

Artículo publicado en el Repositorio Institucional del IMTA

<i>Título</i>	Hidrología superficial en México: estado del arte y necesidades de investigación.
<i>Autor / Adscripción</i>	Jaime Collado Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
<i>Publicación</i>	Ingeniería Hidráulica en México, (núm. esp.): 62-81
<i>Fecha de publicación</i>	1990
<i>Resumen</i>	La hidrología en México tiene un nivel satisfactorio para resolver problemas actuales con teorías ya establecidas, pero se vislumbran otros problemas que requieren elaborar nuevas hipótesis hidrológicas, especialmente ligadas a cambios climáticos. El artículo se divide en: Introducción - Hidrología y problemas nacionales - Modelos hidrológicos - Limitaciones en el desarrollo de la hidrología - Necesidades de investigación - Conclusiones - Referencias
<i>Identificador</i>	http://hdl.handle.net/123456789/1238

Hidrología superficial en México: estado del arte y necesidades de investigación

Jaime Collado

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, CNA

Introducción

Agua: muy abundante, muy escasa, muy contaminada. Esta es la clase de problemas que motivan el estudio de mejores formas para manejar el agua (Loucks, *et al.*, 1981), y que promueven el uso racional en todo el mundo de un recurso natural indispensable para casi cualquier actividad humana (Viessman, 1989). Tradicionalmente se ha considerado al agua como un recurso renovable debido a que el ciclo hidrológico recircula el agua, haciendo la cantidad de agua dulce prácticamente constante en todo el planeta. Sin embargo, la Tierra es un sistema cerrado y la porción de agua dulce disponible por habitante se reduce a medida que se incrementa la población, regional y mundialmente. ¿Se puede entonces considerar que no importa qué uso se le dé al agua, ya que cada año se renovará en cantidad y calidad constantes? Desafortunadamente la respuesta es no, ya que el ciclo hidrológico es afectado por un sinnúmero de actividades humanas que producen cambios climáticos y éstos, a su vez, alteran la disponibilidad y la calidad del agua a escala global (Nemeč y Schaake, 1982). Bajo esta óptica, la hidrología debe contemplar no solamente el estudio de la ocurrencia y movimiento del agua sobre la superficie terrestre para satisfacer las demandas de agua, sino que debe prever la interacción de los elementos del ciclo hidrológico con el resto de las actividades humanas y considerar el impacto de los posibles resultados de esa interacción para lograr un uso racional del agua, lo que Eagleson (1986) llama, hidrología a escala global.

¿Significa esto que la hidrología es una ciencia que debe tratar desde la evolución planetaria hasta la toma de decisiones relacionadas con la satisfacción de las necesidades sociales en materia de agua? ¿Acaso son los seres humanos los úni-

cos que requieren agua para subsistir? La hidrología, como las demás ciencias, tiene una estrecha relación con las actividades humanas: se apoya en muchas áreas del conocimiento más básicas que ella y, a su vez, sirve de apoyo a ciencias más generales, que contemplan al agua como un elemento más de un escenario integral. Linsley, *et al.* (1975), difundieron una definición, ahora clásica, de la hidrología: "[es la ciencia que] trata el agua de la Tierra, su ocurrencia, circulación y distribución, sus propiedades químicas y físicas y su reacción con el ambiente, incluyendo su relación con seres vivos. El dominio de la hidrología abarca la historia completa del agua en la Tierra". Todo, prácticamente. Veamos esto otra vez. La hidrología es una ciencia, antes considerada como una ciencia de la tierra y ahora como ciencia del agua, que se encarga de proveer el conocimiento necesario para entender mecanismos tales como precipitación, escurrimiento, etc., con la finalidad de satisfacer las necesidades de agua en cantidad y calidad específicas, en los lugares y períodos apropiados. Esto es, la hidrología sirve al menos dos comunidades, la científica que centra su interés en el entendimiento de los procesos hidrológicos, y la ingenieril que es requerida para proveer los resultados numéricos en los cuales se basan las decisiones a un nivel más general. En otras palabras, la hidrología, al igual que todo quehacer humano, es un ente vivo y sus intereses y métodos están condicionados en las necesidades contemporáneas de la sociedad y en los conocimientos colaterales disponibles; la hidrología evoluciona conjuntamente con la humanidad y debe, por lo tanto, prever tendencias mundiales no sólo para adecuar métodos hidrológicos, sino para estar en posibilidad de proveer los resultados numéricos que serán requeridos en el futuro mediato (USA, 1977; Gleick, 1989a; Waggoner y Revelle, 1989).

Esta responsabilidad que recae parcialmente sobre la hidrología, la convierte no en una ciencia contemplativa de un proceso natural, sino en una actividad comprometida con el destino de los seres humanos, la fauna y la flora. Sin embargo, la redistribución temporal y espacial del agua requerida con la finalidad de sostener la actividad humana, depende del uso de modelos para conocer el comportamiento del ciclo hidrológico, al mismo tiempo que las obras y acciones seguidas para conseguir tal fin pueden producir una alteración del equilibrio ecológico. Como la utilidad última del empleo de estos modelos es que ayuden a analizar problemas y tomar decisiones relacionadas con la satisfacción de demandas de agua, la legislación en la materia debe formularse con el espíritu de coexistir con la naturaleza y no tratar de dominarla, como era la creencia generalizada de hace algunas décadas. En este sentido, el uso de modelos hidrológicos como base para la toma de decisiones, debe reflejar las preferencias de la sociedad, tales como lograr un objetivo a un mínimo costo, máxima confiabilidad técnica de la solución, mínima alteración ecológica, y que la alternativa sea políticamente aceptable; esto es, que implique una redistribución de la riqueza bajo un marco de equidad social y no sólo de eficiencia económica.

En términos generales, el uso de un modelo hidrológico es un acto volitivo donde el usuario decide que el modelo en cuestión es apropiado para atacar un problema específico, con plena conciencia de las potencialidades y limitaciones del mismo; es decir, se sabe qué se puede obtener y qué no se puede obtener del modelo. Sin embargo, no siempre es posible contar con un modelo idóneo para analizar un problema particular, considerando todos los detalles a la profundidad requerida. Esta situación conduce a la adaptación o innovación de modelos existentes e incluso al desarrollo de modelos totalmente nuevos. Esto es, no todos los problemas hidrológicos requieren investigación; en ocasiones la transferencia e implantación de un modelo es suficiente para resolver algunos problemas, especialmente en los países menos desarrollados (Kirpich, 1987; Nazim Ali, 1989). Aun así, ciertos problemas requieren llevar a cabo investigación básica y/o aplicada, siendo necesario planear la transferencia de los nuevos modelos (Madu y Jacob, 1989), así como su implantación (Pinto y Covin, 1989). En los casos donde la investigación es indispensable para poder resolver un problema, surge la interrogante de quién debe realizar la investigación: las empresas privadas, organismos gubernamentales o las universidades. Wigand y

Frankwick (1989), hacen énfasis en la existencia de la interrelación entre los tres tipos de instituciones y demuestran que cada una tiene un papel que jugar en el desarrollo de tecnologías innovadoras. Debe reconocerse, sin embargo, que los organismos gubernamentales tienen la oportunidad y capacidad para promover e impulsar la investigación, y con esto ejercer un efectivo liderazgo tecnológico, a diferencia de la influencia científica de las universidades. Las empresas privadas también compiten por el liderazgo tecnológico, pero al ser establecidas generalmente con fines de lucro, sus desarrollos tecnológicos frecuentemente son secretos industriales.

Ahora bien, ¿qué es lo que debe investigarse? ¿Quién decide qué instituciones deben atender cuáles problemas? Por principio de cuentas es menester tener conciencia de que la investigación es una actividad colectiva y que cualquier persona apropiadamente educada y motivada puede llevar a cabo investigación exitosamente; según Sartre (1968), quien nada sabe, siempre sabe un poco más de lo que parece. Aunque en los inicios de toda investigación parecería que las ideas nuevas conducirían a un cierto desorden, lo contrario es cierto: debe comprenderse que las investigaciones no buscan el rompimiento del orden establecido, sino más bien el establecimiento de un nuevo orden. Y en el vértice, la razón de ser de la investigación: para estudiar algo, es preciso necesitarlo (Ortega y Gasset, 1986); sólo así alguien puede perseguir algo afanosamente. De esta forma, quien debe decir lo que es preciso investigar, es quien tiene el problema. Los organismos encargados de evaluar la disponibilidad, construir los almacenamientos y distribuir el agua, tienen un problema inmediato que puede o no requerir investigación. Los centros, institutos o universidades deben prever problemas futuros e identificar aquéllos que requieran investigación, para estar en posibilidad de resolverlos cuando se presenten. En cuanto a las instituciones que deben atacar los distintos problemas de investigación hidrológica, es necesario reconocer que éstas, como los seres humanos, nacen, crecen y mueren (N. Buras, comunicación personal, 1990), por lo que su capacidad innovadora así como sus intereses cambian con el tiempo, y de igual forma su idoneidad para resolver un problema en particular.

Habida cuenta de las relaciones entre las actividades humanas y la hidrología, así como entre la solución de problemas inmediatos y los requerimientos de investigación hidrológica, es necesario adecuar ésta a la jerarquización de prioridades nacionales. Es decir, las distintas investigaciones hidrológicas deben

tener una secuencia y una interdependencia lógicas, de tal manera que no sólo a corto plazo sino que también a mediano y largo plazos, se tenga una investigación congruente e integrada hacia la consecución de un objetivo. En las siguientes secciones de este artículo, se analiza la situación actual de la hidrología superficial en México, se mencionan las principales limitaciones nacionales en el desarrollo de modelos hidrológicos, y se sugieren líneas de investigación necesaria y actividades complementarias en el país.

Hidrología y problemas nacionales

El estudio de la hidrología se origina, por una parte, de la necesidad de satisfacer las demandas de agua, y por otra, de la inquietud por conocer los procesos naturales del planeta. La parte ingenieril, denominada Ingeniería Hidrológica, persigue la redistribución del agua para contar con una oferta constante y confiable, mientras que la parte científica llamada simplemente Hidrología, centra su interés en el entendimiento de la recirculación del agua en la Tierra. La ingeniería hidrológica, asociada con el almacenamiento, conducción, distribución y disposición del agua, se apoya evidentemente en los conceptos básicos de la hidrología, y a su vez, sirve de apoyo para tomar decisiones relacionadas con la localización, dimensionamiento, operación y expansión de las obras hidráulicas requeridas para surtir las demandas de agua, lo cual constituye una nueva disciplina denominada genéricamente como Aprovechamientos Hidráulicos (Klemeš, 1990). Esto es, la hidrología es una ciencia del agua, la ingeniería hidrológica es una actividad relacionada con la Ingeniería Civil/Construcción, y aprovechamientos hidráulicos está asociada con la Teoría de Decisiones. Es obvio, entonces, que las tres facetas son indispensables para convertir un conocimiento básico en un satisfactor de las necesidades humanas, a través de un producto o servicio. Por lo tanto, en este trabajo se analiza la interrelación de estas actividades, a la luz de la utilidad práctica de las mismas.

Como punto de partida, considérese el objetivo fundamental de la hidrología: explicar el ciclo hidrológico. Este consiste primordialmente de la humedad atmosférica, precipitación, intercepción, evaporación, evapotranspiración, infiltración y escurrimiento del agua. A su vez, estos componentes se ven afectados por la temperatura, presión, radiación solar viento, vegetación, formaciones rocosas, etc., de tal forma que hacen guardar a la hidrología una estrecha relación con ciencias más básicas; tales como

la Climatología, Meteorología, Geología y Ecología (Eagleson, 1982). La finalidad de la ingeniería hidrológica es lograr la redistribución temporal y espacial del agua para satisfacer las necesidades de las actividades humanas, por ejemplo, irrigación, abastecimiento de agua, hidroelectricidad, protección contra eventos hidrometeorológicos extremos y como medio de transporte. Entre las ciencias afines que apuntalan estas actividades, se encuentran la Termodinámica, Geoquímica, Física del Suelo y Fisiología de Plantas. Adicionalmente, estos problemas fundamentales se encuentran inmersos en una serie de tendencias nacionales e internacionales asociadas al desarrollo mismo, tales como el uso de combustibles fósiles, procesos industriales, explotación de recursos naturales y crecimiento de zonas urbanas, que tienen un impacto en la calidad del agua y en el equilibrio ecológico. Por lo tanto, el uso racional del agua implica la selección responsable de alguna alternativa de manejo, para lo cual la disciplina de aprovechamientos hidráulicos se basa en ciencias generales como la Economía, Optimización, Estadística y Teoría de Decisiones, principalmente.

