





Estudios de competencia y regulación

Colección dirigida por
César E. Hernández Ochoa



REGULAR PARA PRESERVAR

El Lago de Chapala como Banco de Agua

Héctor Bravo
Juan Carlos Castro
Miguel Ángel Gutiérrez Andrade



Primera edición, 2007

© 2007, Héctor Bravo, Juan Carlos Castro Ramírez,
Miguel Ángel Gutiérrez Andrade

© 2007, Edna Jaime Treviño y César E. Hernández Ochoa, por la presentación

D.R. 2007, Centro de Investigación para el Desarrollo, AC
Jaime Balmes Núm. 11, edif. D-2o. piso
Col. Los Morales Polanco, 11510 México, DF
Tel: +52 (55) 5985-1010
<www.cidac.org.mx>

Diseño, portada y coordinación editorial: <www.co-media.com.mx>

VENTAS Y DISTRIBUCIÓN:

Co-media SA de CV

Bldv. Ávila Camacho #36, Torre Esmeralda II, Piso 10

Col. Lomas de Chapultepec, 11000, México, DF.

Tel. (55) 9171-2276, Fax (55) 9171-1699

<distribuidores@co-media.com.mx>

Queda rigurosamente prohibida, sin la autorización escrita de los titulares de los derechos, la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, así como su distribución mediante alquiler o préstamo público.

ISBN: 978-968-9123-10-1

Impreso en México / *Printed in México*

ÍNDICE

PRESENTACIÓN	~ 9
RESUMEN	~ 15
INTRODUCCIÓN	~ 17

I. REVISIÓN DE LAS EXPERIENCIAS PREVIAS	~ 19
II. ACTORES Y ENTORNO INSTITUCIONAL	~ 27
III. PROPUESTA DE REGULACIÓN	~ 31
Funcionamiento del Banco de Agua	~ 36
Escenario 1	~ 38
Escenario 2	~ 40
Escenario 3	~ 44

CONCLUSIONES	~ 49
--------------	------

ANEXO A: SIMULACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO

DEL LAGO ~ 51

Modelo ~ 51

Construcción del modelo ~ 52

Representación espacial ~ 52

Representación temporal ~ 52

Definición de la red esquemática ~ 53

Curvas de evaporación ~ 56

Supuestos del modelo ~ 57

Descripción matemática ~ 59

ANEXO B. FIJACIÓN DE PRECIOS ~ 65

Fijación del precio de acuerdo

con los beneficios medios agrícolas ~ 66


BIBLIOGRAFÍA ~ 69

SOBRE LOS AUTORES ~ 73

SOBRE EL CIDAC ~ 75

PRESENTACIÓN

Uno de los problemas más apremiantes de la economía mexicana es el deficiente estado de la competencia y la regulación. Varios sectores de nuestra economía están dominados por un escaso número de participantes y se caracterizan por ofrecer —a empresas y consumidores— insumos con precios más altos que los disponibles en el extranjero. Muchos productos y servicios que durante años se han ofrecido en otros países demoran su entrada al mercado nacional. En el sector energético mexicano, las estructuras monopólicas y oligopólicas aún son comunes. En aquellos sectores caracterizados por la intervención pública, las reglas que norman la actuación estatal distan de ajustarse a las prácticas más deseables en términos de beneficio social. El desarrollo de mejores prácticas en materia de competencia económica y regulación incrementaría la tasa de productividad del país, se traduciría en mejores servicios y precios para las empresas y los consumidores mexicanos.



Un mejor marco regulatorio crearía un ambiente que permita el crecimiento y genere mejores oportunidades de inversión para el sector privado.

Modernizar el marco regulatorio en sectores clave —como el de energía, agua, comunicaciones y telecomunicaciones— también contribuiría para incrementar el capital invertido en infraestructura y maximizar los beneficios sociales de tales inversiones. Sin embargo, el desarrollo de mejores prácticas en materia de competencia y regulación resulta imposible si no está guiado por el conocimiento profundo y especializado de los problemas, así como el desarrollo concienzudo de las soluciones apropiadas. Asimismo, el progreso se vuelve lento si el conocimiento especializado no se difunde entre la población, si no existe una conciencia pública de los problemas e intereses especiales que, frecuentemente, se oponen a soluciones congruentes con el interés general. Por ello, en el Centro de Investigación para el Desarrollo (CIDAC) consideramos fundamental apoyar el desarrollo de una masa crítica de estudios especializados en cuestiones de competencia y regulación relevantes para las políticas públicas en México, así como darlos a conocer entre la sociedad mexicana. Ésta es la motivación central de la presente iniciativa.

La Red Mexicana de Competencia y Regulación es un proyecto que reúne a destacados profesionales de varias instituciones de investigación con interés en el análisis de las cuestiones de competencia y regulación en la economía mexicana. La Red tiene como sede el CIDAC y se beneficia actualmente de la participación de investigadores del Banco de México, la Comisión Federal de

Competencia, el Centro de Investigación y Docencia Económicas (CIDE), el Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO), el McKinsey Global Institute y la Universidad Anáhuac. Este proyecto ha sido posible gracias al apoyo de la Fundación William y Flora Hewlett.

Cada uno de los investigadores asociados a la Red elaboró un estudio sobre un tema diferente de regulación y/o competencia en la economía mexicana. Los temas iniciales son la regulación del proceso de presupuestación de infraestructura, la medición del desempeño de la Comisión Federal de Competencia, la regulación de precios tope de Telmex, los mecanismos para la expansión de la red de transmisión eléctrica, la privatización y regulación portuarias, la regulación de las aerolíneas, la competencia en mercados de ventas al menudeo y la regulación del agua. En general, se dio preferencia a temas que pudieran tener relevancia en el debate público y/o las políticas públicas mexicanas. Por lo anterior, los estudios tienen una orientación de políticas públicas, todos tienen un sólido respaldo teórico y algunos tienen relevancia en el debate científico de la teoría económica.

Cada uno de los estudios elaborados por los investigadores fue presentado en —por lo menos— dos seminarios internos de la Red, donde fueron revisados por otros integrantes de la Red y/o especialistas invitados, quienes enriquecieron los textos con sus comentarios. Los estudios desarrollados por los integrantes de la Red y su intercambio de ideas generan resultados alentadores y aportaciones importantes para el desarrollo de las instituciones de competencia y regulación del país.

Regular para preservar. El Lago de Chapala como Banco de Agua es la quinta publicación de la Red. Sus autores —Héctor Manuel Bravo, Juan Carlos Castro y Miguel Ángel Gutiérrez— elaboran una inteligente argumentación para proponer la creación de un Banco de Agua en el Lago de Chapala con el propósito de lograr un doble objetivo: cooperar con el suministro de agua potable en la ciudad de Guadalajara y proporcionar el volumen de agua necesario para que el Lago de Chapala sea capaz de proporcionar el servicio medioambiental que la sociedad demanda.

Un Banco de Agua es el ente regulador que compra agua en periodos de abundancia, la almacena durante un periodo determinado para luego venderla en épocas de escasez. El Banco de Agua propuesto compraría agua o derechos temporales —no derechos en forma definitiva— a los habitantes de la cuenca Lerma-Chapala, principalmente a los agricultores de Guanajuato, la almacenaría en el lago (proveyendo de esta manera el servicio medioambiental que la sociedad demanda) y luego la vendería a la ciudad de Guadalajara. La propuesta que los autores nos ofrecen se construye con base en el estudio de experiencias previas, principalmente la que ofrece el Banco de Agua de California; en un análisis completo del marco institucional donde la asignación del agua tiene lugar en el país; en las posibles alternativas de solución a problemáticas como las de la cuenca Lerma-Chapala y, finalmente, en un análisis de la factibilidad hidrológica y financiera de la figura propuesta.

El estudio, además, presenta una discusión sobre las diversas opciones regulatorias en materia de recursos naturales. Entre los

mecanismos de asignación centralizada (usualmente ineficientes debido a la carencia de información completa) y la asignación descentralizada de los mercados, existen opciones de regulación intermedias que resultan óptimas para problemáticas particulares. Un mecanismo de mercado desregulado, en opinión de los autores, no resolvería el problema de asignación de agua para el Lago de Chapala, sino que implicaría, muy probablemente, su extinción. En este sentido, el estudio ofrece más que una propuesta concreta. Provee al lector de marcos analíticos y teóricos para reflexionar sobre el uso y manejo de los recursos naturales, así como para plantear soluciones que faciliten su preservación y manejo eficiente. Es un libro que será de gran utilidad para los interesados en el tema y para todos aquellos involucrados en el diseño de políticas ambientales y de preservación de recursos naturales. Estamos seguros de que este libro constituye una aportación valiosa al conocimiento y la formulación de mejores políticas en la materia.

Edna Jaime Treviño

Directora general

CIDAC

César E. Hernández Ochoa

Investigador - Coordinador de la Red

CIDAC



RESUMEN

En este trabajo se presenta una propuesta de regulación para la asignación del agua en la cuenca Lerma-Chapala. La regulación busca la doble finalidad de, por un lado, asegurar un nivel mínimo de agua para el Lago de Chapala que lo haga sustentable y, por el otro, proveer a la ciudad de Guadalajara de agua potable en periodos de escasez.

Se propone comprar agua a los agricultores situados aguas arriba del lago en los periodos de abundancia y depositarla en éste para utilizarla en momentos de escasez, a través de una institución denominada Banco de Agua. Se muestra que es posible financiar el funcionamiento del Banco con la venta de agua al Organismo Operador de Guadalajara y, también, que la utilización del Lago de Chapala como depósito natural es factible desde el punto de vista hidrológico.




