

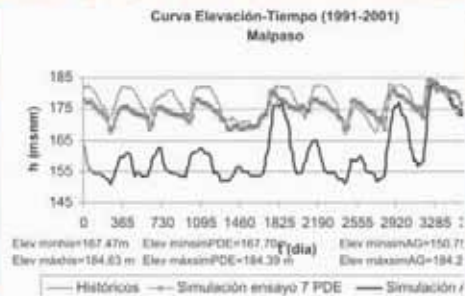
# Tlálloc AMH

Asociación Mexicana de Hidráulica, A.C.

Revista Cuatrimestral

Mayo - Agosto 2005

No. 34



## ARTÍCULOS

## NOTICIAS

## RESEÑAS

Toma de posesión el XXVII  
Consejo Directivo de la AMH

Informe de actividades del  
XXVI Consejo Directivo de la AMH

Dr. Rolando Springall Galindo  
*Semblanza*

Homenaje al  
M. en I. José Antonio Maza Álvarez

Políticas de operación de presas en  
cascada usando algoritmos genéticos  
*Dra. Maritza Liliana Arganis, Dra. Katya  
Rodríguez V., Dr. Ramón Domínguez M.*

Administración, Gobernanza  
y Gestión del agua  
*Jaime Collado*





**El agua es más  
valiosa de lo que  
crees y no valorarla  
sale muy caro.**

**Asume la responsabilidad  
que te toca: cuidarla, pagarla,  
cobrarla o legislar a su favor.**

Con agua todo, sin ella nada.

# EDITORIAL

Tláloc AMH No. 34

Estimados amigos:

Con gran emoción y entusiasmo dimos comienzo a las actividades del XXVII Consejo Directivo de la Asociación Mexicana de Hidráulica, A.C.

Iniciamos este periodo muy motivados pero, sobre todo, conscientes del alto honor y responsabilidad conferidos por los socios de nuestra querida agrupación. Agradecemos su confianza y habremos de desarrollar nuestro mayor esfuerzo para cumplir con las altas expectativas.

Tenemos por delante un gran reto y compromiso de continuidad, tanto en lo técnico como en lo gremial, reafirmando nuestra consolidación y abriendo la búsqueda de nuevas metas, inmersos en la modernidad.

En noviembre de este año cumplimos cuarenta años como asociación, momento que consideramos oportuno reflexionar sobre lo realizado y analizar, para programar, las líneas de acciones futuras. Así invitamos a todos los especialistas del sector hidráulico, tanto público como privado, para que a través de sus colaboraciones a Tláloc AMH y de su participación se desarrolle un amplio diagnóstico e integremos propuestas de trascendencia.

México, como todos los países modernos, tiene que adoptar el compromiso global de preservación del agua y la sustentabilidad de este recurso invaluable, por ello, pretendemos que todas nuestras acciones sean fiel reflejo del espíritu de nuestra agrupación, estando ciertos de que la participación de los profesionales de la hidráulica será cada vez más importante.

Hacemos un llamado cordial a la unidad del gremio hidráulico con el fin de ofrecer un frente común para que, en estos tiempos de decisiones políticas y tecnológicas sobre la materia hidráulica se garantice el beneficio a la nación y, de esta manera, no correr el riesgo de que en esta sensible época de transición se deje de priorizar al agua como factor de desarrollo e instrumento para la igualdad social.

El agua está llamada a ser el recurso estratégico de mayor importancia en el orden mundial. Nuestro país no es la excepción, por lo que debemos pugnar porque siempre sea un detonante del desarrollo, cuidando la preservación de los ecosistemas.

En este contexto, la AMH seguirá cumpliendo, como líder de opinión, su compromiso con la identificación y difusión del conocimiento y nuevas tecnologías en materia de agua, siempre en busca de la excelencia. Tláloc-AMH se ofrece como uno de los medios, con el espacio propicio para el logro de este fin, por lo que lo reiteramos a su disposición.

En este número, Tláloc-AMH, incluye el artículo "Políticas de operación de presas en cascada usando algoritmos genéticos", en que se presenta el procedimiento para la generación de dichas políticas para las presas La Angostura y Malpaso, al evaluar el desempeño de la política obtenida mediante la simulación de funcionamiento de vaso de las presas en conjunto, aunado al comparativo con otros procedimientos se observa que los resultados son alentadores.





También se incluye el artículo “Administración, Gobernanza y Gestión del Agua” donde se definen con claridad estos conceptos, las relaciones que existen entre ellos y los requisitos esenciales para ellos.

Por otra parte, en justo reconocimiento a los grandes hombres de la hidráulica contamos con la reseña del homenaje en memoria del inolvidable maestro en ingeniería José Antonio Maza Álvarez.

Continuando con la política de la revista de dar a conocer la trayectoria de distinguidos miembros de nuestra Asociación, presentamos en esta ocasión la semblanza del Dr. Rolando Springall Galindo, distinguido expresidente de la AMH, cuyo ejemplo será motivación para todos nosotros.

Asimismo, se integra el informe de actividades y tesorería del XXVI Consejo Directivo que, bajo la presidencia del Dr. Gustavo Paz Soldán condujo los destinos de nuestra agrupación de 2003 a 2005. Aprovechamos para extender una

calurosa felicitación a todos sus integrantes por su dedicación y empeño.

También presentamos las publicaciones en línea sobre temas hídricos, medio ambiente y cambio climático en la sección de sitios web.

Finalmente, cabe señalar que en este periodo podremos ser testigos de eventos de especial relevancia como lo es el IV Foro Mundial del Agua en donde nuestro país será cordial anfitrión y la voz y presencia de la hidráulica mexicana ocuparán un lugar preponderante, así la AMH debe estar presente.

Tenemos la gran oportunidad de crecer en nuestra vocación por el agua, los exhortamos a participar activamente en todas y cada una de las acciones que emprendamos, seguros de que el esfuerzo conjunto habrá de ratificar nuestra presencia como la agrupación técnica con mayor reconocimiento en el sector agua.

Estamos a sus órdenes.



# Consejo Editorial

Director • • • • • *Dr. Polioptro F. Martínez Austria*

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

Editores • • • • • *Dr. Felipe I. Arreguín Cortés*  
Asociados *Dr. Humberto Marengo Mogollón*  
*Dra. María Luisa Torregrosa Armenta*

Miembros del Consejo Editorial

*Rubén Chávez Guillén*  
Comisión Nacional del Agua

*Carlos Cruickshank Villanueva*  
Instituto de Ingeniería, UNAM

*Daniel Campos Aranda*  
Universidad Autónoma de San Luis Potosí

*Gilberto Sotelo Ávila*  
Facultad de Ingeniería, UNAM

*Jaime Collado*  
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

*Juan Carlos Valencia Vargas*  
Comisión Nacional del Agua

*Miguel Ángel Vergara*  
Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, IPN

*Rosalba Landa*  
Colegio de México

*Gabriela Moeller Chávez*  
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

*Martín Mundo Molina*  
Universidad Autónoma de Chiapas

*Ramón Domínguez Mora*  
Instituto de Ingeniería, UNAM

*Roberto Melville*  
Centro de Investigación y Estudios  
Superiores en Antropología Social

*Lilia Reyes Chávez*  
Facultad de Ingeniería, UNAM

*Salvador Díaz Maldonado*  
Instituto Tecnológico y de Estudios  
Superiores de Sonora

*Rodolfo Silva Casarín*  
Instituto de Ingeniería, UNAM

# Tlálloc AMH

Tlálloc AMH, No. 34, Mayo - Agosto 2005

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

## XXV Consejo Directivo de la AMH

### Presidente

*Polioptro 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*

### Gerente

*Lic Rosa Carmina Ramírez C.*

### Ventas y Publicidad:

*Ing. José Aarón Campos R.*

Director de Promoción

Tels. 5580 4782

5557 1505

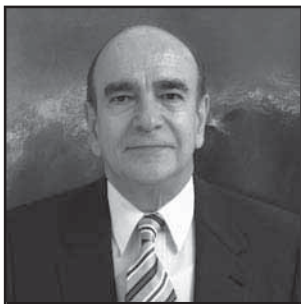
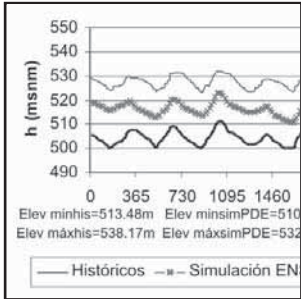
[aaroncampos@prodigy.net.mx](mailto:aaroncampos@prodigy.net.mx)

**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: Polioptro F. Martínez Austria.

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

[www.amh.org.mx](http://www.amh.org.mx)

# INDICE



## ARTÍCULOS

---

- P**olíticas de operación de presas en cascada usando algoritmos genéticos 5

*Dra. Maritza Liliana Arganis J., Dra. Katya Rodríguez V., Dr. Ramón Domínguez M.*

- A**dministración, gobernanza y gestión del agua 20

*Jaime Collado*

## NOTICIAS Y RESEÑAS

---

- I**nforme de actividades del XXVI Consejo Directivo de la AMH, de 2003 a 2005 27

- I**nforme de Tesorería del XXVI Consejo Directivo de la AMH 31

*Correspondiente del 28 de mayo de 2003 al 31 de mayo de 2005*

- T**oma posesión el XXVII Consejo Directivo de la Asociación Mexicana de Hidráulica 32

- H**omenaje al M. en I. José Antonio Maza Álvarez 34

## SEMBLANZA

---

- D**r. Rolando Springall Galindo 36

## EMPRESAS DEL SECTOR

---

- C**OTRISA, 30 años de excelencia en ingeniería 38

## PUBLICACIONES

---

- C**avitación y Aireación en Obras de Excedencia 39

## SITOS WEB

---

- S**itios relacionados con publicaciones en línea 40



# Políticas de operación de presas en cascada usando algoritmos genéticos

*Dra. Maritza Liliana Arganis Juárez<sup>1</sup>*

*Dra. Katya Rodríguez Vázquez<sup>2</sup>*

*Dr. Ramón Domínguez Mora<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Profesor de la Facultad de Ingeniería, UNAM

<sup>2</sup> Investigador del IIMAS, UNAM

<sup>3</sup> Investigador del Instituto de Ingeniería, UNAM. Circuito Escolar Edificio 5 Apartado Postal 70-472, Del. Coyoacán. Tel. 5623-3666 Fax 5616 2164

## Resumen

Se presenta un procedimiento para la generación de políticas de operación del sistema de presas La Angostura y Malpaso utilizando algoritmos genéticos. Para evaluar el desempeño de la política obtenida se integra la simulación de funcionamiento de vaso de las presas en conjunto, y se hace la comparación entre la política obtenida con el algoritmo genético, una política calculada vía programación dinámica estocástica y los reportes históricos de la operación del sistema. Los resultados obtenidos son alentadores en relación con las posibilidades del uso de los algoritmos genéticos.

**Frases clave:** Políticas de operación, sistema hidroeléctrico, algoritmo genético simple, programación dinámica estocástica, presa La Angostura, presa Malpaso.

## Introducción

Las demandas de energía eléctrica y de los recursos hidráulicos han aumentado con el crecimiento de la población, lo cual trae como consecuencia la necesidad de desarrollar modelos que permitan optimizar el manejo de los sistemas de embalses del país.

En México existen varios complejos hidroeléctricos que operan en cascada, dentro de los que destacan los sistemas de los ríos Grijalva y Balsas que en conjunto representan poco más del 50 % de la capacidad hidroeléctrica total en operación del país.

Se puede citar como ejemplo de estas herramientas desarrolladas en el país los métodos de programación lineal en la operación de presas [Villalobos *et al* 2000], que toma en cuenta al fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) y maximiza la extracción anual a una presa penalizando los derrames. De la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México se destacan los trabajos que analizan la operación óptima de un sistema hidráulico formado por dos presas en paralelo [Rebolledo 1990]; la operación óptima de sistemas de presas en cascada aplicada al río Grijalva [Contreras 1999], la operación óptima de un sistema de presas de agua potable con el enfoque de la investigación de operaciones [Vega 1989], la optimización en línea de presas hidroeléctricas con el enfoque de la ingeniería eléctrica [Avilés 1994], entre otros; el análisis de las políticas de operación para el sistema Angostura y Malpaso [Bautista 1986], un modelo de programación dinámica estocástica para optimizar la operación de presas [Larios 1985]; una política de operación de las presas La Juliana y Los Arcos del Estado de México [Correa 1977]. De la Universidad de Sonora está documentado el estudio de las aplicaciones de la programación dinámica a la operación de presas [Quintanar 1981]. Investigaciones recientes son el modelo numérico Simulador-Optimizador de Sánchez y Wagner (2003, 2004), el cual fue aplicado en el río Lerma-Chapala, en los embalses: José Antonio Alzate, Ignacio Ramírez, Tepetitlán, Tepuxtepec, Solís, Yuriría, Ignacio Allende, Melchor Ocampo así como el lago de Chapala.

El estudio de las políticas de operación del sistema hidroeléctrico del río Grijalva ha tenido especial énfasis desde mediados de la década de los 90's hasta nuestros días. En particular se ha retomado este tipo de estudios debido a la ocurrencia de grandes avenidas, como las de 1999, así como de años en los que el escurrimiento ha sido escaso, como fue el 2000. Hay que tomar en cuenta que una mala operación en un sistema de presas puede llevar a condiciones extremas, como son la carencia del vital líquido tanto para fines de la generación de energía como para su uso en riego y consumo humano,



o bien puede ocasionar terribles daños económicos y pérdidas humanas por inundaciones. En la búsqueda de políticas de operación que logren conciliar los objetivos de maximizar la energía generada, minimizando el déficit y los derrames, se ha utilizado como herramienta de optimización la programación dinámica estocástica (PDE) y se han evaluado las políticas obtenidas con ayuda de la simulación del funcionamiento de vaso [Domínguez y Mendoza 2000, Domínguez *et al* 2001]. En este documento se propone otro método de optimización mediante el uso de un algoritmo genético, junto con la simulación del funcionamiento de vaso, como una herramienta para obtener las políticas de operación del sistema de presas del río Grijalva. Se presentan los resultados obtenidos con algoritmos genéticos comparándolos con los logrados usando programación dinámica estocástica (PDE).

## 1. Metodología

### 1.1 Generalidades sobre algoritmos genéticos

Los algoritmos genéticos se basan en los estudios de Mendel sobre la herencia y en la teoría de la evolución de Darwin [Goldberg 1989]. Utilizan tres operaciones que son la selección, el intercambio o cruza y la mutación. Estas operaciones se llevan a cabo tomando en cuenta un procedimiento aleatorio para el sitio de cruza y considerando una probabilidad de que ocurra la mutación. El algoritmo genético simple plantea que si se tiene una función objetivo (lineal o no) que desea optimizarse (maximizar o minimizar), es posible obtener el o los valores de las variables de decisión que logran tal óptimo. Las principales diferencias de los algoritmos genéticos con respecto a los métodos tradicionales son que los primeros ven el problema como una caja negra, mientras que los segundos resuelven problemas específicos.

### 1.2 Algoritmo genético simple

El algoritmo genético simple define una población inicial de  $n$  individuos (cromosomas), que se puede visualizar como un arreglo matricial cuyos renglones indican el número de individuos y cuyas columnas representan cada variable que se desea obtener. Esta población ini-

cial es creada aleatoriamente, tomando en cuenta los límites superior e inferior que cada variable puede tomar. Cabe mencionar que si las variables son números reales, el algoritmo genético transforma este número real en su representación equivalente en binario dada una cierta resolución o precisión, que se calcula según el incremento que se quiera tener para cada variable; para ello se define el rango de cada variable como la diferencia entre el valor máximo que puede tomar la variable menos el valor mínimo; posteriormente se calcula la precisión o resolución tomando en cuenta que al querer la cantidad en números binarios se necesita la potencia de 2 tal que se pueda representar al total de cantidades con un cierto incremento, por lo que la precisión será igual al  $\log_2(\text{rango/incremento})$ . Cada individuo (cromosoma) contiene a las variables involucradas; cuando están representados en binario, la longitud del individuo será igual al número de variables por la precisión o resolución. Una vez definida esta primera población, se evalúa el desempeño de cada individuo lo que logra substituyendo los valores de las variables codificadas de cada individuo en la función objetivo y determinando el valor de ésta. Al contar con el valor del desempeño de cada individuo se selecciona el número de veces que aparecerá cada uno de ellos en la siguiente generación y cuáles desaparecerán (los de menor desempeño). Para ello se pueden utilizar metodologías como el método de selección de la ruleta, el muestreo estocástico universal o el de torneo, cuya descripción puede consultarse en [Goldberg 1989]. Los  $n$  individuos seleccionados, representados como números binarios se someten a la operación de cruza (ésta puede ser en un punto o multipunto y el punto de cruza se elige aleatoriamente [Rodríguez 2003]). Una vez que se efectuó la cruza, se procede con el operador de mutación con una probabilidad baja, por ejemplo de 0.9/longitud del individuo. El operador de mutación permite salir de un punto de convergencia prematura o de una región considerada como óptimo local. Al obtener los nuevos individuos de la siguiente generación, se evalúa su desempeño y se repite el proceso de selección, intercambio o cruza, mutación y se obtiene la siguiente generación. Este proceso de evolución se realiza hasta cumplir con el criterio de finalización (número de generaciones máximas o tolerancia en la convergencia).

La Figura 1 representa un diagrama de bloques de un algoritmo genético simple.