Lo que la ingeniería hidrológica debe considerar, entonces, es la potencialidad del agua para ayudar a impulsar la solución de los problemas fundamentales para el desarrollo nacional. Uno de esos problemas es la producción de alimentos (de Kobbe, 1986), con la finalidad de mantener una población bien nutrida. Al ser México un país semihúmedo en su parte tropical, una buena parte de su agricultura se basa en zonas de temporal, por lo que el aprovechamiento directo del agua de lluvia requiere conocer no sólo la cantidad de agua precipitable, sino también la capacidad de infiltración y la humedad de los suelos (Zierold Reyes, 1988). Las experiencias del Programa de Desarrollo Rural Integral del Trópico Húmedo (PRO-DERITH) en este campo, se sintetizan en Contijoch Escontría, *et al.* (1985), al cual Kirpich (1987) lo ha calificado como un exitoso manejo de tecnologías innovadoras. En cuanto a las tierras semiáridas se refiere, la humedad contenida en el suelo no es suficiente para el desarrollo de las plantas; se necesitan sistemas de irrigación para proveer las láminas de uso consuntivo apropiadas para cada cultivo. Esta demanda de agua requiere de una redistribución temporal del escurrimiento en los ríos, lo cual se logra mediante presas de almacenamiento. El dimensionamiento de la capacidad de los embalses se ha determinado tradicionalmente mediante métodos heurísticos (Skertchly Molina, 1989) y últimamente también con el empleo sistemático de técnicas de optimización (Campos Aranda, 1989b). En ocasiones la escasez de tierras y la abundancia de agua en algu-

nas zonas, sugiere la redistribución espacial de agua mediante la transferencia a lugares donde al agua es escasa pero se dispone de tierras susceptibles de ser roturadas (Garduño, 1985).

Asociado a la agricultura, tanto de temporal como de riego, se encuentra el uso de fertilizantes y pesticidas, que pueden ser nocivos cuando éstos no son usados adecuadamente. Los fertilizantes son utilizados con la finalidad de mejorar el rendimiento de las cosechas; sin embargo, el empleo continuo puede ocasionar la degradación de los nutrientes de los suelos, provocando justamente el efecto contrario que motiva su aplicación. En cuanto al agua se refiere, la calidad de ésta también puede resultar deteriorada. Si bien los fertilizantes pueden impactar seriamente la calidad del agua, el uso inapropiado o excesivo de pesticidas presenta una amenaza mayor. Mitra y Raghu (1989) discuten el efecto que algunos pesticidas tienen en el crecimiento de las plantas, y Miller (1990) analiza el efecto de pesticidas sobre la calidad del agua, especialmente en zonas cársticas. Ahora bien, no sólo los fertilizantes y pesticidas afectan la agricultura; existen tendencias mundiales relacionadas con el uso de combustibles fósiles que producen dióxido de carbono, óxido de nitrógeno y otros compuestos, cuyos principales efectos son el efecto de invernadero, acidificación de la lluvia y destrucción de la capa de ozono de la atmósfera. Tanto el suelo (Skiba y Cresser, 1989) como las plantas (Ashenden y Bell, 1989) son afectados por la lluvia ácida; la disminución de ozono y la presencia de dióxido de carbono también tienen un impacto sobre la vegetación debido a la radiación de alta frecuencia y al efecto de invernadero (Krupa y Kickert, 1989). Sánchez Silva (1989) ha presentado un diagnóstico del impacto de la lluvia ácida en México, no sólo en relación con la agricultura sino en varios ámbitos de interés general.

Otro de los problemas fundamentales para asegurar el desarrollo sostenido del país, es la generación de energía eléctrica. Aproximadamente el 35% de la energía que se produce en México proviene de plantas hidroeléctricas (Viejo Zubicaray y Alonso Palacios 1977), casi todas ellas con vaso de almacenamiento. Existen algunas plantas de rebombeo y un pequeñísimo número de microcentrales hidroeléctricas, las cuales no requieren de un embalse para generar energía. Aunque la mayor parte de los grandes proyectos hidroeléctricos ya han pasado las fases de gran visión y anteproyecto, el diseño de éstos requiere un conocimiento más detallado de la disponibilidad de agua en sitios específicos. Con este objeto

es menester cuantificar la lluvia y la variabilidad del escurrimiento para dimensionar la presa de almacenamiento. Sin embargo, la mayor parte de los grandes embalses son de propósitos múltiples, esto es, generan hidroelectricidad, surten de agua a zonas de riego, industrias y poblaciones, sirven para atenuar los picos de las avenidas, y tienen usos recreacionales. Por lo tanto, la hidroelectricidad compite con otros usos del agua y es necesario decidir sobre los volúmenes de almacenamiento y las extracciones de la presa bajo un criterio de optimalidad de Pareto, es decir, soluciones no inferiores en las que el incremento en el beneficio de un propósito implica el decremento del beneficio de otro propósito (Keeney y Raiffa, 1976; Major, 1977). El impacto ecológico de las plantas hidroeléctricas puede ser mínimo o muy grande; aun así, la hidroelectricidad es una de las formas más limpias de generación de energía eléctrica, con un uso consuntivo prácticamente nulo.

Con respecto al abastecimiento de agua como otro de los problemas básicos para el desarrollo de México, debe reconocerse que no sólo es un satisfactor en cuanto a agua potable y usos municipales se refiere, sino que también apoya una serie de procesos industriales que van desde el enfriamiento de plantas termoeléctricas hasta la producción de manufacturas, pasando por la industria química, alimenticia, metalúrgica, etc. Para satisfacer estas demandas de agua es necesario contar con derivaciones directas de los ríos, presas de almacenamiento, acueductos, sistemas de distribución y, con creciente importancia, sistemas de monitoreo de la calidad del agua utilizada. Las aguas residuales domésticas contienen una gran cantidad de desechos orgánicos, y las industriales contienen especies químicas y metales pesados, que conjuntamente producen una considerable demanda bioquímica de oxígeno en los cuerpos de agua receptores. Aquí nuevamente es necesario conocer la disponibilidad de agua en puntos específicos de una cuenca hidrológica, para poder redistribuirlas en caso de ser necesario; también se requiere conocer las posibles reacciones químicas entre distintas aguas residuales, y entre éstas y las formaciones rocosas y sedimentos en contacto con el agua. En particular, es preciso saber si las descargas de dos industrias que por separado no deterioran la calidad del agua, al combinarse en un mismo cuerpo de agua sí producen contaminación. Asimismo, debe considerarse el impacto de las aguas residuales urbanas en la agricultura y en los procesos industriales, y evaluarse sus riesgos (Romero Alvarez, 1988).

Aunque la producción de alimentos y energía, así como el abastecimiento de agua son los principales problemas de interés nacional relacionados con la ingeniería hidrológica, existen al menos dos más que si bien no revisten la importancia de los ya mencionados, es necesario considerarlos debido a que pueden provocar externalidades económicas en el caso de protección contra lluvias y avenidas extremas, o bien porque contribuyen al desarrollo económico de alguna región, como es el caso del transporte fluvial. El control de avenidas es un problema que debe tomarse en cuenta en todas las grandes presas de almacenamiento, así como aguas abajo de éstas mediante bordos de protección o zonificación de las llanuras de inundación. Para esto es necesario conocer la frecuencia de gastos máximos, contar con una forma de transitar avenidas en cauces naturales, y poder determinar el escurrimiento a partir de la lluvia. Obras de protección contra inundaciones también son necesarias en zonas urbanas, así como un drenaje apropiado; en este caso es indispensable analizar precipitaciones máximas y escurrimiento sin infiltración. Por otra parte, el transporte fluvial en México no ha cobrado una gran importancia debido a las grandes pendientes de los ríos mexicanos y a que una vasta cantidad de ellos no tienen grandes tirantes; sin embargo, en algunas regiones del país se usa efectivamente para trasladar pasajeros y carga. Aunque el empleo de esclusas y represas para proveer los tirantes adecuados con la finalidad de que naveguen embarcaciones grandes en ríos mexicanos es todavía remoto, el conocimiento del régimen de escurrimiento y las secciones transversales de las corrientes es necesario para decidir si el transporte fluvial es o no posible.

Todos los problemas aquí mencionados tienen una estrecha relación con los elementos del ciclo hidrológico y con las actividades de la ingeniería hidrológica. En la siguiente sección se presenta un análisis de las potencialidades de los modelos hidrológicos más conocidos, empleados no sólo para describir el comportamiento de la recirculación del agua en la Tierra, sino también desde un punto de vista pragmático.

Modelos hidrológicos

Los problemas discutidos en la sección anterior requieren modelos de los elementos del ciclo hidrológico en los cuales basar no sólo la comprensión de la circulación del agua en una cuenca, sino también las posibles alternativas de solución. Pero, ¿son realmente necesarios los modelos hidrológicos? Bunge (1972), ha precisado

que el progreso científico se mide por el progreso teórico más que por la acumulación de datos; la hidrología no escapa a este fenómeno. Los satisfactores en materia de agua están basados en tecnologías hidrológicas, y como la tecnología es ciencia aplicada, no se puede subordinar la ciencia pura a la aplicada sin desconocer la naturaleza de la tecnología moderna; ciencia pura y aplicada se desarrollan simultáneamente. La ciencia contemporánea no es experiencia, sino teoría más experiencia planeada, conducida y entendida a la luz de la teoría. Estas teorías se presentan, con frecuencia creciente, en lenguaje matemático: las teorías específicas son, en efecto, modelos matemáticos de trozos de realidad. Aunque existe un conflicto epistemológico si se pretende hacer de la invención de modelos la actividad misma de la ciencia (Badiou, 1972), es decir, si el conocimiento científico se presenta como conocimiento de modelos, un modelo constituye el producto del trabajo científico, ya que es una representación de la realidad observada. Cuanta más fidelidad a lo real se espera, más deberán complicarse los modelos teóricos. Aun con todas las limitaciones y simplificaciones que un modelo hidrológico pueda tener, es mejor que no tener ningún modelo (Biswas, 1976), tanto para fines de entendimiento de un fenómeno como para fines utilitarios.

Los modelos de componentes del ciclo hidrológico, o simplemente modelos hidrológicos, han sido desarrollados con fines operacionales más que tratando de entender un fenómeno físico. Estas estrategias de modelado o representación de los procesos naturales, han conducido en muchas ocasiones a desconfiar en el sentido común y a adoptar procedimientos inapropiados, desarrollados por matemáticos sin experiencia en ciencias naturales (Box, 1976). Podría incluso decirse que así como se escriben libros de matemáticas para ingenieros, debería escribirse un libro de hidrología para matemáticos. Sin embargo, los responsables del desarrollo y conducción de la hidrología son los hidrólogos; las matemáticas, como cualquier otra ciencia básica, pueden apoyar y fortalecer la evolución de la hidrología, pero la búsqueda de leyes de comportamiento hidrológico es una actividad propia, valga la redundancia, de los hidrólogos (Dooge, 1986). De hecho Yevjevich (1968), alertó, aparentemente sin haber creado conciencia en la comunidad hidrológica, de las consecuencias que tendría sobre el desarrollo de la hidrología, una serie de concepciones erróneas que, a pesar de su advertencia, no pudieron ser evitadas. En particular, la causalidad de los modelos

hidrológicos no ha podido vencer al empirismo, irónicamente, debido a que estos modelos funcionan razonablemente bien; sin embargo, para que un modelo hidrológico pueda aceptarse universalmente, no es suficiente que trabaje simplemente bien, debe trabajar bien por las razones correctas (Klemeš, 1982).