INTRODUCCIÓN

El objetivo de esta investigación consiste en mostrar la factibilidad hidrológica de la utilización del Lago de Chapala como depósito natural de las aguas adquiridas a los usuarios agrícolas por el Banco de Agua. Simultáneamente, se evidencia que se puede financiar el funcionamiento del Banco con la venta de agua al Organismo Operador de Guadalajara.


Para cumplir con este doble objetivo se propone que el Banco compre agua a los agricultores del estado de Guanajuato, que la almacene temporalmente y que, de este modo, también produzca servicios ambientales a los habitantes de la cuenca. Además, se propone que posteriormente la venda al Organismo Operador de Agua Potable de la ciudad de Guadalajara.

Asegurar la sustentabilidad del lago es una tarea complicada por varias razones: en la cuenca Lerma-Chapala casi todas las aguas superficiales son de uso agrícola y el agua sólo se destina al



Lago de Chapala cuando hay excedentes; la gran extensión del lago y su poca profundidad provocan elevados niveles de evaporación, situación que los agricultores de la cuenca perciben como una pérdida; el aumento de la demanda de agua en la cuenca, que coincide con la parte baja del ciclo hidrológico, ha ocasionado peligrosas disminuciones en el nivel del Lago de Chapala.

El gobierno mexicano ha considerado necesario promover un mecanismo de regulación del agua en la cuenca Lerma-Chapala para asegurar la supervivencia del lago; en este libro se presenta una propuesta en este sentido y se desarrolla en cinco partes. En la primera parte se describen las experiencias de funcionamiento de Bancos de Agua en otras partes del mundo; en la segunda se describe el entorno institucional actual en el cual se gestiona el agua en México y que casi ha llegado a ocasionar la extinción del Lago de Chapala, así como grandes problemas en el suministro de agua a Guadalajara; en la tercera sección se presenta la propuesta de regulación con tres escenarios de acción posibles; en la cuarta parte aparecen las conclusiones y, finalmente, en la quinta sección, dos anexos que reportan la construcción de dos modelos: uno para la simulación de los escenarios y otro para la determinación de los precios del agua en la agricultura de la cuenca Lerma-Chapala.



I

Revisión de las experiencias previas

La literatura relevante sobre el tema de la regulación ambiental del agua se enfoca principalmente en revisar los instrumentos económicos de control de la contaminación y en el funcionamiento de las distintas instituciones para aplicar las políticas de internalización de las externalidades (Cropper y Oates, 1992). El origen de la producción excesiva de contaminación es la falta de mercados por contaminación. La forma de corregir esta falla es múltiple y la efectividad de su implementación dependerá principalmente de los costos de transacción generados en cada institución.

El caso que nos ocupa es distinto, pues la ineficiencia en la asignación del agua surge por la falta de un mercado que no tiene que ver con la calidad sino con la cantidad del agua. La inexistencia de ese mercado y, por ende, la asignación ineficiente del recurso entre los agentes en la cuenca se debe a distintas razones: (1) la ambigüedad en la definición de los derechos de propiedad del

agua en la legislación mexicana, (2) la gratuidad del agua para uso agrícola y, sobre todo, (3) la falta de representación institucional del Lago de Chapala en la decisiones del Consejo de la Cuenca Lerma-Chapala.

Por otro lado, existe una vasta aunque novedosa experiencia en la operación de Bancos de Agua, mecanismo de regulación que comenzó a funcionar en California, Estados Unidos, en los noventa, con el fin de prevenir los efectos nocivos de las sequías. También se ha intentado la aplicación de este mecanismo con pobres resultados en Texas. En España se sentaron las bases para el funcionamiento de un Banco de Agua, aunque aún no hay suficientes evidencias empíricas para saber si resultó un experimento exitoso o no.

California es un estado de contrastes geográficos y climáticos: durante la estación seca ocurren entre cinco y siete tormentas de invierno en el norte, una ligera escasez de tormentas causa un año seco y un par de tormentas de más produce un año húmedo (Bowling y Jercich, 1996, 3). Aproximadamente 75% de los escurrimientos naturales ocurren en la parte norte del estado, mientras que 75% de la demanda neta de agua se localiza en la parte semiárida al centro y sur de dicha entidad. (Water Bank, 1996, 8).

En el último siglo, California ha experimentado dos periodos de sequía que han durado más de cuatro años y el último duró seis, de 1987 a 1992 (Roos, 1992, 15). Después del cuarto año de la sequía más reciente, el gobernador de California emitió una orden ejecutiva para formar un equipo que combatiera este fenómeno. Dicho equipo, constituido por funcionarios estatales y federales,

desarrolló un plan de acción en caso de que continuara la sequía. Una de las acciones propuestas fue la formación de un Banco de Agua de emergencia, manejado por el Departamento de Recursos Hidráulicos (DWR, por sus siglas en inglés).

El propósito del Banco era ayudar a satisfacer la demanda de agua en las zonas urbanas, agrícolas y los intereses medioambientales en California. En 1991 el DWR puso en marcha el primer Banco (California Department of Water Resources, 1991a, 12), comprando agua de vendedores voluntarios y transfiriéndola a aquellos con necesidades críticas, usando así los instrumentos de política contenidos en el Proyecto Estatal de Agua (SWP por sus siglas en inglés). El DWR repitió el exitoso programa del Banco de Agua en los años de sequías de 1992 y 1994.

Los vendedores, en este caso los agricultores y los distritos de riego, proporcionaban el agua disponible a estas entidades mediante la disminución de las cosechas, dejando el superávit de agua almacenado en presas o vasos y sustituyendo por agua subterránea el agua superficial.

El DWR comenzó a planear el Banco de Agua en California durante el año de sequía crítica de 1994, con miras a que estuviera listo para una nueva sequía en 1995. Este programa ayudó a las agencias de agua a cumplir con sus necesidades críticas de oferta, previendo que en 1995 escasearía el líquido. Las necesidades críticas incluían el agua para uso doméstico e industrial, para propósitos de salud y de seguridad, para el cuidado de los árboles, viñedos y otras cosechas de alto valor, y para asegurar la vida de peces y fauna.



Existen Bancos de Agua en casi todos los estados del oeste de Estados Unidos, pero mientras su número se ha incrementado significativamente en los últimos diez años, su actividad —medida como el número de transacciones y el volumen de intercambio— no ha corrido con la misma suerte.

Así, la mayoría de los veintitrés Bancos de Agua se establecieron después de 1990 e incluyen adquisiciones temporales o permanentes de agua superficial y subterránea, así como programas de almacenamiento de reservas de agua. Sólo en los estados de California, Arizona e Idaho los programas de Bancos de Agua se han distinguido por tener un alto nivel de actividad en cuanto a volúmenes de agua y número de transacciones.

Por otra parte, en el norte de México se comercia con el agua destinada para la agricultura dentro de los propios distritos de riego con la institución que posibilita este tipo de intercambio; si bien es cierto que los agricultores denominan a esta entidad “Banco de Agua”, se trata más de un mercado de agua que de un Banco de Agua en el sentido que se utiliza en este libro. Además, este tipo de experiencias están poco documentadas.

En el año 2002, un grupo de economistas del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua propuso la aplicación de un Banco de Agua para asegurar la dotación mínima del recurso en el Lago de Chapala. Un año después, de acuerdo con esta línea de trabajo, Bravo, Castro y Gutiérrez (2005) plantearon la posibilidad de establecer un Banco de Agua similar al de California para rescatar el Lago de Chapala. Ese trabajo pionero es el antecedente inmediato de nuestra investigación.



En el problema que nos ocupa está claro que la ciudad de Guadalajara necesita asegurar un suministro mínimo de agua potable para las temporadas de escasez y que, además, el Lago de Chapala requiere de 2,000 a 8,400 millones de metros cúbicos (Mm³) de agua para proporcionar el servicio medioambiental que la sociedad demanda. La asignación del agua a través de un mercado descentralizado no logra que se cumpla ninguno de los objetivos y la regulación actual pone en riesgo la existencia del Lago de Chapala.

La presente propuesta consiste en regular el suministro a través de un Banco de Agua y, así, obtener un doble dividendo: primero, cooperar con el suministro de agua potable a la ciudad de Guadalajara con un nivel de calidad adecuado y, segundo, proporcionar el volumen de agua necesario para que el lago sea capaz de proporcionar el servicio medioambiental demandado por la sociedad.

El proceso de asignación del agua superficial en la cuenca Lerma-Chapala se ha hecho de acuerdo con las pautas establecidas en el Convenio de Asignación de Aguas Superficiales para la cuenca. Este convenio se aplica cada año y tiene en cuenta tanto la oferta, entendida como la precipitación y la evaporación, como la demanda, principalmente del sector agrícola.

Los precios del agua, aun para los usos industrial y urbano, no incorporan la totalidad de los costos relevantes, por lo que la asignación eficiente del recurso no se puede lograr a través del mecanismo de precios.

Como en la mayoría de las legislaciones del mundo, en México



se separa el cobro por el uso del agua como insumo de la producción del cobro por el agua residual. Si la decisión de la sociedad hubiera sido gestionar el agua de las cuencas del país usando el precio como guía, habría sido necesario concebir el efecto de los dos precios simultáneamente para incentivar a los agentes a elegir una combinación óptima entre la extracción y la descarga de agua.

