de $k \leq 10$.



Pruebas de detección de rupturas

Prueba de Mann-Whitney

Una ruptura puede ser definida de manera general por un cambio en la ley de probabilidad $f(x)$ de una serie cronológica en un instante dado (normalmente desconocido). El fundamento de esta prueba es el siguiente (CERESTA, 1986). La serie estudiada es dividida en dos sub-muestras de tamaño m y n respectivamente. Los valores de las dos muestras son re-agrupadas y ordenados en forma creciente. Se calcula entonces, la suma de los rangos de los elementos de cada sub-muestra respecto a la muestra total. Un estadístico es definido a partir de estas dos sumas y se prueba una hipótesis nula en donde se asume que las dos sub-muestras pertenecen a la misma población. Esta prueba fue modificada por Pettitt (Pettitt, 1979): de esta forma, la hipótesis nula de la prueba denota la ausencia de ruptura en la serie. Esto es,

$D_{ij} = \text{sgn}(x_i - x_j)$ con $\text{sgn}(x) = 1$ si $x > 0$, 0 si $x = 0$, -1 si $x < 0$. Se considera la variable $U_{t,N}$ tal que:

$$U_{t,N} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^N D_{ij} \quad [4]$$

Sea K_N la variable definida por el máximo valor absoluto del estadístico $U_{t,N}$ para t que varía de 1 a $N-1$. Si k designa el valor de K_N tomado de la serie estudiada, con la hipótesis nula, la probabilidad de excedencia del valor k estará dada aproximadamente por: $\text{Prob}(K_N > k) \approx 2 \exp[-6k^2 / (N^3 + N^2)]$ Para un riesgo α de primer orden, si $\text{Prob}(K_N > k)$ es inferior a α , la hipótesis nula es rechazada. De esta forma se hace variar t de 1 a 38, para los $N=38$ registros anuales de la estación Tamazula (1947-1985) y se obtiene (figura 2) $\text{Prob}(K_N > k) = 0,368$. De esta forma para el año 1951 se obtuvo el rango del valor máximo en valor absoluto de la variable de Pettitt ($U=126$) para una densidad de probabilidad de 0,422; en donde la hipótesis nula (ausencia de ruptura; $0,422 > 0,368$) es aceptada para un intervalo de confianza de 90% (igual para los límites de 95% y 99%).

Estadístico de Buishand

Esta prueba propuesta por Buishand (1982, 1984) es una prueba de origen bayesiano y hace referencia a un modelo simple que propone detectar un cambio en la media de la serie:

$$x_i = \begin{cases} \mu + \varepsilon_i & i = 1, \dots, m \\ \mu + \Delta + \varepsilon_i & i = m + 1, \dots, n \end{cases} \quad [5]$$

Los ε_i son variables aleatorias normales de media cero y varianza σ^2 . El punto de ruptura m y los parámetros μ y Δ son valores desconocidos. Sea la variable: $S_0^* = 0$, $S_k^* = \sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})$ para $k=1, \dots, N$

Donde \bar{x} es la media de los valores x_1, x_2, \dots, x_N . S_k^* es tal que:

$$E(S_k^*) = -k(N-m)N^{-1}\Delta, \quad k = 0, \dots, m; \quad E(S_k^*) = -m(N-k)N^{-1}\Delta, \quad k = m+1, \dots, N$$

$$\text{var}(S_k^*) = k(N-k)N^{-1}\sigma^2, \quad k = 0, \dots, N$$

Se supone una distribución a priori uniforme para la posición del punto de ruptura m , se define el estadístico B como:

$$B = [N(N+1)]^{-1} \sum_{k=1}^{N-1} (S_k^* / D_x)^2 \quad [6]$$

Los valores críticos del estadístico B son propuestos por Buishand (1982) a partir de un método de simulación de Monte Carlo. Este estadístico B es un estadístico que continua valido para las distribuciones de la variable estudiada aunque no sean normales. Esta prueba se basa en las diferencias acumuladas que tienen propiedades óptimas en el caso de un cambio brutal de la media de la serie.

Método Bayesiano

El modelo se basa en el procedimiento siguiente (Kotz *et al.*, 1981):

$$X_i = \begin{cases} \mu + \varepsilon_i & i = 1, \dots, \tau \\ \mu + \delta + \varepsilon_i & i = \tau + 1, \dots, N \end{cases} \quad [7]$$

Los valores ϵ_i son independientes y normalmente distribuidos, de media nula y varianza σ^2 en donde τ, μ, δ y σ son parámetros desconocidos,

$1 \leq \tau \leq N-1, -\infty < \mu < \infty, -\infty < \delta < \infty, \sigma > 0$
 $\tau, \delta, \mu, \sigma$ son independientes. τ y δ representan respectivamente la posición en el tiempo y la amplitud de un cambio eventual de la media. La aproximación bayesiana se fundamenta en las distribuciones marginales a posteriori de τ y δ (Lee y Heghinian, 1977). Las distribuciones a priori de τ y δ son: $p(\tau)=1/(N-1), \tau = 1, 2, \dots, N-1$. $p(\delta)$ es normal de media nula y de varianza σ_δ^2 . La distribución a posteriori de τ es definida por:

$$p(\tau|x) \propto [N(\tau(N-\tau))]^{1/2} [R(\tau)]^{-(N-2)/2}, \quad 0 \leq \tau \leq N-1 \quad [8]$$

donde

$$R(\tau) = H(\tau) / \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}_N)^2 \quad [9]$$

$$R(\tau) = \left[\sum_{i=1}^{\tau} (x_i - \bar{x}_\tau)^2 + \sum_{i=\tau+1}^N (x_i - \bar{x}_{N-\tau})^2 \right] / \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}_N)^2 \quad [10]$$

Por otro lado se sabe que: $p(\delta|x) = \sum_{\tau=1}^{N-1} p(\delta|\tau, x) p(\tau|x)$
 La distribución condicional a posteriori de δ con relación a τ , $p(\delta|\tau, x)$, es una distribución de Student de media $\hat{\delta}_\tau = \bar{x}_{N-\tau} - \bar{x}_\tau$ y de varianza $\sigma_{\delta|\tau}^2 = NH(\tau) / [(N-2)(\tau(N-\tau))]$ con $\nu=N-2$ grados de libertad. Su función de densidad de probabilidad se escribe como:

$$p(\delta|\tau, x) = \frac{\nu^{\nu/2} \Gamma[(\nu+1)/2]}{\Gamma(\nu/2) \Gamma(\nu/2) (\sigma_{\delta|\tau}^2)^{\nu/2}} \frac{1}{\left[\nu + (\delta - \hat{\delta}_\tau)^2 / \sigma_{\delta|\tau}^2 \right]^{(\nu+1)/2}} \quad [11]$$

La posición en el tiempo y la amplitud de un cambio eventual en la media serán definidas por las modas de las distribuciones a posteriori de τ y δ . A estas modas se les asociará por lo tanto una probabilidad de ocurrencia. La figura 2 muestra los resultados para

la estación Tamazula son: moda de la función de densidad de probabilidad a posteriori de la posición del punto de ruptura: 0,4215 en 1951

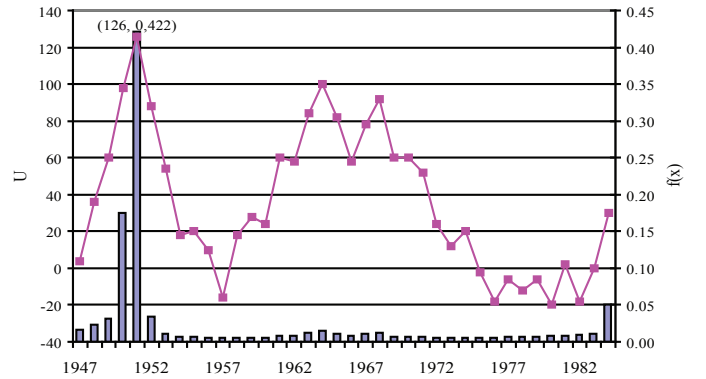


Figura 2. Evolución de la variable U de la prueba de Pettitt, estación Tamazula

Método de segmentación de series

Un procedimiento de segmentación de series hidrometeorológicas ha sido presentado por Hubert et al. (1989). El principio de este procedimiento es “dividir” la serie en m segmentos ($m > 1$) de tal suerte que la media calculada sobre todo el segmento sea significativamente diferente de la media del o de los segmentos vecinos. Un método como este es apropiado para la búsqueda de múltiples cambios en la media. La segmentación se define de la siguiente forma: toda serie $x_i, i = i_1, i_2$ donde $i_1 \geq 1$ y $i_2 \leq N$, para $(i_1 < i_2)$ constituye un segmento de la serie inicial de los $(x_i), i = 1, \dots, N$. Toda partición de la serie inicial en m segmentos es una segmentación de orden m de esta serie. A partir de una segmentación particular de orden m efectuada sobre la serie inicial, se define: $i_k, k = 1, 2, \dots, m$

$$n_k = i_k - i_{k-1} \quad [12]$$

$$\bar{x}_k = \frac{\sum_{i=i_{k-1}+1}^{i_k} x_i}{n_k} \quad D_m = \sum_{k=1}^m d_k \quad \text{con} \quad d_k = \sum_{i=i_{k-1}+1}^{i_k} (x_i - \bar{x}_k)^2 \quad [13]$$



La segmentación final debe ser tal que para un orden de m segmentos dados, la desviación estándar D_m sea mínima. Esta condición es necesaria pero no suficiente para la determinación de la segmentación óptima. Es necesario además, considerar que las medias de dos segmentos contiguos sea significativamente diferente. Esto, se logra con la aplicación de la prueba de Scheffé (Dagnélie, 1970). Según otros autores (Hubert *et al.*, 1989), este procedimiento de segmentación puede ser interpretado como una prueba de estacionariedad. Una variable representativa de una serie cronológica se dice que es estacionaria cuando sus características estadísticas (media y auto-covarianza) no cambian en un intervalo de tiempo dado. En el caso contrario, suele presentarse un efecto de tendencia. En este caso, “la serie estudiada es estacionaria” constituye la hipótesis nula de esta prueba. Si este procedimiento no produce una segmentación aceptable, es decir, de orden igual o superior a 2, la hipótesis nula se acepta. Cabe aclarar que ningún nivel de significancia se le atribuye a esta prueba. Este procedimiento no produjo ninguna segmentación en la serie de datos de la estación Tamazula, por lo que con esta prueba puede considerarse una serie estacionaria.

Elipse de control

Este procedimiento, es un método complementario al estadístico de B de Buishand (Bois, 1971, 1986). Se basa en la hipótesis de que es posible definir una región de aceptación dentro de un límite de confianza, según la hipótesis nula de que la serie S_k^* (ecuación 6). Para un límite de confianza de $1-\alpha/2$, la región de aceptación estará definida por:

$$\pm \frac{U_{1-\alpha/2} \sqrt{k(N-k)}}{\sqrt{(N-1)}} D_x \quad [14]$$

Esta región de aceptación es llamada “elipse de control”. Como puede observarse en la figura 3 los resultados para la estación Tamazula: Hipótesis nula (ausencia de ruptura) aceptada al nivel de significancia del 99%. A un nivel del 95% dos puntos salen de la elipse de control y para el 90% tres puntos salen de la elipse. En general los resultados de esta prueba para detectar ausencia de ruptura fueron muy

satisfactorios para todas las estaciones de la región hidrológica 10. Sólo cinco estaciones presentaron una ruptura importante para los niveles de significancia del 95 y 90%.

Conclusiones

Con este conjunto de pruebas estadísticas se detectaron rupturas importantes en las series históricas de 6 estaciones. El caso más evidente se presentó en la serie de la estación La Noria, en donde la prueba de Mann-Whitney (Pettitt, 1979; CERESTA, 1986) detectó una ruptura durante el periodo de 1974 a 1979. El valor histórico de precipitaciones anuales para esta estación hasta el año 1973 era de 653 mm. A partir de 1974, se presentaron aparentemente valores de precipitación entre 1400 mm y 2100 mm, esto durante los 6 años siguientes; valores muy superiores a los valores registrados en los años precedentes. En 1980, las precipitaciones anuales volvieron a registrar valores acordes a las medias históricas (464 mm), lo anterior muestra evidentemente, un problema o cambio climático para el periodo de 1974 a 1979. El estadístico B de Buishand (1982, 1984) y la elipse de control (Bois, 1971, 1986) también detectaron una ruptura en la serie (ver figuras 4 a 6). Dado que estas pruebas permitieron detectar este cambio brutal en la media de la precipitación anual y una ruptura importante; se analizaron a detalle los años en cuestión y se analizó un posible cambio climático en la zona o un simple error de mediciones en la estación La Noria.

Como todos los análisis estadísticos, se debe llevar a cabo una interpretación prudente de los resultados obtenidos. Las pruebas utilizadas permiten detectar posibles lagunas o rupturas en series históricas de datos hidroclimatológicos. Un punto importante es el estudio y verificación de la normalidad de las series estudiadas sobre todo para las pruebas del estadístico de Buishand, elipse de control y el método bayesiano. Para cumplir con la normalidad se sugieren tres transformaciones: logaritmos, raíz cuadrada y la transformación de Box y Cox (Maidment, 1993).

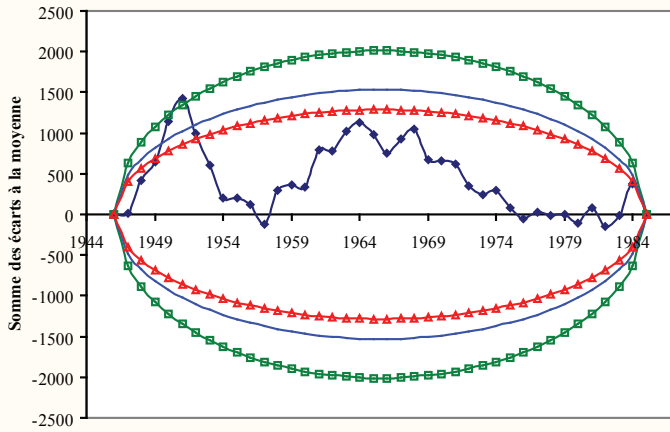


Figura 3. Elipse de control a 99, 95 y 90% para la estación Tamazula

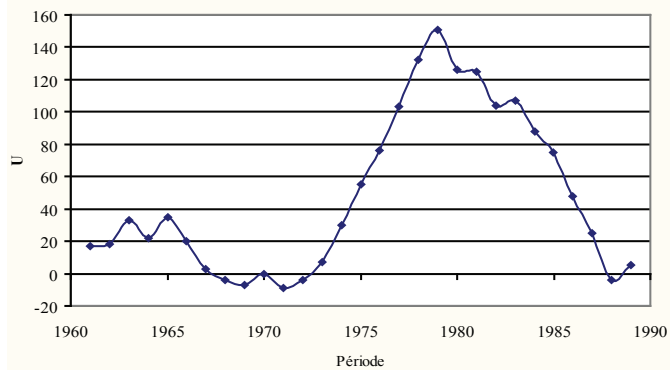


Figura 4. Evolución de la variable U del prueba de Pettit estación La Noria

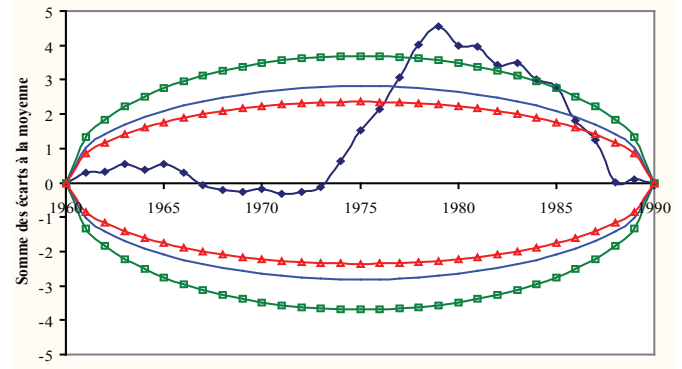


Figura 5. Elipse de control a 99, 95 y 90% para la estación La Noria

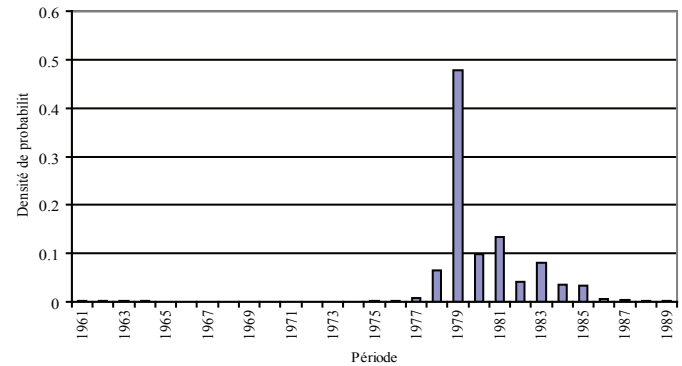


Figura 6. Densidad de probabilidad "a posteriori" de la posición de un cambio para la estación La Noria

REFERENCIAS

Bois Ph., (1971) Une méthode de contrôle de séries chronologiques utilisées en climatologie et en hydrologie. Laboratoires de Mécanique des Fluides Université de Grenoble. Section hydrologie 49 p

Bois Ph., (1986) Contrôle des séries chronologiques corrélées par étude du cumul des résidus. Deuxièmes journées hydrologiques de l'Orstom. Montpellier. pp 89-100.