En términos generales, los modelos hidrológicos pueden catalogarse en tres grandes categorías (Anderson y Burt, 1985). La primera de ellas corresponde a los modelos físicamente basados; es decir, modelos que parten de la conservación de masa, energía, cantidad de movimiento o cualquier otro principio básico, bien fundado y generalmente aceptado, para determinar la ley de comportamiento de algún componente del ciclo hidrológico. Estos modelos pueden considerar la variación continua de las variables hidrológicas, en cuyo caso se habla de modelos de parámetros distribuidos (Beven, 1985), o bien, puede considerarse la variación sólo en puntos discretos, conduciendo a modelos de parámetros concentrados (Blackie e Eeles, 1985). Esta categoría de modelos, también conocidos como hidrodinámicos, son los que, en principio, deberían recibir la mayor atención debido a que corresponden a una relación causa-efecto. Sin embargo, la dificultad para obtener la gran cantidad de datos geomorfológicos, topográficos, edafológicos, hidráulicos, etc., hacen prácticamente imposible aplicar estos modelos a nivel cuenca; su utilidad práctica, sin tomar en cuenta demandas computacionales, se restringe a tramos de río o áreas de cuenca relativamente pequeñas. Es decir, el enfoque de solucionar problemas hidrológicos con el espíritu de la Mecánica de Fluidos, encuentra sus limitaciones más temprano que tarde.

Este desaliento, precisamente, es el que conduce a la segunda categoría, donde se encuentran los modelos conceptuales. Estos modelos son simplificaciones plausibles de los modelos físicamente basados, reteniendo la esencia de los conceptos que se desean modelar. De esta forma, la representación conceptual de un proceso hidrológico constituye un compromiso entre los modelos hidrodinámicamente sólidos pero prácticamente limitados y los modelos numéricamente expeditos pero carentes de causalidad, y en ocasiones, de cualquier lógica. Esta clase de modelos, aunque frecuentemente criticados por aquellos que enfocan los problemas hidrológicos desde un punto de vista exclusivamente hidrodinámico, han probado en muchos casos que pueden dar resultados sorprendentemente buenos (Singh y He, 1988; Wilson y Elliot, 1988; Kundzewicz y Plate, 1989). Por ejemplo, Govindaraju, *et al.* (1988), muestran que un modelo de onda cinemática ofrece resul-

tados prácticamente iguales a los de un modelo de analogía de difusión y a los obtenidos con las ecuaciones de St. Venánt para modelar escurrimiento sin infiltración. Los libros de Viessman, *et al.* (1977) y de Gupta (1989), presentan un gran número de modelos hidrológicos conceptuales y ejemplos de aplicación. Aun con la simplificación que representan los modelos conceptuales, cuando las variables hidrológicas exhiben un comportamiento muy complicado o aleatorio, es necesario utilizar modelos todavía más simplificados.

En la tercera categoría se encuentran los modelos operacionales, de caja negra o estadísticos. Estos modelos, más que tratar de describir el funcionamiento intrínseco de un proceso hidrológico, buscan relacionar entradas con salidas de un sistema o componente del ciclo hidrológico, sin considerar una relación causa-efecto. Aunque parezca demasiado pragmático el razonamiento que soporta este tipo de modelos, cuando un sistema hidrológico es muy complicado, quizá esta modelación sea la única en ofrecer resultados numéricos en un plazo de tiempo corto (Chow, *et al.*, 1988; Bedient y Huber, 1988). Incluso si existe una formulación bien fundamentada de un problema hidrológico, cuando el comportamiento del sistema se rige por leyes probabilísticas, es necesario considerar modelos estadísticos (Bras y Rodríguez-Iturbe, 1985). En general, para cada componente del ciclo hidrológico o de algún problema estrechamente conectado con éste, existe un buen número de modelos hidrológicos en sus tres categorías. La decisión de usar alguno de ellos se basa, evidentemente, en los datos con que se cuenta para alimentar el modelo y, en menor escala, en las facilidades de cómputo disponibles. Sin embargo, no puede decirse que los modelos de alguna categoría en particular resultan ser los mejores para todas las posibles situaciones. Por lo tanto, es común considerar modelos que combinan, por ejemplo, la ecuación de onda cinemática con modelos ARMA (Andjelić y Szöllösi-Nagy, 1980), el método Muskingum con modelos ARMA (Cameron, 1980), o bien, aspectos geomorfológicos con el hidrograma unitario instantáneo (Allam, 1990), por citar sólo algunos. A continuación se analizan las potencialidades y limitaciones de los modelos hidrológicos más conocidos.

Para estudiar cualesquiera de los problemas fundamentales relacionados con el desarrollo sostenible de nuestro país, es preciso determinar la disponibilidad periódica del agua. Esto se logra estimando la lluvia media en las diversas cuencas, pero ¿es posible conocer la distribución espacial de la lluvia?

Tradicionalmente ésta se ha medido en puntos discretos mediante pluviómetros y, Allerup y Madsen (1980), han encontrado que estos instrumentos sólo miden la precipitación puntual en un 85%, por lo cual el diseño de redes de pluviómetros ha sido una actividad bien atendida (Peck, 1980; Hughes y Lettenmaier, 1981). También se han hecho esfuerzos por medir la lluvia mediante radares (Huebner, 1985) y satélites geoestacionarios (Lovejoy y Austin, 1979; Schmugge, 1987; Shih, 1989), con errores hasta del 100%. Dado que los pluviómetros son mucho más accesibles en México que los radares y que las imágenes de satélite, una forma de extraer un máximo de información a partir de observaciones puntuales, es considerar la estructura espacial de la lluvia mediante la covariancia de estas mediciones (Collado, 1988). Sin embargo, desde el punto de vista de la hidrología como ciencia, lo que se requiere es comprender los mecanismos de la lluvia para poder conocer su distribución espacial; en este sentido, se han tratado de establecer distintos modelos de lluvia (Lovejoy y Mandelbrot, 1985; Georgakakos y Kavvas, 1987; Lebel, *et al.*, 1987; Rodríguez-Iturbe e Eagleson 1987). Aunque estos modelos no se encuentran todavía en forma operacional, es de esperarse que en el futuro sí contribuirán a conocer mejor la lluvia sobre un área y no sólo puntualmente. También es necesario evaluar el efecto que tienen los ciclones (Jáuregui, 1989) y El Niño (Acosta Godínez, 1988) sobre la precipitación pluvial, y con esto poder construir tormentas hipotéticas con fines de diseño (Campos Aranda, 1987a). Asimismo, es necesario tomar en cuenta el efecto que los procesos industriales contemporáneos tienen sobre la acidez de la lluvia para predecir su impacto sobre la calidad del agua (Lee, *et al.*, 1989), así como en los suelos (Glass, *et al.*, 1980) y en los animales (Gunnarsson y Johnsson, 1989). Es de esperarse que la revolución computacional que se desarrolla hoy en día tendrá un efecto decisivo en el tipo de modelos científicos e ingenieriles de la lluvia (Wallis, 1987).

En relación con la interceptación de lluvia, poco es lo que puede decirse debido a que ésta depende de la frondosidad de la vegetación. Estudios específicos para cuantificarla incluyen selvas tropicales (Cervantes Servín, 1988) y árboles de castañas (Sambasiva Rao, 1987), pero una teoría general o al menos un modelo conceptual está esperando ser desarrollado. Para salvar esta laguna, la ingeniería hidrológica ha recurrido al concepto de lluvia efectiva, la cual considera pérdidas por interceptación, evaporación e infiltración (ver por ejemplo, Springall, 1970). Esta forma de evitar el cálculo de interceptación permite obtener resultados numéricos de lluvia efectiva, y en caso de requerirse

una representación más general, Calder (1986), ha propuesto un modelo estocástico para estimar la interceptación.

La evaporación es un componente muy importante del ciclo hidrológico, ya que puede representar hasta un 60% de la precipitación sobre terrenos permeables. La medición provista por un evaporímetro es, sin embargo, evaporación potencial, no real. Para calcular esta última es necesario contar con un modelo físico que describa el fenómeno y su relación con la temperatura, humedad atmosférica, viento, etc., (Markar y Mein, 1987). Dado que la atmósfera tiene la capacidad de integrar y suavizar el efecto de irregularidades en la evaporación a pequeña escala, Brutsaert (1986), sugiere que modelos de evaporación a escala regional o de cuenca, deben dar mejores resultados que un cálculo local. La complejidad de este tipo de modelos así como su dependencia en variables meteorológicas, ha conducido a la obtención de ecuaciones que estiman la evaporación con un número reducido de variables (Byrne, *et al.*, 1988; Warnake y Pochop, 1988), las cuales no son mucho mejores que la clásica ecuación de Penman (1948). Sin embargo, desde la óptica científica es necesario entender el fenómeno físico; en esta dirección, Milly e Eagleson (1987), han desarrollado un modelo físicamente basado para determinar, entre otras variables, la distribución de la evaporación en función de la variabilidad espacial de las características del suelo y de la vegetación.

En cuanto a infiltración se refiere, ésta es muy útil para determinar la humedad del suelo con fines agronómicos. Su medición puede ser puntual a través de reflectometría (Ledieu, *et al.*, 1986) o global, mediante imágenes de satélite (Schmugge, 1985; Otlé, *et al.*, 1989). Este componente del ciclo hidrológico ha sido estudiado con detalle (Philip, 1969; Broadbridge y White, 1988; White y Broadbridge, 1988), y es posible obtener su variabilidad espacial mediante la teoría del flujo no saturado en medios porosos (Berndtsson y Larson, 1987). Incluso existen técnicas robustas para estimar la distribución espacial de la infiltración, dentro de un contexto estocástico (Cressie y Horton, 1987). La infiltración está íntimamente relacionada con la calidad del agua en los acuíferos, debido a la posibilidad de reacciones químicas de soluciones contaminantes en la zona vadosa (Yeh y Tripathi, 1989).

El escurrimiento en cauces es uno de los componentes más importantes del ciclo hidrológico, ya que representa el efecto integrado de la lluvia, interceptación, evapotranspiración, infiltración y escurrimiento en lámina sobre el terreno, en

un punto específico de una cuenca (Yair y Lavee, 1985). Analizando hidrogramas es posible determinar la disponibilidad efectiva de agua y su distribución temporal en forma natural. Las presas se construyen con la finalidad de almacenar el agua para redistribuirla temporalmente y, la información indispensable para el dimensionamiento de la capacidad útil, son los escurrimientos naturales. Las relaciones lluvia-escurrimiento han atraído la atención durante un largo tiempo, no sólo con objeto de conocer la disponibilidad de agua, sino también con fines de protección contra inundaciones (Sánchez Silva, 1987; Cervantes Servín, *et al.*, 1988). Estos métodos van desde relaciones sencillas como la fórmula racional (Linsley, *et al.*, 1975) hasta investigaciones de vanguardia mediante modelos físicamente basados que toman en cuenta la escala de una tormenta para determinar gastos máximos (Eagleson y Qinliang, 1987), o para cuantificar el volumen de escurrimiento (Milly e Eagleson, 1988). La tendencia actual de la hidrología como ciencia (Burgess, 1986), es alejarse de los modelos conceptuales, por ejemplo, el hidrograma unitario, que considera una lluvia uniforme en toda una cuenca. Rodríguez-Iturbe, *et al.*, (1986), demuestran que los efectos de escala no pueden ignorarse más, si es que han de desarrollarse modelos que pretendan verdaderamente describir la transformación de lluvia a escurrimiento. Sin embargo, desde el punto de vista de la ingeniería hidrológica, es necesario contar con estimaciones de escurrimiento, aunque sean aproximadas. En este sentido, los resultados de combinar modelos físicamente basados y conceptuales, prometen ser útiles en un futuro mediato (Harmancioglu y Yevjevich, 1987). Este tipo de métodos se encuentran en la frontera del conocimiento hidrológico y son el centro de ideas en evolución (Beven, 1989).

Asociado al escurrimiento se encuentra el problema de tránsito de avenidas, cuya principal utilidad es la predicción (Collado y Domínguez, 1981; De la Peña Salazar, *et al.*, 1988) y pronóstico en tiempo real (Wood y O'Connell, 1985) de crecientes aguas abajo. Este es un problema que ha concentrado la atención desde hace mucho tiempo (Hazen, 1930), y se han desarrollado métodos que van desde simples relaciones en estaciones hidrométricas hasta la solución numérica de las ecuaciones de St. Venánt, pasando por el conocido método Muskingum (Fread, 1985). En esta área, investigadores mexicanos han tenido cierta influencia en el desarrollo de métodos operacionales; Levi y Valdés (1964), presentan una aplicación de análisis armónico para determinar avenidas aguas arriba a partir de un hidrograma aguas

abajo mediante series de Fourier, idea que desencadenó una serie de artículos basados en transformadas de Laplace para encontrar la solución del método Muskingum (Diskin, 1967) y del hidrograma unitario instantáneo (Venetis, 1969; Johnson, 1970). Incluso hoy en día, la idea de usar transformadas de Fourier para transitar avenidas en cauces naturales con entradas laterales no aforadas (Collado y Wagner, 1989) o en redes hidrográficas (Collado y Wagner, 1990a), representa una alternativa de solución viable cuando no se dispone de información topográfica e hidráulica suficiente para resolver las ecuaciones de St. Venánt.