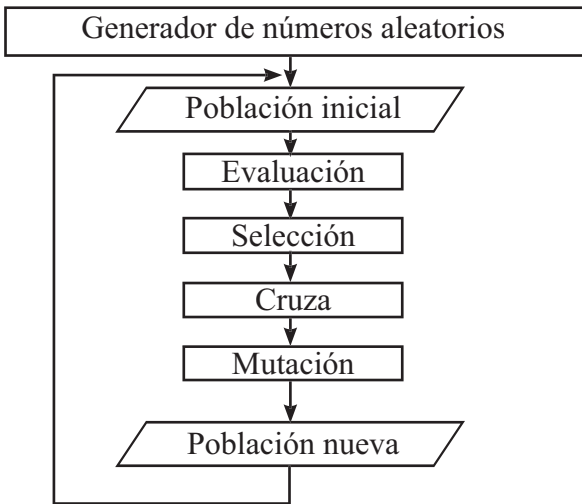


Figura 1: Algoritmo genético simple

A continuación se detallan las operaciones básicas en el algoritmo genético simple.

### 1.2.1 Selección

Se llama así a la elección aleatoria de  $m$  individuos dentro de una población de  $n$  individuos. Por ejemplo, se considera la población formada por los individuos 00001, 00011, 01001, 00101, 10101; cada individuo tiene una probabilidad de ser seleccionado que es proporcional a su desempeño dentro de la población. La suma de las probabilidades debe ser de uno. En este caso, se supondrá que se escogen aleatoriamente los individuos 2 y 5. La selección puede hacerse con el método de la ruleta, el estocástico universal, torneo. El algoritmo genético usado en este documento utiliza el método estocástico universal.

### 1.2.3 Cruza

A partir de dos individuos (padres) seleccionados se pueden crear dos nuevos individuos; para ello se selecciona aleatoriamente un punto de intercambio. Por ejemplo, para los individuos 2 y 5 seleccionados en el párrafo anterior y considerando la segunda posición como punto de cruce, tenemos:

$$00|011 \quad \text{y} \quad 10|101$$

Posteriormente se efectúa el intercambio, generándose los nuevos individuos:

$$00101 \quad \text{y} \quad 10011$$

Cuando los individuos están compuestos de un mayor número de dígitos, también se puede efectuar una cruce multipunto, es decir elegir aleatoriamente más de un punto de cruce y hacer el intercambio de información (Rodríguez, 2003). En el siguiente ejemplo, se seleccionan tres puntos de cruce para el individuo 1 y para el individuo dos:

$$\underbrace{1|10|011|0} \quad \text{y} \quad \underbrace{0|11|010|1}$$

Posteriormente se efectúa el intercambio entre los dígitos señalados con una llave, generándose los nuevos individuos:

$$\underbrace{0|10010|0} \quad \text{y} \quad \underbrace{1|11011|1}$$

### 1.2.3 Mutación

Es la selección aleatoria de una posición dentro del individuo, alterando posteriormente su contenido de cero a uno o de uno a cero, dependiendo del valor contenido. Por ejemplo, si se tiene formado el individuo: 10011 y aleatoriamente cambia el dígito de la tercera posición de cero a uno, se genera el nuevo individuo: 10111

## 1.3 Aplicación

Para la aplicación del algoritmo genético se utilizó la información del sistema del río Grijalva formado por cuatro presas en serie La Angostura, Chicoasén, Malpaso y Peñitas. El algoritmo genético que se utilizó en este estudio forma parte de la caja de herramientas de Algoritmos Genéticos del paquete MATLAB [The MathWorks 1992]. Al programa original se le hizo la modificación del número de individuos a considerar, el número de generaciones, la resolución o precisión utilizado fue igual a 14 (tomando en cuenta el límite inferior y el límite superior que puede tomar cada variable). La definición de la función objetivo es un factor importante en el desempeño del algoritmo genético. Dicha función fue definida ajustándose al problema en estudio.

### 1.3.1 Definición de los estados del sistema

Debido a la escasa capacidad de regulación de las presas Chicoasén y Peñitas, se optó por trabajar con un sistema equivalente formado por las presas La Angos-

tura y Malpaso tomando en cuenta las aportaciones por cuenca propia y la carga dada por las presas Chicoasén y Peñitas. El problema que se planteó fue obtener el valor del volumen de extracción quincenal de las presas La Angostura y Malpaso para cada estado de cada presa y de acuerdo con seis etapas en que se dividió al año: la etapa 6, de enero a mayo, la etapa 5, de junio y julio, la etapa 4, de agosto, la etapa 3, de septiembre, la etapa 2, de octubre y la etapa 1, en noviembre y diciembre; los volúmenes de extracción quincenales debían ser tales que se lograra la máxima generación de energía, con los mínimos derrames y déficit en el sistema.

La capacidad útil de las presas se dividió en estados, considerando un incremento del volumen constante  $\Delta V$ . En la presa La Angostura se consideró un total de 22 estados con un  $\Delta V$  de 600 millones de  $m^3$  y en la presa Malpaso un total de 16 estados con el mismo  $\Delta V$ .

De acuerdo con la capacidad de generación en el sistema se definieron los valores de la extracción máxima permisible en cada presa. Se propuso un valor mínimo de la extracción de una unidad de volumen (según la etapa del año, ver Tabla 1).

### 1.3.2 Construcción de la población

Las variables en el problema planteado vía algoritmos genéticos son los volúmenes de extracción (políticas) para cada estado de cada presa en cada mes del año. En total se tienen 4224 variables definidas de la manera siguiente.

Para la etapa 6 (enero-mayo) se consideró que la política de extracción sería la misma esos 5 meses, por lo que se tiene un total de 22 (estados en La Angostura)\*16 (estados en Malpaso)=352 variables para la presa La Angostura y otras 352 variables para la presa Malpaso, es decir un total de 704 variables. Para la etapa 5 (junio y julio) se consideró algo similar. En este caso 704 variables. Para las etapas 4, 3 y 2 (agosto, septiembre, octubre) se tienen 704 variables en cada mes. Para la etapa 1 (noviembre y diciembre) se tiene algo similar a la etapa 5 con 704 variables. Es decir, se definió que se tenían en total: 704 variables x 6 etapas = 4224 variables (2112 correspondientes a La Angostura y 2112 correspondientes a Malpaso) con su respectivo intervalo de variación considerado de acuerdo con la capacidad del sistema.

Por lo tanto, se formó un arreglo de  $n$  renglones por 4224 columnas (valores reales), en donde las columnas 1 a 2112 representan las extracciones en La Angostura y de la 2113 a la 4224 las extracciones en Malpaso. La representación en binario de cada individuo incrementó de manera considerable su número de columnas, tomando en cuenta su resolución o precisión. En el problema analizado, con un límite superior de 3000, un límite inferior de 120 se obtuvo un rango de 2880 y al considerar un incremento de uno, la precisión fue  $\log_2(2880/1)=11.5$ , el cual al redondearse da 12, y como  $2^{12}=4096$  se pueden representar todas las variables. En el problema se optó una precisión de 14 (las columnas totales para la representación en binario fueron iguales al número de variables por la resolución; es decir,  $4224 \times 14=59136$  bits), con objeto de ampliar el espacio de búsqueda.

### 1.3.3 Función objetivo

La función objetivo ( $FO$ ) que se planteó fue :

$$FO=CR (ObjV1 - ObjV2 - ObjV3) \quad (1)$$

Donde:

CR coeficiente de reducción de la función objetivo

ObjV1=Energía total<sub>Ang</sub> +Energía total<sub>Malp</sub>

ObjV2=p3\*Derr<sub>Ang</sub> +p4\*Derr<sub>Malp</sub>

ObjV3=p5\*Déf<sub>Ang</sub> +p6\*Déf<sub>Malp</sub>

p3: Coeficiente de derrame en La Angostura

p4 Coeficiente de derrame en Malpaso

p5 Coeficiente de déficit en La Angostura

p6 Coeficiente de déficit en Malpaso

Debido a que el algoritmo genético en MATLAB sólo minimiza y nuestro problema era maximizar la  $FO$ , entonces,  $máx(FO)=mín(-FO)$ ; por lo que la función a optimizar resultante es:

$$FO' = CR (-ObjV1 + ObjV2 + ObjV3) \quad (2)$$

El programa de la función objetivo RESTRIC1.M construye, para cada individuo (renglón), el archivo de políticas *archpol* con un formato similar al que se generaba vía programación dinámica estocástica; una vez que se crea este archivo, el algoritmo genético (SGAPRESAS.M) llama al programa de simu-



lación SIMULQF.FOR el cual realiza la simulación conjunta del sistema. A este programa se le agregaron instrucciones para que guardara en distintos archivos de texto los valores de la energía total generada por cada presa, así como los derrames totales para cada presa y el déficit total en cada presa.

## 2. Resultados

### 2.1 De la aplicación del algoritmo genético simple

Primero se hicieron cuatro ensayos con distinto número de individuos y de generaciones, con una pro-

babilidad de mutación de  $0.7/Longitud\ del\ individuo$  y usando la ecuación (2) como función objetivo. Los coeficientes de derrame en cada presa se dejaron fijos con valores de 10 y 100; los de déficit en 10 y 10; estos valores se fijaron tomando en cuenta los resultados obtenidos vía programación dinámica estocástica (PDE) [Domínguez y Mendoza 2000]. Se hizo la comparación con la operación histórica en el periodo de 1959 a 2001 así como con una política de operación obtenida vía programación dinámica estocástica (referida como el ensayo 7, "[Arganis, 2004]. El resumen de resultados se presenta en la Tabla 1 y en las Figuras 2 y 3, en los cuales se incluye solamente la política AG(III) obtenida vía algoritmo genético, descrito en la Tabla 1, la cual presentó la mejor combinación de energía generada, menor derrame y déficit del sistema.

#### Alternativas analizadas

AG	Individuos	Generaciones	CderrAng	CderrMalp	CdéfAng	CdéfMalp
(I)	10	30	10	100	10	10
(II)	10	40	10	100	10	10
(III)	20	30	10	100	10	10
(IV)	20	40	10	100	10	10

Ensayo	Energía generada GWh/ quincena			Almacenamiento Mínimo ( $10^6m^3$ )		Derrame ( $10^6m^3$ )		Elevación mínima (msnm)	
	La Angostura	Malpaso	Suma	La Angostura	Malpaso	La Angostura	Malpaso	La Angostura	Malpaso
Ensayo 7	301.81	224.06	525.87	2915.05	5302.85	0	7.2 <sup>(1)</sup>	517.05	171.42
AG (I)	290.96	205.76	496.72	0 <sup>(2)</sup>	963.64	0	2412.57 <sup>(3)</sup>	501.85	156.25
AG (II)	290.84	206.26	497.1	0 <sup>(4)</sup>	674.08	0	833.83 <sup>(5)</sup>	502.04	158.21
AG (III)	290.56	207.42	497.98	0 <sup>(6)</sup>	1309.97	0	78.60 <sup>(7)</sup>	501.64	157.18
AG (IV)	289.83	208.23	498.06	0 <sup>(8)</sup>	990.32	0	3318.23 <sup>(9)</sup>	501.32	159.27

(1) El derrame se presenta en la segunda quincena de octubre de 1999

(2) Se presenta un déficit de  $1918.08 \times 10^6m^3$  que se presenta en 34 quincenas, en 12 ocasiones en la 2aQ de mayo

(3) El derrame ocurre en 8 quincenas, una vez en la 2aQ de octubre

(4) Se presenta un déficit total de  $430.54 \times 10^6m^3$  en 7 quincenas, 3 veces en la 2aQ de mayo

(5) El derrame ocurre en 4 quincenas, una de ellas en la 2aQ de octubre

(6) Se presenta un déficit total de  $1213.40 \times 10^6m^3$  en 16 quincenas, en 3 ocasiones en la 2aQ de mayo

(7) El derrame se presenta en la 2aQ e noviembre de 1959

(8) Se presenta un déficit de  $7227.4 \times 10^6m^3$  en 59 quincenas, en 16 ocasiones en la 2aQ de mayo

(9) El derrame se presenta en 3 quincenas, en una ocasión en la 2aQ de octubre

#### Extracción por unidad de volumen, según la etapa

Etapa	La Angostura		Malpaso	
	kmin	kmax	kmin	kmax
1	1	7	2	10
2	1	4	2	5
3	1	4	2	5
4	1	4	2	5
5	1	7	2	10
6	4	19	5	25

Tabla 1: Resumen de resultados de la operación conjunta de las presas La Angostura y Malpaso periodo 1959-2001,  $pm=0.7/Longitud\ del\ individuo$ , ecuación (2)