Bouvier, Ch., (1983) Etude des effets de dépendance dans une série chronologique. Application à l'étude des séquences de jours de pluies. CAHIERS, ORSTOM, série. Hydrologie., Vol. XX, No. 2, .pp 79-116.

Buishand T. A., (1982) Some methods for testing the homogeneity of rainfall records. Journal of Hydrology, vol. 58, pp 11-27.

Buishand T. A., (1984) Tests for detecting a shift in the mean of hydrological time series., Journal of Hydrology, vol. 58, pp 51-69.

CERESTA (Centre d'Enseignement et de Recherche de Statistique Appliquée) (1986) Aide-mémoire pratique des techniques statistiques pour ingénieurs et techniciens supérieurs. Revue de statistique appliquée, vol. XXXIV numéro spécial.

Chatfield C., (1989) The analysis of time series. An introduction. Fourth edition. Chapman and Hall. 241 p.

Chatfield, C., (2000) Time-Series Forecasting 267 pages Chapman et Hall/CRC Statistics and Mathematics.

Dagnelie P., (1970) Théorie et Méthodes Statistiques. Vol 2. Les presses agronomiques de Gembloux. 451p



- Fowler, H.J. y Kilsby, C.G., (2002) A weather-type approach to analysing water resource drought in the Yorkshire region from 1881 to 1998, *Journal of Hydrology*, Vol. 262 (1-4) pp. 177-192.
- Fowler, H.J., Kilsby, C.G. y O'Connell, P.E. (2000) A stochastic rainfall model for the assessment of regional water resource systems under changed climatic condition *Hydrology and Earth System Sciences* 4 pp 263-281.
- Hubert P., Carbonnel J. P., y Chaouche A., (1989) Segmentation des séries hydrométéorologiques. Application à des séries de précipitations et de débits de l'Afrique de l'Ouest. *Journal of Hydrology*, vol. 110, pp 349-367.
- Kendall S.M., y Stuart A., (1943, 1999) *The advanced theory of statistics*. Charles Griffin Londres. 2ème volume, 690 p, 3ème volume, 585 p. dans l'édition de 1999.
- KhronoStat pour Windows 95 (1997-1998) ORSTOM.
- Kotz S., Johnson N. L., Read C. B., (1981) *Encyclopedia of statistical sciences*. New York, John Wiley. Vol. 1, pp197-205, vol. 8, pp 157-163, vol. 9, pp 244-255.
- Laraque, A., Mahé, G., Orange, D. y Marieu, B., (2001) Spatiotemporal variations in hydrological regimes within Central Africa during the XXth century, *Journal of Hydrology*, Vol. 245 (1-4) pp. 104-117.
- Lee A.F.S. y Heghinian S.M., (1977) A Shift Of The Mean Level In A Sequence Of Independent Normal random Variables-A Bayesian Approach. *Technometrics*, vol. 19, n°4, pp 503-506. 121
- Lubes-Niel H., Masson J.M., Paturel J.E. y E. Servat (1998) Variabilité climatique et statistiques. Etude par simulation de la puissance et de la robustesse de quelques tests utilisés pour vérifier l'homogénéité de chroniques. *Revue des Sciences de l'Eau* 11 (3) : 383-408.
- Lubes-Niel, H., (1994) Caractérisation de fluctuations dans une série chronologique par applications de tests statistiques - Etude bibliographique. Rapport interne, ICCARE, n°3, ORSTOM - Hydrologie.
- Maidment, D.R., (1993) *Handbook of Hydrology*, McGraw-Hill Book Company.
- Miquel, J. (1984) *Guide pratique, D'estimation et probabilités des crues* septembre Eyrolles (Edf)
- Ouarda T.B.M.J., Rasmussen P.F., Bobée B. y J. Bernier. (1998) Utilisation de l'information historique en analyse hydrologique fréquentielle. *Revue des Sciences de l'Eau* 11 (nSpécial) : 41-49.
- Paturela, J. E., Servata, E. Kouamé, B. Lubès, H. Ouedraogo M. y Masson, J. M., (1997) Climatic variability in humid Africa along the Gulf of Guinea Part II: an integrated regional approach, *Journal of Hydrology*, Vol. 191, (1-4) pp. 16-36.
- Pekárová, P., Miklánek, P. y Pekár, J., (2003) Spatial and temporal runoff oscillation analysis of the main rivers of the world during the 19th–20th centuries, *Journal of Hydrology*, Volume 274, Issues 1-4, pp 62-79.
- Pettitt, A. N., (1979) A non-parametric approach to the change-point problem. *Applied Statistics*, 28, n°2, pp 126-135.
- Restrepo-Posada, J.-P. y P.E. Eagleson, (1982) Identification of independent rainstorms, *Journal of Hydrology*, 55, 303-319.
- Rossel F. y J. Garbrecht. (2000a) Analyse et amélioration d'un indice pluviométrique mensuel régional pour les grandes plaines du sud des États-Unis. *Revue des Sciences de l'Eau* 13 (1) : 39-46.
- Servat, E., Paturel, J. E., Lubès, H., Kouamé, B., Ouedraogo, M. y Masson, J. M., (1997) Climatic variability in humid Africa along the Gulf of Guinea Part I: detailed analysis of the phenomenon in Côte d'Ivoire, *Journal of Hydrology*. Volume 191, Issues 1-4 pp 1-15
- WMO, (1966) World Meteorological Organization. Climatic change, by a working group of the Commission for Climatology., 195, TP 100, Tech. Note n°79 : 78 p.
- Yagouti, A., Abi-Zeid, I., Ouarda, T. B. M. J. y B. Bobée (2001) Revue de processus ponctuels et synthèse de tests statistiques pour le choix d'un type de processus. *Revue des Sciences de l'Eau* 14 (3): 323-361.
- Yang X. y E. Parent. (1995) Analyse de fiabilité en modélisation hydrologique: Concepts et applications au modèle pluies-débits GR3. *Revue des Sciences de l'Eau* 9 (1) : 31-49.

La desoída advertencia del chimalli azteca, y sus consecuencias

Una relación del siglo XVII

La advertencia de los antiguos pobladores del altiplano mexicano a través del chimalli azteca, de un caracol mostrando su configuración en espiral y rodeado por agua, tenía un doble significado: el de la Tenochtitlán como una ciudad emergida del agua; y el de la eternidad de una urbe que aunque había sido regalo de los dioses, estaría siempre amenazada por el elemento que le daba vida si no se le protegía contra las impetuosas respuestas del mar interior.

Sin embargo, esa labor de cuidado prolongado se vio interrumpida por la llegada de los españoles, quienes al aplicar medidas no pensadas contribuyeron a incrementar los riesgos hidrometeorológicos en la cuenca del Valle de México.

En ese sentido, dos disposiciones abrieron la puerta de las alteraciones y riesgos hidrológicos en la capital de la Nueva España: una, la destrucción de los diques de tierra que no sólo protegían la ciudad contra las inundaciones, sino que a la vez servían para retener las aguas y aprovecharlas en tiempo de secas.

La otra fue la tala inmoderada y las nuevas ocupaciones de la rama maderera en todas sus formas, que bien podían ser desde los miles de vigas que servían, de acuerdo con su número de empleo, para manifestar una clase social siempre deseada pero nunca lograda, muebles, puertas y ventanas, hasta una nueva ocupación para sobrevivencia de los naturales como fue la elaboración masiva de canoas y trajineras de prolongadas esloras, entre otros aspectos derivados del aprovechamiento de la madera.

La respuesta de la naturaleza fue tan rápida, que según Motolinía las aguas lacustres empezaron a descender a partir de 1524, y a tal velocidad que hacia 1543 los vasos de Xaltongo y de Zumpango presentaban amplios espacios de suelos a flor de tierra en el estiaje.

Ese factor de agresión, junto con el envejecimiento de los lagos y el déficit de precipitaciones desembocó en que esa inmensa masa de agua, cuyo origen se remontaba al Cuaternario y que fue bautizado por Cortés como “mar interior” empezaba a desaparecer.

Por su parte, las lluvias mostraban alteraciones meteorológicas nunca antes vistas; situación que se hizo manifiesta el 17 de septiembre de 1555, que aunque cesó antes de 24 horas, bastó para que inundara por completo calles y pueblos de los alrededores, al grado de que durante cuatro días, únicamente se transitó por canoas.

La posibilidad de nuevas y más graves inundaciones hizo que a partir de ese suceso, se empezaran a programar respuestas que conllevaran a disminuir los riesgos hidrometeorológicos en la ciudad capital; entre ellas, regular el nivel de los lagos; localizar una salida natural de las aguas lacustres; limpiar ríos, canales y acequias, que la población había invadido con basura; hasta llegar a proponer a Felipe II el cambio de sede de la Ciudad de México.

Un periodo de relativa tranquilidad hizo a las autoridades esperar el siglo XVII con cierta esperanza de que no se volviera a presentar otro fenómeno meteorológico como el de 1555. Nada más lejos de esa idea pues el 9 de agosto de 1601, torrenciales lluvias provocaron que los ríos broncos del norponiente rompieran sus cauces, ahogando Tlatelolco.

La respuesta fue reforzar el Guadalupe y el Tlanepantla; un programa de limpia y desaguar calles; dar mantenimiento a caminos transitados como el Tlanepantla, Guadalupe, Mexicaltzingo y Chapultepec. Estas obras aún se llevaban a cabo hacia 1603.

Las lluvias de 1604 cayeron en tal abundancia que cubrieron todos los llanos y ejidos aledaños a la urbe así como las calles, al grado de que los vecinos se vieron obligados a desplazarse en canoas, y nuevas precipitaciones hicieron que el daño alcanzara la calificación de desastre en los asentamientos de baja calidad económica.

En cuanto a las medidas que se tomaron, estuvo reparar el albarradón construido durante el gobierno del virrey Velasco padre; cercar la ciudad con un albarradón a base de tierra y estacado; continuar las obras de desagüe; reparar las calzadas de Guadalupe; San Cristóbal, San Antonio Abad, y la de Chapultepec; subir el nivel de las calles; proseguir con el programa de limpia de acequias; y “encarcelar” mediante compuertas los ríos Sanctorum y el Morales.

Sin embargo, esas obras aunque buenas no resultaron otra cosa que ser paliativos, ya que el 25 de junio de 1607 desusuales aguaceros produjeron una nueva y más terrible creciente que derribó edificios y casas de campo por el rumbo del sureste, y parte del lago de Chalco.

Ahí no terminó la desgracia, pues el 1º de julio con el rompimiento del Azcapotzalco el miedo tomó características de pánico, el cual no tuvo límites dos meses después con un nuevo desbordamiento del Azcapotzalco. Con ello, las vías de acceso a la ciudad se inundaron de tal manera que se empezó a dificultar el abasto, el nivel de los lagos aumentó alarmantemente, y las aguas penetraron a casas y conventos. Entre las respuestas más interesantes fue tratar de desaguar inmuebles y calles a base de “ingenios”.

La experiencia fue tan severa que una parte del año de 1608 se dedicó a buscar el mítico desagadero de Pantitlán y a tratar de avanzar en la obra del desagüe; así como revisar calzadas, canales, acueductos y acequias para corregir cualquier daño que apareciera.

La programación de prevención no se detuvo durante años; inclusive el Ing. Adrián Boot propuso el empleo de “arbitrios” que liberaran a la ciudad de riesgos a través de cercar calzadas y lagos, así como expulsar las aguas sobrantes con “máquinas que se empleaban en su tierra”; además de abrir cinco canales que al mismo tiempo que evacuaran la urbe sirvieran de tránsito lacustre.



Años de calma llevaron al marqués de Gelves a descuidar y aun a suspender las obras de protección, desacierto que coincidió con lluvias que a partir de 1623 arrieron progresivamente al grado de que en 1627 el volumen de los lagos fue tal, que las señales de registro estaban ahogadas.

Eso alarmó al Ayuntamiento, que aun cuando dictó medidas procedentes ya era demasiado tarde: el 7 de noviembre de ese año las principales calles y tres importantes calzadas se volvieron intransitables; los derrumbes en los barrios pobres se volvieron comunes, así como la presencia de enfermedades y la falta de abasto.

En enero de 1628, presintiendo una cercana catástrofe, se formó la Junta de Desagüe, misma que propuso al virrey seis importantes acciones inmediatas:

Que se levantara la calzada de San Cristóbal una vara sobre la altura en que la había dejado el marqués de Montesclaros, lo mismo que la de Mexicalcingo, San Antonio, Calvario, Tacuba y Atzacapotzalco, empleando tierra, céspedes y tezontle.

Que lo propio se hiciera también con los albardones de Zumpango y San Lázaro, desde su principio, poniéndose en ellos las compuertas necesarias.

Que se divirtieran los ríos Sanctorum y Morales, de manera que por ellos fuese el agua de la laguna, para lo cual se esparcirían las aguas en los ejidos de la Piedad y San Antonio, y se reedificaría una antigua albarda que antes se había construido para este efecto.

Que se detuviese con una presa de mampostería la impetuosa avenida de Pachuca, que era muy peligrosa por venir al lago de México por las de Zumpango y San Cristóbal.

Que se prosiguieran las obras de Huehuetoca y se repusiera el albardón que para contener las aguas del Cuautitlán existía, y que mandó el marqués de Gelves destruir en parte.

Que se estacaran las acequias, de manera que llevaran el agua directamente al lago y no causaran perjuicios en las calles de México.

La superintendencia de las obras quedó a cargo de religiosos de la Compañía de Jesús y se fueron ejecutando en el curso del primer semestre de 1629.

Aun cuando esto tranquilizó hasta cierto punto a la población, lo tardío de las lluvias en 1629 inquietó a las autoridades haciéndoles temer algo grave, temor que se manifestó en lluvias cada vez más intensas a lo largo de septiembre de ese año, llegando a su clímax el 21 de septiembre con una tormenta de 36 horas ininterrumpidas, quedando ahogada la ciudad en un lago de más de 1.60 metros de profundidad.

Fue tal la inundación que en un buen número de calles hubo que hacer banquetas de madera y levantar puentes, lo suficientemente altos como para dejar pasar canoas. Se decía que de 20,000 familias

españolas vecindadas, solo quedaban alrededor de 400, y que aproximadamente 30,000 indígenas desaparecieron. A excepción de las calles de Empedradillo, Santa Teresa la Antigua, y de la Catedral y del Palacio Arzobispal, el resto de la urbe parecía emerger del agua.

Conforme bajaron los niveles de inundación se rellenaron las depresiones del suelo; se recurrió al apoyo de los vecinos para cubrir los gastos de reparación de los barrios afectados; y el 1º de octubre de 1629 se inició un programa de visitas destinado a conocer los daños y a atender asistencialmente a los afectados. Como complemento se pidió a los vecinos se construyeran puentes levadizos y al Ayuntamiento colocar bombas extractoras en puntos clave. Todo se desquiciaba; el comercio desaparecía; la carne era imposible de adquirir; la alhóndiga estaba inundada, y sólo dos mercados funcionaban.

Como el nivel del agua no disminuía, se recomendó aumentar el número de bombas, inicialmente pasar de tres a seis semanalmente, “con una erogación de 24 artificios en 250 pesos”; hacia abril de 1630 se descubrió y castigó como inmoral la venta de materiales usados de construcción, incluyendo el cascajo, así como toda clase de puertas, ventanas y vigas.

Las lluvias se tornaron tranquilas, hasta el 9 de julio de 1640 en que una inversión climatológica, manifestada por precipitaciones torrenciales hicieron temer nuevas inundaciones.

A cinco años de distancia en el otoño de 1645, el río Cuautitlán se salió de madre arrasando pueblos, caminos y veredas; afectó el acueducto Azcapotzalco-La Villa, y las amenazas se hicieron sentir en la ciudad.

No volvió a presentarse “castigo divino” sino hasta el 17 de julio de 1653 con lluvias tan torrenciales que hacían recordar las de 1629.

Tras dos años de sequía, las rogativas, junto con los novenarios en todos los conventos e iglesias, bajo 16 múltiples adoraciones y advocaciones, empezó a llover el 27 de junio de 1663 con tal abundancia que los piadosos habitantes temieron haber exagerado sus pláticas divinas.

Los ciclos climatológicos se estabilizaron a partir de 1668, no retornando el fantasma de las inundaciones con precipitaciones abundantes en 1674 mostrando afectación seria a las zonas de San Antonio Abad, Tacuba y San Cosme.

En 1675 hubo lluvias intermitentes y de gran abundancia, lo que se repitió en 1668 con derrumbes y un buen número de víctimas. En 1679, súbitamente se presentaron precipitaciones tempranas muy copiosas y fuertes granizadas que pusieron en jaque a la ciudad capital, pero en especial a los pobladores de los barrios periféricos, que llegaron al borde de la locura.

La última amenaza de inundaciones en el siglo XVII sucedió en 1691, y aunque todo hacía pensar que sería grave, la urbe se libró de la catástrofe pues el drenaje, la gran obra de prevención de desastres empezaba a funcionar, permaneciendo únicamente amplias áreas urbanas encharcadas por el azolvamiento de las acequias y el agrietamiento de los temblores.