Si la asignación del agua se hace a través de un foro distinto al mercado, como en las típicas asignaciones centralizadas en un consejo de cuenca, los encargados de la asignación deben tener en cuenta en sus reglas de operación la gran variabilidad e incertidumbre en la ocurrencia del recurso.

En condiciones ideales, es decir al agotar los beneficios del comercio, la asignación a través de un mecanismo de mercado descentralizado asegura la maximización del bienestar social, de forma tal que se igualan los beneficios marginales sociales de todos los agentes. Un planificador con información completa debería asignar el recurso según esta regla.

Una dificultad adicional surge porque el agua puede tener distintos tipos de uso, pero, en algunos casos —como el medioambiental—, puede considerarse un bien público en el sentido de Samuelson. En la mayoría de los casos, cuando el agua tiene un uso consuntivo positivo, la exclusión y rivalidad que se presenta en su utilización le otorga características de bien privado.

Las condiciones de asignación eficiente varían para cada caso. Al tratarse de un bien privado, la máxima eficiencia se logra cuando los beneficios marginales entre todos los usos y todos los agentes se igualan entre sí y, a su vez, a los precios relativos. Cuando se



trata de un bien público, es la suma de los beneficios marginales de los distintos agentes la que se debe igualar a los costos marginales de producción para obtener una asignación eficiente.

En el caso que nos ocupa, dos usos con características económicas distintas compiten por el vital recurso: el agua como factor de la producción en la agricultura de Guanajuato y como generador de un bien medioambiental cuando se deposita en el Lago de Chapala.

La percepción de los agricultores de Guanajuato es que el agua depositada en el lago es agua perdida ya que, desde su perspectiva, no tiene uso productivo alguno. A través de sus representantes, los agricultores ejercen presión para obtener el máximo nivel posible en la asignación de agua. El lago carece de representante y, por tanto, en ausencia de intervención gubernamental, el agua suele asignarse a la agricultura de manera excesiva.

Lo ideal sería contar con un vector de precios que incorporara toda la información relevante respecto de los costos de producción del agua. Sin embargo, al parecer el Estado mexicano ha decidido mantener su política de cobro cero por el agua destinada al uso agrícola, además de limitar e inhibir la formación de mercados para la asignación eficiente del recurso. Así, es indispensable que se utilicen otros mecanismos de asignación.

Los mecanismos de asignación alternos pueden ser de naturaleza muy diversa: (a) con prioridad en el tiempo, es decir, primero en tiempo, primero en derecho; (b) con asignación centralizada comandada y controlada desde una agencia central; y (c) a través de un mercado regulado por el gobierno con impuestos, subsidios y controles directos.

En México se ha optado por una asignación centralizada, aunque en caso del uso agrícola los mercados para el intercambio de agua surgen naturalmente, sin que el Estado los regule. Las necesidades de información para que un esquema totalmente centralizado —como el mexicano— funcione adecuadamente son tan grandes que rebasan la capacidad de la agencia administradora.

Por otro lado, a pesar de contar con importantes apoyos técnicos y financieros, las reformas al precio del agua son extremadamente complejas y toman mucho tiempo en madurar. Aun en el caso de los países más avanzados, donde existen las capacidades, la gobernabilidad, la participación y las instituciones adecuadas, hay principios básicos —“el que contamina paga”, “precios que incluyan los costos totales, tanto económicos como medioambientales”, “disminución del subsidio al precio del agua en la agricultura” — que no pueden cumplirse cabalmente.

Además, hay otros problemas conceptuales y prácticas que evidencian la dificultad para implementar la reforma de precios del agua, lo cual incluye los objetivos duales del precio: la eficiencia económica y la recuperación de costos; la inherente complejidad del sector agrícola; la ausencia de mecanismos de exigencia de cuentas en los servicios de provisión de agua; y, sobre todo, las enormes dificultades de tener en cuenta los costos de oportunidad.

II

Actores y entorno institucional

Una de las instancias más importantes para la gestión del agua son los Consejos de Cuenca (CC), definidos por la CNA de la siguiente manera (Ley de Aguas Nacionales, 2004, 22):

Los Consejos de Cuenca son instancias de coordinación y concertación entre la Comisión Nacional del Agua, las dependencias y entidades de las instancias federal, estatal, municipal y los representantes de los usuarios de la respectiva cuenca hidrológica: su objeto es formular y ejecutar programas y acciones para la mejor administración de las aguas, el desarrollo de la infraestructura hidráulica y de los servicios respectivos y la preservación de los recursos de la cuenca (art. 13).

Para su funcionamiento, los Consejos de Cuenca pueden contar con organizaciones auxiliares a nivel de subcuenca, microcuenca y/o acuífero, denominadas respectivamente: Comisiones de Cuenca, Comités de Cuenca y Comités Técnicos de Aguas Subterráneas (Cotas).

El CC más antiguo, y probablemente el que funciona mejor en el país, es el instalado en la cuenca Lerma-Chapala. A pesar de que a los CC no se les concede gran capacidad de gestión presupuestal y jurídica, en esta cuenca el Consejo toma decisiones importantes en la asignación de agua superficial. Igual que en el resto del país, en esta cuenca el principal usuario de las aguas nacionales es el sector agrícola, por lo tanto, discutir cómo se asigna el agua entre los estados que la forman define en gran medida cuánta agua se asigna a la agricultura durante cada ciclo en la cuenca. Como cualquier otro agente económico, los agricultores deben de cumplir con el requisito mínimo de tener una concesión para hacer uso productivo del agua.

Las concesiones se otorgan de acuerdo con las reglas que fija la CNA, en función de la disponibilidad del recurso, y se administran de acuerdo con las regiones fijadas por la CNA. No obstante que las regiones administrativas coinciden en términos generales con los límites geográficos de las cuencas, los CC no son las instancias administrativas encargadas de las concesiones.

Por otro lado, a pesar de que la política de precios de la CNA haya sido concebida originalmente para ser aplicada a todos los usuarios con la idea de alcanzar determinado nivel de recaudación, por consideraciones de equidad a los agricultores se les exentó¹ posteriormente del pago del derecho por uso o aprovechamiento de aguas nacionales, generándose grandes problemas de ineficien-

1. Sólo pagan parcialmente por la operación y mantenimiento de las obras de infraestructura que utilizan.

cia en la asignación del recurso al ser el sector agrícola el mayor usuario de las aguas nacionales.

El agua para consumo humano enfrenta una problemática muy distinta. Los gobiernos municipales o estatales se encargan de proporcionar el servicio; para eso crean empresas privadas o públicas con mayor o menor independencia en su operación. Ni las tarifas ni las políticas que estas empresas fijan son determinadas por la Comisión Nacional del Agua, pero a pesar de ello tienen la obligación de pagar un derecho por el agua que utilizan como insumo en sus procesos productivos.

En el año 2006, un organismo operador como el que proporciona agua a la ciudad de Guadalajara tendría que pagar a la CNA \$290.61 por cada mil metros cúbicos si cada habitante consumiera en promedio menos de trescientos litros y \$581.22 por cada mil metros cúbicos si se excediera tal volumen. Mientras que el Organismo Operador de Agua Potable de Guadalajara cobra a los habitantes de esa ciudad \$34.00 si consumen menos de 17m³ al mes; a partir de este volumen cobra una tarifa que aumenta proporcionalmente con el volumen y llega a ser de \$18.80 por metro cúbico cuando se exceden los 250 metros cúbicos.

Es en la forma de administrar las concesiones y de fijar los derechos de propiedad del agua donde la CNA ha generado grandes problemas de asignación. Debe recordarse que la ocurrencia del agua es estocástica y en la cuenca Lerma-Chapala los ciclos son muy pronunciados, por lo que la cantidad de agua que se asigna en cada ciclo es variable, mientras que la cantidad de concesiones se mantiene fija.

Las modificaciones de la LAN aceptadas por el Congreso y que se aplican a partir del año 2004, dan mayor autoridad a los Consejos de Cuenca, de forma tal que los problemas de asignación deberían disminuir al permitirse que éstos tengan la facultad de “proponer los términos para gestionar y concertar los recursos necesarios, incluyendo los de carácter financiero, para la consecución de los programas y acciones en materia hídrica a realizarse en el ámbito de competencia territorial del Organismo de Cuenca”.

Por ejemplo, adecuar a la cantidad de agua disponible el volumen máximo que se extraerá anualmente no está contemplado en la asignación actual de la legislación mexicana. Así, cuando se producen reducciones en la oferta disponible de agua por causas naturales, la reasignación se hace a través de la negociación entre usuarios.

En el caso específico de la cuenca Lerma-Chapala, la negociación se hace en un foro específico: el Consejo de Cuenca, y con un marco legal aceptado por todos los usuarios: el Convenio de Distribución de Aguas Superficiales. En el CC están representados los distintos estados que conforman la cuenca; el representante de cada estado puja por obtener la mayor cantidad de agua para los usuarios principales de esta cuenca en su entidad: los agricultores. Por esta razón, si se quiere asegurar que el Lago de Chapala reciba una cantidad de agua adecuada en términos sociales, es muy importante diseñar una política de intervención *ex profeso*.