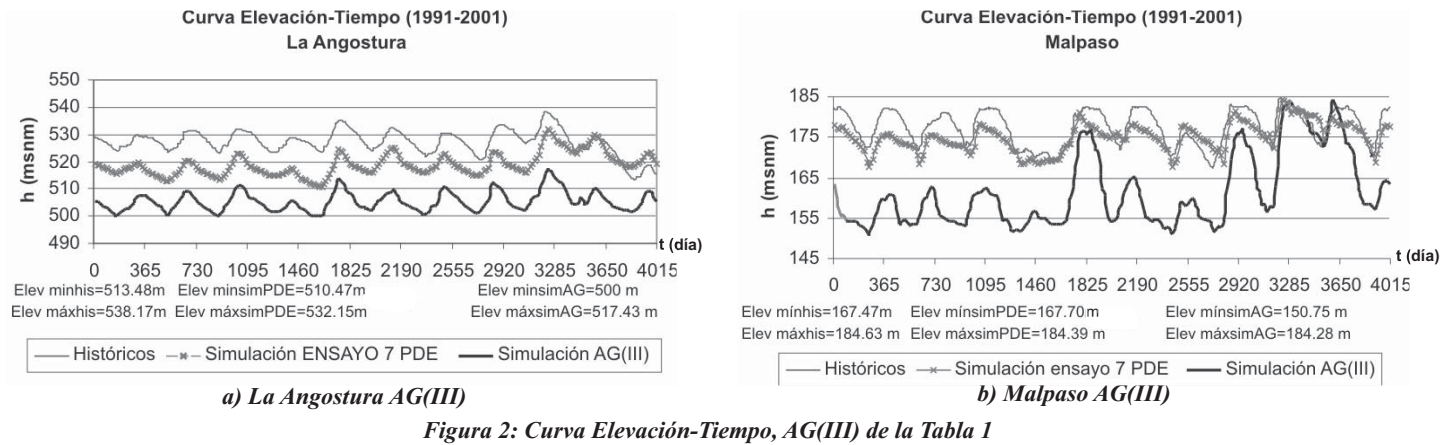


Figura 2: Curva Elevación-Tiempo, AG(III) de la Tabla 1

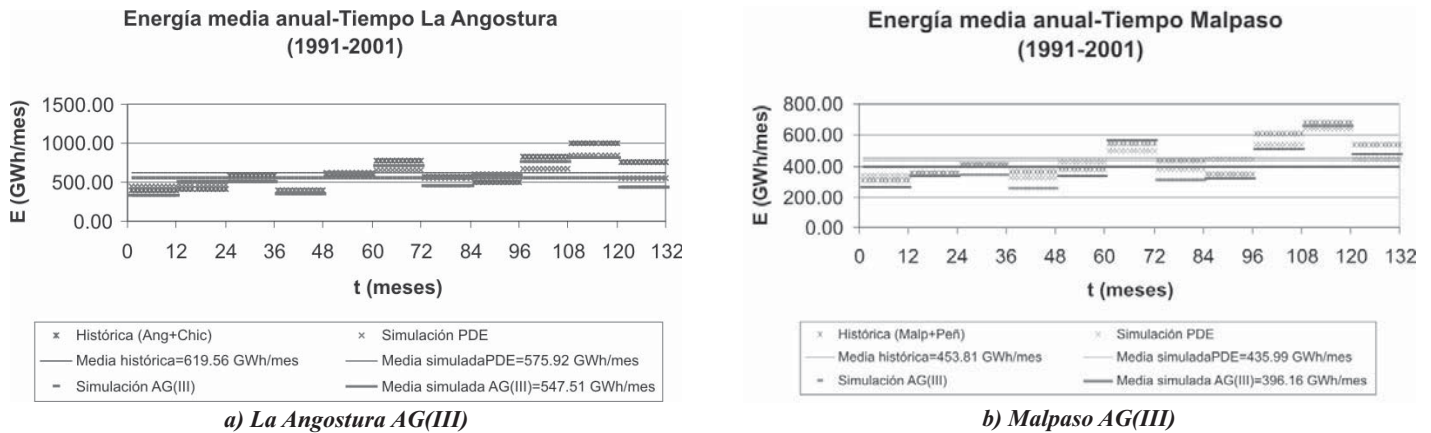


Figura 3: Curva Energía media anual-Tiempo, AG (III) de la Tabla 1

ESTADOS MALPASO

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
E	1	3 2	3 7	3 2	2 7	1 22	3 20	2 9	2 20	1 20	3 20	1 6	2 16	3 6	2 16	4 11	4 22
S	2	4 4	3 3	8 4	7 7	5 24	5 7	2 21	3 23	5 8	4 20	9 1	7 23	4 23	5 18	7 5	3 1
T	3	5 2	3 5	9 6	3 6	10 6	2 6	2 11	11 6	13 4	7 10	11 22	12 12	13 19	9 22	11 19	2 18
A	4	12 4	8 7	18 10	11 10	3 7	11 1	14 15	10 12	13 2	12 15	5 3	10 1	14 17	8 1	9 11	7 15
D	5	1 1	8 5	15 8	13 5	1 13	1 6	11 15	8 19	16 2	8 7	7 6	8 15	15 18	11 12	14 17	8 2
O	6	18 2	1 6	15 4	15 15	10 6	6 12	14 18	8 15	6 3	13 7	5 1	18 6	9 1	14 5	1 14	6 21
S	7	14 2	5 9	13 14	16 16	15 12	9 2	10 20	10 13	16 10	11 6	7 16	6 6	11 11	18 4	11 14	5 13
L	8	18 4	4 9	8 4	17 14	10 17	13 23	9 20	7 5	12 18	8 22	7 17	12 9	11 9	9 4	5 2	17 11
A	9	7 3	13 1	18 2	10 2	7 4	5 14	4 13	8 14	5 10	7 18	14 12	13 14	5 14	7 17	16 17	1 16
N	10	11 1	10 3	13 3	5 2	12 23	12 2	18 8	6 14	17 11	17 14	15 9	11 24	14 22	7 17	18 23	16 21
G	11	12 4	16 2	14 1	10 18	8 10	14 18	18 11	9 24	15 8	6 6	14 15	3 23	16 7	2 21	18 18	11 24
O	12	9 4	1 5	4 6	5 15	5 18	13 1	18 11	14 7	12 18	14 8	12 19	13 22	13 10	14 19	7 5	13 5
S	13	6 3	10 8	11 5	13 12	9 2	7 23	12 21	15 8	10 2	13 22	9 2	14 22	1 12	3 20	4 5	18 5
T	14	16 1	6 2	2 10	15 15	15 7	13 2	6 11	15 20	13 10	1 8	17 21	12 3	16 11	14 2	14 10	4 11
U	15	18 4	1 3	15 9	5 13	6 8	12 7	5 2	12 8	9 7	1 2	9 24	16 12	1 19	12 23	15 21	11 22
R	16	15 3	10 7	17 1	2 4	15 4	11 19	4 15	4 3	3 15	2 12	11 7	7 11	5 20	5 3	12 10	18 12
A	17	12 1	3 2	13 11	14 17	16 2	6 22	17 9	4 22	8 20	3 22	15 17	18 8	12 15	5 16	18 6	2 24
	18	17 4	14 5	16 2	8 14	15 14	17 14	10 1	6 11	8 17	12 15	12 21	5 20	14 19	14 3	13 7	16 11
	19	12 1	4 6	7 4	2 12	14 11	8 22	18 10	18 10	10 2	8 8	10 3	7 4	12 8	2 10	7 10	14 24
	20	8 2	10 6	17 3	17 14	17 11	9 10	17 7	16 3	3 23	17 21	16 12	3 24	4 16	10 7	11 23	9 10
	21	8 2	8 4	6 10	14 6	5 7	6 4	2 9	9 6	11 15	7 19	8 5	18 3	14 6	11 4	4 7	10 11
	22	13 4	13 4	4 14	12 2	11 18	5 16	11 14	8 21	2 19	6 12	11 6	5 20	6 8	7 1	11 20	17 20

a) Política de operación recomendada para la etapa enero-mayo AG(III). Cada unidad corresponde a una extracción de 60 millones de m<sup>3</sup> por quincena

ESTADOS MALPASO

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
E	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
S	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
T	3	2	1	1	2	2	1	2	2	1	1	2	1	1	1	1
A	4	1	1	2	2	3	2	2	3	1	3	3	1	2	3	1
D	5	3	1	3	1	3	2	1	2	3	1	4	3	4	3	3
O	6	1	1	3	1	1	2	2	4	3	3	3	4	2	1	1
S	7	1	1	2	1	1	2	2	2	3	3	2	4	3	4	1
L	8	1	1	1	1	2	1	2	3	1	1	4	1	4	3	3
A	9	3	1	3	1	3	2	1	2	3	4	2	4	3	3	2
N	10	3	1	1	1	2	1	1	2	3	2	1	1	4	2	2
G	11	1	1	3	1	2	1	3	2	3	3	2	4	1	1	2
O	12	1	1	1	1	1	2	1	3	3	1	2	1	1	1	2
S	13	3	1	2	1	1	2	2	3	1	3	2	1	4	1	4
T	14	2	1	1	1	2	2	2	2	4	2	2	4	2	1	3
U	15	3	1	2	1	3	1	3	2	3	3	2	4	1	2	3
R	16	3	1	2	1	1	1	3	3	2	2	3	1	1	3	2
A	17	2	1	2	1	1	2	1	3	2	3	2	4	3	4	2
	18	1	1	1	1	3	1	1	1	3	2	1	1	3	1	3
	19	3	1	2	1	2	1	2	3	3	4	1	2	3	1	1
	20	2	1	1	1	2	2	2	3	1	4	3	2	1	3	1
	21	3	1	1	1	1	2	1	3	1	2	3	2	3	2	1
	22	3	1	3	1	2	1	2	3	3	1	2	3	3	4	3

b) Política de operación recomendada para la etapa septiembre AG(III). Cada unidad corresponde a una extracción de 150 millones de m³ por quincena

ESTADOS MALPASO

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
E	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
S	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
T	3	2	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	4	2	1	1
A	4	1	1	1	1	3	2	2	3	2	4	2	2	3	3	2
D	5	2	1	2	1	2	1	3	2	2	4	2	2	3	1	3
O	6	2	1	2	1	1	1	2	1	2	4	3	4	3	1	3
S	7	1	1	1	1	1	2	1	3	3	2	3	1	4	2	2
L	8	1	1	1	1	3	1	2	3	3	1	2	2	3	2	1
A	9	2	1	3	1	1	1	1	3	3	1	3	1	1	2	4
N	10	2	1	1	1	1	3	1	2	1	1	3	1	2	2	2
G	11	3	1	2	1	3	2	3	2	1	4	3	3	1	1	2
O	12	3	1	2	1	3	1	1	4	2	2	3	1	1	2	3
S	13	2	1	3	1	1	1	3	3	1	4	2	1	3	3	1
T	14	1	1	2	1	1	2	3	1	2	1	2	2	2	4	1
U	15	2	1	2	1	3	1	1	4	2	2	3	3	1	1	1
R	16	2	1	1	1	3	1	1	3	2	4	1	3	3	2	2
A	17	3	1	3	1	2	2	3	2	2	3	3	1	1	3	3
	18	3	1	2	1	2	1	1	1	3	1	3	2	3	3	1
	19	1	1	3	1	1	2	3	3	1	3	3	2	2	3	3
	20	3	1	1	1	1	2	3	1	3	1	4	3	4	3	1
	21	3	1	1	1	1	2	1	1	1	1	3	4	3	1	3
	22	2	1	2	1	2	1	3	3	1	2	2	3	1	2	4

c) Política de operación recomendada para la etapa octubre AG(III). Cada unidad corresponde a una extracción de 300 millones de m³ por quincena

Tabla 2: Políticas de operación para distintas etapas del año. AG(III)

En la Tabla 2 se presentan las políticas de extracción en las etapas 6 (enero-mayo), etapa 3 (septiembre) y la etapa 2 (octubre), obtenidas con el AG(III) descrito en la Tabla 1, la cual presentó la mejor combinación de energía generada, menor déficit y menor derrame en el sistema, para los estados de las presas La Angostura y Malpaso.

Posteriormente se hicieron cuatro nuevos ensayos en los que únicamente se afectó con el  $CR=0.1$  al término  $ObjV1$ , es decir, usando la expresión:

$$FO_{mod} = -CRO_{ObjV1} + ObjV2 + ObjV3 \quad (3)$$

**Alternativas analizadas**

AG	Individuos	Generaciones	CderrAng	CderrMalp	CdéfAng	CdéfMalp
(I)	10	30	10	100	10	10
(II)	10	40	10	100	10	10
(III)	20	30	10	100	10	10
(IV)	20	40	10	100	10	10

El resumen de estos resultados aparece en la Tabla 3.

Más adelante se hicieron cuatro nuevos ensayos empleando la ecuación (2), pero en esta ocasión sólo se hizo el cambio a una probabilidad de mutación de  $0.9/Longitud\ del\ individuo$  (Tabla 4).

Posteriormente se hicieron cuatro ensayos más, con la probabilidad de mutación de  $0.9/Longitud\ del\ individuo$  pero usando en esta ocasión la ecuación (3) (Los resultados se presentan en la Tabla 5).

Ensayo	Energía generada GWh/ quincena			Almacenamiento Mínimo ( $10^6m^3$ )		Derrame ( $10^6m^3$ )		Elevación mínima (msnm)	
	La Angostura	Malpaso	Suma	La Angostura	Malpaso	La Angostura	Malpaso	La Angostura	Malpaso
Ensayo 7	301.81	224.06	525.87	2915.05	5302.85	0	7.2 <sup>(1)</sup>	517.05	171.42
AG (I)	290.84	206.26	497.1	0 <sup>(2)</sup>	674.08	0	833.83 <sup>(3)</sup>	502.04	156.21
AG (II)	290.69	205.45	494.14	0 <sup>(4)</sup>	672.61	0	5139.54 <sup>(5)</sup>	501.56	157
AG (III)	290.96	206.97	497.93	0 <sup>(6)</sup>	444.96	0	1007.63 <sup>(7)</sup>	502.1	153.08
AG (IV)	291.05	208.12	499.17	0 <sup>(8)</sup>	1262.05	0	144.19 <sup>(9)</sup>	503.12	159.85

- (1) El derrame se presenta en la segunda quincena de octubre de 1999
- (2) Se presenta un déficit de  $430.55 \times 10^6m^3$  que se presenta en 8 quincenas, en 2 ocasiones en la 2aQ de mayo
- (3) El derrame ocurre en 4 quincenas, una ocasión en la 2aQ de octubre
- (4) Se presenta un déficit total de  $4306.81 \times 10^6m^3$  en 39 quincenas; en 12 ocasiones ocurre en la 2aQ de mayo
- (5) El derrame ocurre en 4 quincenas, en una ocasión en la 2aQ de octubre
- (6) Se presenta un déficit total de  $4920.09 \times 10^6m^3$  en 48 quincenas, en 10 ocasiones en la 2aQ de mayo
- (7) El derrame se presenta en dos quincenas, en una ocasión en la 2aQ de octubre
- (8) Se presenta un déficit de  $848.43 \times 10^6m^3$  en 9 quincenas, en 5 ocasiones en la 2aQ de mayo
- (9) El derrame se presenta en 3 quincenas, en una ocasión en la 2aQ de octubre

**Tabla 3: Resumen de resultados de la operación conjunta de las presas La Angostura y Malpaso periodo 1959-2001,  $pm=0.7/individ$ , ecuación (3)**

**Alternativas analizadas**

AG	Individuos	Generaciones	CderrAng	CderrMalp	CdéfAng	CdéfMalp
(I)	10	30	10	100	10	10
(II)	10	40	10	100	10	10
(III)	20	30	10	100	10	10
(IV)	20	40	10	100	10	10

**Tabla 4: Resumen de resultados de la operación conjunta de las presas La Angostura y Malpaso periodo 1959-2001,  $pm=0.9/individ$ , ecuación (2) continúa**





Ensayo	Energía generada GWh/ quincena			Almacenamiento Mínimo ( $10^6\text{m}^3$ )		Derrame ( $10^6\text{m}^3$ )		Elevación mínima (msnm)	
	La Angostura	Malpaso	Suma	La Angostura	Malpaso	La Angostura	Malpaso	La Angostura	Malpaso
Ensayo 7	301.81	224.06	525.87	2915.05	5302.85	0	7.2 <sup>(1)</sup>	517.05	171.42
AG (I)	290.79	206.41	497.2	0 <sup>(2)</sup>	679.5	0	838.55 <sup>(3)</sup>	501.98	158.31
AG (II)	290.69	205.53	496.22	0 <sup>(4)</sup>	666.48	0	5121.37 <sup>(5)</sup>	501.59	157.03
AG (III)	290.94	206.8	497.74	0 <sup>(6)</sup>	444.96	0	1007.75 <sup>(7)</sup>	502.05	158.96
AG (IV)	291.32	206.31	497.63	0 <sup>(8)</sup>	1340.11	0	293.75 <sup>(9)</sup>	503.13	158.24

- (1) El derrame se presenta en la segunda quincena de octubre de 1999
- (2) Se presenta un déficit de  $442.9 \times 10^6\text{m}^3$  en 9 quincenas, en 3 ocasiones en la 2aQ de mayo
- (3) El derrame total ocurre en 4 quincenas, en una ocasión en la 2aQ de octubre
- (4) Se presenta un déficit total de  $4230.5 \times 10^6\text{m}^3$  en 41 quincenas, en 14 ocasiones en la 2aQ de mayo
- (5) El derrame ocurre en 7 quincenas, en 3 ocasiones en la 2aQ de octubre
- (6) Se presenta un déficit total de  $5366.31 \times 10^6\text{m}^3$  en 49 quincenas, en 10 ocasiones en la 2aQ de mayo
- (7) El derrame total ocurre en 2 quincenas, en una ocasión en la 2aQ de octubre
- (8) Se presenta un déficit de  $93.49 \times 10^6\text{m}^3$  en la 2aQ de mayo de 1988
- (9) El derrame se presenta en la segunda quincena de octubre del año 2000

*Tabla 4: Resumen de resultados de la operación conjunta de las presas La Angostura y Malpaso periodo 1959-2001,  $pm=0.9$ /indiv, ecuación (2)*

#### Alternativas analizadas

AG	Individuos	Generaciones	CderrAng	CderrMalp	CdéfAng	CdéfMalp
(I)	10	30	10	100	10	10
(II)	10	40	10	100	10	10
(III)	20	30	10	100	10	10
(IV)	20	40	10	100	10	10

Ensayo	Energía generada GWh/ quincena			Almacenamiento Mínimo ( $10^6\text{m}^3$ )		Derrame ( $10^6\text{m}^3$ )		Elevación mínima (msnm)	
	La Angostura	Malpaso	Suma	La Angostura	Malpaso	La Angostura	Malpaso	La Angostura	Malpaso
Ensayo 7	301.81	224.06	525.87	2915.05	5302.85	0	7.2 <sup>(1)</sup>	517.05	171.42
AG (I)	290.53	206.47	497	0 <sup>(2)</sup>	590.26	0	2479.17 <sup>(3)</sup>	502.02	158.7
AG (II)	290.59	206.03	496.62	0 <sup>(4)</sup>	1086.65	0	3445.05 <sup>(5)</sup>	501.48	159.44
AG (III)	290.61	204.76	495.37	0 <sup>(6)</sup>	545.06	0	1519.94 <sup>(7)</sup>	502.11	158.98
AG (IV)	291.64	213.3	503.94	0 <sup>(8)</sup>	1468.03	0	1146.94 <sup>(9)</sup>	502.53	163.53

- (1) El derrame se presenta en la segunda quincena de octubre de 1999
- (2) Se presenta un déficit de  $4585.35 \times 10^6\text{m}^3$  en 50 quincenas, en 11 ocasiones en la 2aQ de mayo
- (3) El derrame ocurre en 7 quincenas, en 2 ocasiones en la 2aQ de octubre
- (4) Se presenta un déficit total de  $4265.88 \times 10^6\text{m}^3$  en 48 quincenas, en 19 ocasiones en la 2aQ de mayo
- (5) El derrame ocurre en 10 quincenas, en 2 ocasiones en la 2aQ de octubre
- (6) Se presenta un déficit total de  $816.78 \times 10^6\text{m}^3$  en 13 quincenas, en 6 ocasiones en la 2aQ de mayo
- (7) El derrame se presenta en 6 quincenas, en 2 quincenas en la 2aQ de octubre
- (8) Se presenta un déficit de  $661.67 \times 10^6\text{m}^3$  en 9 quincenas, en 3 ocasiones en la 2aQ de mayo
- (9) El derrame ocurre en 10 quincenas, en una ocasión en la 2aQ de octubre

*Tabla 5: Resumen de resultados de la operación conjunta de las presas La Angostura y Malpaso periodo 1959-2001,  $pm=0.9$ /Longitud del individuo, ecuación (3)*

De acuerdo con los resultados obtenidos en las Tablas 3, 4 y 5, se observa que con el ensayo correspondiente al AG(IV), pero con una probabilidad de mutación de  $0.9/Longitud\ del\ individuo$  y con la ecuación (2) se logró una alta generación promedio en el sistema (291.32 GWh/quincena en la Angostura y 206.31 GWh/quincena en Malpaso), con un derrame en Malpaso de 293.75 millones de  $m^3$  y con un déficit en la Angostura de 93.49 millones de  $m^3$  (Tabla 4). Esta política fue la que mejor concilió el objetivo de obtener la máxima energía generada con el menor déficit y derrame, respecto a todos los demás ensayos efectuados con algoritmos genéticos.

Debido a que no se pudo superar la situación de déficit en el sistema, se optó por hacer nuevos ensayos probando con un mayor número de individuos y generaciones, aumentando los coeficientes de penalización por déficit a 1000 unidades en cada presa y con la probabilidad de mutación de  $0.9/Longitud\ del\ individuo$ . Las nuevas políticas obtenidas se simularon usando el registro histórico considerando datos hasta del año 2002. El resumen de resultados aparece en la Tabla 6.

En la Tabla 6 se observa que al imponer mayores coeficientes de penalización por déficit, la respuesta de la política de operación obtenida por el algoritmo genético mejora de manera importante con respecto a los ensayos anteriores; se logra evitar la situación de déficit en el sistema, aunque los almacenamientos disminuyen de manera importante. En este caso con la política del algoritmo genético VII se obtiene la mayor energía generada en el sistema, la mejor respuesta en cuanto a la condición de almacenamiento mínimo y se evitan por completo los derrames y el déficit. En las Figuras 4 y 5 se muestran los valores de las elevaciones quincenales, así como el valor de la energía promedio generada mensualmente en el periodo de 1991 a 2001, en el que se cuenta con los datos confiables de la operación del sistema.