Celebra la AMH su XIX Congreso Nacional de Hidráulica

- *Más de 600 especialistas en hidráulica de todo el país analizaron la problemática de este sector, bajo un tema central: la Gestión Integral del Agua*
- *En diversas mesas de trabajo se establecieron los desafíos que enfrentará el sector hidráulico durante los próximos años, para lograr un verdadero uso sustentable de este valioso recurso*

La gestión integral del agua en México requiere superar diversos desafíos entre los que destacan los de carácter financiero, de infraestructura, de organización social y el uso de nuevas tecnologías, se estableció durante los trabajos del XIX Congreso Nacional de Hidráulica, celebrado en la ciudad de Cuernavaca, Morelos del 7 al 10 de noviembre pasado.

El evento, al que asistieron más de 600 especialistas en hidráulica de los sectores público, privado y académico de todo el país, se destacó la importancia de construir una gobernanza en torno a los recursos hídricos más participativa, corresponsable y, sobre todo, democrática.

En la ceremonia inaugural, que dio paso a las diversas mesas de trabajo en las que se presentaron 228 trabajos vinculados con la Gestión Integral del Agua, el Director de la Comisión Nacional del Agua, Cristóbal Jaime Jáquez, afirmó que los retos que enfrenta nuestro país en materia hídrica no pueden atenderse de manera fragmentada.

Señaló que si bien se han logrado avances muy significativos en materia de agua potable, alcantarillado y saneamiento, los retos del sector estarán determinados por una combinación de factores derivados del crecimiento poblacional, el desarrollo y una alteración del entorno global que propiciará modificaciones al clima, así como a la desigual distribución natural del agua en el tiempo y el espacio.

Por ello, agregó, los planes de desarrollo y de gestión del agua deben considerar los efectos posibles del cambio climático, a fin de instrumentar acciones que permitan reducir la vulnerabilidad a tales efectos y que, al mismo tiempo, se logre proteger a la población, flora y fauna del país.



Durante la inauguración, que corrió a cargo del Gobernador del Estado de Morelos, Marco Antonio Adame Castillo, el Presidente de la Asociación Mexicana de Hidráulica, Polioptro Martínez Austria, manifestó que los tiempos actuales exigen que los recursos hídricos sean administrados con mayor eficiencia, para mantener una adecuada gobernabilidad y preservación del medio ambiente.

Añadió que a lo largo de sus 40 años de existencia, la Asociación Mexicana de Hidráulica ha sido testigo de la transición de los diversos escenarios que ha vivido el agua en México, donde ha pasado de ser un recurso abundante y puntal del desarrollo de muchas regiones del país a uno escaso, generador de conflictos sociales entre usuarios y sectores sociales.



De ahí la importancia del hecho de considerar al agua como un elemento estratégico, cuya administración y preservación debe estar fundamentada en el diseño de una política de Estado que englobe una gestión integral de este valioso recurso natural.

En el marco de la ceremonia inaugural del Congreso, el gobernador del estado y el titular de la Conagua, hicieron entrega de los Premios Nacionales “Francisco Torres H. 2006” a la práctica profesional hidráulica y “Enzo Levi, 2006”, a la investigación y docencia de la hidráulica, a los especialistas Gustavo Paz A. Soldán y Rodolfo Silva Casarín, respectivamente.

Asimismo, se inauguró la *Exposición Internacional del Agua* que contó con la participación de más de 30 empresas e instituciones públicas y privadas que ofrecieron a productos y servicios tecnológicos de vanguardia en beneficio del sector hidráulico nacional.

Durante los trabajos del Congreso se presentaron diferentes Conferencias Magistrales sobre temas específicos que inciden de manera puntual en la problemática del agua que enfrenta el país.

En la mesa *Agua y Comunicación*, coordinada por la Gerente de Comunicación Social de la Conagua, Heidi Storberg Montes, los periodistas asistentes abordaron el rol que juegan los medios de comunicación y los periodistas como detonadores de cultura, así como su quehacer para informar y fortalecer el conocimiento sobre temas ambientales.

En su exposición, coincidieron en que falta cultura del agua entre la población y en la necesidad de que la sociedad en su conjunto –incluidos los periodistas y medios de comunicación– enfrenten los problemas relacionados con el cuidado y la preservación de este recurso.

Por su parte, el Gerente Regional Balsas de la Conagua, José Luis Adame De León, presentó el Manual de Emergencias de la Comisión Nacional del Agua, el cual surgió de la necesidad de plasmar en un documento las vivencias que los especialistas de la dependencia han tenido en su historia como profesionales para atender y administrar una emergencia y que sirva como instrumento normativo de prevención para evitar afectaciones humanas y materiales.

Sin embargo, en la mesa, donde se analizó y discutió la *Administración de Emergencias hidrometeorológicas*, se resaltó la necesidad de contar con una mayor integración y comunicación durante la atención de este tipo de acontecimientos entre los diversos actores y órdenes de gobierno.

Asimismo, se destacó la importancia de desarrollar una mayor investigación aplicada en las zonas de riesgo, que permitan instalar medidas de alerta temprana y modelar los efectos en los cauces y zonas habitacionales, así como la necesidad de simplificar los procesos administrativos y asignación de fondos, que con frecuencia se convierten en un “cuello de botella” en la atención de las emergencias.

Sobre los recursos financieros que se canalizan al sector hidráulico, en el Panel Magistral denominado *Avances y Retos del Subsector Agua Potable y Saneamiento*, se puntualizó que los presupuestos federales, estatales y municipales que se aplican a estos rubros son insuficientes para atender las necesidades básicas de la población, ya que se necesitan aportaciones de los tres órdenes de gobierno que ascienden a 38 mil 500 millones de pesos durante los próximos seis años.

Se destacó que el tema de las deficiencias en el abasto del agua potable, alcantarillado y saneamiento y el de las tarifas se tendrá que resolver a la brevedad y de la mejor manera posible, pues de lo contrario no se logrará resolver el rezago que se tiene en esta materia, a pesar de que durante los últimos seis años se invirtieron 13 mil millones de pesos para la atención de esos servicios.



“Cuando no hay recursos públicos suficientes ni siquiera para la operación de la infraestructura hidráulica, y en ocasiones para pagar la energía eléctrica, los productos químicos para potabilizar, distribuir y entregar el agua a la población, menos los hay para hacer un mantenimiento y conservación en las redes de distribución en algunos estados y municipios”, coincidieron en señalar los panelistas representantes de Conagua, Banobras, Comisión Estatal del Agua de Jalisco y del Organismo Operador del municipio de Naucalpan, Estado de México.

En la ponencia magistral *La Medición del Ciclo Hidrológico en México*, el Subdirector General Técnico de la Conagua, Felipe Arreguín Cortés, precisó que la medición del ciclo hidrológico en México es para la Comisión Nacional del Agua la sangre y el corazón que la alimentan y le dan vida, pues sin ello no es posible decidir la construcción de obras de infraestructura que se requiere para atender las necesidades de la población en materia hidráulica.

En su exposición, detalló la infraestructura que dispone esta institución para llevar a cabo la medición de las precipitaciones pluviales, a través de 2,833 estaciones climatológicas convencionales y en estaciones automáticas con transmisión vía satélite que dispone en todo el país, así como la red hidrométrica

e hidroclimatológica con que se dispone para medir los escurrimientos en aguas superficiales.

En la sesión, no obstante, se resaltó la importancia de destinar mayores recursos a estos aspectos, así como al establecimiento de programas que permitan procesar y analizar la información que se obtiene, ya que es la base de para la toma de decisiones y la evaluación de la efectividad de las acciones que se instrumentan para la adecuada administración del agua.

Asimismo, se pronunciaron por realizar una mayor promoción de la información sobre la medición de la cantidad y la calidad del agua, a fin de que la sociedad tenga un mayor y mejor acceso a la misma.

Finalmente, en el panel sobre el *Desarrollo Tecnológico del Sector Agua*, el Presidente de la AMH, afirmó que México se encuentra entre las naciones que destinan menos recursos a la investigación y al desarrollo tecnológico en materia hidráulica, incluso por debajo de países como Turquía y de naciones que son nuestros competidores en el mercado internacional.

Esa baja nos pone en desventaja, por lo que la inversión que se dispone debe ser muy productiva a fin de obtener un mayor número de productos y aumentar el número de patentes mexicanas, señaló.

Además, propuso trabajar en dos vertientes: incrementar la inversión hacia investigaciones de desarrollo tecnológico en materia hidráulica y hacer que ésta sea más efectiva.





La propuesta de la AMH, destacó, es que exista un Programa de Desarrollo Tecnológico en el marco del Programa Nacional Hidráulico y del Programa Nacional del Medio Ambiente, con líneas estratégicas muy claras, para que la inversión que se está canalizando hacia la investigación y desarrollo tenga una mayor efectividad.

En este mismo marco, el Director de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura del Instituto Politécnico Nacional, Miguel Ángel Vergara Sánchez, resaltó el papel estratégico que juegan las instituciones de educación superior en la formación de profesionales, investigadores y técnicos, así como en la generación, aplicación y transferencia del conocimiento.

Al respecto, se manifestó a favor de la creación de la carrera de Ingeniero en Gestión del Agua con la participación de las diferentes instituciones de educación superior, a fin de aprovechar la experiencia de los talentos formados en esta área del conocimiento diseminados en el territorio nacional.

Apuntó que la complejidad del sector productivo y de servicios, oficial y privado, exige de profesionistas con un perfil técnico y humano actualizado que propicie un óptimo desarrollo de su ejercicio profesional, además de que las instituciones de

educación superior amplíen y diversifiquen la oferta de titulaciones.

Propuso que en cada rama de la ingeniería civil se establezca una licenciatura en línea especializada al final de la carrera, junto con el establecimiento de estrategias de participación de la sociedad con instituciones del gobierno en la administración del agua.

En la ceremonia de clausura, el Vicepresidente de la Asociación Mexicana de Hidráulica, Jorge Malagón Díaz, realizó una relatoría del Congreso, en el que se presentaron 228 trabajos, entre los que destacaron propuestas de modificación al marco legal y adecuaciones a la normatividad vigente en materia hidráulica.

Agrego que la Asociación llevará a cabo un seguimiento puntual a cada una de las conclusiones del evento, en el que se precisó que durante los próximos años, entre otras cosas, será necesario fortalecer las inversiones para lograr un adecuado manejo integral del agua, a fin de que el recurso sea duradero en cantidad y calidad para las futuras generaciones.

Exposición Internacional del Agua 2006

“lo más actual en productos y servicios del agua”

- *Se solidifica una tradición en exhibición profesional de productos y servicios con gran capacidad de convocatoria y nivel de calidad.*

Dentro del marco del XIX Congreso Nacional de Hidráulica, se realizó en forma paralela la Exposición Internacional del Agua 2006, los días 8, 9 y 10 de noviembre de 2006. En las instalaciones totalmente nuevas del Centro de Convenciones Holiday Inn en la ciudad de Cuernavaca, Morelos, se efectuó éste ya tradicional evento bianual que agrupa “lo más actual en productos y servicios del agua”.

La inauguración corrió a cargo del Lic. Cristóbal Jaime Jáquez, Director General de la Comisión Nacional del Agua, contando con la distinguida presencia del ingeniero Benjamín Granados Domínguez, Subdirector de Construcción de la CFE, el doctor Felipe Arreguín Cortés, Subdirector Técnico de Conagua y, nuestro presidente, el Dr. Polioproto F. Martínez Austria, quienes hicieron el



recorrido inicial manifestando gran interés en todas la empresas participantes.



Con esta edición, quedó de manifiesto que la Exposición Internacional del Agua ha adquirido gran reconocimiento nacional por su alto nivel técnico y capacidad de convocatoria, originada principalmente por la participación de grandes especialistas, empresas y entidades que dan lustre y relevancia a nuestra organización.

La Exposición y el Congreso se celebraron totalmente integradas, ofreciendo la oportunidad de tener un contacto permanente entre congresistas y expositores, así como la posibilidad de contar con un espacio de presentación en las sesiones técnicas.

Así, se abrieron mesas técnicas de trabajo con el fin de conocer las innovaciones tecnológicas en el mercado, en las que se presentaron tópicos y productos de actualidad, a saber:

“Compuertas y rejillas autolimpiables para el control y pretratamiento de corrientes de agua”

Ing. Salvador Sánchez
AFRAMEX (Corporativo Industrial Bajío,
S.A. de C.V.)

“Equipos inalámbricos para automatización”

Ing. Salvador C. Buchanan Campos
Control Ingeniería y Medición, S.A. de C.V.
(COIMSA)

“Equipos acústicos para medición de velocidades en laboratorio, lagos y mares”

M. en C. Gerardo García Silva
NORTEK USA

“Pozos profundos y cálculo de equipos”

Ing. Arturo Carrillo López
Bombas Suárez, S.A. de C.V.

“Soluciones ambientales con el uso de gaviones”

Ing. Jorge Pérez Pérez
MACCAFERRI de México, S.A. de C.V.

“Tubería de acero con costura helicoidal para el transporte de agua, petróleo y gas”

Ing. José Luis Sánchez Lazcano
TUBESA

“La fortaleza de la tubería de concreto”

Dr. Víctor Hernández Rico
Asociación de Fabricantes de Tubería de
Concreto (ATCO)

“Financiamiento para el ahorro de energía eléctrica en sistemas de bombeo”

Ing. Esteban Torres Briones
Gerente de Servicios Municipales
Fideicomiso para el Ahorro de Energía
Eléctrica (FIDE)

Los bellos escenarios naturales de Cuernavaca y la integración total de nuestro congreso y exposición brindó una excelente oportunidad de poner en contacto las nuevas tecnologías existentes en el mercado con los profesionales del agua, decisores de todo el país. Empresas participantes nos hicieron manifiesta su satisfacción por el nivel de calidad tanto en organización como en convocatoria del evento, por lo que lo consideraron un espacio ideal de exhibición con resultados muy positivos de promoción para sus productos y servicios.

El interés despertado por nuestra exposición bianual superó todas las expectativas iniciales, por lo que agradecemos la confianza de aquellas empresas que privilegian la asistencia a nuestro foro de exhibición, aunque, por otra parte, debemos pedir disculpas a las firmas de productos y servicios que



manifestaron su interés en participar pero que no pudieron acompañarnos en esta edición por motivos de espacio. Gracias a todos por su presencia y colaboración; los esperamos nuevamente:

TUBESA, S.A. de C.V.

Hidónica, S.A. de C.V.

ANEAS de México, A.C.

Asociación Mexicana de Fabricantes de Tubería de Concreto, A.C.

I.T. Servicios Integrados, S.A. de C.V.

Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza

Instituto de Ingeniería de la UNAM

Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica

NORTEK USA

Corporativo Industrial Bajío, S.A. de C.V.

AFRAMEX

SUBMARELHER S. de R. L. de C.V.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

Comisión Nacional del Agua

BAL-ONDEO S. de R.L. de C.V.

Comisión del Agua del Estado de México

AMANCO México, S.A. de C.V.

SADMX Fabricación, S.A. de C.V.

Control Ingeniería y Medición,, S.A. de C.V.

Policonductos, S.A. de C.V.

Comisión Federal de Electricidad

Sistema de Aguas de la Ciudad de México

MACCAFERRI de México, S.A. de C.V.

Revista Teorema Ambiental (Intercambio)

CEAMA



Premio “Francisco Torre H. 2006”



* **Ganador del premio: Dr. Gustavo Paz Soldán C.**

El Jurado Calificador de la AMH, otorgó el PREMIO NACIONAL FRANCISCO TORRES H., 2006, a la práctica profesional de la Hidráulica, al Dr. Gustavo Adolfo Paz Soldán Córdova.

Dr. Gustavo Adolfo Paz Soldán Córdova, Ingeniero Civil, egresado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (1973-1976). Con Maestría y Doctorado (Ingeniería Hidráulica) en la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Diploma de Aprovechamiento, por haberse distinguido entre los tres primeros lugares de Ingeniero Civil, Medalla Gabino Barrera por haber obtenido el más alto promedio de calificación en el Doctorado. Estudios posdoctorales: Sistemas de agua de circulación en la Universidad de Colorado, Transitorios hidráulicos en conductos a presión en la Universidad de Michigan. Diplomado en Planeación Financiera de la UNAM. Miembro Emérito del Colegio de Ingenieros Civiles de México. Premio Nacional Francisco Torres H. 2006 a la práctica profesional de la Hidráulica. Perito Profesional en Ingeniería Hidráulica. Medalla y Diploma al Mérito Universitario de la UNAM.

De 1975 a 1991 en la Comisión Federal de Electricidad trabajó en los estudios y diseños en la hidráulica de las Centrales Generadoras de Electricidad, ocupando los cargos de Jefe de Grupo, Supervisor y Jefe de Disciplina. De 1991 a 1996, fue Director General de tres empresas privadas, con proyectos principales dedicados al manejo de agua potable, alcantarillado, saneamiento, residuos sólidos y ambientales, así como concesiones de servicios relacionados y Centrales Hidroeléctricas.