III

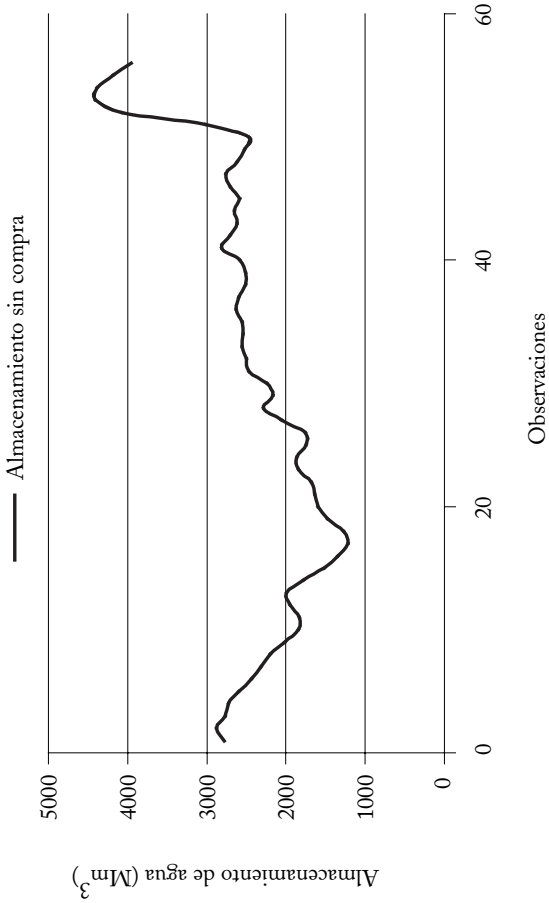
Propuesta de regulación


Los bajos niveles de agua observados en los últimos años en el Lago de Chapala —que implican también el riesgo de deterioro ambiental— motivaron la intervención del gobierno estatal con el objetivo de revertir este problema. Se han propuesto diversas formas de intervención; en este libro se analiza la factibilidad hidrológica y financiera de una propuesta de intervención en el mercado del agua: el Banco de Agua.

En la Gráfica 1 se muestra el comportamiento típico del nivel de almacenamiento de agua en el Lago de Chapala. Los ciclos observados se repiten sistemáticamente; sin embargo, debido a la creciente demanda, todo hace suponer que en el futuro la tendencia será decreciente.

La propuesta que se reporta en este libro se fundamenta en la experiencia del Banco de Agua de California. En dicha experiencia, la existencia de compradores y vendedores —la ciudad

Gráfica 1. Almacenamiento de agua en el Lago de Chapala sin intervención del Banco.





de Los Ángeles y los agricultores del Valle Imperial—, respectivamente, garantizaba la posibilidad de intercambios de agua a precios positivos. Claramente existían dos usos rivales: agua potable y agua para la agricultura. En el caso de la cuenca Lerma-Chapala, el uso alternativo del agua destinada a la agricultura es medioambiental y no tiene un valor económico determinado en el mercado. Por lo tanto, al depositar el agua en el lago se lograría un doble dividendo: asegurar la provisión de los servicios medioambientales del lago y abaratar los costos de provisión de agua potable a Guadalajara.

En el caso de la ciudad de Los Ángeles, los derechos de agua eran comprados a los agricultores con el fin de asegurar el abastecimiento de agua potable a esa ciudad. En el caso que nos ocupa, se trata de comprar agua o derechos temporales —no derechos en forma definitiva— a los agricultores de la cuenca Lerma-Chapala —principalmente a los agricultores de Guanajuato—, mantener durante cierto tiempo el agua en el lago y después venderla a Guadalajara para asegurar el abastecimiento de agua potable a dicha ciudad.

Si el agua de la cuenca se asignara mediante un mecanismo de mercado descentralizado de libre competencia, el resultado más probable sería la extinción del lago, ya que la asignación eficiente del recurso requiere igualar las tasas marginales de transformación entre los distintos bienes producidos a los precios relativos. Por otro lado, puesto que no hay un mercado para intercambiar el bien medioambiental que produce el lago, faltan incentivos para asignar el agua al lago a través del mecanismo de mercado. La exis-

tencia de un Banco del Agua se justifica a partir del hecho de que el mercado de agua desregulado no puede resolver el problema de asignación de agua al Lago de Chapala.

Entendemos por Banco de Agua una institución que interviene en un mercado de agua ya existente, comprando y/o vendiendo el líquido con el fin de asegurar un nivel de asignación mínimo de agua para el Lago de Chapala durante un tiempo determinado.

Cada institución utilizada en la asignación de agua requiere para su funcionamiento de distintos niveles de información, lo que implica generar distintos costos de transacción. Disminuir los costos de transacción, en general, y de administración, en particular, es una condición necesaria para alcanzar asignaciones de relativa eficiencia económica (North, 1990, 43).

Los costos de transacción disminuyen los beneficios de la reasignación. En la experiencia de California, los costos de administración se lograron disminuir al nivel más bajo posible al mantener un número mínimo de personal y, sobre todo, por el diseño temporal del Banco, ya que éste sólo funcionaba cuando las condiciones de sequía lo requerían.

El Banco que se propone para la cuenca Lerma-Chapala pretende funcionar como un instrumento que asegure el agua para la demanda medioambiental del Lago de Chapala, suspendería sus operaciones cuando las condiciones hidrológicas lo justificaran, además de que de ninguna manera deberá tener una estructura burocrática permanente que implique grandes costos fijos.

En México, en particular en la cuenca Lerma-Chapala, existen dos tipos de usuarios agrícolas: los agrupados en los distritos de

riego y los concentrados en las unidades de riego; mientras que acerca de los primeros existen estadísticas confiables, de los segundos no hay. Las propuestas que se desarrollan en este libro utilizan las estadísticas disponibles, por lo que los valores de volúmenes que se intercambian seguramente estarán subestimados.

Se analizan tres escenarios posibles para el financiamiento del Banco. En los tres, la estructura burocrática propuesta es mínima y contingente a la pertinencia del Banco. Además, en los tres escenarios se esperaría que el Estado proveyera recursos fiscales para iniciar el funcionamiento del Banco, con el fin de comprar el agua necesaria al inicio del periodo de secas; posteriormente, se propone que el Banco mismo genere sus propios recursos, que deberían ser suficientes para cubrir tanto sus costos de operación como los gastos ocasionados por la compra de agua.

Parte importante en el presente análisis es la determinación del precio de reserva a partir del cual los agricultores estarían dispuestos a vender el volumen de agua que tienen concesionado. Entendemos que la disposición a vender debería ser medida a través de una encuesta diseñada específicamente para este fin; sin embargo, los costos que implica la realización de una encuesta de este tipo la hacen inviable, de modo que en su lugar se aproximó el precio como el costo de oportunidad de los agricultores, es decir, el valor de la producción que pierden al no contar con agua. Para este fin se desarrolló un algoritmo que calcula el volumen de agua liberada por los agricultores y el precio al que se les debe comprar. (Véanse Anexos A y B.)

FUNCIONAMIENTO DEL BANCO DE AGUA

La idea central es la siguiente: el Banco funciona como un ente regulador que compra agua en momentos de abundancia, la almacena durante un periodo determinado y la vende en épocas de escasez, con lo cual intenta financiar los gastos ocasionados por su funcionamiento y, simultáneamente, asegurar un nivel mínimo de agua para el Lago de Chapala. La adquisición de volúmenes de agua se hará esperando que los oferentes reaccionen de acuerdo con la regla especificada en el cálculo de precios.

Al principio, los gastos derivados del funcionamiento del Banco, tanto por la operación como por la compra inicial del agua, deberán ser financiados por el gobierno.

Con base en la premisa de buscar los costos de administración más bajos con el mínimo personal empleado, y considerando que sólo habrá un gerente y un ayudante, se calcula un presupuesto de operación anual de 5.3 millones.

Se sabe también que existen oferentes netos de derechos de agua: agricultores que sufren pérdidas económicas, principalmente aquellos que se dedican a la producción de maíz y trigo. Por otra parte, existen demandantes netos de agua que independientemente del ciclo hidrológico están dispuestos a adquirir derechos: agricultores cuyo volumen demandado es superior al volumen concesionado por la CNA, así como ciudades cuyo crecimiento demográfico les exige contar con volúmenes de agua mayores a los concesionados.



Al finalizar el ciclo de abundancia y al comenzar la escasez, el Banco vendería el agua acumulada durante el periodo húmedo. Esto permitiría imponerle al precio un margen de ganancia en relación al precio con que originalmente se adquiría el agua.

Los volúmenes de agua acumulados durante el periodo de compra servirían para asegurar la cantidad mínima para iniciar el Banco en el primer año del nuevo periodo de humedad; el remanente se mandaría al lago. Durante este periodo el Banco suspendería sus funciones. Esto es, los fondos para comprar agua destinada al Lago de Chapala provendrían de un sobreprecio impuesto al valor de los derechos de agua adquiridos en una primera etapa por el Banco.

La posibilidad de que el Banco financie sus actividades a través de este mecanismo podría resultar en un incentivo perverso para el intercambio, ya que al encarecer el precio del agua se inhibirían los intercambios y se propiciarían mercados informales.

El supuesto de que las ventas de agua por parte del Banco se realicen únicamente durante los periodos de sequía permite justificar dicho sobreprecio, pero no es suficiente para eliminar el efecto negativo sobre las señales de precios que aparecerían junto con el Banco.

Los Bancos de Agua que existen en el norte del país funcionan como foros de intercambio libres y autónomos, en donde los agentes se informan de los excesos de oferta y de demanda de agua que ocurren en los distintos módulos que forman un distrito de riego. El precio de intercambio del agua se fija entre los usuarios del distrito y el Banco sólo sirve como un foro para proporcionar



información, en el que no se incrementa el precio del agua intercambiada ni existen gravámenes o subsidio alguno.