Lo anterior muestra que el algoritmo genético puede dar mejores respuestas al variar los parámetros del problema, aunque la generación de energía es inferior (95%) a la obtenida vía PDE.

#### Alternativas analizadas

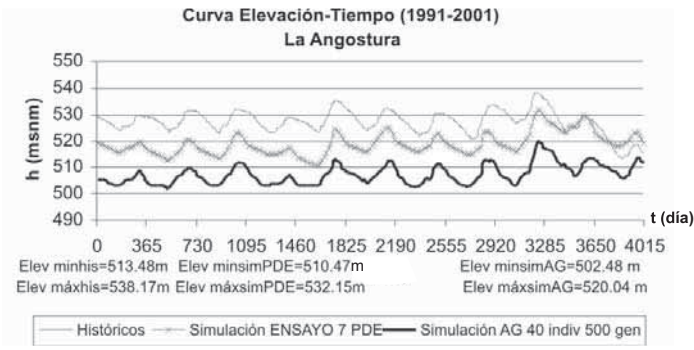
AG	Individuos	Generaciones	CderrAng	CderrMalp	CdéfAng	CdéfMalp
(V)	30	1000	10	100	1000	1000
(VI)	30	500	10	100	1000	1000
(VII)	40	500	10	100	1000	1000
(VIII)	50	500	10	100	1000	1000
(IX)	20	500	10	100	1000	1000

Ensayo	Energía generada GWh/ quincena			Almacenamiento Mínimo ( $10^6 m^3$ )		Derrame ( $10^6 m^3$ )		Elevación mínima (msnm)	
	La Angostura	Malpaso	Suma	La Angostura	Malpaso	La Angostura	Malpaso	La Angostura	Malpaso
Ensayo 7	301.81	224.06	525.87	2915.05	5302.85	0	7.2 <sup>(1)</sup>	517.05	171.42
AG (V)	289.13	206.11	495.24	59.4	652.46	0	0	503.26	157.98
AG (VI)	289.05	204.52	493.57	51.05	646.7	0	0	503	156.61
AG (VII)	289.83	209.07	498.9	257.81	703.99	0	0	504	158.31
AG (VIII)	289.11	207.35	496.46	4.57	933.13	0	0	503.09	158.33
AG (IX)	288.94	206.14	495.08	25.8	624.75	0	2620.07 <sup>(2)</sup>	502.41	158.2

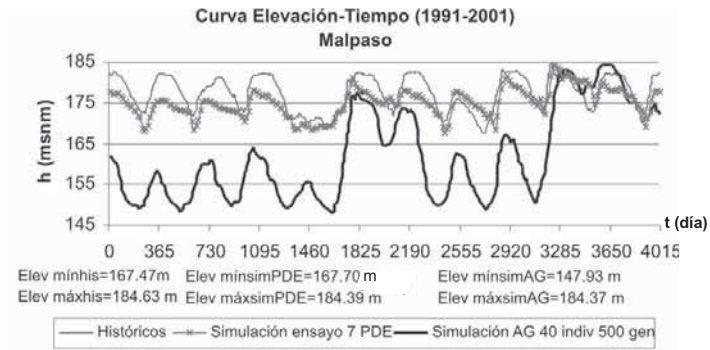
(1) El derrame se presenta en la segunda quincena de octubre de 1999

(2) Se derrame total ocurre en 9 quincenas, en 2 ocasiones en la 2aQ de octubre

**Tabla 6: Resumen de resultados de la operación conjunta de las presas La Angostura y Malpaso periodo 1959-2002,  $pm=0.9/Longitud\ del\ individuo$ , ecuación (3).**

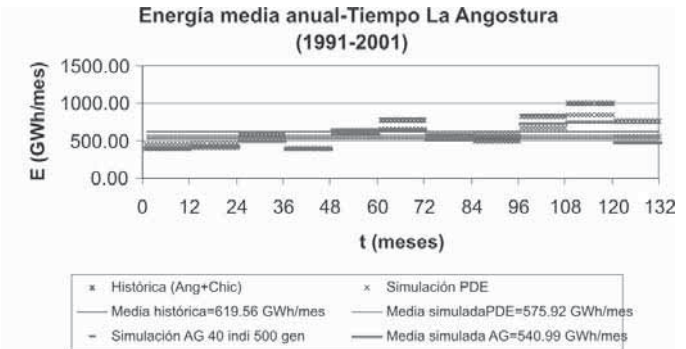


a) La Angostura AG(VII)

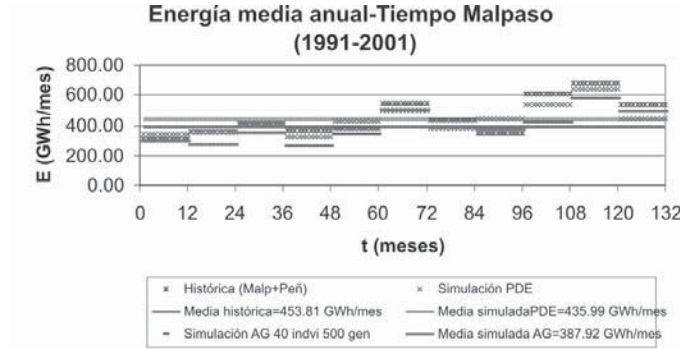


b) Malpaso AG (VII)

Figura 4: Curva Elevación-Tiempo, AG(VII) la Tabla 5



a) La Angostura AG (VII)



b) Malpaso AG (VII)

Figura 5: Curva Energía media anual-Tiempo, AG (VII) de la Tabla 5

## 2.2 Algoritmo genético con siembra de la población inicial

Los resultados obtenidos con el algoritmo genético simple condujeron a la pregunta de si sería posible obtener resultados mejores que el óptimo obtenido por otra técnica (en este caso la programación dinámica estocástica). Por dicha razón se modificó el algoritmo genético de manera que pudiera sembrarse una población inicial de  $n$  individuos. El primer ensayo que se hizo para verificar que el algoritmo funcionaba fue proponer una población inicial formada por un individuo (que correspondió a la política obtenida vía programación dinámica estocástica que se indica como política 2 PDE) y una sola generación. Al obtener las mismas respuestas (Tabla 7) se consideró que el algoritmo funcionaba correctamente y ya podrían hacerse pruebas con poblaciones mayores, así como con mayor número de generaciones.

En la Tabla 8 se presenta el resumen de los resultados de la simulación así como del cálculo de la función objetivo, de acuerdo con la ecuación (2),

de las políticas obtenidas con un algoritmo genético con una población inicial de 10 individuos y 1000 generaciones, en comparación con la política 2 obtenida vía PDE.

Los resultados de la Tabla 8 muestran que con el algoritmo genético simple se puede mejorar el valor óptimo obtenido vía PDE, al aumentar la energía total generada, y lograr al mismo tiempo evitar el déficit y el derrame.

Finalmente, se utilizó el algoritmo genético con una población inicial sembrada de 40 individuos y 1000 generaciones, en la que el primero de los individuos corresponde a la política 7 obtenida vía PDE (Ensayo 7 en las Tablas 1 a 6), la cual sí permite asegurar una extracción mínima, así como permitir hacer acomodos de la generación alrededor del pico de la demanda diaria (Tabla 9).

En la Tabla 9 se observa cómo el algoritmo genético permite una mejora respecto a los resultados obtenidos con la política vía PDE.



Política	Energía tot ang	Energía tot malp	derr tot ang	derr tot malp	déf tot ang	déf tot malp	FO
AG 1 indiv gen	301.2274	223.6104	0	0	0	0	-52903.650
Política 2 PDE	301.2277	223.609	0	0	0	0	-52903.539

Nota: Para evaluar la función objetivo se consideraron coeficientes de penalización por derrame de 10 unidades para La Angostura y de 100 unidades para Malpaso y de déficit de 1000 y 1000 unidades en las dos políticas comparadas, energía en Gwh/quincena, derrames y déficit en millones de m<sup>3</sup>

Tabla 7: Resultados con política obtenida vía PDE y con un AG al sembrar una población inicial de un individuo y en una generación

Política	Energía tot ang	Energía tot malp	derr tot ang	derr tot malp	déf tot ang	déf tot malp	FO
AG 10 indiv 1000 gen	300.8414	226.6626	0	0	0	0	-53172.4032
Política 2 PDE	301.2277	223.609	0	0	0	0	-52903.53936

Nota: Para evaluar la función objetivo se consideraron coeficientes de penalización por derrame de 10 unidades para La Angostura y de 100 unidades para Malpaso y de déficit de 1000 y 1000 unidades en las dos políticas comparadas, energía en Gwh/quincena, derrames y déficit en millones de m<sup>3</sup>

Tabla 8: Resultados con política obtenida vía PDE y con un AG al sembrar una población inicial de 10 individuos y 1000 generaciones

Política	Energía tot ang	Energía tot malp	derr tot ang	derr tot malp	déf tot ang	déf tot malp	FO
AG 40 indiv 1000 gen	301.	225.83	0	0	0	0	-53104.484
Política 7 PDE	299.87	223.24	0	72	0	0	-52657.488

Nota: Para evaluar la función objetivo se consideraron coeficientes de penalización por derrame de 10 unidades para La Angostura y de 100 unidades para Malpaso y de déficit de 1000 y 1000 unidades en las dos políticas comparadas, energía en Gwh/quincena, derrames y déficit en millones de m<sup>3</sup>

Tabla 9: Comparación de resultados con la política 7 obtenida vía PDE y con un AG al sembrar una población inicial de 40 individuos y 1000 generaciones

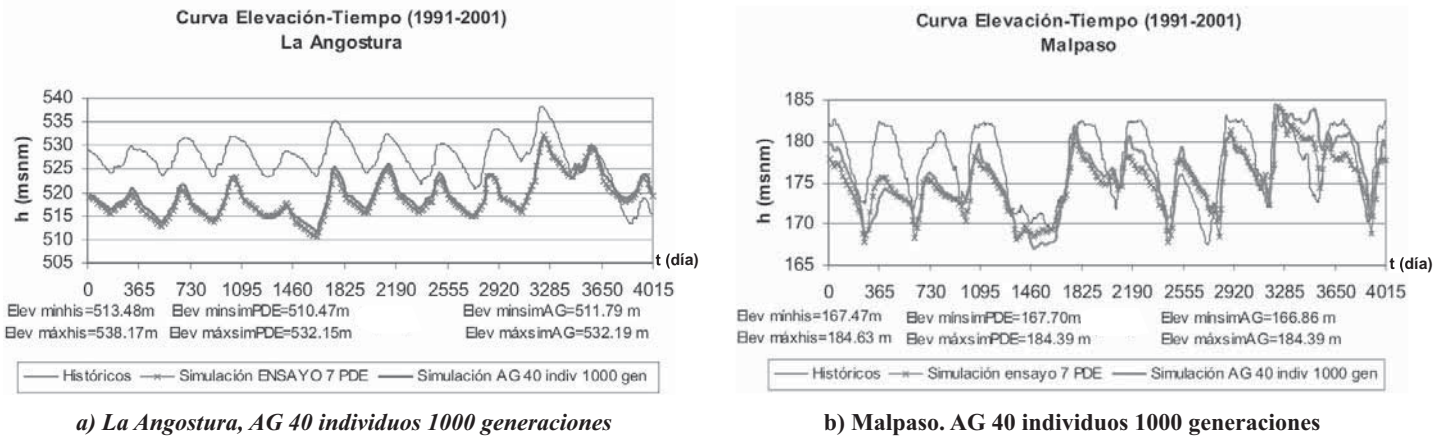


Figura 6: Curva Elevación-Tiempo, AG de la Tabla 9

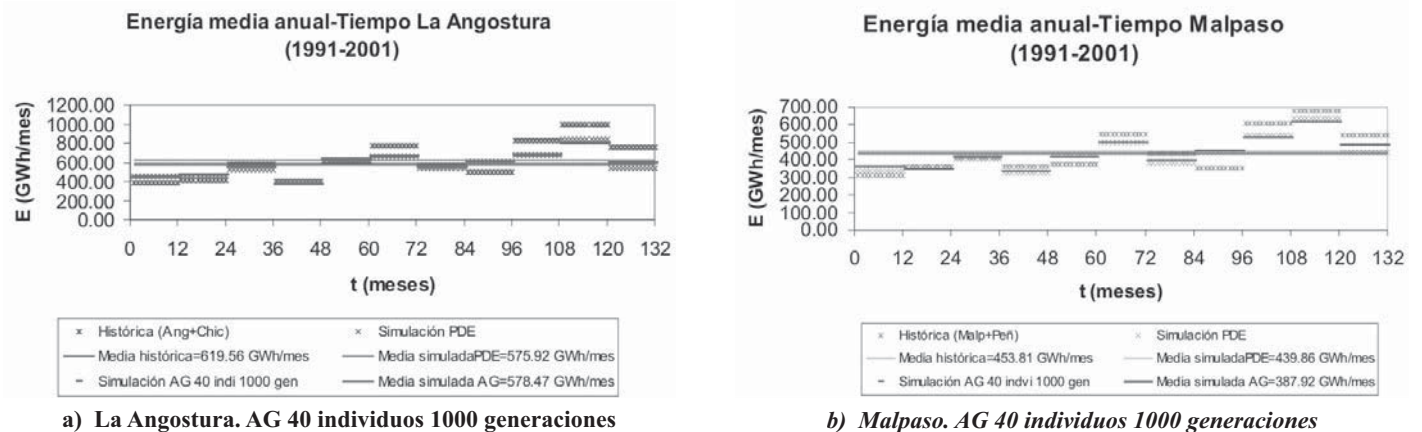


Figura 7: Curva Energía media anual-Tiempo, AG de la Tabla 9



En las Figuras 6 y 7 se muestran los valores históricos de las elevaciones quincenales y así como el valor de la energía promedio generada mensualmente en el periodo de 1991 a 2001, en el que se cuenta con los datos confiables de la operación del sistema, con respecto a los valores obtenidos al simular las políticas indicadas en la Tabla 9.

Las Figuras 6 y 7 muestran cómo al sembrarle al algoritmo genético una población inicial en la cual uno de los individuos corresponde a una política óptima obtenida por otra metodología (en este caso programación dinámica estocástica), se puede determinar como salida una nueva política con la que se mejoran los resultados en lo que se refiere a las elevaciones y a la energía generada.

### Conclusiones

Con respecto a la generación de energía del sistema, el algoritmo genético AG(III) descrito en la Tabla 1, proporcionó valores sensiblemente menores a los obtenidos vía programación dinámica estocástica y también menores a los valores medios de la energía que se ha generado históricamente.

En lo que se refiere a la situación de los derrames, en La Angostura no se presentaron derrames en ninguno de los ensayos, pero en Malpaso sí se tuvieron derrames hasta de 5139.54 millones de  $m^3$  con el AG(II) con la ecuación (3) y una probabilidad de mutación de  $0.7/Longitud\ del\ individuo$  (Tabla 3) y el menor derrame fue de 78.60 millones de  $m^3$  con el AG(III), con la ecuación (2) y una probabilidad de mutación de  $0.7/Longitud\ del\ individuo$  (Tabla 1).

En Malpaso no se presentó déficit, pero en La Angostura sí se presentaron déficit hasta de 7227.4 millones de  $m^3$  con el AG(IV), la ecuación (2) y probabilidad de mutación de  $0.7/Longitud\ del\ individuo$  (Tabla 1); el menor déficit se obtuvo con el AG(IV) obtenido con la ecuación (2) y una probabilidad de mutación de  $0.9/Longitud\ del\ individuo$  (Tabla 4) siendo de 93.49 millones de  $m^3$ .

La mejor combinación en cuanto a déficit, derrame y energía generada, se presentó con el AG(IV) con probabilidad de mutación de  $0.9/$

*Longitud del individuo* y definiendo la función objetivo como la ecuación (2) (Tabla 4); el déficit fue de 93.49 millones de  $m^3$  en La Angostura y el derrame en Malpaso de 293.75 millones de  $m^3$ . La energía promedio generada quincenalmente por el sistema fue de 497.63 GWh/quincena, contra los 527.87 GWh/quincena obtenidos por el ensayo 7 que utiliza programación dinámica estocástica además de que considera los acomodos en el pico de la demanda diaria .

Las elevaciones fueron considerablemente menores en la presa Malpaso en todos los ensayos con algoritmos genéticos; en la presa La Angostura no se aprecia tanta variación en la elevación.

En cuanto a la matriz de políticas de extracción puede observarse el comportamiento aleatorio en los valores de la extracción (Tabla 2); presentan cambios bruscos y se observa poca regulación en los embalses. Lo anterior se observa principalmente en la etapa 6 que corresponde a los meses de enero a mayo.

Al aumentar el número de individuos, de generaciones y modificar los coeficientes de penalización por déficit y derrame se determinó que con la política del algoritmo genético VII (Tabla 6) se obtiene la mayor energía generada en el sistema, la mejor respuesta en cuanto a la condición de almacenamiento mínimo y se evitan por completo los derrames y el déficit .

A pesar de esta mejora al algoritmo genético simple, no se logró superar los resultados obtenidos vía programación dinámica estocástica.

En contraste con los resultados anteriormente mencionados, el algoritmo genético que permite la siembra de la población inicial, sí mejoró los resultados obtenidos por la programación dinámica estocástica; lo anterior se atribuye a que al proponer como población inicial una política previamente obtenida por otro método de optimación, se disminuye el espacio de búsqueda al problema en la obtención del valor óptimo.