Desde 1996 hasta febrero de 2005 laboró en la Comisión Nacional del Agua, en la que durante seis años fue Gerente de Estudios, desarrollando, como labor principal, los estudios relacionados con los Proyectos de Infraestructura Hidráulica del País. De enero a junio de 2002, fue Gerente Regional de Aguas del Valle de México, entre las funciones principales se encontraban la operación del Sistema Hidrológico y los Sistemas de Abastecimiento de la Ciudad.

A partir de julio de 2002 y hasta febrero de 2005, asumió el cargo de Coordinador General de los Proyectos de Abastecimiento de Agua Potable y Saneamiento del Valle de México del Fideicomiso 1928, con funciones de dirigir y coordinar, técnica y administrativamente las actividades de organización, planeación, programación y presupuestación. Atender licitaciones de estudios, proyectos, construcción,

control, aspectos sociales y ambientales de las obras y servicios relacionados.

Asesor en el tema Agua, de la Coordinación de Políticas Públicas del Equipo de Transición del Presidente Felipe Calderón.

Actualmente, es asesor en la Coordinación de Proyectos Hidroeléctricos de la Comisión Federal de Electricidad y Coordinador adjunto de la Maestría por Internet en Hidráulica de la Facultad de Ingeniería de la UNAM y Consultor de la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

En el ámbito de la docencia ha participado como profesor en la División de Estudios de Posgrado desde 1982 a la fecha, impartiendo diversas cátedras en la maestría y en el doctorado. Así como también en otras instituciones como la División de Educación Continua, de la F. I. de la UNAM, el Colegio de Ingenieros Civiles de México y profesor de Diplomado en el ITAM.

Realización de investigaciones aplicadas desde los centros de trabajo, presentando treinta ponencias en congresos nacionales e internacionales, diversos artículos en revistas, coautor y editor de siete libros. Premio a la mejor ponencia en el X Congreso Nacional de Hidráulica, ha sido invitado a dictar más de cincuenta conferencias.

Miembro y participante de Consejos Directivos de diferentes asociaciones; Colegio de Ingenieros Civiles de México (nombrado Miembro Emérito desde 2002 y Vocal del Comité de Evaluación de Peritos en Ingeniería Hidráulica), Grupo Internacional de Trabajo sobre Transitorios Hidráulicos de la Asociación Internacional de Investigaciones Hidráulicas (IAHR), Sociedad Mundial del Futuro, Nodo Mexicano del Proyecto del Millenium de la Universidad de las Naciones Unidas (Presidente del Tema del Agua), Asociación Mexicana de Hidráulica (Presidente del XXVI Consejo Directivo), Tesorero de la XIV Comisión Ejecutiva de la Unión de Asociaciones de Ingenieros (UMAI), Consejero de la Fundación Javier Barros Sierra y Académico Titular de la Academia de Ingeniería.



Conferencia “Francisco Torre H. 2006”

El Valor Económico del agua

Una propuesta de solución

1. Situación del agua en México y el mundo

La tierra se conoce como el planeta azul, ya que la mayoría de su superficie está cubierta de agua. Se estima que la hidrósfera cuenta con 1,386 km³ de agua, de los cuales el 97.5 % es salada y se encuentra en los océanos; 34.65 km³, que representan el 2.5% restante, es agua dulce, de los cuales el 69% se encuentra congelada permanentemente.

Solamente 100,000 km³ del agua dulce del mundo, que representa el 0.3% del total, se encuentra en los lagos, ríos y embalses para formar el ciclo hidrológico. De este volumen, el 67.4% está en los lagos, el 9.5% en la atmósfera, el 1.6% en los ríos, en la humedad del suelo el 12.2%, en las plantas y animales el 0.8% y el 8.5% restante en otras tierras húmedas.

La gran problemática del agua en el mundo y que golpea más fuertemente a muchos países, entre ellos a México, se debe a la irregular distribución del agua, tanto en el tiempo, como en el espacio.

El 60% de la población mundial habita en Asia, donde se encuentra el 36% de la disponibilidad mundial del agua, mientras que en Oceanía se encuentra el 6% de la disponibilidad mundial y el 1% de la población mundial. En América del Sur se tiene una disponibilidad anual de 67,700 m³ por habitante, mientras que en Norteamérica es de 29,300 m³, que contrasta con México, con una disponibilidad anual de 4,500 m³/hab. En la Figura 1, se presentan la disponibilidad del agua y la distribución de la población en el mundo.

Esta irregular distribución de los recursos hídricos y de la población en el mundo se acentúa más a nivel de cada país, de tal forma que en Canadá se tienen anualmente 91,600 m³/hab, mientras que en Egipto solamente 100 m³/hab.

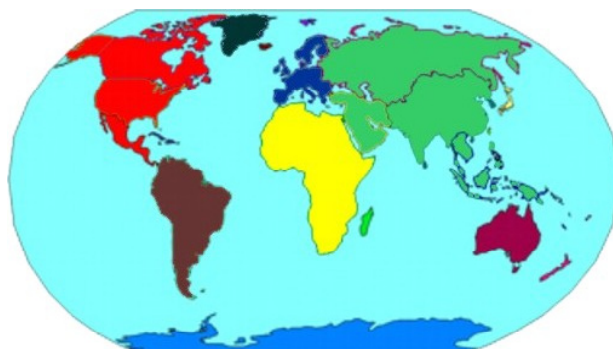


Figura 1. Distribución del agua y la población en el mundo

En México, Figura 2, se aprecia la división que la distribución de la disponibilidad del agua ha hecho del país, en donde en el sureste se cuenta con 13,290 m³/hab, se concentra el 23% de la población y se genera el 15% del PIB, mientras que en el resto del país, la disponibilidad anual per capita es de 1,835 m³.

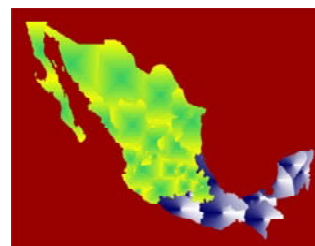


Figura 2. Distribución del agua en México

Además de la irregular distribución geográfica, la lluvia se distribuye irregularmente en el tiempo. En México en promedio llueven 774 mm al año, de los cuáles el 67% ocurre en cuatro meses del año, Figura 3.

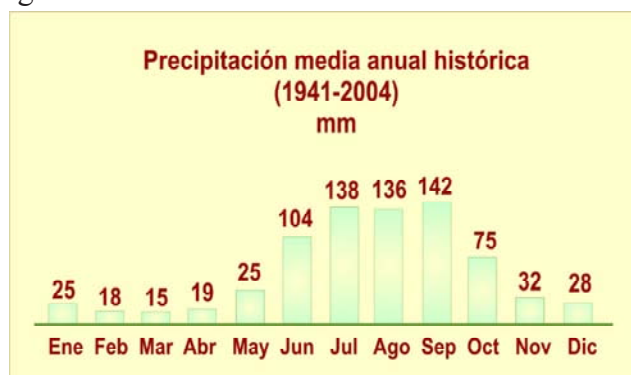


Figura 3. Precipitación media en México

El ciclo hidrológico en México presenta un volumen anual de 1,513 km³ de agua sobre el territorio nacional producto de la precipitación, del cual regresa el 75% a la atmósfera como evapotranspiración, es decir 1,135 km³, del resto, 349 km³ escurren y se almacenan en presas y depresiones y 78 km³, se infiltran para recargar los acuíferos. Resultando entonces una disponibilidad natural total media de 475 km³ al año.

Desde luego que esta disponibilidad tiene variaciones anuales y si se quiere obtener la disponibilidad per capita, basta dividir la disponibilidad del año en cuestión entre la población correspondiente. Como una aproximación se ha hecho el ejercicio considerando el valor medio de 475 km³ anuales entre la población que se tenía en México desde 1895 y con los pronósticos de CONAPO hasta el 2030. En la figura 4, se observa como debido al crecimiento del país la disponibilidad por habitante ha disminuido de 38,000 m³/hab a 4,543 m³/hab en el 2005 y se estima será de 3,734 m³/hab en el 2030. Se piensa que México se estabilizará después del 2030 en alrededor de 130 millones de habitantes, lo que

significa que la disponibilidad media del país será de 3,650 m³/hab. Lo cual aunque no es abundante pudiera ser suficiente si se toman las acciones y se construye la infraestructura necesaria para contrarrestar los efectos de la irregularidad en la distribución espacial y temporal del recurso, así como de la distribución de la población.

De los 100,000 km³ de agua disponible anualmente en el mundo, se estima que el hombre extrae 8,000 km³ para todos sus usos. Con lo que resulta, al considerar que actualmente habitan el planeta 6,400 millones de personas, en una disponibilidad mundial de 15,625 m³/hab y un uso anual de 1,250 m³/hab. Si se considera una disponibilidad media anual de 5,000 m³/hab, entonces el agua disponible alcanzaría para una población de 20,000 millones de habitantes. Desde luego que esta aritmética simple se complica por la irregularidad en que naturalmente se distribuye el recurso y la población, así como que en estos últimos años además está presentándose variaciones más severas en el ciclo hidrológico por el Cambio Climático, que de no controlarse complicaría mucho más nuestro futuro.

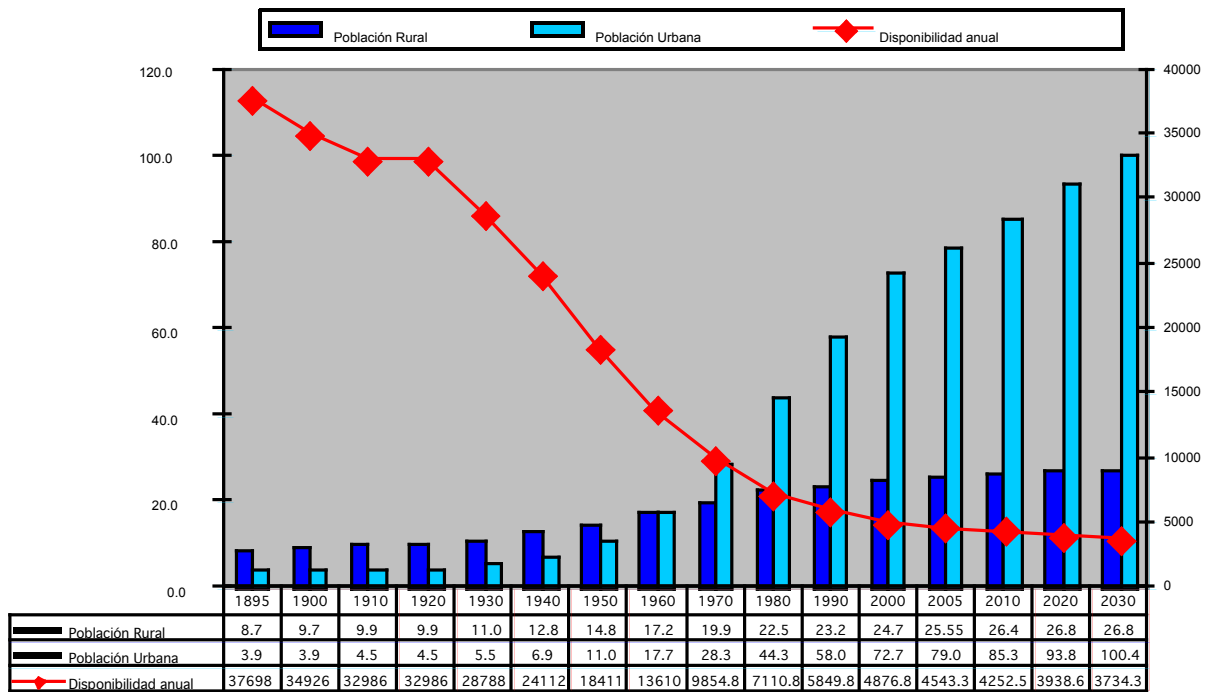


Figura 4. Variación de la disponibilidad en México

Del llamado uso consuntivo o uso fuera del cuerpo de agua, la agricultura es el mayor usuario en el mundo, ya que extrae anualmente el 70% del agua utilizada, seguida por el uso industrial con el 21%, mientras que el 9% restante es empleado para el uso doméstico, figura 5.

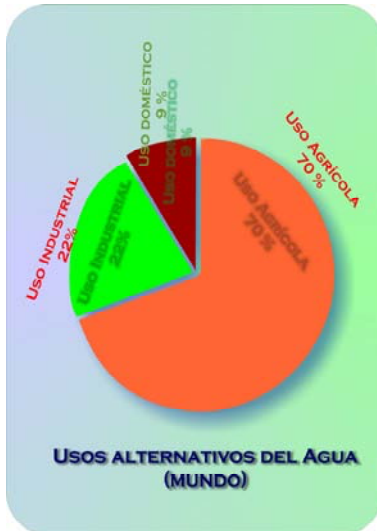


Figura 5. Usos Consuntivos del agua en el mundo

En México se utilizaron 76.5 km³ en el año 2005 (valores considerados por las concesiones de CNA), de los cuales 48.8 km³ fueron de aguas superficiales y 27.7 km³ de aguas subterráneas, de ellos el uso agrícola empleó 58.7 km³ (76.8%), el abastecimiento público utilizó 10.7 km³ (14%) y la industria autoabastecida 9.3 km³ (9.3%).

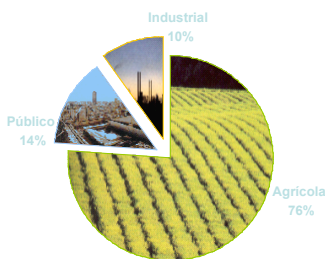


Figura 6. Usos del agua en México

La generación hidroeléctrica, considerado un uso no consuntivo o uso dentro del cuerpo de agua tiene concesionados 158.5 km³ para su uso anual.

Uso del agua en la agricultura.

En el siglo pasado la población mundial se duplicó, sin embargo, la producción de alimentos

solo aumentó el 25% per capita, lo que significó que no siguieran la misma tendencia de crecimiento la población y la productividad.

El riego requiere 3,000 litros diarios por habitante para la alimentación mundial, que equivalen a 19.2 km³ por día y que representan 7,000 km³ anuales, cantidad que es más del 70% de la extracción de agua mundial. México extrae para uso agrícola el 1% de este consumo mundial.

Desde hace varios años que México ocupa el 6º lugar mundial por su infraestructura de riego, que consiste en 84 Distritos de Riego en 3.5 millones de hectáreas, casi 40,000 Unidades de Riego en 2.9 millones de hectáreas y 23 Distritos de Temporal Tecnificado en 2.8 millones de hectáreas. Sin embargo, la principal problemática del agua empleada en la agricultura está representada por las grandes pérdidas de más del 50% en su aplicación, por el no reconocimiento del valor económico del agua, expresado al no pagar derechos por el uso de las aguas nacionales, además de la contaminación de los cuerpos receptores al drenar sus aguas contaminadas por químicos empleados como fertilizantes, que ocasionan la llamada contaminación difusa, que resulta difícil de controlar.

El agua en la industria.

En los países de Asia y el Pacífico la participación que tiene la industria en el PIB, es de casi el 50%, mientras que en los países ricos que han estabilizado su crecimiento es del 29% y del 26% en los países pobres endeudados. El uso del agua en la industria se refleja en su productividad. Anualmente a nivel mundial se estiman consumos de 1,760 km³.

En México el 10% del agua extraída, es para usos industriales, de los cuales el 23% son aguas subterráneas y el 77% son superficiales. Este uso representa una problemática muy grave para el país, por la gran contaminación que provoca la descarga de aguas residuales industriales sin ningún tratamiento, ya que se estima que únicamente el 10.5% de las aguas residuales industriales reciben tratamiento, además de ser escasa la reutilización de las aguas residuales tratadas, con las que se tendría un uso eficiente del recurso y desde luego la sustentabilidad.