Con el fin de verificar la factibilidad hidrológica y financiera del Banco, se propone el funcionamiento de tres posibles escenarios. A continuación se describe cada uno de ellos.

Escenario 1

El volumen total de agua que se propone comprar para el Banco de Agua es de 171.8 millones de metros cúbicos al año, que es la cantidad que se puede ahorrar al dejar de sembrar los cultivos poco rentables y al tecnificar los cultivos frutales más rentables, mediante sistemas de riego tecnificados, como los sistemas por aspersión para los granos y el sistema de riego por goteo para los frutales, con eficiencias de aplicación de 85 y 95%, respectivamente. (Véase Tabla 1.)

En este escenario ningún agricultor sería expulsado de su actividad como resultado de la adquisición, por parte del Banco, de estos 171.8 Mm³, pero se requeriría invertir en la tecnificación de los distritos de riego; este gasto puede ser de origen privado, público o mixto.

Con base en el algoritmo mostrado en el Anexo B de esta investigación, se calcula que dicho volumen sería susceptible de ser vendido por los agricultores al Banco a un precio de \$0.03/m³, por lo que en total se requerirían 5.2 millones de pesos para adquirir el agua. Si se agrega esta cantidad al presupuesto anual de operación

Tabla 1. Estimación de los volúmenes de agua susceptibles de venderse en el Banco de Agua de la región Lerma-Chapala. (Escenario 1.)

Distrito de riego	Superficie regada (ha)	Volumen neto total del D. R. (m ³)	Volumen neto presupuesto (m ³)	Volumen propuesto respecto del total neto del D. R.	Volumen aprovechado (m ³)	Volumen ahorrado y susceptible de venderse (m ³)
Alto Río Lerma	150,673	745,695,204	675,644,351	91	575,663,629	99,980,723
Morelia	20,260	71,208,692	66,415,856	93	56,453,477	9,962,378
Ciénega	13,364	56,329,765	50,414,266	90	42,920,651	7,493,616
Estado de México	7,060	14,360,353	12,517,453	87	10,639,835	1,877,618
Tuxpan-Maravatío	7,641	36,959,533	33,894,800	92	30,469,780	3,425,020
Zamora	6,041	127,771,638	87,132,403	68	79,571,000	7,561,402
La Begoña	6,387	40,693,266	34,949,800	86	29,707,330	5,242,470
Rosario	50,153	265,275,076	243,568,599	92	207,299,082	36,269,517
Total	261,579	1,358,293,529	1,204,537,528	74	1,032,724,784	171,812,744

Fuente: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

del Banco, que es de 5.3 millones de pesos, se necesitarían 10.5 millones de pesos cada año para que el Banco funcionara y adquiriera los volúmenes de agua programados.

Este proceso se repetiría durante cinco años, tiempo promedio que dura el ciclo hidrológico de abundancia. Por lo tanto, considerando una tasa de descuento de 12%, se necesitarían 47.9 millones de pesos para financiar las actividades del Banco de Agua.

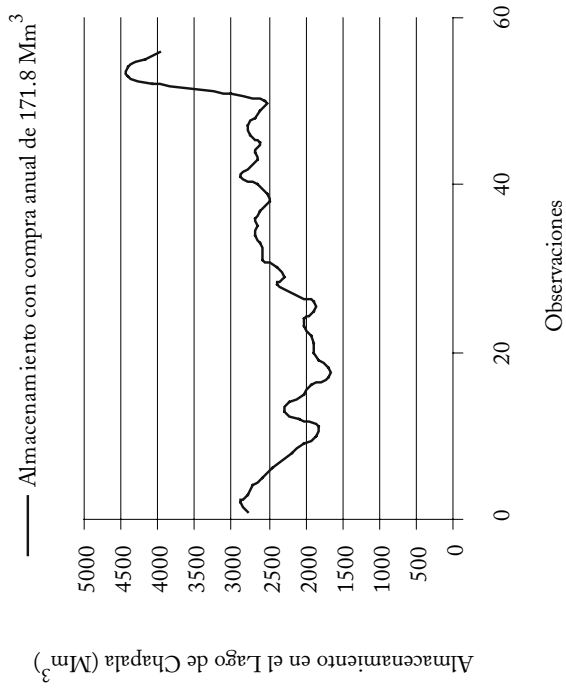
Para el sexto año —el primer año de secas— se habrían acumulado 1,821 Mm³ en el Banco. Si se suministrara a Guadalajara los 250 Mm³ que solicita al lago, cada metro cúbico tendría que venderse a \$0.19 para recuperar los gastos en los que se incurrió, cantidad menor que lo que el organismo operador de agua potable le debe pagar a la CNA por la extracción del agua. (Véase Tabla 1.)

El resultado de operar el Banco con la regla definida en el escenario 1 se observa en la Gráfica 2. Nótese que el volumen mínimo, que se registra alrededor de la observación 20, es de aproximadamente 1,700 Mm³, mientras que el mínimo sin Banco es de alrededor de 1,200 Mm³.

Escenario 2

Éste es un escenario opuesto al presentado anteriormente. El agua que se puede vender es el total del agua asignada al uso agrícola en los distritos de riego, es decir 1,628 Mm³. El precio al que se comprarían los derechos sería de \$3.16/m³, por lo que se requerirían 5,135 millones de pesos anuales que, aunados al presupuesto

Gráfica 2. Almacenamiento con compra anual de 171.8 Mm³.



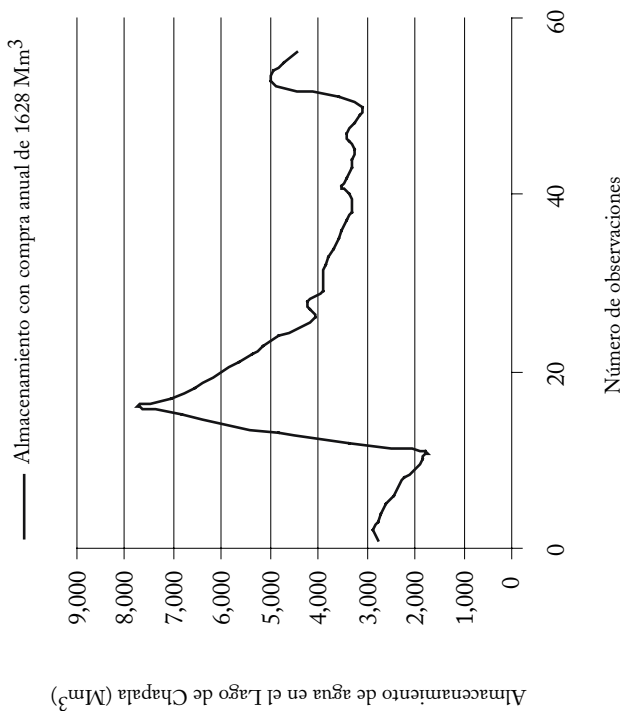
anual de operación del Banco, suman un total de 5,140.3 millones de pesos anuales.

Igual que en el caso anterior, el Banco compraría agua durante los cinco años que —se supone— dura el ciclo hidrológico de abundancia. En consecuencia, la cantidad total que se necesitaría para financiar las actividades del Banco de Agua durante los primeros cinco años sería de 25,704 millones, descontados a una tasa de 12% anual.

Al sexto año, cada metro cúbico se vendería en \$94.69/m³, se acumularían 6,288 Mm³ y se colocarían en el mercado de agua 4,070 Mm³. De esta manera, durante el periodo de sequía, el Lago de Chapala tendría asegurada dicha cantidad, que se podría distribuir de la manera más conveniente en los años que durara la escasez. En este escenario se aseguraría el límite mínimo de aportación al Lago de Chapala para garantizar su sustentabilidad pero a costa de acabar con la agricultura de la cuenca. (Véase Gráfica 3.)

El efecto de la aplicación de esta política modifica totalmente el patrón resultante del ciclo hidrológico, como puede observarse en la Gráfica 3. El mínimo, que se da alrededor del año 20, se convierte en un máximo que alcanza cerca de 7,500 Mm³ de volumen almacenado en el lago; el volumen mínimo que se alcanza alrededor de la observación 12 se da con un nivel de agua poco menor que los 2,000 Mm³.

Gráfica 3. Almacenamiento con compra anual de 1,628 Mm³.



Escenario 3

En este escenario se considera que los usuarios tienen concesiones que amparan volúmenes superiores o inferiores a los realmente demandados (utilizados). También se considera que el Banco puede adquirir los volúmenes no concesionados o aquellos que, estando concesionados, no se utilicen (demanden) en la producción.

En el Tabla 2 puede observarse que en algunos distritos, como el Alto Río Lerma, el volumen bruto total (demandado) es superior al volumen total concesionado en 137.9 Mm³, mientras que en el distrito de Zamora el agua que no se utiliza del total de volumen concesionado es de 44.1 Mm³.

El volumen total susceptible de venta en toda la cuenca Lerma-Chapala es de 361.3 Mm³ y el precio al que el Banco debe comprar es de \$0.15/m³, por lo que el costo total anual de compra de agua es de 54.20 millones de pesos, lo que da un total de 59.5 millones de pesos al año, una vez agregado el costo de operación del Banco.