Con respecto a los tiempos de cálculo, se puede mencionar que la programación dinámica estocástica, utili-

zando como lenguaje de programación al FORTRAN, resultó más eficiente al obtenerse resultados en aproximadamente 6 minutos; con el algoritmo genético simple, usando MATLAB, los tiempos de cálculo superaron las 4 horas, con un procesador Pentium 2.

Se ha presentado una herramienta alternativa para la obtención de políticas de operación de un sistema de presas que funcionan en cascada; esta herramienta permite también afinar políticas previamente obtenidas a partir de un proceso de optimación.

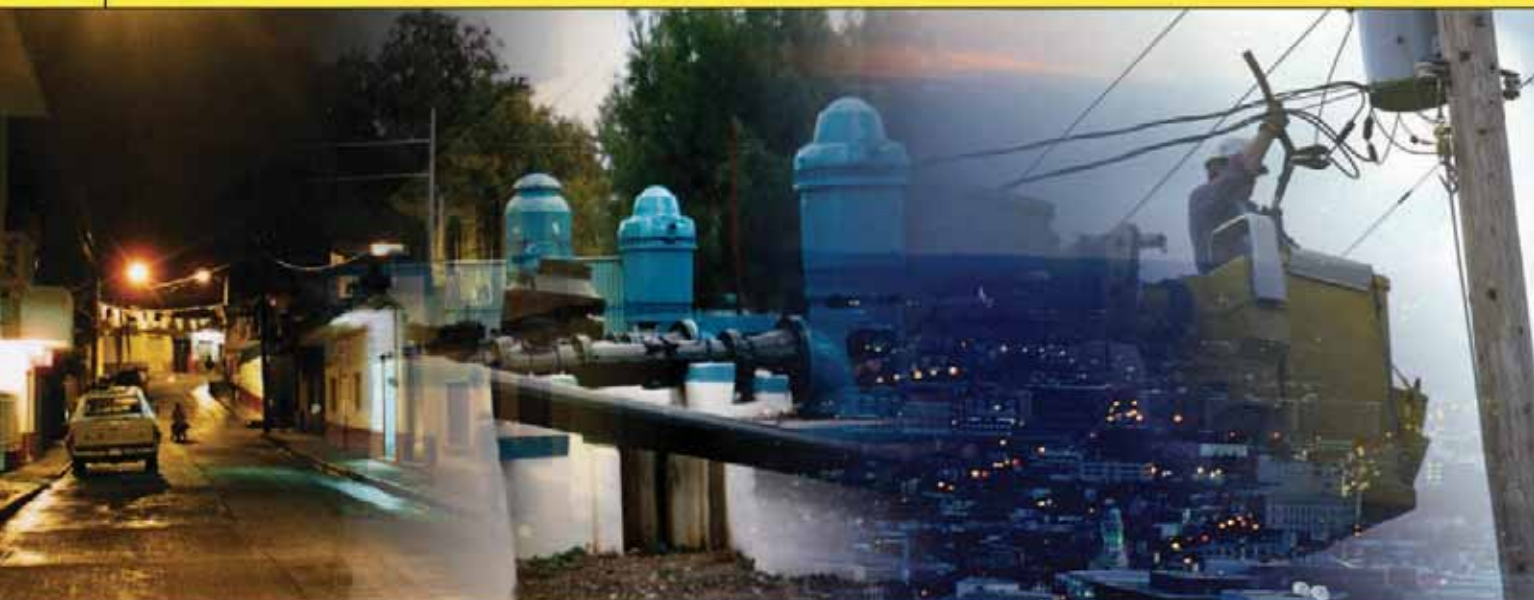
### Referencias

- Avilés, Herrera, Roberto (1994) *Optimización en Línea de Presas Hidroeléctricas*. Tesis de Licenciatura. UNAM.
- Arganis Juárez, M.L. (2004) *Operación óptima de un sistema de presas en cascada para generación hidroeléctrica, tomando en cuenta condiciones reales de operación y el uso de muestras sintéticas para el pronóstico*, tesis doctoral, Posgrado UNAM, Facultad de Ingeniería UNAM
- Bautista González, L. (1986) *Políticas de Operación para el Sistema de Presas Angostura-Malpasso*. Tesis de Licenciatura. UNAM.
- Correa Arenas, Raúl (1977) *Política de Operación de las Presas Las Julianas y Los Arcos, Edo. de México*. Tesis de Licenciatura. UNAM.
- Contreras Cruz, Claudia (1999). *Operación Óptima de Sistemas de Presas en Cascada. Aplicaciones al Sistema del Río Grijalva*. Tesis de Maestría. UNAM.
- Domínguez Mora R. y Mendoza Ramírez R. (2000) *Revisión del Funcionamiento y Operación de las Presas Angostura, Chicoasén, Malpasso y Peñitas sobre el Río Grijalva*. Instituto de Ingeniería. Proyecto elaborado para CNA.
- Domínguez Mora, R., Mendoza Ramírez R. y Arganis J. M. (2001) *Revisión de las Políticas de Operación Quincenal de las presas Angostura y Malpasso, en el río Grijalva*. Instituto de Ingeniería. Proyecto elaborado para CFE.
- Goldberg, D. E. (1989) *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Addison-Wesley, USA.
- Larios Malanche, Raúl (1985) *Modelo de Programación Dinámica Estocástica para Optimizar la Operación de Presas*. Tesis Licenciatura. UNAM.
- Quintanar Fimbres, F. (1981) *Aplicaciones de la Programación Dinámica a la Operación de Presas*. Tesis. Universidad de Sonora.
- Rodríguez Vázquez, K. (2003) *Algoritmos Genéticos*. Notas de Curso en el Instituto de Ingeniería, UNAM, México.
- Rebolledo Silvera, R. T. (1990) *Operación Óptima de un Sistema Hidráulico Formado por dos Presas en Paralelo*. Tesis Maestría. UNAM.
- Sánchez Camacho, E.A.y Wagner, A.I. (2003) Reglas de Operación para un Sistema de Cuenca usando la Metaheurística de los Algoritmos Genéticos. Memorias Volumen II. *Segunda Conferencia Iberoamericana en Sistemas, Cibernética e Informática CISCI*. Orlando, Florida, USA.
- Sánchez Camacho, E.A.y Wagner, A. I. (2004) Construcción de reglas de Operación Óptima para un Sistema de Cuenca por medio de un Modelo Numérico Simulador-Optimizador. *Memorias. Congreso ITESM-CIMNE- International Association for Computational Mechanics*. Monterrey, N.L. México.
- The MathWorks (1992) MATLAB Reference Guide. The MathWorks, Inc.
- Vega Larios, C. E. (1989) *Operación Óptima de un Sistema de Presas de Agua Potable: Un Caso Aplicación del Método de Sucesiones de Aproximación a la Programación Dinámica hacia adelante*. Tesis Maestría. UNAM.
- Villalobos, A., Rivera J. y Collado J. (2000) *Políticas de Operación de Presas Basadas en el Niño-Oscilación del Sur*. ANEI-S60004. X Congreso Nacional de Irrigación. Simposio 6; México.



# 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  
Conmutador: 5254-3044 ext.: 96-040, 96-041, 96-015 Fax ext.: 96-032  
Llame sin costo: 01 800 5086 417 Celular: 0155 5967 8603  
torreesteban@terra.com.mx www.fide.org.mx

# Administración, gobernanza y gestión del agua

Jaime Collado

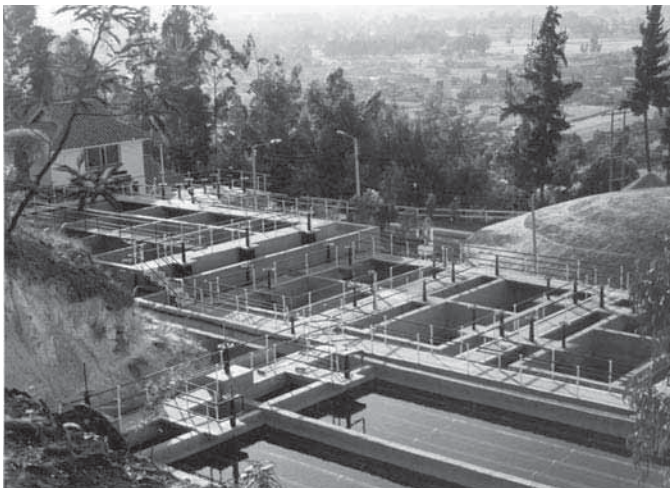
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

## Resumen

En décadas recientes se ha propuesto reforzar, o acotar, según la óptica de análisis, la administración del agua mediante la introducción de conceptos tales como la gobernanza del agua o de algunas acepciones particulares de la gestión del agua. Con la finalidad de lograr una mejor definición social del uso del agua, en este artículo se explican las relaciones entre estos conceptos, así como algunos de los requerimientos esenciales para cualesquiera de ellos.

## Administración del agua

La administración pública es una de las funciones del Estado soberano que se cumple, conforme a derecho, con la actuación de la autoridad en un territorio y sobre las personas que lo habitan (Serra Rojas, 1997). Por tanto, la administración del agua, cuya competencia está conferida al Poder Ejecutivo Federal, es la gobernanza del agua, esto es, la aplicación de las normas jurídicas generales para planear, organizar, ejecutar y coordinar la distribución equitativa de las aguas nacionales en todos los casos concretos, en tanto no se invada el dominio de la función jurisdiccional.



En consecuencia, la administración o gobernanza del agua está sujeta a la aplicación de políticas públicas. Tradicionalmente, una política pública hídrica es un curso de acción decidido por una autoridad competente para dar respuesta al problema de asignación, distribución, abastecimiento y reasignación del agua; en un esquema moderno, además de decidir un curso de acción conforme a derecho, en una política pública hídrica la autoridad mantiene flujos de comunicación con la sociedad para definir objetivos de manera democrática y, para alcanzarlos, establece programas específicos con responsables, tiempos de ejecución y asignaciones presupuestales precisas (Lahera Parada, 2002).

## Gobernanza del agua

Gobernabilidad es la cualidad de gobernable, y gobernanza es el arte o manera de gobernar que se propone como objetivo el logro de un desarrollo económico, social e institucional duradero, promoviendo un sano equilibrio entre el Estado (*sic*), la sociedad civil y la economía (Rogers, 2002). La gobernanza del agua no excluye ni apoya de manera unánime ninguna teoría política o social; más o menos llega a la conclusión de que “todo depende de la situación específica”. Lamentablemente, existen muchas confusiones acerca de lo que se incluye en el concepto de gobernanza y, la opinión errada de muchos profesionales, es que la gobernanza se refiere a las leyes, regulaciones e instituciones. Sin embargo, lo que se requiere es un marco en el que se pueda examinar la interacción entre las políticas, leyes, regulaciones, instituciones, sociedad civil, proveedores de servicios hídricos y el ciudadano consumidor, elector y contribuyente.

Por tanto, la gobernanza del agua se refiere a la capacidad de un sistema social para movilizar las energías, de manera coherente, y lograr así un desarrollo sostenido de los recursos hídricos. La noción incluye la capacidad de diseñar políticas públicas que sean socialmente aceptadas, así como lograr que su instrumentación se lleve a cabo de manera efectiva por los





diferentes actores y grupos de interés involucrados en el proceso. Así, la gobernanza del agua es un subconjunto del establecimiento, por la sociedad, de una infraestructura física e institucional, y del tema aún más amplio de la cooperación social, lo cual requiere definir quiénes son los grupos de interés, la comunicación entre ellos, la distribución de competencias, y la creación de instituciones. Se propone a la gobernanza como un concepto más incluyente que el gobierno porque abarca la relación entre una sociedad y su gobierno (autoritario, se colige); sin embargo, el Estado comprende un territorio, la población, sus poderes, el orden jurídico, los derechos y las obligaciones (Porrúa, 2000), por lo cual, la gobernanza es la relación entre dos elementos del Estado.

### *Gestión del agua*



El concepto de gestión del agua es, en un sentido, una cuestión semántica y, en otro, una estrategia que propugna por una reforma neoliberal del Estado, o al menos del Gobierno.

En cuanto a la parte lexicológica, en México existe una Administración Pública como parte del Estado, pero no existe una Gestión Pública, ni Privada ni Mixta, formalmente reconocidas y, cuando se habla de gestión,

se hace como sinónimo de gobierno (Brañes, 2005). En México siempre se ha traducido el término francés *gestion de l'eau* y el inglés *water management* como “administración del agua”, mientras que en el resto de Iberoamérica se ha traducido como “gestión del agua” (Mesa, *et al.*, 1998). Hasta ese punto, la “gestión del agua” sería una traducción diferente de lo que siempre ha sido, en México, la administración o gobernación del agua. Incluso, en español, un “gestor” ha sido hasta la actualidad una persona que promueve en oficinas públicas asuntos particulares o de sociedades y no un “proceso” que moviliza fuerzas sociales; no ha sido una autoridad, sólo ha tramitado actuaciones ante gobernantes; tampoco ha sido un catalizador de actos jurídicos que produzcan efectos de derecho, simplemente ha ejecutado órdenes por él no decididas ni justipreciadas; despectivamente, se le ha denominado “coyote” en México.

La palabra francesa *gestion*, abundando en las diferencias idiomáticas, significa en español administración cuando se trata de una empresa, y gestión si se trata de un proyecto. Y la palabra francesa *administration* significa en español administración. La palabra inglesa *management* se traduce al español, en general, como manejo, gobierno, dirección o administración y, cuando se trata de actividades comerciales, significa gerencia, gestión, negociación, procedimiento, conducta,



 <p><b>Memorias</b></p>	<h2>Asociación Mexicana de Hidráulica, A.C.</h2>	 <p>XVIII Congreso Nacional de Hidráulica</p> <p>Editores: G. Echávez, J. Marengo, G. Sotelo, R. Domingo F. I. Arreguín, L. Rendón, E. Espino, José A. Rodríguez B. Granados, G. Paz S.</p> <p>San Luis Potosí Ave</p>
	<p>En virtud de la gran demanda tenida por la primera versión (CD-ROM) de las Memorias del XVIII Congreso Nacional de Hidráulica, celebrado en la ciudad de San Luis Potosí en noviembre de 2004, la AMH ofrece una nueva versión <b>AUMENTADA</b></p>	
	<p>A la venta en la oficinas de la AMH: Camino a Sta. Teresa 187, Col. Parques del Pedregal, C.P. 14010, México, D.F., Tel. (55) 5606 1167, Fax (55) 5666 0835. e-mail: amh2004@prodigy.net.mx</p>	<p>Costo: \$ 150 + gastos de envío* <i>*depende de zona geográfica</i></p>

	<p>La Asociación Mexicana de Hidráulica les invita a conocer su nuevo sitio en la red</p> <p><a href="http://www.amh.org.mx">www.amh.org.mx</a></p>
---	---





régimen o uso. Y la palabra inglesa *administration* significa en español ministerio, gobierno, dirección, intendencia, mayordomía, manejo o distribución.

En español, el vocablo “gestión”, derivado del latín *gestio*, es el acto y efecto de gestionar, es decir, hacer diligencias conducentes al logro de un negocio o de un deseo cualquiera, o bien, el acto y efecto de administrar. La primera acepción de la palabra “administrar”, del latín *administrare*, es gobernar, ejercer la autoridad o el mando sobre un territorio y sobre las personas que lo habitan; también significa dirigir una institución; como tercera acepción significa ordenar, disponer, organizar en especial la hacienda o los bienes; una cuarta acepción es desempeñar o ejercer un cargo, oficio o dignidad; y sólo en quinta acepción significa lo que pudiera ser sinónimo de gestionar: suministrar, proporcionar o distribuir alguna cosa, o bien, en octava acepción: graduar o dosificar el uso de alguna cosa para obtener mayor rendimiento de ella o para que produzca mejor efecto.

Entonces, en francés se habla de la *gestion de l'eau* en el sentido de administrar, en primera acepción, el agua (Smets, 2002); es decir, de gobernar y ejercer la autoridad sobre el agua más que de graduar o dosifi-

car sus cantidades, ya que esta última actividad sería más propia de un empleado que de un ministro que administra un servicio público en calidad de funcionario de un órgano del Estado. Y en inglés se habla de *water management* en el sentido de gobernar o administrar el agua (Mitchell, 1997), más que de seguir procedimientos establecidos por quien ejerce un poder del Estado.