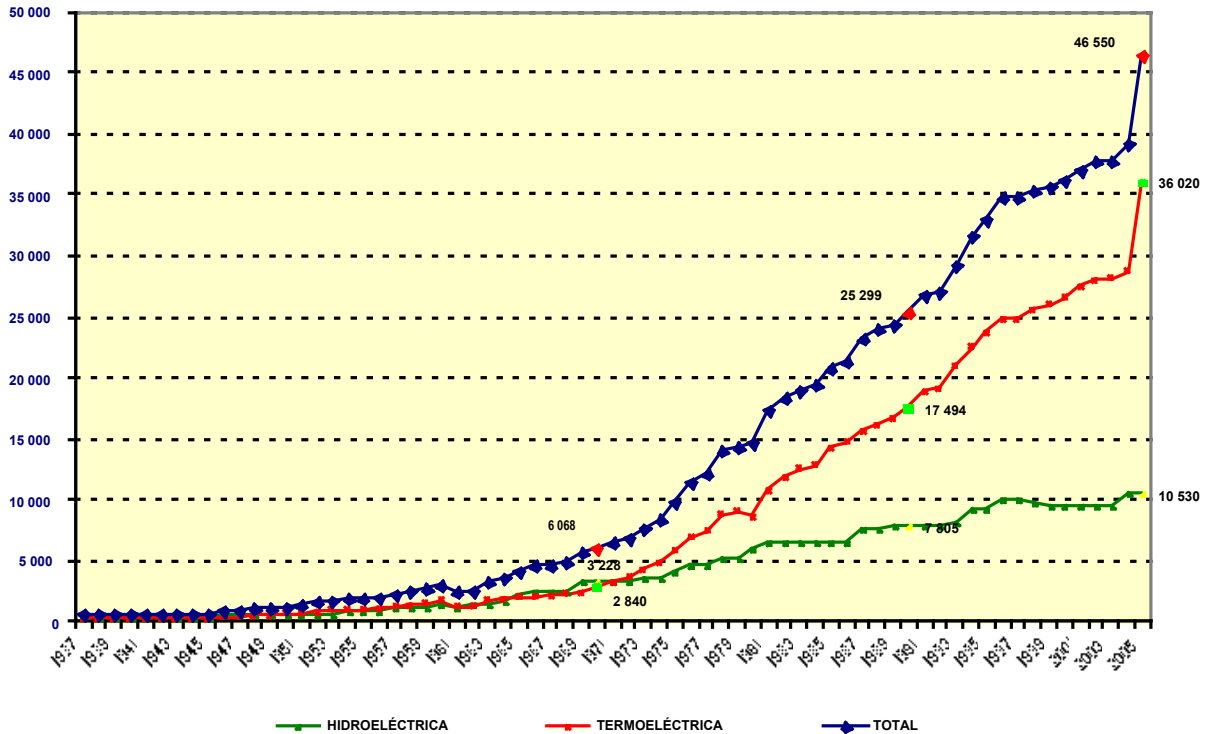


Figura 7. Generación de electricidad en México

Agua y energía.

El binomio agua y energía representa una estrecha relación de la generación de electricidad con la energía potencial del agua en las hidroeléctricas y el uso cada vez más eficiente del agua en las centrales termoeléctricas, especialmente el agua utilizada en los sistemas de enfriamiento.

La electricidad en México es generada mayoritariamente por centrales termoeléctricas, figura 7, las cuales han participado con la sustentabilidad del agua, al reutilizar las aguas negras tratadas y reducir significativamente los consumos que requieren para todos sus usos, figura 8.

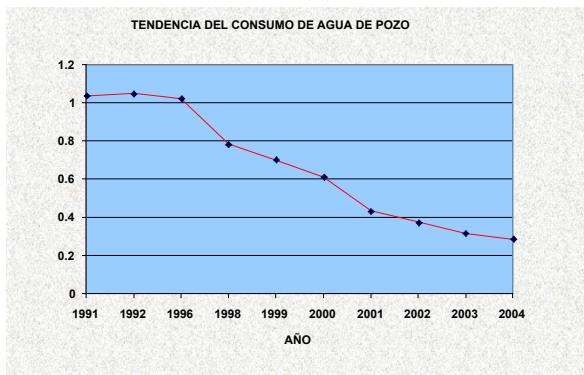


Figura 8. Consumo de agua en centrales termoeléctricas

El potencial hidroeléctrico se encuentra subutilizado en países en vías de desarrollo, especialmente en México solamente se ha aprovechado el 20% de su potencial, mientras que países que ya han aprovechado su potencial están ejerciendo presión para que no se construyan presas, obstaculizando el desarrollo de las centrales hidroeléctricas, dificultando el crecimiento sustentable del agua y la energía a los países en vías de desarrollo.

En el año 2003, la capacidad instalada en grandes centrales hidroeléctricas en el mundo era de 674 GW, de los cuales correspondían 303 GW a países en vías de desarrollo, además, solamente el 25% de las grandes presas cuentan con una central hidroeléctrica.

Así como el agua es necesaria para generar electricidad, la energía es indispensable para el suministro del agua en todos sus usos. En la agricultura el 33% del agua utilizada proviene de fuentes subterráneas, que requieren para su extracción de equipos de bombeo, que consumen energía para su operación. En la industria, resulta indispensable el agua para sus procesos y la energía para moverla.

De gran impacto e imprescindible en el suministro de agua para consumo humano, en los servicios de agua que brindan los municipios, el costo de la energía representa un componente muy fuerte dentro de los costos totales de operación, como se puede observar en la figura 9. En promedio el costo de la energía representa el 25% del costo total de la operación de un organismo operador.

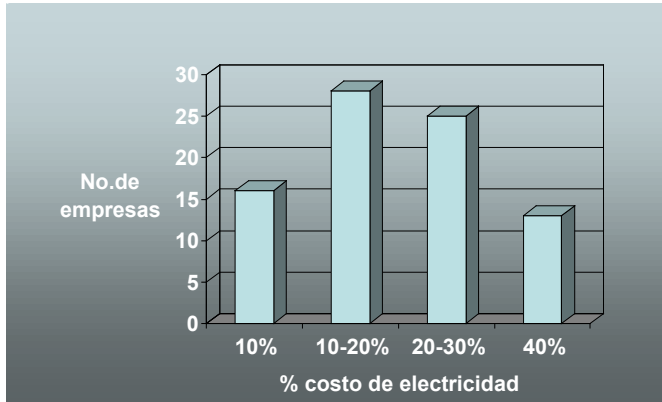


Figura 9. Costos de la energía de suministro de agua doméstica

Agua potable, alcantarillado y saneamiento.

Los servicios de agua potable y saneamiento representan muchas presiones para el crecimiento. Existen fuertes rezagos en el saneamiento, se estima que el 49% de las aguas residuales son tratadas en países en vías de desarrollo, contrastando con el 98%

del tratamiento de las aguas residuales en países del mundo desarrollado. Para México es desastroso el rezago en saneamiento, ya que solo se trata el 36% de las aguas residuales, además de que en las zonas rurales las coberturas de agua potable y drenaje son tan solo del 73% y 59% respectivamente. Lo cual implica la contaminación de los cuerpos receptores, una baja reutilización de las aguas residuales tratadas, aunado a las grandes pérdidas de agua en las redes de suministro, estimadas en más del 40%. Otra gran problemática se presenta en los organismos prestadores de los servicios de agua potable y saneamiento, siendo común y causante de la mala situación de la mayoría de los organismos operadores, su mala situación financiera causada principalmente por bajas tarifas, mala cobranza y especialmente el uso ineficiente del agua.

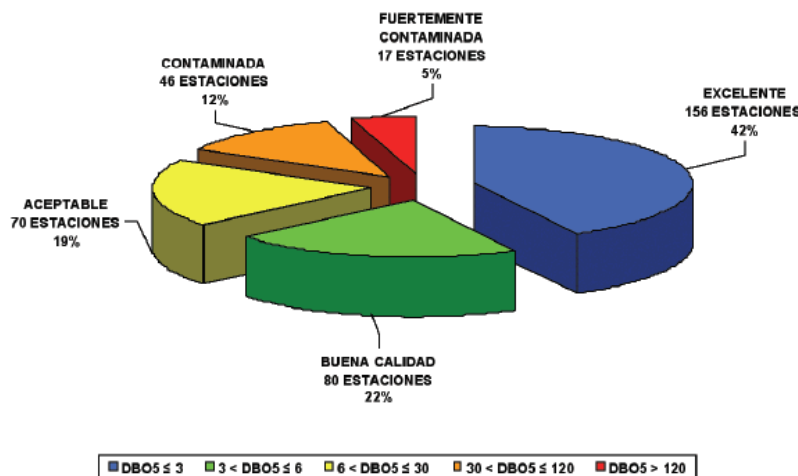
Toda esta problemática se ha referido a la cantidad del agua y los problemas que enfrentan los diversos sectores usuarios por la demanda creciente del recurso, relacionada con su uso ineficiente, sin embargo los problemas por la cantidad se ven agravados cuando se conjuntan con su calidad.

A nivel mundial se estima que se descargan al año alrededor de 1,500 km³ de aguas residuales sin tratamiento. Con este valor y al considerar que un litro de agua residual contamina ocho litros de agua

limpia, la carga mundial de contaminantes sería de 12,000 km³ anual.

México cuenta con una red de monitoreo de la calidad de las aguas superficiales, que maneja la CNA, a partir de la cual se estima que el 5% de las aguas superficiales del país tienen un nivel de contaminación considerable y el 65% del total se considera libre de contaminación, Figura 10.

Porcentaje de estaciones de monitoreo en cuerpos de agua superficial de la República Mexicana, clasificadas de acuerdo a cada categoría de DBO₅ (datos del año 2005)



Fuente: Subdirección General Técnica, CONAGUA.

Figura 10. Contaminación de las aguas superficiales

Un gran reto es evitar que aumenten los niveles de contaminación y reducir hasta eliminar totalmente la contaminación de todas las aguas del país.

Contaminantes generados por centros urbanos

Aguas residuales	8.04 km ³	2.17 mill. de toneladas de DBO5
Se colectan en alcantarillado	6.41 km ³	1.73 mill. de toneladas de DBO5
Se remueven en PTAR		0.51 mill. de toneladas de DBO5

PTAR: Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales; DBO5: Demanda Bioquímica de Oxígeno, se usa como indicador para medir la calidad del agua. Fuente CNA 2005.

Contaminantes generados por industrias

Aguas residuales	8.14 km ³	9.5 mill. de toneladas de DBO5
Se remueven en PTAR		1.01 mill. de toneladas de DBO5

Fuente: Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua, SGT, CNA.

Tabla 1. Descargas de aguas residuales

En la tabla 1, se puede observar que de los 8 km³ que se descargan anualmente de aguas residuales en México, únicamente se le da tratamiento a 0.51 millones de toneladas de carga contaminante, expresada en términos de DBO5, es decir que solo se remueve la cuarta parte de la contaminación que se está generando por la descarga de las aguas municipales. Resulta aún más grave la contaminación causada por las industrias, ya que aunque el volumen descargado por la industria es del mismo orden del de las aguas municipales, la carga contaminante es cuatro veces mayor y la carga contaminante que se remueve de las aguas industriales es nueve veces menor que la generada.

2. Crisis del agua

Por todo lo anterior la ONU considera que existe una grave crisis del agua en el mundo, como lo reporta en su informe sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo, presentado en dos reportes; el primero en el año 2003 y el más reciente en el 2006, que se presentó en la ciudad de México durante el

IV Foro Mundial del Agua. En estos reportes la ONU menciona que se tiene ya una grave crisis del agua, causada por una severa crisis en la gestión de los recursos hídricos, que tiene su efecto en la vida cotidiana de las poblaciones pobres, especialmente sobre el entorno natural, que la cantidad de agua es escasa, tanto a nivel local, como regional y que los recursos de agua dulce se ven reducidos por la contaminación, así como también recientemente por el cambio climático que está provocando una mayor irregularidad de la distribución espacial y temporal del agua. Por todo esto, la ONU considera que existe una crisis del agua.

Para encontrar cuales son las causas de esta crisis del agua, es necesario analizar varios fenómenos, como los hidrometeorológicos extremos que provocan inundaciones y sequías que agravan más la irregular distribución natural del recurso, tanto en el tiempo, como en el espacio y que con la ayuda de la infraestructura hidráulica y la gestión hídrica podrían combatirse.

En México, esta crisis del agua se observa en una problemática en dos vertientes: Por una parte, en la oferta de las aguas superficiales, afectada su calidad por la contaminación, la sobreconcesión de volúmenes de agua y la falta de infraestructura para captar, almacenar, regular, distribuir, recolectar, tratar, reutilizar y disponer del agua y en el caso de las aguas subterráneas, debido a la sobreexplotación y la degradación de su calidad causada por la misma sobreexplotación y la contaminación. Esta grave problemática de la oferta de agua en el país, se combina con la otra vertiente representada por la problemática de la demanda del recurso, originada por un uso ineficiente del agua, en todos sus usuarios, con pérdidas en el riego del orden del 54% y del 44% en las ciudades, baja reutilización de las aguas tratadas, que al combinarse con las grandes pérdidas y desperdicios da como resultado un uso ineficiente. Las coberturas de los servicios en zonas rurales, también forma parte de esta problemática y representa una de las grandes presiones y retos a vencer, así como el gran rezago en el tratamiento de las aguas, que únicamente cuenta con el 36% del tratamiento de las aguas residuales municipales recolectadas y el 10.5% de las aguas residuales industriales.

3. Escenarios al 2030. Es posible la sustentabilidad.

La solución a un problema de muchos años no es sencilla, ni puede ser rápida, además que debe contemplarse con una visión de largo plazo, por ello en el Programa Nacional Hidráulico 2001-2006, con base a la situación existente en el año 2000, se plantearon varios escenarios, enmarcados por dos extremos. En uno de ellos se plantea la situación que sucedería de continuar con las tendencias de inversión en el sector, que ha sido del orden de los 14,000 millones de pesos anuales, lo que seguramente conduciría a continuar con el uso ineficiente del recurso y el rezago en la cobertura de los servicios, la necesidad de una mayor extracción de agua. Mientras que con base en la reducción de pérdidas es posible lograr la sustentabilidad del agua a largo plazo, para lograr este escenario los recursos destinados al sector se tendrían que duplicar, Tabla 2.

A seis años del planteamiento de estos escenarios, en la tabla 2 se puede apreciar la situación prevaleciente en el año 2005, la población creció según lo pronosticado, las coberturas de agua potable y alcantarillado han tenido un crecimiento siguiendo al escenario sustentable, pero con un estancamiento en la reducción de las pérdidas, tanto en la agricultura, como en las ciudades. La cobertura de las aguas tratadas marca un crecimiento parecido al establecido en el escenario sustentable y según datos recientes de la CNA, se terminará el año 2006 con una cobertura del 36%.

La definición del horizonte de planeación o el año de la visión del futuro resulta ser muchas veces subjetivo o para definir alguna meta política. En el caso de México el Consejo Nacional de Población (CONAPO), ha realizado varias proyecciones del crecimiento del país, estimando que para el año 2030 se estabilizará la población en alrededor de los 130 millones de habitantes. Con lo cual las presiones sobre el crecimiento de los servicios disminuirían y por ende resulta claro fijar este horizonte a considerar

en la visión o metas a alcanzar en la generación de escenarios para buscar la sustentabilidad de México al año 2030.

ESCENARIOS AL 2025

Parámetro	TENDENCIAL			SUSTENTABLE		
	2000	2005	2025	2005	2025	2005
Hectáreas modernizadas	0.8 mill.	0.86 mill.	1.1 mill.	1.8 mill.	5.8 mill.	1.2 mill.
Nuevas hectáreas con riego	-	100 mil	490 mil	250 mil	1 mill.	50 mil
Pérdidas en riego	54%	53%	51%	51%	37%	53.8%
Pérdidas en uso público urbano	44%	44%	44%	40%	24%	44%
Cobertura de agua potable	88%	88%	88%	90%	97%	89.2%
Cobertura de alcantarillado	76%	76%	76%	80%	97%	85.6%
Aguas residuales tratadas	23%	30%	60%	36%	90%	34%
Volumen de agua utilizada (miles de millones de m ³)	72*79	75*/81	85*/91	73*79	75*/80	75.4
Población (mill. de hab.)	97.5	104	124	104	124	104
Inversión anual del sector (miles de millones de pesos)	14	16	16	30	30	23.5

Tabla 2. Escenarios al 2025

Resulta entonces importante replantear los escenarios del futuro del agua al 2030, Tabla 3, para lo cual, la voluntad de todos los sectores por reducir las grandes pérdidas y desperdicios, así como la política propuesta por el nuevo gobierno federal de combatir fuertemente en este sexenio los dos grandes rezagos del sector, que impactan fuertemente en el desarrollo del país y en el combate a la pobreza, por un lado se buscará alcanzar una cobertura del 100% de las aguas residuales municipales recolectadas para el año 2012 y por otra parte se buscará reducir el rezago que existe en los servicios de agua potable y alcantarillado en las zonas rurales, de tal forma que al final de este sexenio, la gran mayoría de las poblaciones marginadas cuenten con estos servicios.

ESCENARIOS AL 2030

Parámetro	SUSTENTABLE			
	2000	2005	2012	2030
Hectáreas modernizadas	0.8 mill.	1.2 mill.	1.8 mill.	5.8 mill.
Nuevas hectáreas con riego	-	50 mil	250 mil	1 mill.
Pérdidas en riego	54%	53.8%	45%	37%
Pérdidas en uso público urbano	44%	44%	40%	24%
Cobertura de agua potable	88%	89.2%	94.6%	100%
Cobertura de alcantarillado	76%	85.6%	91.5%	100%
Aguas residuales tratadas	23%	34%	100%	100%
Volumen de agua utilizada (miles de millones de m ³)	79	75.4	79	80
Población (mill. de hab.)	97.5	104	113.5	130
Inversión anual del sector (miles de millones de pesos)	14	23.5	35	35

Tabla 3. Escenarios al 2030

Para conseguir las metas planteadas es indispensable lograr el uso eficiente del agua, así como el fortalecimiento de las instituciones y organismos encargados de prestar estos servicios. Es por ello que debe reconocerse por todos; gobierno y sociedad, que el agua es un bien económico, social y estratégico y que lo ideal para llegar al uso sustentable del recurso es que el precio, el costo y el valor del agua sean iguales, lo que se puede lograr con una política de tarifas en las cuales el uso eficiente y su empleo sean los que rijan el pago de los servicios.