Una de las características más importantes de las avenidas es el gasto pico. La necesidad de proteger tierras bajas contra inundaciones así como de determinar la capacidad de vertedores en las presas de almacenamiento, requieren estudiar la frecuencia de gastos máximos. Esta, tradicionalmente, se ha basado en un análisis probabilístico de gastos máximos observados, partiendo de la idea seminal de Gumbel (1958), quien dedujo una función de distribución de probabilidad de valores extremos de variables aleatorias, en particular de gastos máximos y mínimos. Esta idea condujo a la evaluación de una serie de distribuciones de probabilidad en relación con el análisis de frecuencias de gastos máximos (Kite, 1977). Aunque se han hecho esfuerzos por obtener funciones de distribución de probabilidad físicamente basadas (Griffiths, 1989), la incertidumbre de saber qué tan aproximadas son, aún persiste (Linsley, 1986). Incluso se llegó a proponer el concepto de precipitación máxima probable y, asociada a ésta, el de avenida máxima probable. Sin embargo, esta idea ha resultado de utilidad limitada debido, por una parte, a que estos valores son excedidos con frecuencia en algunos lugares específicos y, por otra, a que en otros sitios las avenidas máximas registradas en los últimos 2000 años apenas alcanzaron un tercio o un cuarto del valor calculado de la avenida máxima probable (Ely y Baker, 1985). Pilgrim (1986), incluso advierte que los métodos estadísticos son generalmente más aproximados que aquellos que pretenden incorporar un gran número de variables. Por lo tanto, el análisis estadístico de gastos máximos ha sido preferido sobre los métodos físicamente basados (Potter, 1987). En este sentido, investigadores nacionales han tenido una actuación de vanguardia en relación al mejoramiento del análisis de frecuencias de gastos máximos, incluyendo el efecto de lluvias ciclónicas y convectivas. González Villarreal (1970), propuso un método para analizar estadísticamente las frecuencias de gastos máximos en ríos con poblaciones mezcladas. Este trabajo, aunque

relativamente desconocido a nivel internacional, constituye una verdadera aportación mexicana en la materia que, además, fue presentado mucho tiempo antes de que tuviera atención generalizada (Waylen y Woo, 1982; Woo y Waylen, 1984; Rossi, *et al.*, 1984; Diehl y Potter, 1986; Campos Aranda, 1987b; Arnell y Gabriele, 1988; Campos Aranda, 1989a) bajo el nombre de distribución de valores extremos con dos componentes o distribución mixta.

La medición de las variables del ciclo hidrológico es indispensable para utilizar o elaborar cualquier método hidrológico. Por eso, cuando algún registro presenta datos faltantes o bien, cuando se requiere un registro más largo que el disponible, es necesario deducir los datos faltantes o extender el registro observado. Con este propósito, se utilizan generalmente conceptos de series de tiempo hidrológicas (Salas, *et al.*, 1980) para completar registros temporales, o procesos estocásticos para completar valores de variables hidrológicas distribuidas espacialmente (Ben-Zvi y Kesler, 1986). En estos casos, los métodos geobotánicos, sedimentológicos, estratigráficos y geomorfológicos han probado ser de gran ayuda (Stedinger y Baker, 1987). En particular, los residuos de sedimentos y las marcas de agua de avenidas extraordinarias, permiten determinar los gastos máximos de avenidas ocurridas con anterioridad al inicio de la medición sistemática de gastos (Baker, 1987). Estos métodos, conocidos genéricamente como paleohidrológicos, han permitido clasificar los registros hidrológicos, principalmente de gastos, en tres partes. El registro sistemático comprende desde el inicio de mediciones periódicas hasta la fecha; el registro histórico se forma con información verbal de personas que han marcado los niveles que alcanzó el agua en grandes avenidas ocurridas antes del inicio del registro sistemático; y el registro paleohidrológico, el cual consiste de información de gastos ocurridos hace miles de años. El tiempo de ocurrencia se puede conocer determinando la edad del agua en los vestigios paleohidrológicos mediante técnicas isotópicas, y los gastos se obtienen con el método de sección y pendiente. La interrogante de cómo combinar información con precisiones muy distintas para analizar la frecuencia de gastos máximos, ya ha recibido la atención adecuada (Tasker y Thomas, 1978; Stedinger y Cohn, 1986).

Los métodos paleohidrológicos tienen cierta potencialidad para vincular la hidrología con cambios climáticos. Estos son importantes no sólo porque afectan la disponibilidad de agua en general, sino porque tienen implicaciones en la generación hidroeléctrica (Miller, 1989), en la elevación del nivel medio del mar con sus consecuencias en el drenaje

costero (Titus, *et al.*, 1987), en la humedad del suelo y el escurrimiento (Vinnikov y Lemeshko, 1987), y en la productividad agrícola (Protopapas y Bras, 1988). En este sentido, las observaciones climáticas recientes condicionan el ciclo hidrológico tal y como lo conocemos (Karl, *et al.*, 1989), y los métodos geobotánicos pueden extender registros mucho más allá de la longitud de registros sistemáticos. Estos métodos, entonces, pueden servir para generar, por ejemplo, largos registros reconstruidos de dióxido de carbono (Barnola, *et al.*, 1987) y con esto evaluar los cambios climáticos asociados a la disminución del ozono atmosférico (Lechner, *et al.*, 1989) y al efecto de invernadero, con su consecuente impacto en los recursos hidráulicos (Shiklomanov, 1989).

En cuanto a las ideas de Loucks y Fedra (1987) con respecto al uso de computadoras en un papel de apoyo y no solamente como una versión electrónica de métodos tradicionales, se pueden mencionar los métodos que determinan la formación de cauces naturales. Palacios-Vélez y Cuevas-Renaud (1986) así como Band (1986), han presentado modelos para delinear redes hidrográficas a partir de la elevación en varios puntos de una cuenca. Hutchinson (1989) ha continuado y extendido este tipo de modelos, Roth, *et al.*, (1989), han incluido los efectos de la erosión en la formación de la red de drenaje desde un punto de vista hidrodinámico, y La Barbera y Rosso (1989), consideran redes hidrográficas con la óptica defractales. Es de esperarse que en el futuro, los sistemas de apoyo a decisiones tomen un papel activo no sólo en la descripción física de las cuencas, sino también en los modelos de los componentes del ciclo hidrológico.

Por último, y no por esto menos importante, deben considerarse los modelos de calidad del agua. Las aguas residuales que retornan a los cuerpos de agua, alteran la calidad de ésta en prácticamente todos los usos (Steele, 1985), por lo cual es necesario conocer las demandas bioquímicas de oxígeno y las posibles reacciones químicas de soluciones contaminantes, especialmente de las no conservativas (Eheart, 1988). Loftis y Ward (1980) han atacado el problema de establecer un programa de monitoreo de la calidad del agua, atendiendo especialmente la frecuencia de muestreo de tal forma que se puedan detectar descargas contaminantes a un mínimo costo. El control de la calidad del agua requiere asignar tasas permisibles de descargas de soluciones y metales pesados en tramos de río específicos, para lo cual es necesario establecer permisos (Lence, *et al.*, 1988). También es necesario crear conciencia en la población para ganar apoyo en cuanto al uso de aguas tratadas (Dishman, *et al.*, 1989).

Limitaciones en el desarrollo de la hidrología

¿Qué se entiende por desarrollo de la hidrología? ¿Cómo medir variables hidrológicas para alimentar modelos y obtener información procesada, supuestamente apta para tomar decisiones? ¿O cómo analizar los resultados de esos modelos? La utilización de modelos hidrológicos ya existentes es una actividad rutinaria que, si bien puede ayudar en los procedimientos ingenieriles, no puede considerarse la creación de una idea, teoría o modelo, ni puede sostenerse indefinidamente sin volverse anacrónica. Por otra parte, para analizar un resultado hay que informarse y pensar, de tal forma que, si motivados por un problema específico se quiere innovar responsablemente un modelo hidrológico, hay que hacerlo sobre la base de conocimientos científicos si no se quiere caer en la improvisación. Esto es, simplemente usar un modelo es consumir; y analizar, adaptar o desarrollar un modelo es producir, es hacer investigación científica. Además, el consumo de conocimiento, aunque sea leyendo artículos en revistas, requiere un conocimiento previo, ya que la fe ciega en un modelo o experto, aun siendo extranjero, puede ser desastrosa debido a que lo que sirve en una nación puede no servir en otra. Lo que se requiere es formar expertos mexicanos para poder saber qué se debe desear y qué se necesita para alcanzar objetivos específicos. Por lo tanto, desarrollar la hidrología significa hacer aportaciones originales al entendimiento de los procesos hidrológicos y, para lograr esto, se requiere hacer investigación científica.

Ahora bien, una de las características de la ciencia contemporánea es la síntesis de teoría y experiencia. Sin la experiencia, adquirida mediante observación y confrontación con la teoría, sólo queda especulación pura. Sin teoría, desarrollada a través de concienzudos análisis y modificada como consecuencia de resultados experimentales, sólo queda un dato aislado y sin significado. De esta forma, para contar con satisfactores en materia de agua, se requiere tecnología hidrológica, la cual se basa en ciencia aplicada, que a su vez no puede existir sin ciencia pura. Esto es, en cuanto al desarrollo de la hidrología se refiere, es necesario trabajar simultáneamente ciencia pura y ciencia aplicada sin subordinar una a la otra. Si en México se cuenta con ambas, qué es, pues, lo que limita el desarrollo de la hidrología? Paradójicamente, en gran medida son los problemas fundamentales que se requieren resolver, o mejor dicho la urgencia por resolverlos, lo que frena ese desarrollo! Es decir, si no se prevén problemas futuros y se trata de desarrollar la teoría necesaria para atacarlos,

cuando se presenten serán problemas que requieran pronta solución y entonces se abordarán con los métodos y personas disponibles, sean adecuados o no. Bajo esta situación, generalmente aparece un conflicto irresoluble, acompañado de discusiones estériles: se pedirá solución de un problema para el cual la comunidad hidrológica no estará preparada para responder. Los hidrólogos se dividirán en dos facciones: los que tienen preguntas sin respuesta y los que tienen respuestas sin pregunta. Esta escisión es inevitable si la hidrología se concentra solamente en ciencia aplicada o en ciencia pura. Este escenario se repetirá una y otra vez hasta que se rompa el círculo vicioso de preguntarse qué debe atacarse primero, si ciencia básica o ciencia aplicada; ya se ha justificado la necesidad de ambas simultáneamente, la ciencia pura para preparar el terreno y estar en posibilidad de solucionar problemas futuros, y la ciencia aplicada para resolver problemas actuales mediante teorías ya establecidas. Los mexicanos sufriremos agonías interminables si fallamos a entender este proceso científico-tecnológico.

En un plano más técnico, la hidrología en México confronta una serie de limitantes en su desarrollo. Uno de esos problemas es la dificultad para acceder la información básica recolectada por la red hidroclimatológica nacional. Esto se traduce en una lentitud para verificar si las teorías en desarrollo concuerdan o no con datos de variables hidrológicas medidas. En muchas ocasiones, una teoría desarrollada debe buscar sitios donde la disponibilidad de datos básicos permite confrontar una hipótesis con la realidad, sin posibilidad real de aplicarla en algún lugar de interés específico. Sin riesgo a exagerar, puede estimarse que entre el 60 y 70% del tiempo destinado a un estudio hidrológico, se emplea en obtener la información básica necesaria. Para el caso de investigaciones hidrológicas, el problema se encuentra en la validación del modelo que también requiere datos reales. De esta forma, el ciclo teoría-observación se ve modificado a teoría-simulación y, finalmente, cuando se tiene la base de datos adecuada, probablemente un modelo sustituto ya ha sido desarrollado en alguna otra parte, con la consecuente necesidad de importar no sólo modelos sino también expertos.