Aun así, existe otra vertiente del nuevo uso del término “gestión del agua”. La reforma a la Ley de Aguas Nacionales de 2004 indica que la gestión del agua es el “Proceso sustentado en el conjunto de principios, políticas, actos, recursos, instrumentos, normas formales y no formales, bienes, recursos (*sic*), derechos, atribuciones y responsabilidades, mediante el cual coordinadamente el Estado, los usuarios del agua y las organizaciones de la sociedad, promueven e instrumentan para lograr el desarrollo sustentable en beneficio de los seres humanos y su medio social, económico y ambiental, (1) el control y manejo del agua y las cuencas hidrológicas, incluyendo los acuíferos, por ende su distribución y administración, (2) la regulación de la explotación, uso o aprovechamiento del agua, y (3) la preservación y sustentabilidad de los recursos hídricos en cantidad y calidad, considerando los riesgos ante la ocurrencia de fenómenos



Atributo	Condiciones
Universalidad	Si todas las aguas y todos los usuarios están incorporados al Registro Público de Derechos de Agua
Seguridad jurídica	Si los derechos de uso del agua están protegidos contra expropiación (sin previa demostración de una causa de utilidad pública y de una indemnización). Para ello, deben existir registros y procedimientos que aseguren la identificación fácil de la titularidad de los derechos
Imprescriptibilidad	Si los derechos de uso del agua están otorgados por tiempo indefinido
Certeza física	Si las especificaciones del título proveen una estimación razonable acerca del volumen a que se tiene derecho, porcentaje del agua distribuida o gasto de extracción permitido, con una medida de su confiabilidad o riesgo, y de la prioridad en el abastecimiento, si ésta está definida. Para ello, los términos de vigencia, renovación y condiciones de suministro o restricción deben estar claramente especificados.
Derecho de manejo	Si el titular del derecho de uso del agua puede decidir cómo y quién más puede usar su volumen de agua autorizado cada año
Derecho de usufructo	Si el concesionario tiene derecho, además de los beneficios derivados del uso personal del agua, a los correspondientes por haber permitido que otros usaran su volumen anual autorizado
Exclusividad	Si los beneficios y costos de poseer un derecho de uso del agua pertenecen exclusivamente al poseedor del título de concesión. Esto es, no hay externalidades por el uso o consumo del agua asociadas con el ejercicio del derecho por el concesionario u otros usuarios
Divisibilidad	Si el concesionario puede transmitir, temporal o permanentemente, parte de su derecho de uso del agua
Separabilidad	Si los derechos de uso del agua son independientes de otros derechos o propiedades, licencias de equipos y restricciones en el uso del suelo
Transmisibilidad	Si los derechos de uso del agua pueden transmitirse temporal o permanentemente entre concesionarios
Carácter residual	Si existen reglas que gobiernen la reversión de derechos de uso del agua interrumpidos

*Tabla 1. Atributos de la definición del derecho de uso del agua*

Elementos	Características de la administración	
	Tradicional	Moderna
Entorno	Cierto	Incierto
Acciones	Rutinarias	Innovadoras
Proceso de administración		
Planeación	Comprensiva	Incremental
Toma de decisiones	Centralizada	Descentralizada
Autoridad	Jerárquica	Colegiada
Dirección	Autoritaria	Participativa
Comunicación	Vertical	Interactiva
Coordinación	Control	Facilitación
Seguimiento	Conforme al plan	Corregir la estrategia y el plan
Control	Ex-ante	Ex-post
Regulación	Alta	Baja
Organización	Por funciones	Por objetivos
Estructuras	Jerárquicas	Orgánicas
Valores personales	Baja tolerancia a la ambigüedad	Alta tolerancia a la ambigüedad

*Tabla 2. Características de la administración*



hidrometeorológicos extraordinarios y daños a ecosistemas vitales y al medio ambiente. La gestión del agua comprende en su totalidad a la administración gubernamental del agua”. Es decir, la “gestión del agua”, además de incluir la administración pública del agua, abarca la acción de los usuarios del agua y de la sociedad organizada. Sin embargo, la coordinación recursiva del Estado con varios de sus elementos conduce a una indefinición orgánica, además de que esa “gestión del agua” no explicita las “atribuciones” de los ciudadanos; de cualquier manera, el “proceso” queda comprendido en las funciones del Estado.

La idea que subyace en esta definición de “gestión del agua” es que el Gobierno está superado o que, al menos en ciertas funciones ineludibles como el servicio público de agua, la iniciativa privada puede o debería participar. Esta concepción del Poder Ejecutivo busca cambiar su función de promotor del desarrollo a una de regulador (National Research Council, 2002), reduciendo así su ámbito de acción para cederlo a la iniciativa privada o “privatizarlo”. Sin embargo, en la lógica del mercado se parte de la base de la libertad del sector privado para perseguir el propio interés, que es el de maximizar sus utilidades y, en cambio, la administración de las aguas nacionales o la prestación de servicios públicos de agua es una función de los poderes del Estado que se establece con la finalidad de fomentar comportamientos que teóricamente no tendrían lugar sin su intervención. De esta manera, el conflicto que se origina entre el interés público y el privado se debe a que ambos son dos extremos de la organización social y, por tanto, es necesario proteger el interés público mediante normas de derecho público, o bien, aceptar que sólo quien tenga recursos económicos suficientes tendrá acceso al agua.

### *Requerimientos para administrar, gobernar o gestionar el agua*

Habida cuenta de que el vocablo para designar un actividad sustantiva del Estado, del sector privado o de la sociedad organizada, tal como la provisión del servicio público, privado o social del agua, es irrelevante *per se*, lo que se requiere para administrar, gobernar o gestionar el agua debe comprender al menos ciertos aspectos básicos.

En primer lugar, debe partirse del hecho, *de jure y de facto*, de que en México el límite de la seguridad jurídica de los derechos de uso del agua está dada por un título de concesión o asignación que especifica un término de prescripción hasta por 50 años, siempre y cuando no se deje de usar el agua durante tres años consecutivos, y que permite la transmisión de derechos previa autorización de la Comisión Nacional del Agua. Por otra parte, la variabilidad climática restringe aún más esa seguridad jurídica, ya que los títulos de concesión asignan un volumen promedio o máximo, en un punto de control o entrega del agua. Eso implica que en un año en particular, a un usuario se le puede autorizar un volumen de agua menor al especificado en su título de concesión. Es decir, la seguridad jurídica representa un volumen promedio a largo plazo, pero en un año específico, el usuario recibe un volumen autorizado que está en función de la variabilidad hidrológica y de las restricciones a las que el título debe sujetarse por especificaciones reglamentarias.

Por tanto, el diseño de atribuciones administrativas, gubernativas o de gestión del agua debe comprender al menos los siguientes rubros:

1. Marco legal e institucional que gobierna las actividades del agua y su uso,
2. Definición del derecho de uso del agua,
3. Fundamentos para asignar derechos de uso del agua,
4. Reglamentaciones que limitan los derechos de uso del agua,
5. Distribución del volumen anual autorizado de agua conforme a la prioridad de uso,
6. Vigilancia en el ejercicio de los derechos de uso del agua y coacción de los mismos,
7. Transmisibilidad de los derechos de uso del agua,
8. Divisibilidad de los derechos de uso del agua, Reasignación de los derechos de uso del agua.

Por ejemplo, la definición del derecho de uso del agua puede evaluarse conforme a los siguientes atributos:

En la mayor parte de los casos, entre los cuales se encuentra México, estos atributos no son binarios





sino que la definición del derecho de uso del agua introduce un cierto grado de cumplimiento de esas características, o bien, las restricciones reglamentarias impuestas impiden su observancia completa.

En todo caso, ya sea administración, gobernanza o gestión del agua, lo que se requiere es contar con herramientas para afrontar la incertidumbre y los acontecimientos inesperados, es decir, para planificar lo desconocido. Eso significa que la administración, sin necesidad de acuñar un nuevo vocablo, debe ser participativa y adaptiva. La Tabla 2 indica las características de una administración tradicional y de una administración moderna.

### Conclusiones

La administración tradicional del agua, si es autoritaria o despótica, abarca sólo las acciones del gobierno sin ser particularmente sensible a las necesidades o peticiones de la sociedad, en tanto que la administración moderna del agua incluye, además de la acción gubernamental, los flujos de comunicación con la sociedad, el establecimiento democrático de objetivos y una actuación basada en programas específicos con responsables, tiempos de ejecución y asignaciones presupuestales precisas.

La gestión del agua propone una acción conjunta entre actos gubernamentales y la acción de los usuarios del agua y la sociedad, pero no garantiza que la responsabilidad de uno ni de los otros busque establecer objetivos democráticos, que se tengan distribuidas de manera jurídica y sin ambigüedades las competencias del gobierno y de los ciudadanos o de parte de la sociedad organizada, ni que se tengan los fondos financieros suficientes para llevar a cabo los objetivos fijados.

La gobernanza del agua se refiere a la interacción colectiva de sistemas políticos, económicos, sociales y administrativos para determinar quién obtiene qué agua, cuándo y cómo. Sin embargo, para dar respuesta a los antiguos problemas de acceso al agua —que a veces es un bien público, en otras un bien privado y, con frecuencia, uno intermedio; que su desarrollo puede llevar a la formación de monopolios naturales; y, que presenta importantes factores externos econó-

micos y físicos— la gobernanza del agua debe afrontar, y no especifica cómo lo va a hacer, las fallas en el mercado, en el gobierno y en los sistemas de distribución del agua.

En suma, todo parece indicar que ningún concepto, por atractivo que parezca, puede sustituir la sabiduría humana, acumulada durante tantos años, que indica que la política es, precisamente, la que ofrece el escenario idóneo para justipreciar democráticamente las ventajas y desventajas de enfoques contendientes y adoptar, en ese contexto, la decisión más adecuada.

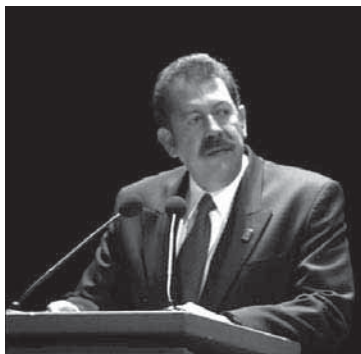
### Referencias

- Brañes, R., *Manual de Derecho Ambiental Mexicano*, Fondo de Cultura Económica, México, D. F., 2000, 770 pp.
- Lahera Parada, E. *Introducción a las Políticas Públicas*, Fondo de Cultura Económica, México, D. F., 2002, 305 pp.
- Mesa, C., M. Isaza y M. E. Perea, *La Gestión Social del Agua*, Fundación Friedrich Ebert y Departamento Nacional de Planeación, Bogotá, Colombia, 1998, 247 pp.
- Mitchell, B., *Resource and Environmental Management*, Addison Wesley Longman Ltd., Londres, Inglaterra, 1997, 290 pp.
- National Research Council, *Privatization of Water Services in the United States*, National Academy Press, Washington, D. C., 2002, 145 pp. + xii.
- Porrúa Pérez, F., *Teoría del Estado*, Editorial Porrúa, México, D. F., 2000, 531 pp.
- Rogers, P., *Water Governance in Latin America and the Caribbean*, Interamerican Development Bank Annual Meeting, Fortaleza, Brasil, 2002, 94 pp.
- Serra Rojas, A., *Ciencia Política*, Editorial Porrúa, México, D. F., 1997, 798 pp.
- Smets, H., *Le Droit a L'Eau*, Académie de L'Eau, París, Francia, 2002, 166 pp.





## Informe de actividades del XXVI Consejo Directivo de la AMH, de 2003 a 2005



A pesar de que el agua es el elemento esencial para la vida, los esfuerzos por conferirle un valor social económico, ambiental, estratégico y de seguridad nacional así como su preservación, control y administración no han sido fáciles, pues para algunas personas lo anterior sólo ocurre en el discurso y no en acciones o decisiones que están a su alcance, afirmó el Doctor Gustavo A. Paz Soldán.

Al presentar el informe de actividades al frente del XXVI Consejo Directivo de la Asociación Mexicana de Hidráulica durante el periodo 2003-2005, resaltó que desde su origen hace 40 años, esta organización ha buscado integrar el talento, conocimiento y experiencia de todos sus socios, mediante su participación en el desarrollo hidráulico del país.

*“Son muchos los ejemplos de esto, y los retos actuales demandan aun más que nuestra asociación redoble esfuerzos para colaborar en resolver la problemática actual y buscar el futuro que todos deseamos”,* aseguró.

Bajo esta premisa, informó que el XXVI Consejo Directivo de la AMH trabajó en estos dos años en la búsqueda de lo mejor para la Asociación, que necesariamente conlleva al bienestar hidráulico de México.

Al agradecer el apoyo de todos los asociados, explicó que durante su periodo se continuó con tradi-

ciones y se sentaron precedentes para continuar con los pasos de consolidación de la organización del agua con el más alto reconocimiento en el país.

En este sentido, destacó la realización de eventos, entre los que sobresalió la celebración del XVIII Congreso Nacional de Hidráulica, celebrado del 10 al 12 de noviembre de 2004 en la ciudad de San Luis Potosí, y que congregó a más de 700 asistentes que abordaron como tema central: “El futuro del agua”.

Explicó que previo al congreso se ofrecieron varios cursos en Veracruz, Cuernavaca y en Ciudad Juárez, además de las reuniones de pre-congreso efectuadas en Tampico, Guadalajara, Cuernavaca y Ciudad Juárez.

Con relación al Congreso, comentó que por su gran convocatoria y alto contenido, se ha consolidado como uno de los foros más importantes en materia de agua, ya que ha dado respuesta, a través de todas y cada una de sus ediciones, a las



más altas expectativas en el conocimiento sobre el agua en su momento, coadyuvando a la integración de las políticas en materia de agua.

En la cumbre del conocimiento y tecnología del agua, se dieron cita los más destacados técnicos y responsables del agua, que aunado a la presencia de importantes proveedores de productos y servicios en su Expo Hidráulica Internacional México 2004, lograron un evento particularmente relevante.

En este sentido, dijo que se llevaron a cabo siete sesiones plenarias y 56 mesas de trabajo relativas a los 11 temas donde se presentaron 259 ponencias, cifra récord de nuestros congresos.

Por otra parte, informó que del 18 al 21 de mayo de este año se llevo a cabo en la ciudad de Tepic, Nayarit, el Foro Internacional “Las Presas y el Hombre”, región donde además se lleva a cabo el proyecto hidroeléctrico denominado “El Cajón”.

Explicó que dicho Foro se constituyó como reunión preparatoria al IV Foro Mundial del Agua, el evento más importante sobre el tema a nivel mundial, que habrá de celebrarse en nuestro país

a mediados del mes de marzo de 2006, por lo que los resultados de esta reunión serán incluidos en las aportaciones de México.

En el aspecto editorial, señaló que tanto el Congreso Nacional como el Foro Internacional enriquecieron la colección Avances en Hidráulica, correspondiéndole los volúmenes 11 y 12 .

Asimismo, informó que en este período se publicó el volumen 13 de la Colección Avances en Hidráulica, con el libro “Cavitación y Aireación en Obras de Excedencias”, con la autoría del Dr. Felipe Arreguín Cortés.

Sobre este tema, explicó que los daños ocasionados por el fenómeno de cavitación pueden ser de gran magnitud, por lo que la búsqueda de alternativas de solución ha sido de alta prioridad, por lo que la edición del Doctor Arreguín presenta opciones con tecnología nacional para minimizar los efectos, demostrando las bondades de la aireación como inhibidor de la cavitación.

Por otra parte, recordó que durante el pasado Congreso se entregó a la docencia e investigación







se distinguió en tres emotivas ceremonias al Ing. Alfredo Elías Ayub, Director General de la Comisión Federal de Electricidad; al Presidente de la Junta de Honor, Ing. Óscar Vega Argüelles, por su trayectoria profesional, gremial y académica; y al Ing. Fernando Hiriart Balderrama, por toda una vida en favor de la ingeniería.

Asimismo, se efectuaron homenajes póstumos a cuatro de nuestros más activos y queridos socios: el Dr. Álvaro Muñoz Mendoza y los ingenieros Carlos Ramírez Otero, Jorge Ayanegui, y al eminente Maestro en Ingeniería José Antonio Maza Álvarez.

Además, basados en el cúmulo de conocimientos ostentados por los grandes profesionales de la hidráulica, se realizó, en el Auditorio del Museo Tecnológico de la Comisión Federal de Electricidad, el **Simposium “Docencia, investigación y práctica profesional de la hidráulica en México”**, en un evento sin precedentes por su convocatoria de personajes y riqueza de aportaciones técnicas y que logró conciliar, en un solo espacio, la excelencia en hidráulica a través de la visión de los galardonados con los premios “Enzo Levi” y “Francisco Torres H.”.

De la misma manera, se estableció contacto con diversas autoridades del agua, teniendo la oportunidad de escucharlos en conferencias de interés: Fue así como la Doctora Claudia Sheinbaum, Secretaria del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, presentó el Proyecto de recarga del acuífero en el sur del Distrito Federal, mientras que el Director del Sistema de Aguas de la Ciudad de México, planteó las acciones tendientes a mejorar el suministro de agua en el Valle de México y el Doctor Humberto Marengo Mogollón, coordinador de proyectos hidroeléctricos de la CFE expuso los trabajos actuales para el desarrollo de proyectos hidroeléctricos en México.

En otro orden, en cuanto a membresía, informó que la AMH es una Asociación viva, vigente y vigorizada con un padrón de 1,712 miembros a nivel nacional.

en la hidráulica el premio “Enzo Levi 2004”, al Dr. Francisco Javier Aparicio Mijares, además de un monto en efectivo y el honor de dictar una conferencia en el seno de la Asociación, que en esta ocasión versó sobre el tema “Procesos Fluviales”.

En la misma ceremonia, realizada en la ciudad de San Luis Potosí, dentro del marco del XVIII Congreso, se entregó el premio “Francisco Torres H. 2004”, a la práctica profesional de la hidráulica al Dr. Humberto Marengo Mogollón, quien dictó la conferencia magistral sobre el presente y futuro de las presas en México.

De igual manera, resaltó que en conjunción con el Colegio de Ingenieros Civiles de México,



Agregó que en ese periodo se tomó protesta al V Consejo Directivo de la Sección Regional Morelos, presidida por el Dr. Nahun Hamed García Villanueva; al Primer Consejo Directivo de la zona conurbada de la desembocadura del Río Pánuco en el sur de Tamaulipas y norte de Veracruz, encabezado por el M. en I. Marcelino del Angel González; al VII Consejo Directivo de la Sección Regional Jalisco, con el Ing. Fernando Rueda Lujano al frente; al Primer Consejo Directivo de la Sección Regional de la Frontera Norte, presidida por el Maestro en Ciencias, Adolfo Urias Martínez, al III Consejo Directivo de la Sección Michoacán, presidida por el Ing. Jesús Vallejo y, de la Primera Mesa Directiva de la Sección Oaxaca, bajo la presidencia del Ing. Julián Rubén Ríos Ángeles.