4. Valor, costo y precio del agua. Necesarios para lograr la sustentabilidad

El costo, valor y precio son diferentes según el tipo de uso que se le de al agua, así el agua le da productividad a la industria y dependiendo de ésta asume su valor y por ende la disponibilidad a su pago.



Figura 11. Costo Total del Uso del Agua

En la figura 11, se presenta la integración del Costo Total, el cual es el resultado de sumar al Costo Económico Total el Costo de las Externalidades Ambientales, que resultan de resarcir el daño que se produciría al ambiente, al considerar esta suma entonces el costo total sería igual al valor sustentable del agua.

VALOR DEL USO DEL AGUA

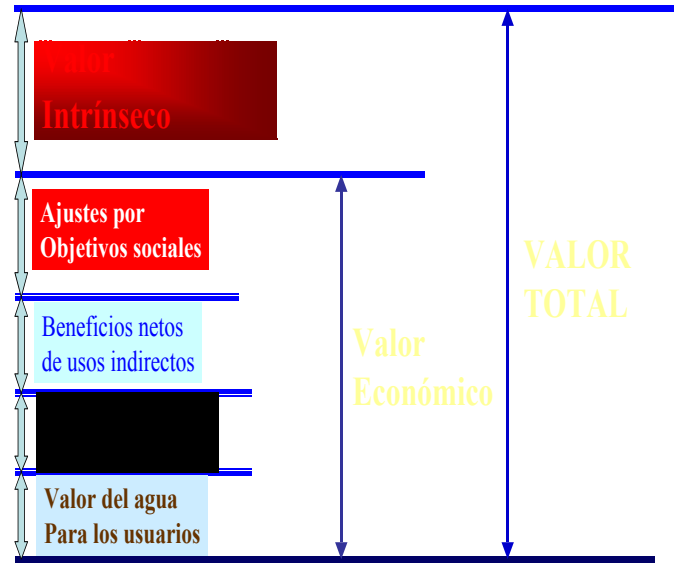


Figura 12. Valor del Uso del Agua

En la figura 12, se define el valor del uso del agua, en donde su valor total será igual a su valor económico más el valor intrínseco o inherente por estar donde está.

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos establece que el agua es un bien de la nación y que ésta puede concesionar su uso, para lo cual hay que pagar los Derechos de Uso, que representan los costos de la administración del agua. El valor de estos derechos dependerán de la disponibilidad del recurso, es decir, en donde las aguas son abundantes este derecho será menor que donde el vital recurso es escaso, Tabla 4.

La productividad que el agua le da a la industria se ha reflejado en el establecimiento de sus derechos, ya que es el usuario que paga los mayores valores, hasta \$14.67 por m³, mientras que los grandes municipios que tienen grandes pérdidas del líquido y por consiguiente emplean dotaciones altas, tienen establecido un derecho máximo de \$0.58 por m³. La generación de energía que utiliza la energía potencial del agua y no la consume, debe pagar un derecho de tres pesos por cada 1000 m³ que turbina.



Costo del Agua

Derechos de uso de agua 2006

Zona de disponibilidad	Industrial*	Municipal**		Generación de energía**	Acuicultura*	recreativos Centros
		Si consumo per cápita <300 l/h/d	Si consumo per cápita >300l/h/d, el volumen excedente se cobra con			
1	14,6697	290,61	581,22	3,0837	2,3953	8,3442
2	11,7353					
3	9,7793					
4	8,0681					
5	6,3564					
6	5,7448					
7	4,3240	135,33	270,66		1,1796	4,1109
8	1,5363	67,58	135,17		0,5447	1,9353
9	1,1513	33,64	67,30		0,2634	0,9202

* Por m³ ** Por mil m³

Tabla 4. Derechos de Uso del agua para 2006

Desde el punto de vista económico y como se ha reflejado en los derechos, la disponibilidad de pago mayor, se tiene en la industria seguida por otros usos como los municipales para el consumo humano y finalmente la agricultura.

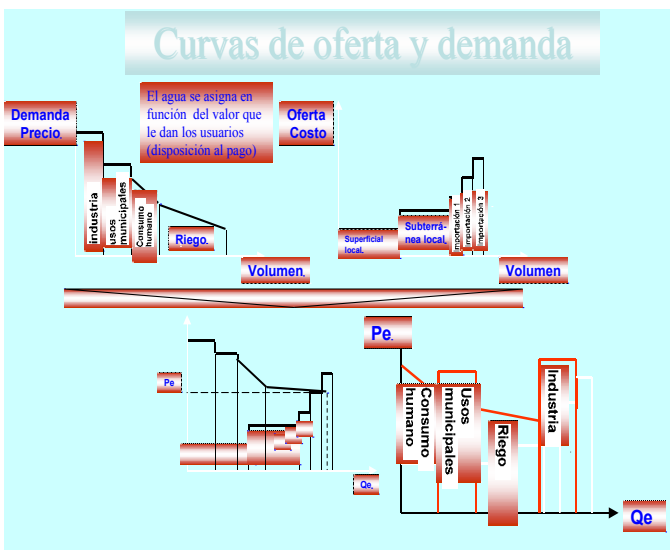


Figura 13. Curvas de oferta y demanda del agua

Si se considerara al agua exclusivamente como un bien económico, indiscutiblemente que los costos de suministro serán menores cuando las fuentes de abastecimiento sean las locales y estos costos se incrementarán en cuanto las fuentes sean cada vez más lejanas. En la figura 13 se presentan las curvas de oferta y demanda de los diversos usos del agua. Si se juntan las curvas de oferta y demanda, como se puede observar en la figura, económicamente convendría

suministrar agua al usuario que la paga más alta y por consiguiente se tendría un mayor ingreso o mayor utilidad y finalmente se vendería al que tiene menor disponibilidad o que la paga a menor precio y si no alcanzara el líquido disponible, entonces no se vendería al que no cubre el costo del suministro, ya que si esto fuera un negocio, quebraría.

Pero como el agua además de ser un bien económico es un bien social y al tomar en cuenta la prioridad que le ha dado la sociedad, el consumo humano siempre tendrá prioridad sobre cualquier uso y por lo tanto se tendrá que dar el servicio a cualquier costo, lo que significa que no se debe de pagar. De esta forma, en la misma figura 13, se puede observar que al cambiar el orden de la curva de demanda, y al juntarla con la curva de oferta, los márgenes de utilidad o diferencias de ingresos menos egresos se pueden hacer muy pequeños y lo que ocurre realmente es que existe un déficit en las finanzas del agua.

Para la estimación de los costos, basados en la definición de costo total, la propuesta que se analiza para la determinación de las tarifas que tiene que cobrar un suministrador de servicios, consiste en manejar el costo correspondiente a la fuente marginal, es decir la más alejada o la siguiente que se utilizará para poder suministrar el recurso, de tal forma que las tarifas queden determinadas por el costo del agua de esta nueva fuente, para garantizar contar con los recursos financieros y así poder construir las obras requeridas, de tal forma de asegurar el suministro futuro del agua.

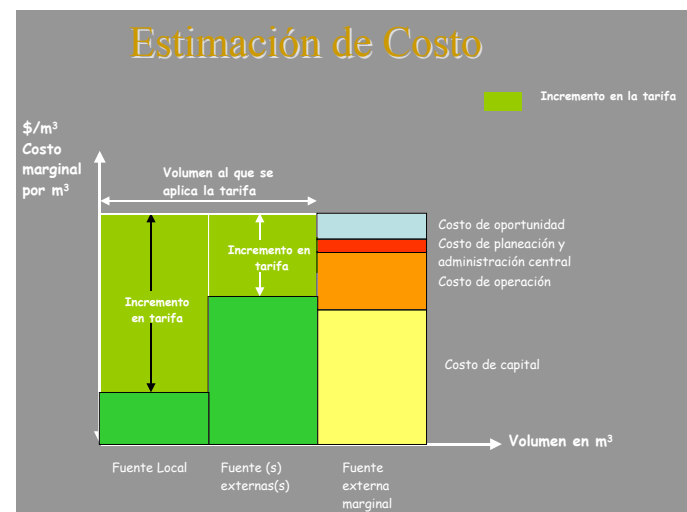


Figura 14. Estimación del costo marginal

En la figura 14 se esquematiza la estimación de los costos marginales y como deberían de fijarse las tarifas del servicio de agua según este criterio.

Sin embargo, resulta muchas veces difícil la estimación del costo de las nuevas obras, puesto que no se tiene la información adecuada, ni suficiente, en la figura 15 se presenta la variación de la incertidumbre o precisión de la estimación de los costos de construcción de un proyecto de infraestructura hidráulica. En cuanto más estudiado está un proyecto, más precisa será la estimación de sus costos. De esta forma se pueden encontrar los llamados costos de suministro o de capital, así como los de operación. De tal manera que al tener una obra en operación, ya se conoce cual fue su costo de construcción y cuanto está costando su operación.

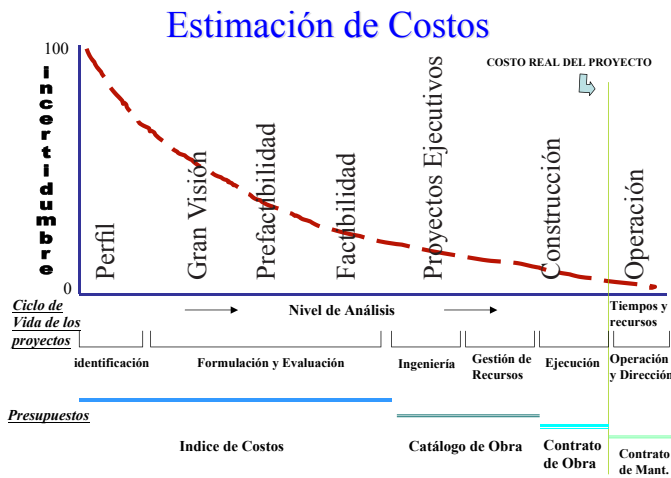


Figura 15. Estimación de Costos de Inversión

En la figura 16 se esquematiza como ejemplo el cálculo del costo del m³ por la inversión del Sistema Cutzamala, que representa una de las fuentes externas de abastecimiento para la zona metropolitana del Valle de México. A precios de diciembre del 2000, Cutzamala costo 2,312 millones de dólares, diseñada para un gasto de 24 m³/s, en cuatro etapas, aunque la cuarta etapa quedó suspendida, el sistema tendría la capacidad del tratamiento y manejo del total del gasto. Considerando la amortización y suponiendo que esta inversión era para los 24 m³/s, resultaría un costo de \$2.94 pesos por m³, suministrado por Cutzamala en el año 2000, costo exclusivamente de la inversión o del capital.

Costos de Inversión de Cutzamala

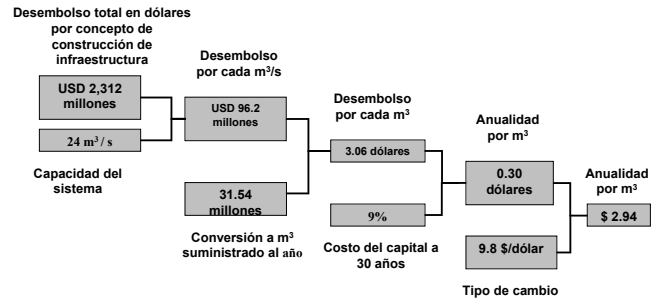


Figura 16. Costos de inversión de Cutzamala

En la figura 17 se presenta la estimación del costo unitario de operación de Cutzamala, al dividir el costo total anual de la operación entre el volumen producido en el año, resultando de \$1.59 por m³.

Costos operativos de Cutzamala

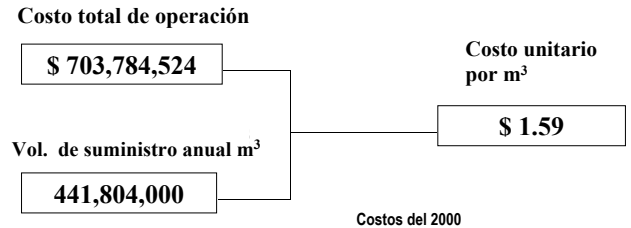


Figura 17. Costos operativos de Cutzamala

Siguiendo el ejemplo del costo de las fuentes de suministro de agua de la zona metropolitana del Valle de México, la fuente local, en este caso la recarga de los acuíferos, que debe ser con la primera que se inicia el suministro de una ciudad y generalmente corresponde al menor costo. En la figura 18 se esquematizan los costos de las fuentes de suministro de agua a la ciudad de México.

Sin embargo, en este caso no se ha querido estimar el verdadero costo total del agua proveniente de los acuíferos sobreexplotados, ya que las externalidades económicas y ambientales que se han causado muchos las consideran invaluable, pero si cuando se tomó la decisión de sobreexplotar el acuífero del Valle de México se hubiese considerado el costo total, tomando en cuenta el costo de todas las externalidades, tanto económicas, como ambientales, que consideren los efectos de la sobreexplotación, especialmente por el aceleramiento del hundimiento



de la ciudad de México y sus efectos, de tal forma de evaluar los costos provocados, tales como la construcción del drenaje profundo y el incremento de los daños que causaron los sismos de 1985, de tal forma que si la decisión hubiera sido económica, resultaban más rentables otras fuentes externas como Cutzamala, Amacuzac, Tecolutla y otras.

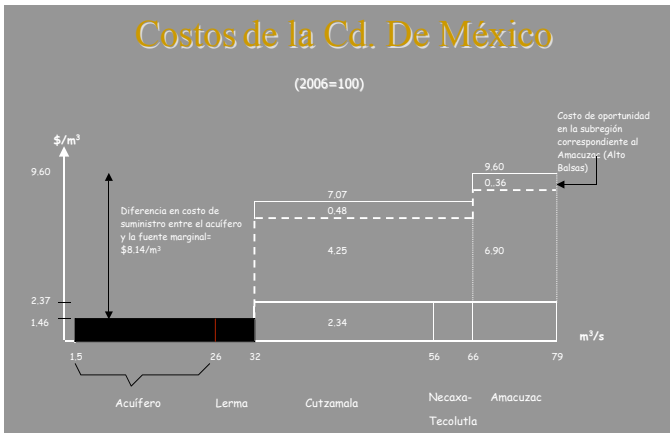


Figura 18. Costos de las Fuentes de Abastecimiento de Agua a la Ciudad de México

5. Propuesta de gestión

Varios refranes populares y no tan conocidos con relación al agua se escuchan a diario:

El que contamina, paga.

Agua que no has de beber, dejala correr.

Dios da el agua, pero no la entuba.

Cuando bebas agua, acuerdate de la fuente.

No nos dimos cuenta del valor del agua hasta que se secó el pozo.

Sin embargo, la veracidad y mensaje de estos refranes se debilita en la opinión de muchas personas que no perciben el verdadero valor del agua y desde luego desconocen o no quieren aceptar la realidad, que si viven muchos seres humanos, que carecen todavía de los más elementales servicios, que tienen que recorrer grandes distancias para conseguir el

vital líquido, cuya calidad puede no ser la requerida y que evidentemente sus condiciones de sanidad son muy precarias.

La falta de disposición a pagar lo que cuestan los servicios de agua, se acrecenta por la opinión de algunas personas de que por ley no se puede cortar su suministro, aunque no se pague, lo cual es falso, ya que ni la Constitución Política Mexicana, así como tampoco la Ley Nacional del Agua, lo mencionan y solamente se puede apreciar algo al respecto en el artículo 121 de la Ley General de Salud, que a la letra dice: Las personas que intevengan en el abastecimiento de agua no podrán suprimir la dotación de servicios de agua potable y avenamiento de los edificios habitados, excepto en los casos que determinen las disposiciones generales aplicables.

Como se aprecia existe la excepción, por lo que al que no pague el servicio se le debería suspender, tal y como se hace con servicios como la electricidad, el teléfono, la televisión por cable, etc. Sin embargo, la presión social y el uso político que se le ha dado al agua ha impedido tomar este tipo de acciones, solamente en algunas localidades han tomado medidas drásticas y en otras restringido el volumen entregado o la presión de suministro.

Antelaposición demuchaspersonas, enloindividual y a través de organizaciones no gubernamentales, tal como quedó plasmado en el IV Foro Mundial del Agua, celebrado en marzo de 2006 en la ciudad de México, se considera que la humanidad tiene derecho al agua. Y que su interpretación es acceso gratuito a los servicios de agua potable.

Es posible evitar la polémica y proponer el acceso gratuito al agua requerida para la subsistencia humana de toda la población mundial.

Esta propuesta es factible, si se considera un esquema tarifario en el cual el uso ineficiente del agua subsidie el agua indispensable para el consumo humano. De esta forma, con el apoyo del principio de la economía de mercado, además se puede lograr la sustentabilidad del recurso.

De consulta a varias publicaciones y mediciones realizadas expofeso por el autor, se obtiene que el

consumo diario mínimo que requiere una persona para subsistir es de 20 a 30 litros. Con este volumen diario nadie se muere y utilizandolo eficientemente para el aseo personal puede garantizarse la sanidad. En la tabla 5, se puede apreciar los valores estimados para cada concepto.