El Banco compraría el volumen mencionado en el párrafo anterior durante el periodo de abundancia, que se supone dura cinco años, por lo que se necesitarían 297.3 millones de pesos para financiar las actividades del Banco de Agua durante el periodo inicial de cinco años.

El sexto año, cada metro cúbico se vendería en \$0.33 y se colocarían 903 Mm³ en el mercado de agua. De esta manera, durante el periodo de sequía, el Lago de Chapala tendría asegurada dicha cantidad, que se podría distribuir de la manera más convenient-

Tabla 2. Volumen de agua para riego concesionada y volumen realmente empleado en los distritos de riego que conforman la región Lerma-Chapala.

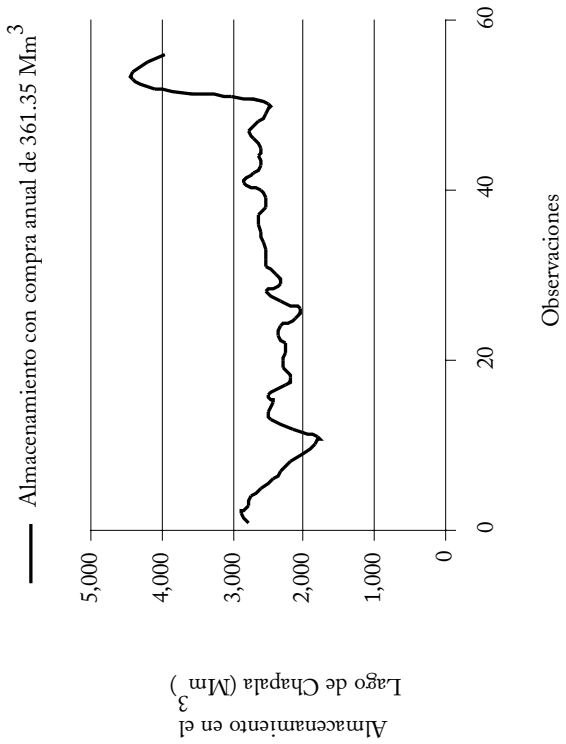
Distrito de riego	Superficie regada (ha)	Volumen bruto total del D. R. (m ³)	Volumen neto propuesto (m ³)	Volumen total concesionado (m ³)	Diferencia entre volumen concesionado y empleado
Alto Río Lerma	161,838	1,036,219,100	746,279,800	898,270,000	137,949,100
Morelia	20,893	111,753,900	70,988,300	99,080,000	12,673,900
Ciénega	15,536	93,119,700	58,488,600	122,880,000	29760,300
Estado de México.	7,386	23,275,600	14,360,000	6,658,000	16,617,600
Tuxpan-Maravatío	8,245	67,013,600	37,120,500	100,595,000	33,581,400
Zamora	10,455	185,195,300	127,879,500	217,930,000	32,734,700
La Begoña	7,736	68,476,200	41,630,900	112,610,000	44,133,800
Rosario	55,251	303,850,900	263,374,300	357,746,000	53,895,100
Total	287,339	1,888,904,300	1,360,121,900	1,915,769,000	361,345,900

Fuente: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

te en los años que durara la sequía, con lo cual se coadyuvaría a asegurar la supervivencia del lago aunque no su sustentabilidad. (Véase Tabla 2.)

El resultado de esta política se observa en la Gráfica 4. Como era de esperarse, se trata de una solución intermedia entre los otros dos escenarios; esto logra mantener el nivel del Lago de Chapala cerca de los 2,000 Mm³ durante todo el periodo estudiado.

Gráfica 4. Almacenamiento con compra anual de 361.35 Mm³.





CONCLUSIONES

Con base en el funcionamiento del Banco de Agua de California se ha propuesto un mecanismo similar para evitar el continuo deterioro del Lago de Chapala. Su aplicación disminuye necesariamente la eficiencia de los mercados de agua, pero es una forma de asegurar un nivel mínimo del Lago de Chapala con el menor gasto público posible.

Se propusieron tres escenarios alternativos para la compra de agua y para cada uno se determinaron las posibles comisiones que financiarían las operaciones del Banco. Es conveniente reiterar que la estimación de éstas es muy conservadora, puesto que se refiere a la comercialización de volúmenes en distritos de riego; faltaría incluir las unidades de riego y otras posibles operaciones que realizarían otros usuarios potenciales importantes, como la comercialización de agua residual proveniente de centros de población a industrias, o bien de estos usuarios a riego.

Se demostró que es factible la operación de un Banco de Agua en la cuenca Lerma-Chapala que sea autosuficiente en términos financieros y que coadyuve a asegurar un volumen mínimo de agua para el Lago de Chapala.

Se puede concluir que la operación del Banco de Agua no es una solución definitiva para el problema del abastecimiento de agua al Lago de Chapala y sólo debe considerarse como una medida coadyuvante para garantizarle un mínimo de agua al lago. Dotar al lago de 1,628 Mm³ y asegurar su existencia a través de este mecanismo, significaría una erogación anual de 5,141 millones de pesos, además de dejar sin agua a la agricultura, escenario que es prácticamente imposible.

Los costos de proporcionar el agua al lago, según esta metodología, aumentan más que proporcionalmente respecto del volumen de agua que transfieren los agricultores al lago, debido a que el precio del agua implica igualar los beneficios medios esperados de los agricultores. Cuando se compran los primeros metros cúbicos, se paga poco porque el trato se realiza con los agricultores menos eficientes, pero al adquirir los últimos metros cúbicos el precio es caro puesto que se compra el agua a los más eficientes.

ANEXO A

Simulación del funcionamiento del lago

MODELO

Una clase importante de modelos para el análisis de sistemas de distribución de agua, planeación financiera, generación y distribución de energía eléctrica, lo constituyen los *modelos de redes*. La tarea más común de tales modelos es la determinación de los flujos (por ejemplo, energía, dinero o agua) en una red que minimice costos. De manera equivalente, una vez que se conocen las demandas de flujo en uno o varios puntos de la red, se desea encontrar aquellos que proporcionen costos mínimos.

Construcción del modelo

El modelo de asignación de recursos hidráulicos tiene como base un modelo de redes de flujo asociado con la descripción del sistema de recursos hidráulicos. En dicho esquema se resuelve el problema de suministro de flujo en la red a un costo mínimo.

Representación espacial

La estructura del modelo en general es como sigue: el sistema físico está representado en el espacio por una configuración nodos-arcos, donde los nodos representan vasos o confluencias; los arcos representan canales o ríos. Todos los vasos deben tener una salida para derramar cualquier exceso de agua que entre en ellos. El flujo derramado no está disponible para otros usos dentro del sistema. Esto sucede cuando el agua que entra al sistema es mayor que la capacidad de almacenamiento de los vasos. Una vez que se satisfacen las necesidades en los puntos de demanda factibles y se transfiere dicho volumen de agua, el modelo la elimina del sistema.

Representación temporal

En el caso de sistemas multiperiodicos, a cada representación en el espacio se asocia una representación en el tiempo. De modo equivalente, para cada periodo se tiene una red espacial en términos de

nodos-arcos. Las redes espaciales se conectan por medio de arcos que representan cambios de almacenamiento en los vasos durante periodos consecutivos. A éstos se les llama *arcos de almacenamiento*. De esta manera, la representación espacio-tiempo del problema puede ser visualizada como una red compuesta por capas, donde cada capa representa un periodo de tiempo, con arcos de almacenamiento que conectan las capas.

Defnición de la red esquemática

Esta red extendida no representa completamente el problema. El sistema debe, además, contar inicialmente con agua almacenada en los vasos, así como tener establecidas las entradas, las demandas y los derrames en el sistema. Sin embargo, estos requisitos se satisfacen al añadir arcos y nodos adicionales. Los almacenamientos iniciales en los vasos se establecen en la red por medio de un conjunto de arcos, denominados *arcos de almacenamiento inicial*, que se conectan a los vasos en el primer periodo. Los flujos sobre tales arcos son fijos. En los demás periodos, la entrada a los vasos se proporciona por medio de los arcos de entrada.

En el modelo de redes que se plantea, existen arcos de flujo variable representados por arcos de demanda, derrames y almacenamiento final. Las demandas del sistema son representadas a través de un conjunto de arcos de demanda. Las confluencias tienen un arco de salida en cada periodo para los derrames. Finalmente, los almacenamientos finales del último periodo dejan el sistema por

medio de un conjunto de arcos. Los arcos de flujo fijo y variable se conectan con siete nodos y cinco arcos adicionales.

En suma, hay ocho diferentes tipos de nodos dentro de la red:

- Un nodo fuente
- Un nodo de entradas
- Un nodo de demandas
- Un nodo de derrames
- Un nodo de almacenamiento final
- Un nodo sumidero
- Nodos que representan vasos
- Nodos de unión

El número total de nodos en la red es:

$$N = L * n_n + 7,$$

donde L es el número de periodos de tiempo, n es el número de nodos en la representación espacial y 7 es el número de nodos especiales en el problema.

Para conectar estos ocho nodos existen diez diferentes tipos de arcos. El flujo en los arcos que representan ríos está acotado por cero y la máxima capacidad en el río. Cuando existen requerimientos de flujo mínimo para control de calidad de agua u otros propósitos, el límite inferior puede ser distinto de cero y fijarse de tal forma que se satisfagan dichas necesidades. El flujo a través de canales y almacenamiento en los vasos está restringido entre un

nivel mínimo y la capacidad de diseño del mismo. El límite superior puede variar en las distintas etapas de tiempo del sistema, de tal forma que se asigne un límite superior igual a cero a aquellos elementos todavía no construidos pero que entrarán en funcionamiento en el transcurso del horizonte considerado. Una vez construidos estos elementos, sus límites superiores se convierten en la capacidad diseñada.