Gracias a ello, precisó, la AMH cuenta con Secciones Regionales en los estados de Aguascalientes, Estado de México, Jalisco, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Sinaloa, Veracruz, zona conurbada del Pánuco y Frontera Norte. Además de 49 coordinaciones que le dan presencia en todo el país.

En lo gremial, informó que se sostuvo relaciones con la Asociación Nacional de Empresas de Agua y Saneamiento (ANEAS), en su XVIII Convención Nacional Anual; con el Colegio de Ingenieros Civiles de México, al formar parte de su Consejo Técni-

co, se formó parte del Comité del Agua, presidido por el Ing. Leandro Roviroza Wade; con los ingenieros valuadores se presentó el tema “Agua y Medio Ambiente”, en su Congreso celebrado en la ciudad de Oaxaca; con motivo del Día Internacional del Agua se tuvo intervención en el panel “Situación del Agua en México y la Experiencia Regional Agua para Siempre”, en la ciudad de Puebla. Asimismo, la AMH fue invitada a participar en la XXIX Convención Panamericana de Ingeniería 2004, el pasado mes de septiembre.

Al exterior, dijo, la Unión Mexicana de Asociaciones de Ingenieros (UMAI) que agrupa, a través de sus presidentes y expresidentes, a 53 Colegios y Asociaciones, distinguió a la AMH con la invitación a participar en la planilla única y actualmente electa para formar parte de la XIV Comisión Ejecutiva del Organismo.

Añadió que en el aspecto editorial, el órgano de difusión Tláloc-AMH desempeñó un papel primordial, en virtud de que es un producto que ha sido el resultado de un esfuerzo sucesivo y congruente de calidad y profesionalismo que en muy poco tiempo ha logrado cumplir su compromiso de cambio de imagen y formato, con apertura comercial, proporcionando un mayor espacio a las colaboraciones de sus agremiados.

Además de conservar su tradición como la revista técnica más calificada del medio hidráulico, a partir de su número 31 Tláloc-AMH se encuentra certificada y registrada ante la Secretaría de Gobernación. Quedó certificado el perfil de nuestros lectores, así como la circulación y cobertura geográfica, para un tiraje de 2,500 ejemplares, uno de los más altos para revistas de su tipo.

En relación con las finanzas de la asociación, reportó que la AMH realizó la revaluación de sus activos, resultando un patrimonio a la fecha de un millón 900 mil pesos.





# Informe de Tesorería del XXVI Consejo Directivo de la AMH

Correspondiente del 28 de mayo de 2003 al 31 de mayo de 2005

Honorable Asamblea:

Me permito presentar el informe de Tesorería del XXVI Consejo Consultivo de la Asociación Mexicana de Hidráulica, correspondiente al 28 de mayo de 2003 al 31 de mayo de 2005. Dentro de los egresos del bienio se pagaron \$171 374.00 de impuestos correspondientes a los ejercicios 2000 y 2001, así como

\$ 91,393.00 por finiquito y cuentas incobrables correspondientes a ejercicios anteriores.

Este Consejo tomó la decisión de dar de baja los activos que estaban totalmente depreciados e informar las cantidades de activo fijo más apegadas a la realidad. Esto se refleja en una depreciación de fijo neto de \$ 138,471.00.

<b>Asociación Mexicana de Hidráulica, A.C.</b>				
<b>Ejercicio 2004-2005</b>				
Circulante		Pasivo		
Caja	\$3,000.00	Circulante		
Banamex (Asociacion) Cta. Cheques 060967	\$71,223.00	Impuestos Por Pagar		\$7,669.00
Banamex (Dlls) 18223.46 T.cc. 11.30	\$205,925.00			
Banamex (Inversiones Asociacion) Cta. 664919	\$1,338,484.00			
Banamex (Inversiones Asociacion) Cta. 273470	\$5,608.00			
Acciones Telefonicas	\$72,600.00			
Suma Caja y Bancos	\$1,696,840.00			
Cuentas Por Cobrar	\$187,900.00			
		Patrimonio Social		
Suma Circulante	\$1,884,740.00	Resultados Ejercicios Anteriores		\$2,164,830.00
		Resultado Ejercicio 2003-2004		-567,254.00
		Resultado Ejercicio 2004-2005		\$363,573.00
		Suma Nuevo Patrimonio		\$1,961,149.00
Fijo Al Costo De Compra:				
Equipo De Computo	\$14,580.00			
Equipo De Oficina	\$69,498.00			
Fijo Neto	\$84,078.00			
Suma Del Activo	\$1,968,818.00	Suma Pasivo y Patrimonio		\$1,968,818.00
Dr. Gustavo Adolfo Paz Soldán Córdova Presidente		M.I. Amalia Adriana Cafaggi Félix Tesorera		

## Toma posesión el XXVII Consejo Directivo de la Asociación Mexicana de Hidráulica

Asume el doctor Polioptro F. Martínez Austria la titularidad de la AMH.

Resalta el compromiso social de esta Asociación con el desarrollo hidráulico nacional.

Con el compromiso de trabajar para que el agua siga siendo un factor de salud, desarrollo, equidad y justicia social, el doctor Polioptro F. Martínez Austria, tomó posesión del Presidencia del XXVII Consejo Directivo de la Asociación Mexicana de Hidráulica, A.C.

En la ceremonia, llevada a cabo en el Colegio de Ingenieros Civiles, ante representantes del Gobiernos Federal y del Departamento del Distrito Federal, así como de diversas entidades federativas. El doctor Martínez Austria definió el perfil que debe prevalecer en esta organización civil, que en noviembre de este año cumplirá 40 años de haberse constituido.

En su discurso resaltó la importancia de la labor social de la AMH, caracterizada por impulsar la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías en el sector hidráulico y en general en todas las disciplinas de gestión y preservación del agua en México.

Señaló que el nuevo contexto de modernidad y transformación que vive el país plantea nuevos retos y abre nuevas posibilidades para que la sociedad civil y en particular los especialistas del agua asuman con sensatez y seriedad el rol que les corresponde para garantizar la sustentabilidad de este valioso recurso.



*Ing. Jorge Malagón Díaz, vicepresidente electo del XXVII Consejo Directivo de la AMH*





En este sentido, propuso mantener una estrecha colaboración con las diferentes instancias de gobierno, a fin de lograr un efecto sinérgico en beneficio del sector hidráulico y llevar a cabo un profundo proceso de modernización de esta organización.

Para ello, anunció la creación de un Comité de Análisis Estratégico, que estará integrado por prominentes miembros del sector hidráulico del ámbito público y privado, con el objetivo de realizar un diagnóstico y propuestas hacia el futuro de la gestión del agua en nuestro país.

De esta manera, agregó, la Asociación seguirá contribuyendo al diseño de estrategias que eviten que el

agua se convierta en ocasión de conflicto o un límite a las aspiraciones de los mexicanos, sino que por el contrario siga siendo un factor de desarrollo y equidad, con un sentido de conservación y preservación de nuestros ecosistemas.

El Presidente de la AMH, Polioptro F. Martínez Austria, es doctor en Ingeniería Hidráulica por la Universidad Nacional Autónoma de México y ha colaborado en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y la Comisión Nacional del Agua, donde actualmente ocupa la Gerencia de Asuntos Fronterizos.

En la ceremonia, también tomaron protesta de su

cargo los ingenieros Jorge Malagón Díaz, como Vicepresidente; Claudia Lucía Hernández Martínez, como 1<sup>er</sup> Secretario; Jorge Arturo Casados Prior, como 2<sup>o</sup>. Secretario, Héctor Fernández Esparza y Agustín Félix Villavicencio, como vocales y Ángel E. Ortega Mata, como tesorero del XXVII Consejo Directivo de la AMH.





## Homenaje al M. en I. José Antonio Maza Álvarez

La grandeza de las organizaciones se sustenta en el esfuerzo de sus grandes hombres. Por ello, un acto pleno de justicia será siempre reconocer la labor de quienes dieron más de sí con el simple afán de beneficiar a sus semejantes.

En este contexto, el pasado 31 de mayo de 2005, en el auditorio del Colegio de Ingenieros Civiles de México, A.C., se llevó a cabo un significativo homenaje en memoria del distinguido M. en I. José Antonio Maza Álvarez.

“El hombre y su legado” fue el marco temático para reunir a compañeros y amigos con el fin de recordar la brillante trayectoria profesional y humana de un ingeniero ejemplar.

Destacados profesionales que tuvieron la oportunidad de convivir y aquilatar el legado de este gran hombre participaron en sentidas intervenciones que se sucedieron para develar el perfil de Maestro Maza en diversos ámbitos de su vida académica, profesional y sobre todo humana.

Así, su época de estudiante fue narrada por el Dr. Gilberto Sotelo Ávila, quien compartió ricas anécdotas como miembros de la última generación de alumnos que ingresó al Palacio de Minería, sede de la entonces Escuela Nacional de Ingenieros de la UNAM, así como compañeros de viaje y estudios en Europa.

El M. en I. Manuel García Flores resaltó, por su parte, la pasión por la docencia e investigación que



siempre caracterizó al maestro Maza:

“Esta relación laboral nos permitió ir conociéndonos. Descubrí en él a un ser humano con fuertes inquietudes espirituales, con valores universales, con valores evangélicos, hallé a un hombre creyente y practicante en un mundo donde es común encontrar humanismo, pero sin

Dios. José Antonio era un líder nato. Era educado, de trato y presencia agradables y, sobre todo, tenía un excelente sentido del humor”.

La gran oportunidad de conocerlo como profesor entrañable nos fue transmitida en las palabras de Álvaro Aldama, alumno del Ing. Maza quien relató:

“Ha sido uno de los mejores maestros que hemos tenido incontables generaciones de ingenieros hidráulicos en este país, sin paralelo en el impulso que dio al desarrollo y la enseñanza de la hidráulica fluvial y la hidráulica marítima, siempre entusiasmado a sus alumnos mientras los conducía a descubrir los secretos de los ríos y los mares.

No se conformaba con comprender y transmitir el conocimiento sobre las teorías y métodos para predecir el movimiento de los sedimentos, sino que, como eminente ingeniero que fue, hacía especial énfasis en desarrollar en sus pupilos las habilidades y destrezas necesarias para controlar dicho movimiento.

Sus trabajos en los ríos Suchiate, Pánuco, Colorado y en Laguna Verde fueron paradigmáticos en el avance de las ingenierías de ríos y de costas





y en la formación de múltiples ingenieros que hoy las practican”.

Fue vasta la aportación del Ing. Maza, en obras hidráulicas reseñada por el Ing. Antonio Mosqueda Tinoco y su paso por Comisión Federal de Electricidad, en voz del Ing. Julián Adolfo Adame Miranda, se constituye en un testimonio de calidad y competitividad. En su intervención, el ingeniero Adame destacó que en la Comisión Federal de Electricidad, inicio su trayectoria en la Subgerencia de Ingeniería Preliminar, Civil y Geotecnia, hasta ocupar la Gerencia de Estudios de Ingeniería Civil (GEIC), entidad que lideró hasta el día de su fallecimiento y a la que supo posicionar como un grupo formado por profesionistas confiables y honestos dotados de una gran humildad y espíritu de servicio.

Siempre conciente de los grandes retos que traían consigo los cambios en el entorno, el maestro Maza impulsó y adoptó, a partir de 1995, un enfoque de empresa competitiva en la GEIC, en la que llamó a la organización a un cambio de mentalidad, a romper paradigmas, a buscar otras posibilidades para el desarrollo profesional y organizacional; para ser más eficientes. Con este enfoque se desarrolló una dinámica en la organización de búsqueda de oportunidades en mercados abiertos, de medición del desempeño, de innovación y desarrollo de nuevos servicios, de desarrollo de sistemas de gestión”.

Finalmente, para nuestra Asociación, la AMH, su participación fue invaluable en la construcción de su actual trascendencia. El Dr. Gustavo Paz Soldán Córdoba, presidente del XXVI Consejo Directivo, ensalzó a quien “sin lugar a dudas fué uno de nuestros socios, expresidente y miembro de la Junta de Honor más que-

rido y admirado por todo el gremio hidráulico”.

Sus contribuciones a la Asociación Mexicana de Hidráulica forman parte de la esencia misma de la hidráulica, no sólo por su labor como presidente, sino por sus aportaciones a nivel internacional, que pusieron muy en alto el nombre de México y de la AMH por todo el mundo. Gran promotor de la hidráulica fluvial y fundamental, que le ganaron un puesto de miembro honorario en la División Latinoamericana de la Asociación Internacional de Investigaciones Hidráulicas

Entristece a la hidráulica la partida del M. en I. José Antonio Maza que se une a la memoria de los ingenieros Carlos Ramírez Ulloa, Aurelio Benassini y Francisco Torres H. también insignes expresidentes que brindaron toda su sapiencia y amor por el bienestar de México.

Para finalizar el acto, se hizo entrega de un reconocimiento especial a su señora esposa e hijos a quienes saludamos con mucho respeto y aprecio.

Descanse en paz un gran amigo y compañero, hombre íntegro y cabal que deja honda huella en el gremio hidráulico.

**GRUPO PROAQUA**  
Una empresa de **Grupo Marinos**  
**A FUERZA DE CONSTRUIR, NOS HEMOS CONSTRUIDO A NOSOTROS MISMOS**

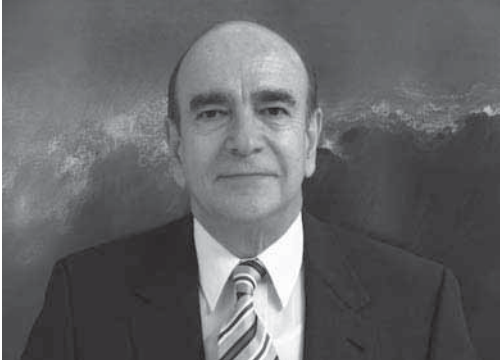
**ESPECIALISTAS EN:**  
Diseño, Construcción y Operación de Plantas de Tratamiento de aguas residuales, industriales y municipales

info@grupoproaqua.com.mx      www.grupoproaqua.com.mx

Av. Himno Nacional 1911      **Teléfonos** 01 (444)  
4º piso, Fracc. Tangamanga,      833-1865, 833-1866  
San Luis Potosí, S.L.P.      817-4381, 817-4389  
C.P. 78269, México      817-4411

**MARINOS**  
GRUPO PROAQUA

## Doctor Rolando Springall Galindo



Hombre de probada capacidad y con un reconocimiento profesional obtenido a lo largo de más de 40 años entregados a la ingeniería mexicana, el Doctor Rolando Springall Galindo, ha dedicado la mayor parte de su vida al conocimiento, a la investigación y al desarrollo de proyectos que permitan lograr un mejor control, gestión y calidad del agua; temas esenciales no sólo para la vida, sino sustantivos para el desarrollo y viabilidad de cualquier nación.

Y es que para el Doctor Rolando Springall Galindo, miembro y expresidente de la Asociación Mexicana de Hidráulica, aspectos como la planeación a largo plazo, la gestión integrada en cuencas, el uso racional del agua y la liberación de contaminantes en cauces y otros depósitos naturales, son fundamentales para lograr la sustentabilidad de este preciado recurso.

Originario de Orizaba, Veracruz, municipio enclavado en una zona montañosa de esa entidad rica en recursos naturales, no se conformó con el título de ingeniero civil, sino que su interés y conocimiento de la importancia de este recurso natural, lo llevó a estudiar una maestría y un doctorado en Ingeniería Hidráulica.

Con estas herramientas y formación, el Doctor Rolando Springall ha desarrollado y ocupado una amplia variedad de posiciones no sólo en el campo académico y la investigación, sino también en el sector público y en la iniciativa privada.

En el terreno académico, colaboró como investigador en el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, en el periodo 1965-1972, tiempo en el que participó en la realización de modelos

físicos de ríos y costas, así como en el análisis de tormentas de diseño y escurrimientos, arrastre playero y oleaje derivado de la presencia de huracanes. En este periodo publicó algunas de sus obras más conocidas en el campo de la hidrología.

Del periodo de 1972 a 2001, el Doctor Springall laboró intensamente tanto en la iniciativa privada como para diferentes dependencias gubernamentales, sitios en los que ha aportado su experiencia y especialidad en hidrología, ingeniería de ríos y costas, en obras hidráulicas y marítimas, así como en el diseño de sistemas de agua potable, alcantarillado y drenaje pluvial.

En su trayectoria profesional de más de 40 años, ha desarrollado alrededor de 370 estudios y proyectos en sus áreas de especialización, por lo que es considerado como uno de los mejores expertos en hidrología, gestión de recursos hídricos y calidad del agua en México.

El año pasado fue galardonado por la UNAM por sus 35 años de antigüedad como profesor.

Ha impartido 27 conferencias y 4 seminarios. Ha asistido a 31 Congresos y Simposiums. Tiene 55 publicaciones de estudios, en Congresos y de apoyo a la docencia. Dentro de éstos destacan:

- Planificación de los recursos hidráulicos con fines de riego en la zona andina del Ecuador. Coautor. Colegio de posgraduados. Agrociencia volumen 35, número 1, 2001.
- La calidad del agua y su impacto en los suelos agrícolas. Una visión prospectiva. Conferencia Francisco Torres H. Revista TLÁLOC-AMH. Órgano informativo de la Asociación Mexicana de Hidráulica, AMH. Enero-Abril, 1999. Año VI. Núm. 14.
- "Historia del Desarrollo de la Hidrología Superficial en México". Publicación Especial de la Revista Ingeniería Hidráulica con motivo del XI Congreso de Hidráulica, Zacatecas, Zac. Octubre de 1990
- "Estudio de análisis regional de precipitaciones en la República Mexicana. Publicación de Consultores, S.A., para la Subsecretaría de Infraestructura Hidráulica de la SARH (1986).