Otro problema frecuente es la escasez de mano de obra calificada para explotar los modelos. Sólo una minoría de los investigadores se dedican a explotar sus propios modelos; ellos sólo los generan y los verifican en el problema específico que motivó el desarrollo del modelo, ya que esta

comunidad técnica constituye una fuerza de trabajo superespecializada y sería absurdo desperdiciarla en trabajos rutinarios. Sin embargo, el impacto de la utilidad de un modelo hidrológico radica en su uso, lo cual requiere transferir conocimientos a personas que se dedican a la práctica profesional. Desafortunadamente, este engrane del proceso científico-tecnológico, no siempre está preparado para identificar que el problema específico al que se encuentra enfrentado puede formularse y resolverse con algún modelo ya desarrollado. En ocasiones incluso la capacitación directa es insuficiente para lograr siquiera un nivel operativo en el uso de ciertos modelos. Esto limita en alguna forma el desarrollo de modelos hidrológicos, ya que los restringe a ser de una sencillez inapropiada si se desea verlos en operación, o bien los condena a ser abandonados si su aplicación requiere pensar arduamente.

Otro de los factores que influyen en el tipo de hidrología en México, es la falta de instrumental necesario. En este caso la limitante no es sólo en cuanto al uso de modelos sino también en su producción. Si se cuenta con mediciones de sólo algunas variables hidrológicas, los modelos que pueden implantarse así como las teorías que pueden probarse se restringen a un cierto tipo de problemas. En este sentido, la medición, modelación y estimación de funciones de variables hidrológicas están íntimamente relacionadas. Por ejemplo, carecería de sentido tratar de desarrollar un método para estimar precipitación o evaporación espacial con base en imágenes de satélite, si éstas están disponibles, por decir, cada diez años. De igual forma sucede con las facilidades de laboratorio, equipo computacional y el acceso a información técnica internacional. Estas limitaciones, de hecho restringen la selección de problemas que podemos abordar con alta probabilidad de éxito, así como las teorías, métodos y técnicas en las que podemos aspirar a contribuir con ideas originales.

Otro problema que limita el desarrollo de la hidrología en nuestro medio es la falta de previsión de problemas futuros. Como se ha mostrado, el desarrollo de la hidrología está en función directa de las aportaciones originales hacia el entendimiento de los procesos hidrológicos, lo cual requiere de investigación científica. Si debido a que no se previno un problema en el pasado se va a distraer la atención de los investigadores en el presente, el futuro nos depara, irremediablemente, la misma impreparación para resolver los problemas que estarán vigentes. Esto es, si los investigadores capaces de proponer teorías para anticipar soluciones de problemas futuros dedican su tiempo a resolver los problemas

inminentes del presente, ¿cuál es la función de los profesionistas? ¿Quién podrá resolver los problemas futuros responsablemente, con base en un conocimiento científico? En algún tiempo hay que romper el círculo vicioso y pedir que cada quien aborde los problemas para lo cual está preparado: el profesionista para resolver los problemas actuales, y el investigador para hacer ciencia pura y aplicada.

Un último problema es el relativo poco soporte que se da a la investigación científica. Ha sido una tradición la preferencia que se tiene por la ciencia aplicada, e incluso por la explotación de patentes y la solicitud de asesoría extranjeras. Esto nuevamente conduce a la selección de tecnologías apropiadas, tanto científica como económicamente. Se considera a la ciencia pura como un lujo y se espera que otros países resuelvan nuestros problemas, cosa que no es muy conveniente. (¿Por qué?). En realidad, la relación beneficio-costos de la ciencia mexicana es comparativamente alta, puesto que se destina menos del 1% del presupuesto anual para actividades de investigación y los resultados son modestos pero realistas, ya que alcanzan los objetivos más elevados alcanzables con los medios disponibles. Podría uno preguntarse, entonces, ¿cuánto más podría lograrse si se contase con un apoyo decidido? ¿Cuántos cerebros no se fugarían del país si los salarios de los investigadores fueran competitivos a nivel internacional, o al menos nacional?

En síntesis, resolver problemas específicos mediante modelos existentes, no contribuirá al desarrollo de la hidrología. Y no sólo eso, detendrá la ciencia. Como solía decir el famoso físico Richard Feynman (1967), "una forma de detener la ciencia, sería realizando experimentos sólo en la región donde se conoce la ley de comportamiento". Parfraseando esta idea en términos hidrológicos, podría decirse que una forma de estancar el desarrollo de la hidrología es utilizar modelos existentes para resolver problemas específicos con bases de datos distintas. Entonces, si sólo se introducen datos a un modelo hidrológico y se analizan sus resultados para tomar decisiones sin confrontar alguna teoría con los resultados experimentales, se estará condenando la hidrología, e incluso la ingeniería hidrológica, a la inmovilidad.

Necesidades de investigación

La ciencia, como factor de la vida humana, es muy reciente. Russell (1976), quien considera que la ciencia moderna comenzó con Galileo hace unos 300 años, demuestra que los últimos 150 años de actividad científica han tenido mayor impacto

que 5000 años de cultura precientífica. El impacto científico de una persona o institución, lo es en mayor o en menor grado, según los resultados determinados que puede producir: cuanto mayor sea el número de resultados que puede proyectar y lograr, tanto más científica será. Pero la ciencia, como persecución sistematizada del conocimiento, no se conforma con la acumulación de hechos, sino que es necesario comprender el fenómeno, lo cual sólo se obtiene arriesgando y formulando hipótesis precisas. Es por esto que en ciencia todo fracaso puede ser instructivo, ya que puede sugerir las modificaciones necesarias a fin de obtener modelos más realistas. Entonces, la ingeniería hidrológica será una actividad científica, en la medida en que logre un impacto en la vida cotidiana.

Aunque el desarrollo de una ciencia es internacional, el desarrollo integral de México es inconcebible sin investigación científica, pura y aplicada. Esto no significa que nosotros tengamos que desarrollar todas las facetas de la hidrología, sino que debemos contribuir con aquellos temas prioritarios para nosotros, y a través de organizaciones internacionales promover o sugerir que países mejor dotados y preparados ataquen los problemas que nosotros no podemos. La decisión de cuáles problemas y qué tipo de modelos hidrológicos debemos considerar, es nuestra, aunque estemos expuestos a factores externos que afectan la planeación de nuestra investigación (Bengston, 1989; Gleick, 1989b). De hecho, nuestra capacidad para formular teorías, probarlas y producir tecnologías, está reconocida más allá de nuestras fronteras (Singham, 1989). Pero como la ciencia es universal o no es ciencia, debemos elegir problemas de interés nacional y resolverlos a nivel internacional, ya que la finalidad de la ciencia es encontrar pautas generales, no describir idiosincrasias.

Evidentemente, la selección de problemas hidrológicos que no han podido resolverse adecuadamente y que requieren investigación, debe ser un proceso bien pensado, analizado y evaluado por la comunidad hidrológica nacional, atendiendo nuestras potencialidades y limitaciones para realizar investigación, y haciendo a la sociedad participe del proceso (Ahearne, 1988). La elaboración de una cartera de proyectos no es el objetivo de este trabajo, por lo tanto sólo se mencionarán algunas líneas de investigación que el autor considera entre las más útiles para México. Naturalmente, estas líneas están influenciadas por una predicción tecnológica en cuanto a los instrumentos de medición que estarán disponibles en el futuro, a los equipos computacionales para analizar y comprobar teorías, así como a la capacidad de abstracción de los investigadores para mo-

delar matemáticamente problemas hidrológicos (McCuen, 1989). Esto restringe el tipo de modelos que podrán desarrollarse, llevando la discusión al terreno de si los modelos deben ser físicamente basados o no. La formulación de una teoría o hipótesis no requiere forzosamente que un modelo sea muy detallado y condicionado en una larga serie de factores que influyen el fenómeno bajo estudio; los modelos simplificados también pueden tener bases sólidas y científicas. La disyuntiva aquí es que si México apenas puede mantener la red hidroclimatológica actual, entonces ¿qué probabilidad de éxito tendría un modelo que tomara en cuenta hasta el número de manchas solares? El problema es de conciencia y de poder querer.

Klemeš (1986), ha recalcado con excepcional perspicacia que la hidrología ha desviado la atención de su objetivo fundamental que es la búsqueda de los mecanismos físicos de la dinámica de los componentes del ciclo hidrológico, por atender una serie de actividades colaterales que él llama trivialidades hidrológicas, tales que confunden hidrología con estadística, hechos con hipótesis y ciencia con conveniencia. Definitivamente, sus reclamos son justificados al indicar que los hidrólogos no se preocupan por la validez de sus modelos sino por el resultado numérico, y sentencia: los modelos hidrológicos deben funcionar bien por las razones correctas. Incluso el enfoque más sólido y formal que se conoce de la hidrología en la actualidad, presentado por Eagleson (1970), es objeto no de crítica pero sí de incredulidad en cuanto a su permanencia, debido a que está influenciado por el espectro de la Mecánica de Fluidos, lo cual conduce a muchas limitaciones. Sin embargo, cuando el hidrólogo se preocupa por resultados numéricos, se está moviendo dentro de la ingeniería hidrológica, mientras que cuando se preocupa porque sus modelos funcionen bien por las razones correctas, lo hace dentro del contexto de hidrología, la ciencia. De cualquier forma, este estimulante artículo deberá servir para reflexionar y decidir responsable y conscientemente el destino de la hidrología, pura y aplicada.

Supóngase que se cuenta con dos modelos de algún componente del ciclo hidrológico, uno detallado y el otro simplificado, que arrojan resultados similares. Si el modelo detallado requiere grandes cantidades de información y demanda tiempos considerables de computación, éste resulta ser un modelo caro; en cambio, el modelo sencillo debe considerar menos datos y no requiere gran capacidad de cómputo, por lo que resulta barato. Aunque el modelo detallado puede ser una representación muy

buena de un mecanismo físico, uno puede, conscientemente, representar ese mecanismo mediante una representación aproximada a cambio de facilidades para solucionar un problema. A medida que la complejidad del modelo detallado aumenta, la solución del modelo aproximado o conceptual, puede ser una alternativa factible mientras que la del modelo detallado no. Esto no implica que se sacrificará la validez de un modelo por su existencia, sino que se obtendrán soluciones de modelos aproximados. Esto no contraviene las ideas de Klemeš (1982, 1986, 1987, 1988, 1990); simplemente es una jerarquización conciente del grado de involucramiento para desarrollar la hidrología. No tendría caso que tratáramos de comprobar teorías para las cuales se requieren datos que no tenemos o que resulten onerosas. Nosotros no podemos competir en instalaciones costosas, pero sí en cerebros. Por lo tanto, dejemos a los países ricos que requieren deslumbrar anualmente al mundo con descubrimientos sorprendentes que inventen los modelos más sofisticados, y propongámonos desarrollar la mejor hidrología que podamos con los recursos a nuestro alcance. Hagamos hidrología, como ciencia pura, para comprobar una cierta hipótesis y con ésta desarrollemos un modelo conceptual para proporcionar a la ingeniería hidrológica los resultados numéricos, conscientemente aproximados, que requiere para ayudar a tomar decisiones. Esta combinación de modelos físicamente basados y conceptuales promete ser de utilidad en el futuro.

Mientras la comunidad hidrológica nacional delibera y alcanza consenso para conducir y promover una investigación planeada, se sugieren aquí algunas líneas que requieren desarrollo. Se mencionó que uno de los principales problemas de México es la producción de alimentos. Por lo tanto la medición y estimación espacial de lluvia, evaporación, humedad del suelo e infiltración es de particular importancia. Estos son algunos de los problemas que cuestiona Klemeš (1990) y, la decisión consiste en cómo resolverlos, no en seleccionarlos o discriminarlos. Por ejemplo, para medir la distribución espacial de la lluvia se requieren radares y/o imágenes de satélite, ya que los pluviómetros proveen una medición puntual. Tratar de desarrollar algún instrumento distinto a los mencionados, además de caer fuera del objetivo fundamental de la hidrología, podría resultar en un instrumento muy caro de operar y mantener, por lo que lo dejaremos para algún investigador que trabaje en un país rico. En cambio, lo que sí se puede hacer es encontrar la manera de extraer el máximo de información de los instrumentos con que contamos – pluviómetros – y averiguar si serviría de algo reubicarlos e incluso reducir la densidad de éstos.