Estimación de Consumos					
CONCEPTO	MÍNIMO	OPTIMO	EFICIENTE	INDIFERENTE	
Beber	1	1	1	2	
Alimento	1	1	1	2	
Desalojo	10	15	20	50	
limpieza	1	2	5	8	34
Baño	4	50	60	100	195
Trastes	1	10	15	20	63
Hogar		1	5	20	65
Ropa		20	20	30	50
Auto		1	1	10	50
Jardín			15	30	100
Fugas				3	15
TOTAL	20	110	153	275	626

Tabla 5. Estimación de consumos diarios.

El uso eficiente del agua implica la reducción de fugas en la red de distribución, que como se ha explicado representa un grave problema en todas las ciudades, que conjuntado con las bajas eficiencias en la aplicación del agua en la agricultura, están demandando mayores volúmenes de agua y agotando las fuentes de abastecimiento locales, recurriendo a fuentes lejanas y aun peor sobreexplotando los acuíferos. El uso ineficiente del agua en gran medida es causado también por los desperdicios que se hacen del recurso, que en muchas ocasiones llegan a niveles de despilfarro.

Las estimaciones de un consumo diario óptimo en eficiencia resulta en valores de 110 litros por persona, y es posible consumos diarios por persona de 153 litros sin desperdicios y considerando usos eficiente en el riego de jardines, lavado de ropa y auto. En cambio si se desperdicia el agua y no se utiliza eficientemente los consumos pueden ser de 275 litros y mayores, como se puede apreciar en la tabla 5.

La propuesta de esquema tarifario para el suministro de agua a una ciudad con la que se tenga la

autosuficiencia financiera del organismo operador y además se busque la sustentabilidad del agua, consiste en tener los rangos de tarifas como se representan en la tabla 6, en donde el primer rango de consumos, que le llamamos de subsistencia no se cobra y debe ser suministrado por la fuente local de menor costo, el siguiente rango representa los consumos óptimos y las fuentes de abastecimiento para estos volúmenes deben ser las fuentes locales, cuya tarifa se obtendrá de dividir el costo de suministro entre el volumen, es decir se deberá pagar el costo de lo que se consume, al igual que para la siguiente tarifa con la que se cobre el uso eficiente, como incentivo al ahorrador, de esta forma, las tarifas reflejarán los costos del servicio, mientras que para los siguientes rangos con sus correspondientes tarifas, éstas considerarán el costo del suministro de subsistencia, además de cobrarse los costos marginales de largo plazo a los consumos determinados como de desperdicio y despilfarro.

Determinación de Tarifas

CONSUMO	RANGO (m ³ /mes)	TARIFA (\$/m ³)
Subsistencia	0 - X ₁	0.00
Óptimo	X ₁ - X ₂	T ₁
Eficiente	X ₂ - X ₃	T ₂
Indiferente	X ₃ - X ₄	T ₃
Ineficiente	X ₄ - X ₅	T ₄
Desperdicio	X ₅ - X ₆	T ₅
Despilfarro	X ₆ -	T ₆

Tabla 6. Determinación de tarifas

Hay que recordar que la dotación se obtiene de dividir el gasto suministrado entre el número de habitantes, lo que involucra las pérdidas en las redes y considera los suministros a comercios, edificios públicos e industrias abastecidas por el organismo operador. Desde luego que todos deben pagar sus consumos y no hay razón para que ningún edificio público, aunque sea hospital o escuela no lo hagan.

En el caso de la Zona Metropolitana del Valle de México, que tiene una población estimada de 20 millones de habitantes y un caudal total suministrado de 64 m³/s, que proviene de las siguientes fuentes:

- Recarga del acuífero 26.0 m³/s
- Sistema de pozos del Lerma 5.0 m³/s
- Aguas superficiales locales 1.5 m³/s
- Sistema Cutzamala 15.5 m³/s
- Sobrexplotación del acuífero 16 m³/s

Al transformar este gasto a un volumen diario y dividirlo entre el total de la población, resultaría una dotación media diaria de 277 litros por habitante. Si las pérdidas se estima son del 40%, se tendría un consumo diario de 166.2 litros por habitante, que considera los usos comerciales y de edificios públicos.

y ya los siguientes rangos de consumo de eficiencia deben utilizar las fuentes externas de Cutzamala y como están las cosas la oferta actual solo alcanza para toda la población aún con el uso eficiente del recurso, lo que muestra que existe crisis del agua en varias zonas de la ciudad de México, ya que los anteriores cálculos se realizaron con valores medios y la irregular oferta y despilfarro de algunos, pone en condiciones muy precarias especialmente a zonas marginadas.

Para poder aplicar esta propuesta de manejo del agua, se deben de tomar varias consideraciones:

Esquema propuesto

Consumos mensuales en m³/día, con base en familia de 5 miembros

MÍNIMO	ÓPTIMO	EFICIENTE	BAJA EFICIENCIA	INEFICIENTE	DESPERDICIO
3	3 a 16.5	16.5 a 23	16.5 a 41	41 a 94	Más de 94
Sin cobro	Fuente local	Fuente externa	Marginal corto plazo	Marginal largo plazo	Marginal largo plazo
12mill m ³	54mill m ³	26mill m ³			
4.63m ³ /s	25.46m ³ /s	35.46m ³ /s			

- Los servicios son integrales, es decir, se suministra el agua potable, se recolecta el agua utilizada a la que hay que darle tratamiento para su disposición o reuso, por lo que por cada m³ que se suministre se debe cobrar el drenaje y el tratamiento de las aguas residuales.
- Para poder aplicar un esquema como el propuesto es indispensable contar con el 100% de la micromedición, con precisión, confiabilidad y desde luego sin corrupción, así como la macromedición en las fuentes de suministro.

Tabla 7. Consumos y tarifas propuestas para la zona metropolitana del Valle de México

De acuerdo al esquema tarifario propuesto, para su aplicación a la zona metropolitana del valle de México, el consumo de subsistencia para una familia de 5 miembros, resultaría en un volumen mensual de 3 m³, que no se cobraría, con lo que resultaría un volumen diario de 12 millones de m³, equivalentes a un gasto de 4.63 m³/s, valor menor al potencial de la recarga del acuífero, primera fuente local del valle y cuyo costo de suministro es el menor. Como se puede apreciar en la tabla 7, con los valores propuestos en la tabla 5 para los siguientes rangos, se calcularon los volúmenes que consumiría la población de manera óptima, eficiente, con baja eficiencia, ineficientemente y con niveles de desperdicio, en este último caso desde luego que la oferta existente no alcanzaría si toda la población desperdiciara de gran forma el recurso, ya que se requerirían más de 94 m³/s. Según estos cálculos para satisfacer los consumos óptimos se requiere además de la oferta del acuífero, de la primer fuente externa, que es el sistema Lerma

- La siguiente fuente de abastecimiento para cualquier ciudad deberá ser la recuperación de las fugas y de similar manera del uso en el riego, la siguiente fuente es la rehabilitación y modernización de los sistemas de riego para incrementar la eficiencia.
- En todos los sistemas de agua resulta económicamente más rentable recuperar un buen porcentaje de fugas que la alternativa de una nueva fuente, que por lo general resultan tener costos muy elevados. Inclusive es posible pensar, especialmente en los nuevos desarrollos urbanos e industriales en cero fugas, que indudablemente resultaría en un mayor costo de inversión, pero en el horizonte de la vida útil se tendrían beneficios mayores a los costos. El porcentaje de fugas a reducir resultará para cada localidad de

la evaluación técnica-económica que se realice, puesto que puede resultar con costos muy elevadas la reducción de fugas después de un cierto límite.

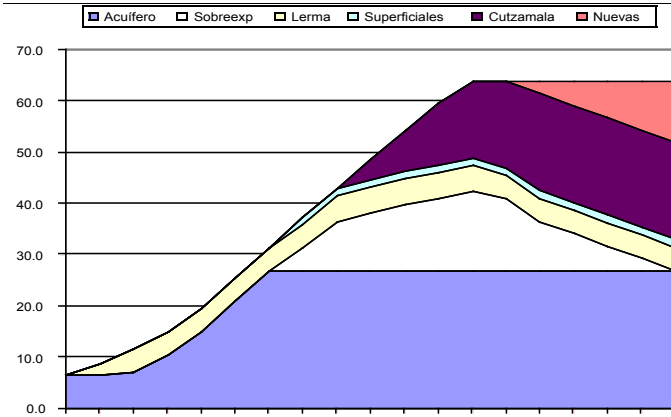


Figura 19. Variación de la demanda y oferta del agua en la zona metropolitana del Valle de México.

Para la zona metropolitana del Valle de México es factible reducir las fugas a valores del 25%, que representan un gasto del orden de los 10 m³/s, equivalentes a la sobreexplotación de acuífero, como se aprecia en la figura 19, en la cual se muestra la evolución de la demanda y oferta del agua en la zona metropolitana de la Valle de México.

La variación del consumo del agua con su precio, normalmente sigue la ley de la oferta y la demanda, es así como los municipios que tienen las menores tarifas, tienen los mayores consumos, cuando no está limitado el suministro, especialmente en aquellos en que prevalece el tandeo. Mientras que cuando el precio del agua, es decir las tarifas son mayores, el consumo tiende a reducirse, en la figura 20 se presenta las tarifas y consumos promedio de cinco municipios del país, en los que se ilustra lo anteriormente mencionado, como se puede observar en Tijuana, León y Monterrey las tarifas son del orden de 10 pesos por m³ y sus consumos diarios son del orden de los 200 litros por habitante, en cambio en los municipios de Tlalnepantla y Naucalpan con tarifas de tres pesos por m³, sus consumos diarios son de 300 litros por habitante.

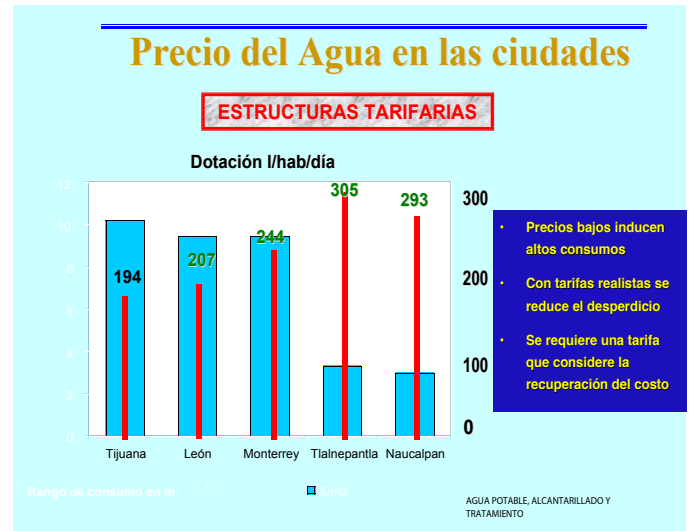


Figura 20. Precio y consumo de agua en ciudades.

En la figura 21, se presentan para los municipios conurbados de la zona metropolitana del Valle de México, los precios del servicio de suministro de agua potable, expresados como la tarifa por m³, con base en un consumo mensual máximo de 30 m³ y para cada uno de ellos se presenta también la recuperación, es decir lo que se cobra por cada m³ suministrado. Aunque existen municipios en que su cobranza es superior por m³ a la tarifa, hay otros como el caso de los municipios de Ecatepec, La Paz, Nezahualcoyotl, en que la tarifa es de un peso por m³, lo que evidentemente no les alcanza para cubrir ni siquiera los costos de operación.

Municipios Conurbados

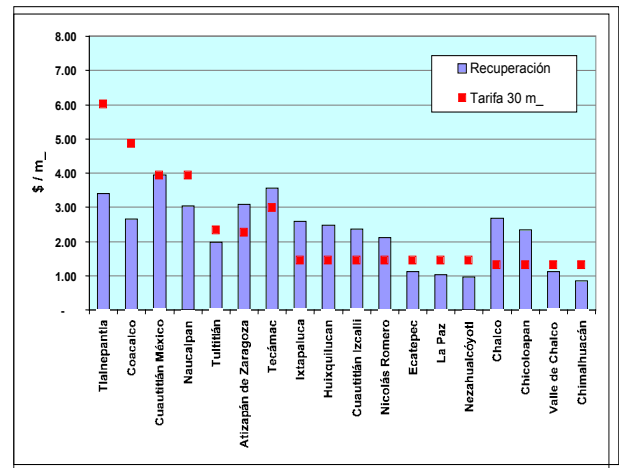


Figura 21. Tarifas de los municipios conurbados de la zona metropolitana del Valle de México.

Las bajas tarifas que tienen estos municipios en su mayoría inferior a los 4 pesos por m³, que no alcanza para cubrir el costo del suministro de agua en bloque, puesto que para el año 2000 ese era el costo del suministro de Cutzamala, cuyas aguas se suministran a la mayoría de estos municipios y ni hablar de las tarifas que deben de cobrarse para cubrir los costos de drenaje y tratamiento de las aguas residuales.

Conclusiones

- El agua es finita y existe en grandes cantidades en el planeta, pero su irregular distribución y su mal manejo, puede causar una catastrófica “Crisis del Agua”.
- La oferta del agua está variando notablemente debido a los efectos del Cambio Climático, es urgente detenerlo.
- El agua es una responsabilidad compartida de todos, que requiere de una gestión integrada del recurso y de una autoridad con la máxima jerarquía y presencia.
- El futuro no se puede adivinar, pero si podemos construirlo, para conseguir el futuro del agua deseado es necesario desarrollar las acciones estudiadas para conseguir las metas planteadas.
- A seis años de propuesto el Escenario Sustentable, las inversiones en el sector agua se han incrementado, especialmente en los servicios de agua potable, sin embargo no han sido del tamaño suficientemente requerido para conseguir el crecimiento deseado y especialmente buscar el uso eficiente del recurso en todos sus usos.
- Para lograr la sustentabilidad del agua, se requiere hacer un uso eficiente del recurso, tratando y reutilizando todas las aguas residuales.
- Es factible replantear el escenario sustentable para el año 2030, con un gran avance en los próximos seis años, buscando alcanzar el 100% del tratamiento de las aguas residuales municipales, así como incrementar las coberturas del agua potable y el drenaje de las zonas rurales.
- Sin el reconocimiento del valor del agua por todos los usuarios y gobernantes, ningún planteamiento se puede cumplir.
- Las metodologías para evaluar el costo y el valor del agua no son complicadas, pero requieren de información confiable.
- Para poder tener un servicio con eficiencia y calidad, se debe pagar su precio total.
- El Derecho al agua no implica su no pago por los servicios que deben hacer los usuarios. Aun así, es factible no cobrar a la población únicamente el consumo requeridos para la subsistencia, que se estima es de entre 20 y 30 litros diarios por persona.
- Se deben manejar esquemas tarifarios que busquen la optimización de la eficiencia de los servicios en todos los usos y que necesariamente consideren el pago del saneamiento.

Todavía hay tiempo de recomponer, no dejemos que el destino nos alcance permitiendo que la problemática del agua se vuelva una verdadera crisis.



Referencias

1. *Water a shared responsibility. The United Nations World Water Development, Report 2, UNESCO, Paris, France, 2006*
2. *Estadística del Agua en México 2005. Comisión Nacional del Agua*
3. *El Agua en México, retos y avances, Comisión Nacional del Agua, México, 2000*
4. *Programa Nacional Hidráulico 2001-2006, Comisión Nacional del Agua, México, 2001*
5. *Ley Federal de Derechos, Comisión Nacional del Agua, México, 2005*
6. *Costo Valor y Precio del Agua. Comisión Nacional del Agua, Subdirección General Programación, Gerencia de Estudios para el Desarrollo Hidráulico Integral, México 2000.*
7. *Efectos económicos en el sector agrícola de riego ante la implementación por el cobro de derechos por uso de agua, GEDHI, CNA, 1997*
8. *Aplicación de instrumentos de mercado como mecanismo para regular la demanda de agua para uso industrial, GEDHI, CNA, 1997*
9. *Tecnología de punta para el reuso de aguas residuales en México, GEDHI, CNA, 1997*
10. *Enfoque sistémico del uso eficiente del agua en el medio urbano, GEDHI, CNA, 2001*
11. *Efectos del calentamiento global en la disponibilidad de los recursos hidráulicos de México, GEDHI, CNA, 2001*
12. *Integración de escenarios a largo plazo de los usos del agua, GEDHI, CNA, 1998*
13. *Escenarios climáticos para México (2000-2030), GEDHI, CNA, 1999*
14. *Prospectiva del uso y disponibilidad del agua al año 2020, y acciones tendientes para lograr el balance entre la oferta y la demanda del recurso a través del desarrollo tecnológico*
15. *Desarrollo del Modelo para Análisis de Escenarios de los Usos del Agua a escala Regional, ESUA, GEDHI, CNA, 1998*
16. *Manual de Costos Estimados, Comisión Nacional del Agua, Subdirección General de Programación, Gerencia de Estudios para el Desarrollo Hidráulico Integral, México 2001*
17. *Situación del Subsector Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento a Diciembre de 2004. Subdirección General de Infraestructura Hidráulica Urbana, Comisión Nacional del Agua, México, 2005*
18. *Costos y Parámetros de Referencia para la Formulación de Proyectos de Inversión. Generación, Subdirección de Programación, CFE, 2005*
19. *Memoria de Gestión 2002-2004, Subdirección General de Infraestructura Hidroagrícola, CNA*
20. *CICM. Comité del Agua, Documentos de trabajo varios, 2005, 2006.*
21. *CICM. Grupo 2025. Memorias 2004 y 2005*
22. *El Desarrollo de las Presas en México, F.I. Arreguín, C. Herrera, H. Marengo, G.A. Paz Soldán, Avances en Hidráulica 5, AMH, IMTA, 1999*
23. *Las Presas y el Hombre, G.A. Paz Soldán, H. Marengo, F.I. Arreguín, Avances en Hidráulica 12, AMH, IMTA, 2005.*



50 años del Posgrado en Ingeniería Hidráulica de la UNAM

En el año 2007 se cumple medio siglo de la creación del Programa de Posgrado en Ingeniería Hidráulica que ofrece la Universidad Nacional Autónoma de México, y que ha formado personal altamente capacitado para darle solución a un importante número de problemas asociados con el control y aprovechamiento óptimo del agua.