- Manual de diseño de obras fluviales para la protección contra inundaciones (Coautor). Publicación de Consultores, S.A., para la DGCR e ISH, SARH (1980).
- Análisis Hidrológico en relación con el control de inundaciones. Revista de Ingeniería, F.I. UNAM, Núm. 4, 1980.
- Recomendaciones para el diseño y revisión de estructura para el control de avenidas, Publicación de Consultores, S.A., para la CPNH, SARH (1978).
- Estudio del oleaje generado por huracanes en el Suroeste del Golfo de México y análisis estadísticos del mismo. Tesis Doctoral. Publicación del Instituto de Ingeniería, UNAM 1975 (361).
- Análisis estadístico y probabilístico de datos hidrológicos. Publicación de la Facultad de Ingeniería, UNAM. (enero de 1975).
- Libre Bordo de Presas. Revista de Ingeniería, UNAM. Vol. XI, No. 1, enero de 1970.
- Hidrología (primera parte). Publicación del Instituto de Ingeniería, UNAM Abril de 1970 (D7).
- Cauces estables. Publicación del Instituto de Ingeniería, UNAM. 1968 (157).
- Drenaje en cuencas pequeñas. Publicación del Instituto de Ingeniería, UNAM. 1967 (143).
- Escurrimiento en cuencas grandes. Publicación del Instituto de Ingeniería, UNAM 1967 (146).

A partir de julio de 2001 y hasta la fecha, el Doctor Springall Galindo es Presidente del Consejo del Sistema Veracruzano del Agua, institución normativa y rectora del recurso hídrico en Veracruz, lugar desde el cual contribuye con su experiencia a la preservación de este valioso recurso natural.

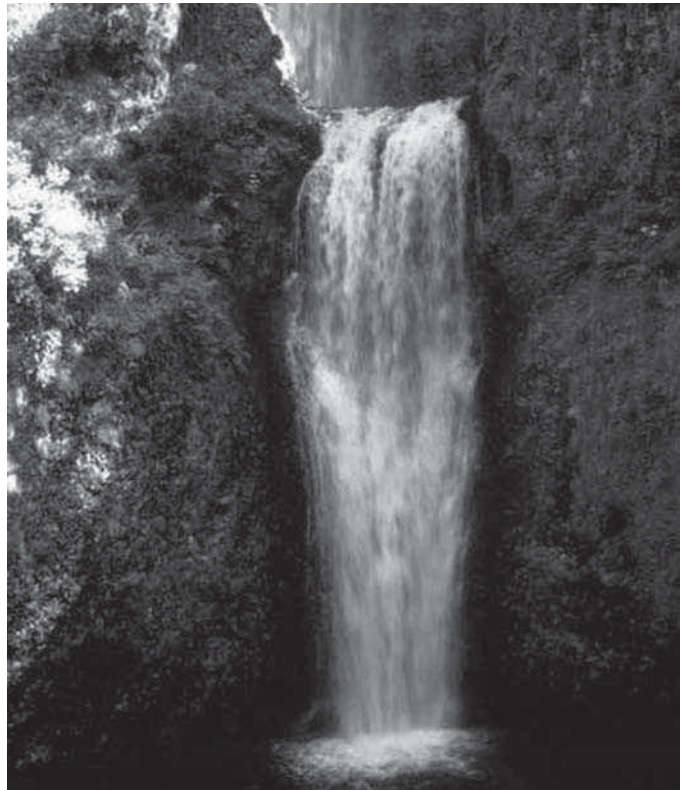
Asimismo es fundador, accionista y asociado de BASIN, S.A. de C.V. empresa de consultoría dedicada a la realización de estudios y proyectos de obras relacionadas con el control y calidad del agua.

• Además de ser miembro de la Asociación Mexicana de Hidráulica, donde ocupó la Presidencia del XV Consejo Directivo en el periodo 1980-1982, es integrante de la Academia Mexicana de Ciencias, de la Academia Mexicana de Ingeniería, del Colegio de Ingenieros Civiles de México y de la Sociedad de Exalumnos de la Facultad de Ingeniería, SEFI.

Dentro del ámbito académico, fue jefe de la Sección de Hidráulica, Subjefe de la División Ingeniería de los Recursos del Agua y del Suelo y Jefe de la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, en donde desde 1968 es profesor titular de las cátedras del campo de la hidráulica. En dicha División, ha impartido las cátedras de hidrología superficial, Hidráulica marítima, Diseño de obras marítimas y Diseño de obras hidráulicas. Bajo su dirección se crearon nuevos programas de estudio de maestría y doctorado en hidráulica y aprovechamientos hidráulicos, y se impulsó la investigación en ese posgrado de la UNAM.

Además, la Asociación Mexicana de Hidráulica le otorgó el Premio Nacional Francisco Torres H., a la práctica profesional de la hidráulica 1998, reconocimiento a su relevante labor de más de 35 años en este campo: como formador de profesionales, tanto individualmente como en grupos de trabajo, por sus contribuciones al conocimiento, la difusión y la práctica de la hidrología, por sus contribuciones en el diseño hidrológico de numerosas obras y por su participación en actividades de innovación del desarrollo de la práctica hidráulica en nuestro país.

El Doctor Rolando Springall Galindo se integra al selecto grupo de destacados miembros de la Asociación Mexicana de Hidráulica, que han merecido la publicación de una semblanza en estas páginas de Tlaloc-AMH; como ejemplo de profesionalismo, calidad académica y valores humanos.





## COTRISA

### 30 años de excelencia en ingeniería

*Reportaje del Ing. Aarón Campos R. con información proporcionada por la empresa*

La competencia derivada de un mundo globalizado, particularmente en el área de ingeniería y los proyectos de inversión, han posicionado a México como un terreno de gran competencia en donde lamentablemente buen número de empresas nacionales no han soportado los embates tecnológicos y financieros del exterior.

Por ello, es grato destacar una historia de éxito continuado durante más de treinta años en que la empresa COTRISA ha logrado permanecer como protagonista indiscutible en el ámbito de la ingeniería nacional, con el desarrollo de infraestructura civil e industrial, buscando siempre encontrar soluciones creativas y novedosas, acordes al dinámico entorno de grandes retos

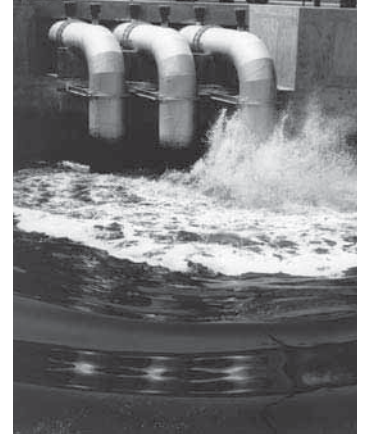
Construcciones y Trituraciones, S.A. de C.V. (COTRISA), empresa orgullosamente mexicana, desarrolla, desde abril de 1975, la construcción de proyectos de gran envergadura de infraestructura civil, urbana e industrial. Cuenta con una sólida presencia en el mercado nacional fundamentada en la calidad, la oportunidad de entrega, la seguridad operativa, pero sobre todo en su gente, ya que impulsa permanentemente el desarrollo de su personal para retener y acrecentar el capital intelectual a un nivel competitivo.

Como empresa de vanguardia ha iniciado formalmente la implementación de un sistema de calidad orientado hacia dos vertientes: el aseguramiento de calidad de los proyectos a través de un sistema integral conforme a la norma ISO9001-2000 y el aseguramiento de calidad ambiental, ratificando su compromiso prioritario de preservar



la integridad del medio ambiente en el desarrollo de todos sus proyectos.

Bajo la presidencia del Ing. Arturo Mateos López, COTRISA cumple su misión de “brindar la más alta calidad en el desarrollo de infraestructura civil e industrial, a nivel nacional e internacional, utilizando tecnología de vanguardia,



eficientes medidas de seguridad y recursos humanos capacitados, buscando satisfacer ampliamente los requerimientos de nuestros clientes y coadyuvando al desarrollo del país”.

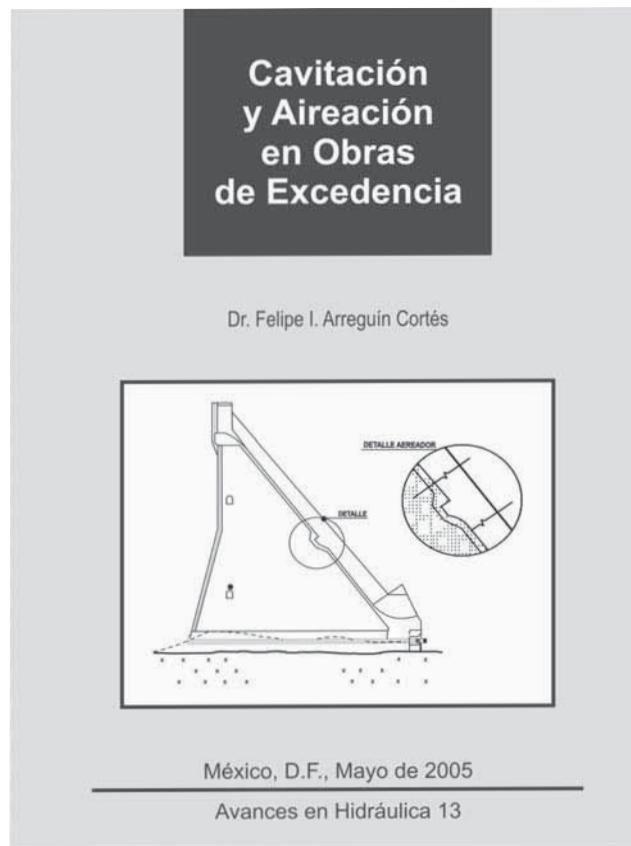
A través de su amplia trayectoria, COTRISA ha tenido un crecimiento gradual y sostenido que le ha permitido especializarse en las siguientes áreas:

- **Obra subterránea.**- Con casi 60 kilómetros de experiencia en la construcción de túneles para proyectos de abasto de agua potable, de drenaje profundo, carreteros y ferroviarios, resaltando actualmente la construcción del túnel interceptor “Río de los Remedios”
- **Obra hidráulica.**- Con la construcción de canales de riego, plantas de bombeo, plantas potabilizadoras y obras subterráneas para conducción de agua potable y de drenaje.
- **Operación de infraestructura.**- Al operar y mantener la captación y tratamiento de aguas residuales del drenaje profundo.
- **Obra civil.**- Ejecutando proyectos de infraestructura, principalmente en el área de movimientos de tierras y obras viales ferroviarias y carreteras.
- **Obra industrial.**- Proporcionando servicios de mantenimiento de instalaciones Costa Fuera en Cantarell para PEMEX.

Después de tres décadas, el entusiasmo de su gente no ha decaído; no sólo se ha mantenido en un nivel preponderante sino que compite con ventajas, en nuestro propio territorio, enfrentando tecnologías y economías de nivel mundial logrando un crecimiento sostenido.



## Cavitación y Aireación en Obras de Excedencia

**Autor:**

Felipe I. Arreguín Cortés

**Colección:**

Avances en Hidráulica  
AMH / IMTA 2005

Uno de los objetivos fundamentales de la AMH es el fomentar el intercambio de ideas e información científica y técnica relacionada con la hidráulica, así como difundir los trabajos meritorios de sus socios, que versen sobre temas relativos a la hidráulica o alguna de sus especialidades.

De esta forma, se desarrolla la colección de Avances en Hidráulica que contempla como política permanentemente la de atender temas de actualidad y avanzada tecnológica.

Tal es el caso del presente libro que se distingue dentro de los trabajos que aportan datos útiles y prácticos, de actualidad en el conocimiento sobre la cavitación y aireación.

Nos define el autor: “La cavitación es un fenómeno que consiste en la formación de cavidades llenas de vapor de agua dentro de del flujo, esto sucede cuando se presentan presiones negativas iguales o menores que la presión de vaporización del fluido. Las cuales al implotar pueden

causar grandes daños al concreto de las obras hidráulicas, en particular a los vertedores de las presas.”

Los daños ocasionados por este fenómeno pueden ser de gran magnitud, por lo que la búsqueda de alternativas de solución ha sido de alta prioridad. Los estudios desarrollados por profesionales e instituciones mexicanos, corroborado con estudios de otros países, han demostrado que la aireación es una técnica efectiva para contrarrestar los efectos dañinos de la cavitación.

El presente trabajo aborda la cavitación y aireación en obras de excedencia presentando opciones con tecnología nacional para minimizar el daño ocasionado demostrando las bondades de la aireación como inhibidor de la cavitación.

Es muy satisfactorio descubrir, a través del texto, que la ingeniería mexicana da nueva muestra de excelencia al estar en la punta del conocimiento en esta materia.

## Sitios relacionados con publicaciones en línea

### *Publicaciones en línea sobre temas hídricos, medio ambiente y cambio climático:*



<http://www.waterfootprint.org/index.htm>

[http://www.aguabolivia.org/analisisX/INTERNACIONAL/CEPAL/s\\_12.pdf](http://www.aguabolivia.org/analisisX/INTERNACIONAL/CEPAL/s_12.pdf)

Boletín Hispagua | 03 / 2005

<http://hispagua.cedex.es/boletin/boletin.php?mes=03&anio=2005#documentos>

<http://hispagua.cedex.es/documentacion.php?c=novedades&pg=0&localizacion=Novedades%20Bibliogr%E1ficas>



<http://www.lenntech.com/espanol/Libros%20reciclaje%20agua.htm>

<http://www.cambioclimaticoglobal.com/tienda.html>



<http://www.paho.org/Spanish/DD/PED/aguapotable.htm>

[http://cedoc.inmujeres.gob.mx/documentos\\_download/100558.pdf](http://cedoc.inmujeres.gob.mx/documentos_download/100558.pdf)

IDRC BOOKS free online

[http://web.idrc.ca/es/ev-23582-201-1-DO\\_TOPIC.html](http://web.idrc.ca/es/ev-23582-201-1-DO_TOPIC.html)



**Grupo del Banco Mundial**  
Dirección Subregional para Colombia y México

Oficina en México

<http://www.bancomundial.org.mx/Bancomundial/SitioBM.nsf/Menu63?OpenForm&Start=1&Count=1000&Expand=1&Seq=1>

### *Sitios Web: Geografía, climatología, riesgos naturales y ordenación del territorio.*



<http://www.labelima.ua.es/enlaces/cc/organismos.asp>



# Grupo Universal

## 50 Años en el Desarrollo Hidráulico de México

INGENIERÍA UNIVERSAL S.A. DE C.V.



Presa Canoas, Durango



Acueducto DIM  
Lázaro Cárdenas, Michoacán



**INGENIERIA Y CONSULTORIA  
UNIVERSAL S.A. DE C.V.**

### OBRAS PRINCIPALES

- 12 presas de almacenamiento y derivación
- 58,000 m de canales de riego
- 15 sistemas de agua potable/drenaje
- 3 plantas potabilizadoras/tratamiento
- 24 acueductos y sistemas de distribución

Además:

- 610 kms. de construcción de caminos y carreteras
- 2 millones de m<sup>2</sup> en obras de aeropuertos, pistas, rodajes y plataformas
- 120,000 m<sup>2</sup> de edificaciones urbanas
- 1,410,100 m<sup>2</sup> de urbanizaciones



### EXPERTOS EN:

- Estudios
- Proyectos específicos
- Proyectos ejecutivos integrales
- Consultorías
- Asesoría técnica
- Coordinación y supervisión de proyectos
- Supervisión técnica y administrativa
- Servicio de operación y mantenimiento
- Auditorías técnicas

### ÁREAS DE TRABAJO

- Hidráulica
- Hidrología superficial y subterránea
- Hidrometría
- Ingeniería sanitaria y saneamiento
- Topografía
- Control de calidad
- Estudios de factibilidad técnica, económica y financiera
- Sistemas computacionales

Ingeniería y Consultoría Universal, S.A. de C.V.

Torres Adalid 1412-1, México, D.F. C.P. 03020  
Tels./Fax 5682 3976, 5687 2711 y 5687 2973  
e-mail: [ingicusa@prodigy.net.mx](mailto:ingicusa@prodigy.net.mx)

Grupo de Ingeniería Universal, S.A. de C.V.

California 119, México, D.F. C.P. 03100, Tel. 5559 1044  
Fax 5575 8335, e-mail: [corp@giusa.com](mailto:corp@giusa.com)



# SOMOS LA RESPUESTA EN CONCRETO A SU PROBLEMA DE EROSION



Protección de las bases del cruce aéreo "Barranca" en Cd. Mendoza, Veracruz

Los tapetes flexibles de concreto **SUBMARELHER** son la única respuesta que Usted y su inversión necesitan: **Detienen la erosión**, son de **rápida instalación**, tienen una **vida útil superior a los 20 años** y son **reutilizables**.

Llame. Si hay un problema en sus manos, en las nuestras está la **solución**.

**01800-0120277**  
**erosion@grupoelher.com**



**SUBMARELHER**

Control de Erosión - Protección de Ductos  
Tapetes flexibles de concreto