Relacionado con la lluvia, podríamos investigar el efecto de la lluvia ácida en suelos, vegetación y animales. A la hidrología le correspondería la medición, distribución espacial, predicción y tratamiento (Gunnarsson y Johnsson, 1989; Davison, *et al.*, 1989). Nuevamente, el desarrollo de instrumentación no parece ser algo apropiado para México. Más bien, podríamos contribuir al conocimiento de formación de lluvia ácida, predicción y su distribución espacial. También podríamos evaluar la disminución del agua disponible anualmente como consecuencia del calentamiento global del planeta, y su impacto en la agricultura. El uso de fertilizantes y pesticidas contaminan el agua subterránea a través de la infiltración; este es un problema donde pueden atacarse las reacciones químicas entre diferentes aguas residuales y de éstas con formaciones rocosas y sedimentos, conjuntamente con el problema de infiltración. El efecto de la lluvia y el escurrimiento en la producción de sedimentos y formación de redes hidrográficas superficiales es un problema cuya investigación nos permitirá evaluar la pérdida de suelos agrícolas, y promover la formación de grupos transdisciplinarios cuyo trabajo ayude a disminuir esa pérdida. El tránsito de avenidas, la paleohidrología, las variaciones climáticas, relaciones lluvia–escurrimiento, en fin, un sinnúmero de líneas asociadas a nuestros problemas fundamentales en relación con el agua que requieren investigación (véase cuadro 1).

Recalcando la sugerencia de investigación adecuada para México, la idoneidad consiste en la forma de resolver problemas más que en seleccionarlos, ya que las necesidades aquí mencionadas son universales. Entonces vale la pena insistir en que la combinación de modelos físicamente basados, conceptuales y operacionales constituye una buena alternativa como línea de investigación para nuestro país. A manera de ejemplo, considérese el análisis de hidrogramas para identificar sus diversos componentes. Modelos físicamente basados pueden incluir análisis químicos del agua (Hooper y Shoemaker, 1986) o técnicas isotópicas (McDonnell, *et al.*, 1990) para separar sus componentes. Aceptando la conclusión de estos modelos físicos en el sentido de que existen varios componentes de un hidrograma, puede formularse un modelo conceptual más sencillo que aproxime los resultados de modelos más completos (Collado, *et al.*, 1990). Si esa separación de componentes verdaderamente existe, entonces ambos modelos son válidos, pero si la separación carece de sentido, el modelo físicamente basado también parte de una hipótesis falsa. Esto es, tanto los mode-

1. Líneas de investigación y actividades complementarias propuestas

Problema hidrológico	Investigación necesaria	Método propuesto
Lluvia	Medición y estimación de su distribución espacial. Combinación de mediciones de pluviómetros, radares e imágenes de satélite para estimar lluvia media. Reubicación de pluviómetros y disminución de la densidad de redes. Formación y circulación de lluvia ácida.	Percepción remota, Kriging. Filtro de Kalman. Kriging. Circulación atmosférica.
Evaporación	Medición y estimación de su distribución espacial. Disipación de contaminantes orgánicos (fenoles, petróleo, etc.) e inorgánicos (metales pesados, etc.). Efectos de la desertificación. Captación de agua evaporada. Evaporación de agua salada.	Percepción remota, Kriging Acoplación de la física de evaporación con modelos de equilibrio cinética química. Regresión. Mallas de condensación. Energía solar.
Humedad del suelo	Evolución temporal Relación de distribución espacial de lluvia con distribución espacial de humedad del suelo. Contenido a distintas profundidades.	Ecuaciones de flujo en medios porosos no saturados. Percepción remota Kriging Percepción remota prospección eléctrica
Infiltración	Variación espacial durante tormentas. Evaporación y percolación de agua infiltrada. Variación temporal. Cuantificación.	Kriging, fractales Modelos energéticos y de flujo de agua en medios porosos. Métodos electromagnéticos. Prospección eléctrica, percepción remota.
Escorrentamiento	Evolución de las relaciones lluvia-escorrentamiento como consecuencia de cambios antropogénicos en una cuenca. Estimación de gastos máximos. Variación de escorrentamiento en función del movimiento de tormentas.	Métodos estadísticos geomorfológicos y ecológicos. Paleohidrología, métodos estadísticos. Modelos lluvia-escorrentamiento, modelos de cuenca hidrológica.
Tránsito de avenidas	Tránsito en redes hidrológicas. Tránsito en zonas inundables. Definición de llanuras de inundación.	Métodos operacionales, Modelos de cuenca hidrológica. Percepción remota.
Calidad del agua	Efecto de fertilizantes y pesticidas en la contaminación de acuíferos. Transporte de contaminantes no conservativos en ríos, lagos y acuíferos. Relaciones químicas entre distintas aguas residuales, y entre éstas y sedimentos.	Flujo en medios porosos, modelos de química cinética, métodos electromagnéticos. Acoplar las ecuaciones de Navier-Stokes con las de equilibrio y cinética química - Modelos de equilibrio y cinética química.
Variaciones climáticas	Efecto de dióxido de carbono, calentamiento global del planeta, disminución de la capa de ozono y efecto de invernadero en los componentes del ciclo hidrológico.	Simulación

1. (Continuación)

Actividades complementarias	Acciones requeridas	Programa propuesto
Adaptación de modelos	Combinar modelos físicamente basados, conceptuales y operacionales. Robustecer modelos hidrológicos para que funcionen bien bajo condiciones distintas a las que prevalecen durante su calibración.	Organizar foros para difundir y promover el desarrollo de esta área naciente. Establecer reuniones nacionales para informar sobre este tipo de técnicas
Cooperación internacional	Evaluar el impacto de variaciones climáticas en la disponibilidad de agua. Elaborar modelos de circulación atmosférica, dinámica hidrológica a nivel planetario, balances aerológicos.	Colaborar con programas internacionales. Participar en proyectos internacionales y nacionales para informar sobre este tipo de técnicas
Planeación de investigación	Incentivar una secuencia lógica e interdependiente hacia la consecución de objetivos específicos.	Formular un programa nacional de investigación básica y aplicada a mediano y largo plazos.
Información	Facilitar el acceso de datos hidrológicos básicos a toda la comunidad hidrológica nacional, a través de medios magnéticos.	Crear una base de datos a nivel nacional, accesada mediante medios telefónicos.
Transferencia	Lograr el uso de desarrollos nacionales e internacionales.	Implantar un programa nacional de transferencia de conocimientos hacia los profesionistas encargados de explotar los modelos hidrológicos.
Educación	Concientizar a la sociedad sobre la importancia del agua.	Realizar campañas educativas para que ciudadanos comprendan que el precio del agua no siempre refleja su verdadero valor.

los físicamente basados como los conceptuales son apropiados, si sus teorías e hipótesis también lo son.

Ahora bien, México no sólo necesita investigación y tecnología hidrológica; también necesita educación y capacitación para desarrollar los especialistas en hidrología que pongan en práctica ese conocimiento, y puedan así resolver los problemas presentes y futuros en materia de agua. Para esto es imprescindible contar con una educación científica (Reif, 1986), que conduzca al entendimiento pleno de la problemática hidrológica nacional y mundial (Maxwell y Beard, 1984). La participación pública y la concientización sobre el valor y no sólo el precio del agua (Griffin y Perry, 1985; Saliba, et al., 1987) es indispensable para un uso racional de este recurso natural. Esto implica que los modelos hidrológicos, además de ser desarrollados, deben ser llevados a la práctica, lo cual presenta ciertos problemas de implantación de tecnología

que también deben ser considerados Rogers y Fiering, 1986). Aquí aparece otro de los problemas identificados por Klemeš (1990): ¿qué tan buenos son los modelos hidrológicos bajo condiciones distintas a las que prevalecen durante su calibración? Para el caso de tránsito de avenidas, Collado y Wagner (1990b), presentan un método para combinar formal y óptimamente la información de hidrogramas bajo distintas condiciones, lo cual conduce a robustecer métodos existentes para transitar avenidas. Este tipo de ideas pueden desarrollarse para otros problemas hidrológicos.

Finalmente, como parte de la educación y concientización en materia de agua, es necesario entender que el aumento de conocimiento debe ir acompañado de un aumento de sabiduría para coexistir en armonía con la naturaleza. Esto es algo que la ciencia por sí misma no proporciona. Si la humanidad persiste en degradar los recursos naturales al tiempo que se proporciona satisfactores, terminará por acabar con el planeta y con ella misma.

Conclusiones

El agua es un elemento indispensable para el desarrollo socioeconómico de México. El conocimiento hidrológico, traducido en satisfactores cotidianos, puede alterar la ecología de algunas regiones y deteriorar la calidad del agua. Para evitar situaciones en las cuales se tienen problemas inminentes sin solución posible en un plazo corto, es necesario prever futuros problemas y realizar la investigación requerida para enfrentarlos cuando se presenten. La hidrología en México tiene un nivel satisfactorio para resolver problemas actuales con teorías ya establecidas, pero se vislumbran otros problemas que requieren elaborar nuevas hipótesis hidrológicas, especialmente ligadas a cambios climáticos. Entre los factores que han limitado el desarrollo de la hidrología en nuestro medio, se encuentra la lentitud para acceder información básica, ausencia de planes integrados de investigación interrelacionada, y tiempo limitado para realizar investigaciones debido a la urgencia por resolver problemas apremiantes. En cuanto a las potencialidades para desarrollar la hidrología, se cuenta con individuos calificados, acceso a ciertos instrumentos y equipos a través de la cooperación con organizaciones internacionales, y la posibilidad de liderazgo tecnológico de instituciones, consejos, y cuerpos colegiados que pueden promover la investigación requerida a través de incentivos económicos. La definición y el trabajo sobre líneas de investigación apropiadas, permitirá al país sortear el impacto de un

clima cambiante, debido en gran parte a los procesos industriales, sobre la cantidad y calidad del agua. La investigación desarrollada debe estar acorde con los recursos disponibles en el país, para contribuir modesta pero eficazmente a la evolución de la hidrología.

Referencias

- Acosta Godínez, A., "El Niño: Sus Efectos Sobre el Norte de México", *Ingeniería Hidráulica en México*, III(1):13-29, 1988.
- Ahearne, J.F., "Addressing Public Concerns in Science", *Physics Today*, 41(9):36-42, 1988.
- Allam, M.N., "Case Study Evaluation of Geomorphologic Rainfall-Runoff Model, Incorporating Linear Infiltration Expression", *Hydrological Processes*, 4(1):71-84, 1990.
- Allerup, P. y H. Madsen, "Accuracy of Point Precipitation Measurements", *Nordic Hydrology*, 11(2):57-70, 1980.
- Anderson, M.G. y T.P. Burt, "Modelling Strategies", en Anderson, M.G. y T.P. Burt (Eds.) *Hydrological Forecasting*, Wiley, 1985.
- Andjelič, M. y A. Szöllösi-Nagy, "On the Use of Stochastic Structural Models for Real Time Forecasting of River Flow on the River Danube", en *Hydrological Forecasting*, Publicación 129, IAHS, pp. 371-380, 1980.
- Arnell, N.W. y S. Gabriele, "The Performance of the Two-Component Extreme Value Distribution in Regional Flood Frequency Analysis", *Water Resources Research*, 24(6):879-887, 1988.
- Ashenden, T.W. y S.A. Bell, "Growth Responses of Three Legume Species Exposed to Simulated Acid Rain", *Environmental Pollution*, 62(1):21-29, 1989.
- Badiou, A., *El Concepto de Modelo: Bases para una Epistemología Materialista de las Matemáticas*, Siglo Veintiuno, 1972.
- Baker, V.R., "Paleoflood Hydrology and Extraordinary Flood Events", *Journal of Hydrology*, 96(1/4):79-99, 1987.
- Band, L.E., "Topographic Partition of Watersheds with Digital Elevation Models", *Water Resources Research*, 22(1):15-24, 1986.
- Barnola, J., D. Raynaud, Y. Korotkevich, y C. Lorius, "Vostok Ice Core Provides a 160,000-Year Record of Atmospheric CO₂", *Nature*, 329:408-414, 1987.
- Bedient, P.B. y W.C. Huber, *Hydrology and Floodplain Analysis*, Addison-Wesley, 1988.
- Bengston, D.N., "Exogenous Factors Affecting Research Institutions in Developing Countries", *International Journal of Technology Management*, 4(3):317-331, 1989.
- Ben-Zvi, M. y S. Kesler, "Spatial Approach to Estimation of Missing Data", *Journal of Hydrology*, 88(1/2):69-78, 1986.