Los arcos de almacenamiento inicial y de entrada tienen el mismo valor en la cota inferior y superior. Esto obliga al almacenamiento inicial y a las entradas del sistema a ser constantes. Las demandas o requerimientos de agua salen del sistema a través de arcos cuyas capacidades de tránsito tienen como límites una cota inferior que permite una escasez tolerable y una cota superior que es igual al máximo requerido: estas cotas pueden ser distintas en cada periodo y en cada nodo. El flujo en los arcos de derrame puede variar entre cero y un valor arbitrariamente grande que no será alcanzado.

Un arco adicional, llamado *arco de flujo auxiliar*, se inserta en la red entre el nodo fuente y el nodo sumidero, pues la técnica usada en la solución del modelo de asignación requiere que un flujo fijo sea suministrado en el sumidero. El arco auxiliar abastece cualquier cantidad de agua requerida en el nodo sumidero que no pueda proveerse a través del sistema. El número total de arcos en la red viene dado por:

$$\text{Número de arcos} = (n_L + 2n_r + 2n_n + n_s) * L + 6 + n_r ,$$

donde n_l es el número de ligas (es decir, canales más ríos); n_r es el número de vasos; n_n es el número de vasos de almacenamiento y confluencias; n_s es el número de nodos donde pueden ocurrir derrames; L es el número de periodos de tiempo en el problema, y 6 representa el número de arcos de balance neto.

Curvas de evaporación

El factor de ganancia en los arcos de almacenamiento dependerá de la evaporación en los vasos. El complemento de este factor de ganancia representará la pérdida neta por unidad de flujo. Conviene señalar que la evaporación es proporcional al área superficial y no al volumen almacenado. Sin embargo, podemos expresar esta pérdida de agua en forma proporcional al volumen almacenado, por medio de la curva de capacidad contra área superficial, aproximada por dos segmentos lineales. La función de evaporación denotada por $A(V)$ y definida como:

$$A(V) = \begin{cases} C_1 V, & \text{si } 0 \leq V \leq BND \\ C_2(V - BND) + C_1 BND, & \text{si } BND \leq V \end{cases}$$

donde $A(V)$ es el área superficial en millones de metros cuadrados (Mm^2); V es el volumen de agua almacenada en millones de metros cúbicos (Mm^3); C_1 es la pendiente del primer segmento lineal, y C_2 es la pendiente del segundo segmento lineal.

Si separamos la variable V en dos componentes, una correspondiente al almacenamiento abajo de $BND \text{ Mm}^3 (V_1)$ y otra arriba de $BND \text{ Mm}^3 (V_2)$, la evaporación es razonablemente aproximada por una proporción del almacenamiento. Por lo tanto, la evaporación E queda expresada de la siguiente forma:

$$E = e (C_1 V_1 + C_2 V_2),$$

donde e es la lámina de evaporación. Asimismo, el porcentaje de pérdidas debido a la evaporación en cada uno de los arcos de almacenamiento por donde pasan los volúmenes V_1 y V_2 , son eC_1 y eC_2 respectivamente. Los factores de ganancia sobre estos arcos se determinan restando a la unidad cada uno de los porcentajes de pérdida (eC_1 y eC_2). Esta ganancia puede variar periódicamente al modificar el factor e .

Un beneficio de una unidad se asigna al arco de almacenamiento del rango inferior de almacenamiento V_1 y no se asigna beneficio al arco asociado al rango superior de almacenamiento V_2 . Esto ayuda a que el flujo pase primero por el arco de rango inferior hasta saturarlo (en caso necesario) y el resto del flujo pase después por el arco de rango superior.

Supuestos del modelo

La abstracción de un prototipo de sistema físico en una representación matemática usualmente requiere de numerosos supuestos.

Éstos limitan la generalidad de los resultados del modelo y agregan restricciones a la validez de su uso. Los principales supuestos del modelo de redes utilizado por el Modelo de Asignación son los siguientes:

- Todas las demandas de agua deben especificarse de antemano.
- Se maneja en forma conjunta la función *objetivo de mínimo costo* y la función *de penalización*. Por consiguiente, se tendrá como resultado la maximización de los beneficios netos. Por ende, para obtener los resultados adecuados y con mayor detalle es necesario especificar en forma apropiada los costos o beneficios por derramar o almacenar agua en los vasos.
- El sistema físico se representa por un conjunto de nodos y arcos interconectados. Los arcos corresponden a ríos, canales, tuberías; los nodos representan vasos y puntos de unión.
- Todas las demandas se realizan en los nodos.
- Las evaporaciones en los canales se calculan como un porcentaje de flujo que pasa a través de ellos.

Nótese además que el modelo no considera la calidad de agua y que, debido a la magnitud de los incrementos de tiempo, como mínimo éstos por lo general serán mensuales.

Descripción matemática

Las proposiciones matemáticas del problema de asignación pueden expresarse de la siguiente manera:

$$\min \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N q_{ij} C_{ij},$$

sujeto a:

$$\min \sum_{i=1}^N (q_{ij} - q'_{ji}) = 0, j = 1, \dots, N \text{ (balance en los nodos)}$$

$$q_{ij} - (1 - \gamma_{ij}) q_{ij} = 0, \text{ para toda } i \text{ y } j \text{ (pérdidas en los arcos)}$$

y los límites en los arcos deben cumplirse:

$$L_{ij} \leq q_{ij} \leq U_{ij}, \text{ para toda } i \text{ y } j,$$

en donde:

q_{ij} es el flujo que entra al arco que va del nodo i al j ;

q'_{ji} es el flujo que sale del arco que va del nodo i al j ;

L_{ij} es el límite inferior del flujo en el arco que va del nodo i al j ;

U_{ij} es el límite superior del flujo en el arco que va del nodo i al j ;

N es el número de nodos en la red;

C_{ij} es el costo por transportar el gasto q_{ij} ;

γ_{ij} es el factor de pérdidas en el arco que va del nodo i al j .

La estructura matemática se describe por cuatro conjuntos de restricciones y una función objetivo. Un conjunto de las ecuaciones de restricción obliga al cumplimiento de continuidad en todos los nodos de la red, a excepción de un nodo fuente y un sumidero. El segundo conjunto de restricciones indica el volumen de agua perdido por las conducciones a través de cada uno de los arcos. Los otros dos conjuntos de restricciones describen los límites superior e inferior del flujo en los arcos de la red. Por lo anterior, existe una ecuación para cada nodo y tres para cada arco.

Las ecuaciones de continuidad para cada nodo pueden expresarse de la siguiente manera:

1. Nodo de entrada:

$$\sum_{k=1}^L \sum_{j=1}^n \alpha_{jk} = X_i$$

2. Nodo de demanda:

$$\sum_{k=1}^L \sum_{j=1}^n D_{jk} = X_d$$

3. Nodo de derrame:

$$\sum_{k=1}^L \sum_{j=1}^n \theta_j P_{jk} = X_s$$

4. Nodo de almacenamiento final:

$$\sum_{j=1}^{n_r} \frac{S_{j,L+1}}{\Delta t} = X_f$$

5. Nodos que representan vasos:

$$\sum_{i=1}^N Q'_{ijk} - \sum_{i=1}^N Q_{ijk} - \theta_j P_{jk} - \frac{S_{j,k+1}}{\Delta t} + \frac{S_{j,k}}{\Delta t} + \alpha_{jk} - D_{jk} - \beta_{ij} = 0$$

$$j = 1, 2, \dots, n_r \quad k = 1, 2, \dots, L$$

6. Nodos de unión:

$$\sum_{i=1}^N Q'_{ijk} - \sum_{i=1}^N Q_{ijk} - \theta_j P_{jk} + \alpha_{jk} - D_{jk} = 0$$

$$j = n_r + 1, n_r + 2, \dots, n \quad k = 1, 2, \dots, L,$$

en donde:

Q'_{ijk} es el flujo de entrada al vaso o nodo de unión i del vaso o nodo de unión j en el periodo k .

Q_{ijk} es el flujo de salida del vaso o nodo de unión i del vaso o nodo de unión j en el periodo k .

P_{jk} es el nivel de derrame del vaso j en el periodo k .

S_{jk} es el almacenamiento en el vaso j al inicio del periodo k .

D_{jk} es la demanda en el nodo j en el periodo k .

α_{jk} es el flujo de entrada al nodo j en el periodo k .

β_{jk} son las pérdidas debidas a evaporación en el vaso j en el periodo k .

θ_j es 1, si j es un nodo de derrame. 0, si j no es un nodo de derrame.

i, j es la designación numérica de los nodos.

n_r es el número de vasos.

n es el número de vasos más número de nodos de unión.

k es el periodo de tiempo.

L es el número de periodos de tiempo.

Todas las ecuaciones pueden reducirse a la forma común:

$$\sum_{i=1}^N q'_{ij} - \sum_{i=1}^N q_{ij} = 0 \quad j = 1, \dots, n.$$

El flujo de entrada al nodo j , de salida del nodo i debe cumplir la restricción

$$q_{ij} \geq L_{ij} \text{ y } q_{ij} \leq U_{ij}$$

En esta red, los arcos que representan canales, demanda, almacenamiento y derrame son tipos de arco que tienen asociado un costo. Además, en los canales se maneja el costo asociado a la energía requerida para los bombeos de agua en relación con los traslados de ésta a las zonas de demanda.