Vaya desde este espacio una felicitación a la Institución y a todos que desde la academia o las aulas han hecho su aportación para el fortalecimiento del Programa. A continuación se presentará una breve semblanza.

Los estudios de posgrado en la UNAM se remontan hacia los años veinte, cuando la entonces Universidad Nacional Autónoma de México contaba con la Facultad de Altos Estudios en la que podían cursarse diversas especializaciones docentes, filosóficas, literarias y científicas, generalmente después de haber obtenido un título.

En 1928 se establecieron los requisitos para obtener los grados de Maestro y de Doctor en Ciencias Matemáticas, Físicas y Biológicas, y el de Doctor en Medicina.

A principios de los años 40 se había intentado impartir algunos cursos para graduados en las dos facultades existentes hasta entonces, la de Filosofía y Letras y la de Ciencias, dentro de la cual se encontraba la Escuela Nacional de Ingenieros. Sin embargo, estos cursos no se ajustaban a programas que permitieran el reconocimiento universitario de sus labores de especialización.

El 30 de agosto de 1946 se aprobó la creación de la Escuela de Graduados, y con respecto a Ingeniería, se ofreció únicamente la posibilidad de optar por el grado

de Maestro en Ciencias a los candidatos que tuvieran el grado de Ingeniero Civil u otro equivalente, y hubieran cursado en la Escuela de Graduados y en la Facultad de Ciencias las materias conducentes a una especialidad científica en Ingeniería.

En 1951 se iniciaron las actividades del programa en Ingeniería Sanitaria y se diseñó el primer plan de estudios para los cursos de Especialización y Maestría en Ingeniería Sanitaria, otorgándose en 1956 los primeros dos grados de Maestro en Ciencias especializados en ese campo del conocimiento.

El 25 de enero de 1957 se decidió descentralizar las funciones de la Escuela de Graduados, ya que no podía atender a las necesidades de todas las Escuelas y Facultades, prefiriéndose confiar a cada uno de los planteles universitarios la organización de un nivel de enseñanza superior. Este fue el motivo para suprimir la Escuela de Graduados y se creó el Consejo de Doctorado para coordinar los estudios superiores. En ese mismo año se modifica la organización de la Escuela Nacional de Ingeniería, transformándose en la División de Estudios Profesionales y, el entonces Instituto de Ingeniería A. C., se convierte en la División de Investigación y se crea la División de Estudios Superiores, que inicia su ciclo lectivo en junio de 1957 impartiendo la Maestría en Ingeniería, con especialidades en Estructuras, Mecánica de Suelos e Hidráulica.

La primera generación en Hidráulica la integraron los alumnos Guillermo González Escamilla, Humberto Luna Núñez, Jorge Meyer Corral y Gilberto Sotelo Avila. Entre los destacados miembros del personal docente que formaron la primera generación se encontraban el Ing. Fernando Hiriart Valderrama, Dr. Enzo Levi Lattes, Ing. Guillermo González Escamilla y el Ing. José Luis Sánchez Briebiesca, quien fungió como Jefe de la División.

En 1959 se aprueba el reglamento para la División del Doctorado de la Escuela Nacional de Ingeniería convirtiéndose en la Facultad de Ingeniería. En diciembre de este año, el Consejo Universitario aprueba también el plan de estudios de la Maestría en Ingeniería Civil con especialidades en Estructuras, Mecánica de Suelos e Hidráulica, así como el plan de estudios para el Doctorado en Ingeniería.

En 1968 nacen las especializaciones en Diseño y Construcción de Obras de Riego y de Ingeniería de Riego y Drenaje, y para 1969 la de Hidrología. En 1981 se aprueba la creación de la Maestría y el doctorado en Aprovechamientos Hidráulicos.

El primer graduado del programa de maestría fue Alberto Moreno Bonett, quién egresó el 7 de junio de 1962. Después de más de veintidós años las mujeres se hacen presentes en el programa, ya que el 10 de octubre de 1984, la ingeniera panameña Luz Amalia González Pinzón fue la primera en obtener el grado de maestría en Ingeniería Hidráulica. Con respecto al programa de Doctorado, el primer hombre y mujer en graduarse fueron Gabriel Echávez Aldape en 1969 y Rosario Iturbe Arguelles en 1997.

En la Tabla 1 se presentan el número de alumnos graduados por década de los programas de maestría y doctorado en Ingeniería que coordina el Departamento de Hidráulica de la UNAM. Se observa que al principio del programa se graduaban 2 alumnos por año en el nivel maestría y en el doctorado casi era nulo. A partir de los años ochenta el incremento fue significativo. Durante el periodo 1962-2007 se graduaron en promedio 9 al año en maestría y 1 en doctorado. El 86% del total de los egresados de maestría son hombres y el 14% mujeres; mismos porcentajes que se tienen con respecto a la nacionalidad de los egresados 86% mexicanos y 14% extranjeros. Con respecto al doctorado, el 90% son hombres y 10% mujeres. En las tablas 2 y 3 se muestran las nacionalidades de los egresados de maestría y doctorado.

Periodo	Maestría		Doctorado	
	Hombres	Mujeres	Hombres	Mujeres
1962-1969	16	0	1	0
1970-1979	51	0	1	0
1980-1989	83	8	9	0
1990-1999	85	19	9	1
2000-2007	118	30	25	4
Total	353	57	45	5

Tabla 1. Egresados del Programa de Ingeniería Hidráulica de la UNAM.

País	Graduados	País	Graduados
México	351	Inglaterra	1
Bolivia	3	Nicaragua	1
Chile	1	Panamá	7
Colombia	19	Perú	6
Costarrica	1	Rep. Dominicana	5
Ecuador	10	Uruguay	2
Honduras	2	Venezuela	1

Tabla 2. Egresados por nacionalidad del Programa de Maestría en Ingeniería Hidráulica de la UNAM.

País	Graduados
México	48
Líbano	1
Uruguay	1

Tabla 3. Egresados por nacionalidad del Programa de Doctorado en Ingeniería Hidráulica de la UNAM.



En la Tabla 4 se presentan el total de graduados del programa de doctorado, junto con el nombre de su director de tesis.

Año	Graduado de doctorado	Director de Tesis
1969	Gabriel Echávez Aldape	M.I. José Luis Sánchez Bribiesca
1974	Rolando Springall Galindo	M.I. José Luis Sánchez Bribiesca
1982	Rafael Andrés Guarga Ferro	M.I. José Luis Sánchez Bribiesca
1984	Nabil Joseph Eid	Dr. Rolando Springall Galindo
1985	Carlos Cruickshank Villanueva	M.I. José Luis Sánchez Bribiesca
1985	Poliopetro Fortunato Martínez Austria	Dr. Gabriel Echávez Aldape
1985	Felipe Ignacio Arreguín Cortés	Dr. Gabriel Echávez Aldape
1985	Javier Aparicio Mijares	Dr. Rolando Springall Galindo
1987	Daniel Campos Aranda	Dr. José Raynal Villaseñor
1988	Jesús Gracia Sánchez	M.I. José Luis Sánchez Bribiesca
1989	Gustavo Adolfo Paz Soldán Cordova	Dr. Gabriel Echávez Aldape
1990	Ramón Domínguez Mora	M.I. José Luis Sánchez Bribiesca
1991	Carlos Agustín Escalante Sandoval	Dr. José Raynal Villaseñor
1993	Modesto Antonio Acosta Godínez	Dr. José Raynal Villaseñor
1994	Humberto Marengo Mogollón	Dr. Ramón Domínguez Mora
1995	Nahún Hamed García Villanueva	Dr. Poliopetro Martínez Austria
1996	Ernesto Vázquez Fernández	M.I. José L. Sánchez Bribiesca
1996	Oscar Arturo Fuentes Maríles	M.I. José L. Sánchez Bribiesca
1997	Rosario Iturbe Arguelles	Dr. Carlos Cruickshank Villanueva
1997	Oscar Guerrero Angulo	Dr. Felipe Arreguín Cortés
1998	Moisés Berezowsky Verduzco	Dr. Carlos Cruickshank Villanueva
2000	Aldo Iván Ramírez Orozco	Dr. Álvaro Aldama Rodríguez
2000	Amado Abel Jiménez Castañeda	Dr. Moisés Berezowsky Verduzco
2000	José Ynocencio Domínguez Esquivel	Dr. Carlos Escalante Sandoval
2000	Martín Jiménez Espinosa	Dr. Ramón Domínguez Mora
2001	Gabriel Soto Cortés	Dr. Moisés Berezowsky Verduzco
2001	Gilberto Sotelo Ávila	Dr. Carlos Escalante Sandoval
2001	Nicolás Romero Gómez	Dr. Jesús Gracia Sánchez
2001	María Joselina Espinoza Ayala	Dr. Poliopetro Martínez Austria
2001	Lilia Reyes Chávez	Dr. Carlos Escalante Sandoval
2001	Nabil Mobayed Khodr	Dr. Carlos Cruickshank Villanueva
2002	Luis Alfonso Ortiz Nuñez	Dr. Rafael Carmona Paredes
2002	José Guadalupe Fabián Rivera Trejo	Dr. Moisés Berezowsky Verduzco
2002	Georges André Govaere Vicarioli	Dr. Rodolfo Silva Casarín
2002	Israel Velasco Velasco	Dr. Jaime Collado Moctezuma
2002	Ma. del Rosio Ruiz Urbano	Dr. Gabriel Echávez Aldape
2002	Ariosto Aguilar Chávez	Dr. Álvaro Aldama Rodríguez
2002	Medardo Meza Olea	Dr. Carlos Escalante Sandoval
2003	Manuel Zavala Trejo	Dr. Carlos Fuentes Ruiz
2003	Manuel Montenegro Fragoso	Dr. Gabriel Echávez Aldape
2003	Miguel Àngel Mejía González	Dr. Álvaro Aldama Rodríguez
2003	Miguel Àngel Alatorre Mendieta	Dr. Rodolfo Silva Casarín
2003	Heber Eleazar Saucedo Rojas	Dr. Carlos Fuentes Ruiz
2004	Maritza Liliana Arganis Juárez	Dr. Ramón Domínguez Mora
2004	Jorge Sánchez Sesma	Dr. Álvaro Aldama Rodríguez
2005	Leonel Humberto Ochoa Alejo	Dr. Felipe Arreguín Cortés
2005	Víctor Manuel Arroyo Correa	Dr. Álvaro Aldama Rodríguez
2005	Erick Gustavo Bautista Godínez	Dr. Rodolfo Silva Casarín
2005	Baldemar Mendez Antonio	Dr. Ramón Domínguez Mora
2007	Edgar Gerardo Mendoza Baldwin	Dr. Rodolfo Silva Casarín

Tabla 4. Total de egresados del programa de doctorado en Ingeniería Hidráulica.

Estimación y aprovechamiento del escurrimiento

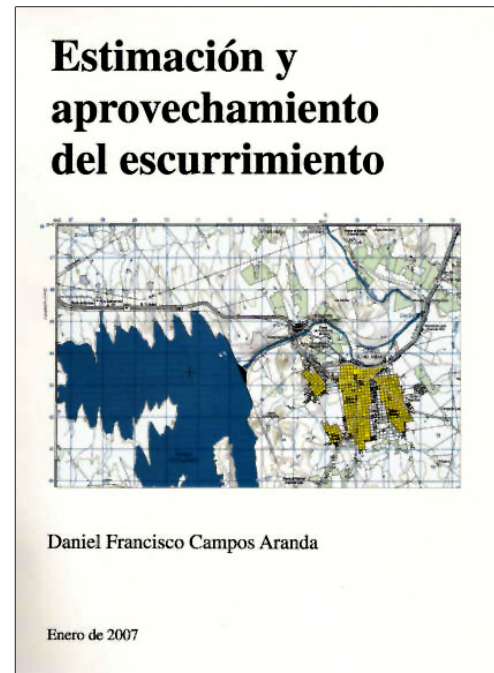
El texto expone de una manera simple y didáctica conceptos y técnicas básicas de la *hidrología superficial*, que son fundamentales para llegar a entender y resolver las dificultades de la estimación y manejo de los recursos hidráulicos, orientado esto último, exclusivamente a su aprovechamiento, ya que no se aborda el tema de las crecientes o avenidas máximas. Por lo anterior, el texto puede ser útil a los cursos o asignaturas de hidrología superficial, diseño de obras hidráulicas, proyectos de sistemas de riego y Evaluación de Recursos Hidráulicos. Los objetivos generales del texto se pueden concretar en los dos siguientes:

(1) describir y aplicar las técnicas hidrológicas fundamentales asociadas a la cuantificación de los recursos hidráulicos, también llamada *disponibilidad* (precipitación y escurrimiento) y *pérdidas* (evaporación, evapotranspiración y erosión del suelo), en una cuenca o sitio definido para un proyecto de aprovechamiento.

(2) exponer teórica y prácticamente los métodos clásicos de diseño hidrológico de embalses simples para abastecimiento de demandas de agua potable y de riego.

Los objetivos anteriores se desarrollan a través de ocho capítulos, que son:

1. Hidrología y Recursos Hidráulicos.
2. Cuenca Hidrográfica y Red de Mediciones Hidrológicas.
3. Estudio de la Precipitación.
4. Estimación de Pérdidas.
5. Estimación del Escurrimiento.
6. Pronóstico y Estimación de Demandas.
7. Sedimentación de Embalses.
8. Diseño Hidrológico de Embalses Simples.



y los seis anexos siguientes:

- Anexo 1: Función de distribución Gamma Mixta.
- Anexo 2: Detección de sequías meteorológicas.
- Anexo 3: Generación sintética de escurrimientos con persistencia.
- Anexo 4: Descripción y aplicación del modelo SEAMOD.
- Anexo 5: Ayudas para la estimación del coeficiente de cultivo y de las láminas de riego.
- Anexo 6: Aspectos de seguridad hidrológica en embalses.
- Anexo 7: Guías para la elaboración de informes de estudios hidrológicos.z

En el texto se presentan 71 *ejemplos* numéricos y 66 *problemas* propuestos orientados a reafirmar los cálculos numéricos e intentar adquirir una experiencia práctica, tanto en el manejo de la información hidrológica real, como en el planteamiento de las soluciones a problemas prácticos; 51 de tales problemas incluyen respuestas.



32 años
en el mundo
de la
CONSTRUCCIÓN

ISO 9001:2000



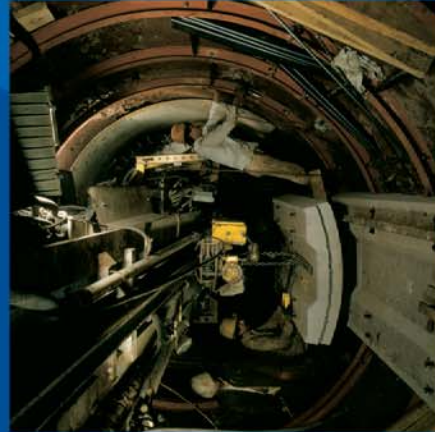
Construcciones y Trituraciones S.A. de C.V.
Canadá # 110

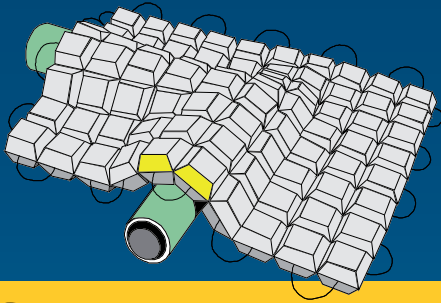
México, D.F. 04040

Tel.: 52 (55) 5544 5200

Fax: 52 (55) 5549 8124

www.cotrisa.com.mx





Tapetes flexibles de concreto **SUBMAR-ELHER**
La única respuesta que Usted y su inversión necesitan

SUBMARELHER

Control de Erosión – Protección de Ductos
Tapetes flexibles de concreto

Son de
rápida instalación

Detienen
la erosión

Son
reutilizables

Vida útil superior
a los 20 años

Completamente
ecológicos



EN CONCRETO
SOMOS LA RESPUESTA
A SU PROBLEMA DE EROSION

01800-0120277

erosion@grupoelher.com

Distrito Federal

Tel. (55) 5396-0651
Fax: (55) 5396-0691

Coatzacoalcos

Tel. / Fax:
(921) 2158-017
(921) 2158-018

www.grupoelher.com