- Berndtsson, R. y M. Larson, "Spatial Variability of Infiltration in a Semi-Arid Environment", *Journal of Hydrology*, 90(1/2): 117-133, 1987.
- Beven, K., "Distributed Models", en Anderson, M.G. y T.P. Burt (Eds.) *Hydrological Forecasting*, Wiley, 1985.
- Beven, K., "Changing Ideas in Hydrology - The Case of Physically-Based Models", *Journal of Hydrology*, 105(1/2): 157-172, 1989.
- Biswas, A.K., "Mathematical Modeling and Water-Resources Decision-Making", en Biswas, A.K. (Ed.), *Systems Approach to Water Management*, McGraw-Hill, 1976.
- Blackie, J.R. y C.W.O. Eeles, "Lumped Catchment Models", en Anderson, M.G. y T.P. Burt (Eds.) *Hydrological Forecasting*, Wiley, 1985.
- Box, G.E.P., "Science and Statistics", *Journal of the American Statistical Association*, 71(356):791-799, 1976.
- Bras, R.L. e I. Rodríguez-Iturbe, *Random Functions and Hydrology*, Addison-Wesley, 1985.
- Broadbridge, P. e I. White, "Constant Rate Rainfall Infiltration: A Versatile Nonlinear Model 1. Analytic Solution", *Water Resources Research*, 24(1):145-154, 1988.
- Brutsaert, W., "Catchment-Scale Evaporation and the Atmospheric Boundary Layer", *Water Resources Research*, 22(9):39S-45S, 1986.
- Bunge, M., "Filosofía de la Investigación Científica en los Países en Desarrollo", en Bunge, M., *Teoría y Realidad*, Ariel, 1972.
- Burges, S.J., "Trends and Directions in Hydrology", *Water Resources Research*, 22(9):1S-5S, 1986.
- Byrne, G.F., F.X. Dunin, y P.J. Diggle, "Forest Evaporation and Meteorological Data: A Test of a Complementary Theory Advection-Aridity Approach", *Water Resources Research*, 24(1): 30-34, 1988.
- Calder, I.R., "A Stochastic Model of Rainfall Interception", *Journal of Hydrology*, 89(1/2):65-71, 1986.
- Cameron, R.J., "An Updating Version of the Muskingum-Cunge Flow Routing Technique", en *Hydrological Forecasting*, Publicación 129, IAHS, pp. 381-387, 1980.
- Campos Aranda, D.F., "Construcción de Tormentas Hipotéticas", *Ingeniería Hidráulica en México*, II(2):9-22, 1987a.
- Campos Aranda D.F., "Análisis Probabilístico de Avenidas Máximas con Poblaciones Mezcladas", *Ingeniería Hidráulica en México*, II(3):9-18, 1987b.
- Campos Aranda, D.F., "Estimación de los Parámetros Óptimos de la Distribución Gumbel Mixta por Medio del Algoritmo de Rosenbrock", *Ingeniería Hidráulica en México*, IV(1):9-18, 1989a.
- Campos Aranda, D.F., "Aplicación del Algoritmo Simplex al Diseño Hidrológico de un Embalse", *Ingeniería Hidráulica en México*, IV(3):34-42, 1989b.
- Cervantes Servín L., "Intercepción de Lluvia por el Dosel en una Comunidad Tropical", *Ingeniería Hidráulica en México*, III(2): 38-42, 1988.
- Cervantes Servín, L., M. Maass y R. Domínguez Mora, "Relación Lluvia-Escurrimiento en un Sistema Pequeño de Cuencas de Selva Baja Caducifolia", *Ingeniería Hidráulica en México*, III(1):30-42, 1988.
- Chow, V.T., D.R. Maidement y L.W. Mays, *Applied Hydrology*, McGraw-Hill, 1988.
- Collado, J., "Estimación Óptima de la Precipitación Media con el Método Kriging", *Ingeniería Hidráulica en México*, III(3): 34-45, 1988.
- Collado, J. y R. Domínguez, "Predicción de Avenidas", en *Manual de Diseño de Obras Civiles*, Comisión Federal de Electricidad, México, 1981.
- Collado, J. y A. I. Wagner, "Flood Routing in Streams with Significant Tributary Inflows", *9th American Geophysical Union Hydrology Days*, pp. 145-158, Fort Collins, Colorado, abril, 1989.
- Collado, J., A.A. Aldama y J.L. Acosta, "Optimal Spectral Baseflow Estimation", *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 1990 (En prensa).
- Collado, J. y A.I. Wagner, "Tránsito Aproximado de Avenidas Mediante Transformadas de Fourier", *XIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica*, Montevideo, Uruguay, noviembre, 1990a (En prensa).
- Collado, J. y A.I. Wagner, "User-Developer Interaction: The Experience of Hydrograph Combination for Flood Routing Methods", *Symposium on Transferring Models to Users*, Denver, Colorado, noviembre, 1990b (En prensa).
- Contijoch Escontría, M., M. Villarreal Pulido y V.M. Pineda Blancarte, "El Control y el Manejo del Agua en el Trópico Húmedo para el Desarrollo Agropecuario", *Ingeniería Hidráulica en México*, I(1):48-58, 1985.
- Cressie, N.A.C. y R. Horton, "A Robust-Resistant Spatial Analysis of Soil Water Infiltration", *Water Resources Research*, 23(5):911-917, 1987.
- Davison, W., C.S. Reynolds, E. Tipping y R.F. Needham, "Reclamation of Acid Waters Using Sewage Sludge", *Environmental Pollution*, 57(3):251-274, 1989.
- de Kobbe, P., "Measurement of Malnutrition in the Third World", *Journal of Agriculture Economics*, XXXVII(3):405-419, 1986.
- De la Peña Salazar, R., R. Domínguez Mora, J. Kajomovitz
- Rubinstein y H.S. Acha, "Deducción Probabilística de Avenidas de Diseño en Grandes Presas", *Ingeniería Hidráulica en México*, III(3):55-59, 1988.
- Diehl, T. y K.W. Potter, "Mixed Flood Distributions in Wisconsin", *International Symposium on Flood Frequency and Risk Analyses*, Baton Rouge, Louisiana, mayo, 1986.
- Dishman, C.M., J.H. Sherrard y M. Rebhun, "Gaining Support for Direct Potable Water Reuse", *Journal of*

- Professional Issues in Engineering, ASCE, 115(2):154-161, 1989.
- Diskin, M.H., "On the Solution of the Muskingum Flood Routing Equation", *Journal of Hydrology*, 5:286-289, 1967.
- Dooge, J.C.I., "Looking for Hydrologic Laws", *Water Resources Research*, 22(9):46S-58S, 1986.
- Eagleson, P.S., *Dynamic Hydrology*, McGraw-Hill, 1970.
- Eagleson, P.S., "Hydrology and Climate", en *Scientific Basis of Water Resource Management*, National Academy Press, Washington, D.C., 1982.
- Eagleson, P.S., "The Emergence of Global-Scale Hydrology", *Water Resources Research*, 22(9):6S-14S, 1986.
- Eagleson, P.S. y W. Qinliang, "The Role of Uncertain Catchment Storm Size in the Moments of Peak Streamflow", *Journal of Hydrology*, 96(1/4):329-344, 1987.
- Eheart, J.W., "Effects of Streamflow Variation on Critical Water Quality for Multiple Discharges of Decaying Pollutants", *Water Resources Research*, 24(1):1-8, 1988.
- Ely, L.L. y V.R. Baker, "Reconstructing Paleoflood Hydrology with Slackwater Deposits: Verde River, Arizona", *Physical Geography*, 6(2):103-126, 1985.
- Feynman, R.P., *The Character of Physical Law*, Mit Press, 1967.
- Fread, D.L., "Channel Routing", en Anderson, M.G. y T.P. Burt (Eds.) *Hydrological Forecasting*, Wiley, 1985.
- Garduño, H., "Interregional Water Transfers in México", *International Journal of Water Resources Development*, 2(2/3): 119-134, 1985.
- Georgakakos, K.P. y M.L. Kavvas, "Precipitation Analysis, Modeling, and Prediction in Hydrology", *Reviews of Geophysics*, 25(2):163-178, 1987.
- Glass, N.R., G.E. Glass y P.J. Rennie, "Effects of Acid Precipitation in North America", *Environment International*, 4(5-6):443-452, 1980.
- Gleick, P.H., "Climate Change, Hydrology, and Water Resources", *Reviews of Geophysics*, 27(3):329-344, 1989a.
- Gleick, P.H., "Climate Change and International Politics: Problems Facing Developing Countries", *Ambio*, XVIII(6): 333-339, 1989b.
- González Villarreal, F.J., "Contribución al Análisis de Frecuencias de Valores Extremos de los Gastos Máximos en un Río", *Serie del Instituto de Ingeniería*, UNAM, No 277, 1970.
- Govindaraju, R.S., S.E. Jones y M.L. Kavvas, "On The Diffusion Wave Model for Overland Flow 1. Solution for Steep Slopes", *Water Resources Research*, 24(5):734-744, 1988.
- Griffin, R.C. y G.M. Perry, "Volumetric Pricing of Agricultural Water Supplies: A Case Study", *Water Resources Research*, 21(7):944-950, 1985.
- Griffiths, G.A., "A Theoretically Based Wakeby Distribution for Annual Flood Series", *Hydrological Sciences Journal*, 34(3): 231-248, 1989.
- Gumbel, E.J., *Statistics of Extremes*, Columbia University Press, 1958.
- Gunnarsson, B. y J. Johnsson, "Effects of Simulated Acid Rain on Growth Rate in a Spruce-living Spider", *Environmental Pollution*, 56(4):311-317, 1989.
- Gupta, R.S., *Hydrology and Hydraulic Systems*, Prentice-Hall, 1989.
- Harmancioglu, N. y V. Yevjevich, "Transfer of Hydrologic Information Among River Points", *Journal of Hydrology*, 91 (1/2):103-118, 1987.
- Hazen, A., *Flood Flows*, Wiley, 1930.
- Hooper, R.P. y C.A. Shoemaker, "A Comparison of Chemical and Isotopic Hydrograph Separation", *Water Resources Research*, 22 (10):1444-1454, 1986.
- Huebner, G.L., "Use of Radar for Precipitation Measurements", en Anderson, M.G. y T.P. Burt (Eds.) *Hydrological Forecasting*, Wiley, 1985.
- Hughes, J.P. y D.P. Lettenmaier, "Data Requirements for Kriging: Estimation and Network Design", *Water Resources Research*, 17(6):1641-1650, 1981.
- Hutchinson, M.F., "A New Procedure for Gridding Elevation and Stream Line Data with Automatic Removal of Spurious Pits", *Journal of Hydrology*, 106(3/4):211-232, 1989.
- Jáuregui, E., "Los Ciclones del Norte de México y sus Efectos Sobre la Precipitación", *Ingeniería Hidráulica en México*, IV(3):43-50, 1989.
- Johnson, P., "Calculation of the Instantaneous Unit Hydrograph Using Laplace Transforms", *New Zealand Journal of Hydrology*, 9(2):307-322, 1970.
- Karl, T.R., J.D. Tarpley, D.G. Quayle, H.F. Díaz, D.A. Robinson, y R.S. Bradley, "The Recent Climate Record: What it Can and Cannot Tell Us", *Reviews of Geophysics*, 27(3): 405-430, 1989.
- Keeney, R.L. y H. Raiffa, *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs*, Wiley, 1976.
- Kirpich, P.Z., "Developing Countries: High Tech or Innovative Management?", *Journal of Professional Issues in Engineering*, ASCE, 113(2):150-166, 1987.
- Kite, G.W., "Frequency and Risk Analyses in Hydrology", *Water Resources Publications*, 1977.
- Klemeš, V., "Empirical and Causal Models in Hydrology", en *Scientific Basis of Water Resource Management*, National Academy Press, Washington, D.C., 1982.
- Klemeš, V., "Dilettantism in Hydrology: Transition or Destiny?", *Water Resources Research*, 22(9):177S-188S, 1986.
- Klemeš, V., "Hydrological and Engineering Relevance of Flood Frequency Analysis", en Sing, V.P., (Ed.), *Hydrologic Frequency Modeling*, D. Reidel, 1987.