ANEXO B

Fijación de precios

Debido a que se trata de establecer un mecanismo de intervención en el mercado en la cuenca Lerma-Chapala, la primera condición que se requiere es la fijación de un precio de compra de los derechos de agua por parte del Banco a los agricultores en la cuenca, quienes son los usuarios rivales más fuertes del Lago de Chapala.

El precio al cual se propone comprar el agua a los agricultores depende de dos factores: el beneficio medio esperado que se obtendría por utilizar el agua en la agricultura y la distancia de cada uno de los distritos de riego al lago, como se describe en el siguiente apartado.

FIJACIÓN DEL PRECIO DE ACUERDO CON LOS BENEFICIOS MEDIOS AGRÍCOLAS

Una primera alternativa considera que el Banco fije el precio de compra de los derechos del agua a los usuarios agrícolas de acuerdo con la siguiente relación:

(1) Precio de compra = $\varepsilon(d)$ Beneficio medio esperado,

donde: $\varepsilon(d)$ representa un *mark-up* como función inversa de la distancia de la ribera del lago. Además se considera un sobreprecio o margen de ganancia de 10%:

$$(2) \varepsilon_i(d) = 1 + 0.1(1 - d_i/d_{\max}),$$

donde:

d_{\max} = distancia al lago del distrito de riego más alejado, y

d_i = distancia al lago del i ésimo distrito de riego

Para establecer el precio de compra del derecho de agua, primero se calculan los beneficios totales, de acuerdo con la siguiente fórmula:

(3) Beneficio total = Ingreso Total – Costo Total,

donde:

$$\text{Ingreso Total [\$]} = \text{Superficie cosechada [ha]} * \text{Rendimiento [ton/ha]} * \text{Precio [$/ton]}$$

$$\text{Costo Total [\$]} = \text{Superficie cosechada [ha]} * \text{Costos de producción [$/ha]}$$

Posteriormente se calcula el beneficio medio:

$$(4) \text{ Beneficio Medio [$/m}^3\text{]} = \text{Beneficio Total (\$)} / (\text{Agua regada [m}^3\text{)}),$$

el cual se pondera por la distancia de acuerdo con (2) y queda expresado de la siguiente manera:

$$(5) \text{ Beneficio medio ponderado por distancia [$/m}^3\text{]} = \text{Beneficio Medio (\$/m}^3\text{)} * \epsilon_i(d)$$

Es importante señalar que todas estas variables son calculadas por ciclo agrícola en cada distrito de riego y para cada tipo de cultivo, por lo que se requiere disponer también de los siguientes datos: tipo de cultivo, superficie sembrada y lámina de riego bruta.

El agua que se libera del uso agrícola y que se destina al Lago de Chapala se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$(6) \text{ Agua liberada [Mm}^3\text{]} = (100 * \text{ Superficie sembrada [ha]} * \text{ Lámina de riego bruta [cm]}) / (10^6)$$

Es importante señalar que no existe ninguna obligación de vender para los agricultores, sino que el Banco fija el precio con la regla anterior y cada usuario decide qué cantidad vender en función de su tecnología y el tipo de cultivo. En principio, el contrato puede renovarse cada ciclo agrícola. El costo total de la compra se calcula de acuerdo con la siguiente relación:

$$(7) \text{ Costo de la compra [\$]} = \text{ Agua liberada [Mm}^3\text{]} * \text{ Beneficio medio ponderado por distancia [$/m}^3\text{]}$$

BIBLIOGRAFÍA

Anderson, T. y P. Hill (eds.) (1997), *Water Marketing-The Next Generation*, Londres, Rowman & Littlefield.

Azevedo, L. G. T. de y A. M. Baltar (2005), “Water Pricing Reforms: Issues and Challenges of Implementation”, *Water Resources Development*, vol. 21, núm. 1, pp. 19-29, marzo.

Bartkiewicz, P., Stephen A. Kronick y Richard P. Shanahan (1996), “Authority for Environmental Analysis of Water Transfers”, en *Delta Water Transfer Handbook: Guidelines for Water Transfers Through the Delta*, Sacramento, California, Bookman-Edmonston Engineering, Inc./Jones & Stokes Associates, Inc.

Bowling, C. V. y S. A. Jercich (1996), “California’s Response to Drought”, en Chenchayya Bathala (ed.), *North American Water*

and Environment Congress '96, Nueva York, American Society of Civil Engineers (ASCE).

Bravo, H., J. Castro Ramírez y M. Gutiérrez (2005), “El Banco del Agua: una propuesta para salvar al lago de Chapala”, *Gestión y Política Pública*, México, Centro de Investigación y Docencia Económicas (CIDE), vol. XIV, núm. 2, segundo semestre.

California Department of Water Resources (1991a), *The 1991 Drought Water Bank*, Sacramento, California.

——— (1991b), *Report of the Governor's Drought Action Team*, Sacramento, 15 de febrero.

——— (1992), *The 1992 Drought Water Bank*, Sacramento, California.

——— (1993a), *State Drought Water Bank Program Environmental Impact Report*, Sacramento, noviembre.

——— (1993b), *Water Transfers in California: Translating Concept into Reality*, Sacramento, California.

Comisión Nacional del Agua (2004), <<http://www.cna.gob.mx>>.

Freebairn, J. (2003), “Policy Forum: Water Pricing and Availability.

- Principles for the allocation of scarce water”, *The Australian Economic Review*, vol. 16, núm. 2, pp. 203-212.
- Krautkraemer, J. y W. Zach (1991), *Learning from California’s Five-Year Drought*, <www.edf.org/pubs/EDF-letter/1991/June/j_drought.html>.
- Ley de Aguas Nacionales (1992), *Diario Oficial de la Federación*, 1 de diciembre.
- Myles, G. (1995), *Public Economics*, Cambridge, Cambridge University Press.
- North, D. (1990), *Institutions, Institutional Change and Economic Performance*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Oster, J. D. y D. Wichelns (2003), “Economic and agronomic strategies to achieve sustainable irrigation”, *Irrigation Science*, núm. 22, pp. 107-120.
- Roos, M. (1992), *The Hydrology of the 1987-1992 California Drought*, Sacramento, California, Department of Water Resources.
- Water Education Foundation (1996), *Layperson’s Guide to Water Marketing & Transfers*, Sacramento, California.

Wright, K. (1990), *Water Rights of the Fifty States and Territories*,
American Water Works Association, Denver, Colorado.

SOBRE LOS AUTORES

Héctor Bravo es profesor-investigador de la facultad de economía de la Universidad Nacional Autónoma de México. También se ha desempeñado como profesor de la cátedra magistral “Narciso Bassols” en la UAM Iztapalapa, como profesor visitante en el Centro de Investigación y Docencia Económicas y en la Universidad de Colima. Es doctor en Economía por la Universidad Autónoma de Barcelona y maestro en economía aplicada por la misma institución. Sus intereses de investigación se enfocan en políticas públicas del sector hidráulico y equilibrio general computable.

Juan Carlos Castro es doctor en Economía por la UAM Iztapalapa, cuenta con quince años de experiencia en el sector hidráulico, donde se ha desempeñado como especialista en hidráulica en la Comisión Nacional del Agua y actualmente en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Ha sido profesor de Microeconomía y

Macroeconomía en la Universidad Autónoma Metropolitana y en el IPN, Escuela Superior de Economía, Sección de Estudios de Posgrado e Investigación. Es autor de varios artículos relacionados con el tema del agua, los cuales han sido publicados en revistas adscritas al Padrón de Excelencia de Revistas Científicas del CONACYT.

Miguel Ángel Gutiérrez Andrade es doctor en Investigación de Operaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México. Es profesor de la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería desde 1984 y Profesor Investigador Titular de la Universidad Autónoma Metropolitana desde 1986. Ocupó la Cátedra Magistral “Leonhard Euler” en la Universidad Autónoma Metropolitana de octubre 1994 a octubre de 1996. Actualmente se desempeña como Profesor Titular “C” de tiempo completo en la misma universidad.

Es investigador en varios campos, entre los cuales se encuentra la optimización, métodos computacionales de gran escala, redes de flujo, métodos heurísticos, sistemas hidráulicos complejos y modelos de equilibrio general computable. Es autor de varios artículos sobre las líneas de investigación anteriores y ha sido consultor de varias empresas públicas y privadas. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde el año 2005.

SOBRE EL CIDAC

El Centro de Investigación para el Desarrollo, A.C., es una institución dedicada al pensamiento y al estudio de la realidad mexicana actual y sus problemas más apremiantes. Su objetivo es presentar ideas en el debate público, plantear opciones viables que promuevan el desarrollo del país, entendiendo el entorno mundial y las tendencias en las que el país está inserto. Otro de sus objetivos primordiales consiste en proveer análisis, información y propuestas concretas de política pública para la toma de decisiones.

La institución concentra su trabajo en cuatro áreas temáticas: (1) Estado de Derecho y democracia; (2) Globalización y competitividad; (3) Economía del conocimiento; y (4) Comunidad de América del Norte. El CIDAC está formado por profesionales especializados en distintas ramas del conocimiento. Sus investigadores, a través del debate libre e infor-

mado, generan propuestas viables, a mediano y largo plazo, cuyo objetivo es contribuir al desarrollo democrático y económico de México.



Colofón