- Klemeš, V., "A Hydrological Perspective", *Journal of Hydrology*, 100:3-28, 1988.
- Klemeš, V., "The Science of Hydrology: Where Have We Been? Where Should We Be Going? What Do Hydrologists Need to Know?", *IX Reunión del Consejo Intergubernamental del Programa Hidrológico Internacional*, París, Francia, marzo, 1990.
- Krupa, S.V. y R.N. Kickert, "The Greenhouse Effect: Impacts of Ultraviolet-B (UV-B) Radiation, Carbon Dioxide (CO₂), and Ozone (O₃) on Vegetation", *Environmental Pollution*, 61(4): 263-393, 1989.
- Kundzewicz, Z.W. y E.J. Plate, "Effects of Choice of Routing Model on Extreme Flow Statistics", *Hydrological Science Journal*, 34(2):139-156, 1989.
- La Barbera, P. y R. Rosso, "On the Fractal Dimension of Stream Networks", *Water Resources Research*, 25(4):735-741, 1989.
- Lebel, T., G. Bastin, C. Obled y J.D. Creutin, "On the Accuracy of Areal Rainfall Estimation: A Case Study", *Water Resources Research*, 23(11):2123-2134, 1987.
- Lechner, I.S., G.W. Fisher, H.R. Larsen, M.J. Harvey y R.A. Knobben, "Aerosol Size Distributions in the Southwest Pacific", *Journal of Geophysical Research*, 94(D12): 14893-14903, 1989.
- Ledieu, J., P. de Ridder, P. de Clerck y S. Dautrebande, "A Method of Measuring Soil Moisture by Time-Domain Reflectometry", *Journal of Hydrology*, 88(3/4):319-328, 1986.
- Lee, J., R. Church, D. Lammers, L. Liegel, M. Johnson, D. Coffey, R. Holdren, D. Stevens, R. Turner y L. Blume, "Watershed Surveys to Support an Assessment of the Regional Effects of Acidic Deposition on Surface Water Chemistry", *Environmental Management*, 13(1):95-108, 1989.
- Lence, B.J., J.W. Eheart y E.D. Brill, Jr., "Cost Efficiency of Transferable Discharge Permit Markets for Control of Multiple Pollutants", *Water Resources Research*, 24(7): 897-905, 1988.
- Levi, E. y R. Valdés, "A Method for Direct Analysis of Hydrographs", *Journal of Hydrology*, 2:182-190, 1964.
- Linsley, R.K., "Flood Estimates: How Good Are They?", *Water Resources Research*, 22(9):159S-164S, 1986.
- Linsley, R.K., R.A. Kohler y P.A. Paulhus, *Hydrology for Engineers*, McGraw-Hill, 1975.
- Loftis, J.C. y R.C. Ward, "Cost-Effective Selection of Sampling Frequencies for Regulatory Water Quality Monitoring", *Environment International*, 3(4):297-302, 1980.
- Loucks, D.P. y K. Fedra, "Impact of Changing Computer Technology on Hydrologic and Water Resource Modeling", *Reviews of Geophysics*, 25(2):107-112, 1987.
- Loucks, D.P., J.R. Stedinger y D.A. Haith, *Water Resource Systems Planning and Analysis*, Prentice-Hall, 1981.
- Lovejoy, S. y G.L. Austin, "The Sources of Error in Rain Amount Estimating Schemes from GOES Visible and IR Satellite Data", *Monthly Weather Review*, 107:1048-1054, 1979.
- Lovejoy, S. y B.B. Mandelbrot, "Fractal Properties of Rain, and a Fractal Model", *Tellus*, 37A:209-232, 1985.
- Madu, C.N. y R. Jacob, "Strategic Planning in Technology Transfer: A Dialectical Approach", *Technological Forecasting and Social Change*, 35(4):327-338, 1989.
- Major, D.C., *Multiobjective Water Resource Planning*, Water Resources Monograph 4, American Geophysical Union, 1977.
- Markar, M.S. y R.G. Mein, "Modeling of Evapotranspiration from Homogeneous Soils", *Water Resources Research*, 23(10): 2001-2007, 1987.
- Maxwell, W.H.C. y L.R. Beard (Eds.), *Frontiers in Hydrology*, Water Resources Publications, 1984.
- McCuen, R.H., "Mathematical Literacy and the Future of Water Resources", *Water Resources Bulletin*, 25(5): v, 1989.
- McDonnell, J.J., M. Bonell, M.K. Stewart y A.J. Pearce, "Deuterium Variations in Storm Rainfall: Implications for Stream Hydrograph Separation", *Water Resources Research*, 26 (3):455-458, 1990.
- Miller J.C., "Relative Vulnerability of the Floridan and Yucatán Aquifers to Groundwater Contamination", *International Symposium on Planning, Management, and Research of Water Resources*, Mérida, Yucatán, 1990.
- Miller, K.A., "Hydropower, Water Institutions and Climate Change", *International Journal of Technology Management*, 5(2):71-83, 1989.
- Milly, P.C.D. y P.S. Eagleson, "Effects of Spatial Variability on Annual Average Water Balance", *Water Resources Research*, 23(11):2135-2143, 1987.
- Milly, P.C.D. y P.S. Eagleson, "Effect of Storm Scale on Surface Runoff Volume", *Water Resources Research*, 24(4): 620-624, 1988.
- Mitra, J. y K. Raghu, "Effects of D.D.T. on the Growth of Crop Plants", *Environmental Pollution*, 61(2):157-170, 1989.
- Nazim Ali, S., "Science and Technology Information Transfer in Developing Countries: Some Problems and Suggestions", *Journal of Information Science*, 15(2):81-93, 1989.
- Nemeč, J. y J. Schaake, "Sensitivity of Water Resource Systems to Climate Variation", *Hydrological Sciences Journal*, 27(3): 327-343, 1982.
- Ortega y Gasset, J., "Sobre el Estudiar y el Estudiante", en E. Inciarte (Ed.), Ortega y Gasset: *Una Educación para la Vida*, Ediciones El Caballito, 1986.
- Ottlé, C., D. Vidal-Madjar y G. Girard, "Remote Sensing Applications to Hydrological Modeling", *Journal of Hydrology*, 105(3/4):369-384, 1989.

- Palacios-Vélez, O.L. y B. Cuevas-Renaud, "Automated River-Course, Ridge and Basin Delineation from Digital Elevation Data", *Journal of Hydrology*, 86(3/4):299-314, 1986.
- Peck, E.L., "Design of Precipitation Networks", *Bulletin of the American Meteorological Society*, 61(8):894-902, 1980.
- Penman, H.L., "Natural Evaporation from Open Water, Bare Soil, and Grass", *Proceedings of the Royal Society of London, Serie A*, 193:120-146, 1948.
- Phillip, J.R., "Theory of Infiltration", *Advances in Hydrosciences*, 5:215-296, 1969.
- Pilgrim, D.H., "Bridging the Gap Between Flood Research and Design Practice", *Water Resources Research*, 22(9):165S-176S, 1986.
- Pinto, J.K. y J.G. Covin, "Critical Factors in Project Implementation: A Comparison of Construction and R&D Projects", *Technovation*, 9(1):49-62, 1989.
- Potter, K.W., "Research on Flood Frequency Analysis: 1983-1986", *Reviews of Geophysics*, 25(2):113-118, 1987.
- Protopapas, A. y R.L. Bras, "State-Space Dynamic Hydrological Modeling of Soil-Crop-Climate Interactions", *Water Resources Research*, 24(10):1765-1779, 1988.
- Reif, F., "Scientific Approaches to Scientific Education", *Physics Today*, 39(11):48-54, 1986.
- Rodríguez-Iturbe, I., V.J. Gupta y E.F. Wood, *Scale Problems in Hydrology*, D. Reidel, 1986.
- Rodríguez-Iturbe, I. y P.S. Eagleson, "Mathematical Models of Rainstorm Events in Space and Time", *Water Resources Research*, 23(1):181-190, 1987.
- Rogers, P.P. y M.B. Fiering, "Use of Systems Analysis in Water Management", *Water Resources Research*, 22(9):146S-158S, 1986.
- Romero Alvarez, H., "Utilidad y Riesgo del Uso de las Aguas Residuales", *Ingeniería Ambiental*, 1(4):19-23, 1988.
- Rossi, F., M. Fiorentino y P. Versace, "Two-component Extreme Value Distribution for Flood Frequency Analysis", *Water Resources Research*, 20(7):847-856, 1984.
- Roth, G., F. Siccardi y R. Rosso, "Hydrodynamic Description of the Erosional Development of Drainage Patterns", *Water Resources Research*, 25(2):319-332, 1989.
- Russell, B., "La Perspectiva Científica", Ariel, 1976.
- Salas, J.D., J.W. Delleur, V. Yevjevich y W. L. Lane, "Applied Modeling of Hydrologic Time Series", *Water Resources Publications*, 1980.
- Saliba, B.C., D.B. Bush, W.E. Martin y T.C. Brown, "Do Water Market Prices Appropriately Measure Water Values?", *Natural Resources Journal*, 27(3):617-651, 1987.
- Sambasiva Rao, A., "Interception Losses of Rainfall from Cashew Trees", *Journal of Hydrology*, 90(3/4):293-301, 1987.
- Sánchez Silva, R., "Algunas Características Hidrológicas del Río Pílon, N.L.", *Ingeniería Hidráulica en México*, 11(2):36-51, 1987.
- Sánchez Silva, R., "Lluvia Acida: Su Impacto en los Recursos Hidrológicos", *Instituto Mexicano de Tecnología del Agua*, Informe Interno, s/n, 62 pp., 1989.
- Sartre, J.P., "Introducción Ex-Cathedra y Difusión de la Crisis del Saber Universitario y el Descontento Estudiantil", *Boletín de la Universidad de Chile*, 89/90(nov/dic):18-22, 1968.
- Schmugge, T., "Remote Sensing of Soil Moisture", en Anderson, M. G. y T.P. Burt (Eds.) *Hydrological Forecasting*, Wiley, 1985.
- Schmugge, T., "Remote Sensing Applications in Hydrology", *Reviews of Geophysics*, 25(2):148-152, 1987.
- Shih, S.F., "GOES Satellite Data in Rainfall Estimation", *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 115(5): 839-852, 1989.
- Shiklomanov, I.A., "Climate and Water Resources", *Hydrological Sciences Journal*, 34(5):495-529, 1989.
- Singh, V.P. y Y.C. He, "Muskingum Model for Furrow Irrigation", *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, 114(1): 89-103, 1988.
- Singham, M., "Science for Developing Countries", *Physics Today*, 42(8-1):61-63, 1989.
- Skertchly Molina, L., "Métodos para Calcular Capacidades de Embalse", *Ingeniería Hidráulica en México*, IV(1):46-52, 1989.
- Skiba, U. y M. Cresser, "Prediction of Long-Term Effects of Rainwater Acidity of Peat and Associated Drainage Water Chemistry in Upland Areas", *Water Research*, 23(12): 1477-1482, 1989.
- Springall, R., "Hidrología. Primera Parte", *Serie del Instituto de Ingeniería*, UNAM, No D7, 1970.
- Stedinger, J.R. y V.R. Baker, "Surface Water Hydrology: Historical and Paleoflood Information", *Reviews of Geophysics*, 25(2):119-124, 1987.
- Stedinger, J.R. y T.A. Cohn, "Flood Frequency Analysis with Historical and Paleoflood Information", *Water Resources Research*, 22(5):785-793, 1986.
- Steele, T.D., "Water Quality", en Anderson, M.G. y T.P. Burt (Eds.) *Hydrological Forecasting*, Wiley, 1985.
- Tasker, G.D. y W.O. Thomas, "Flood Frequency Analysis with Pre-Record Information", *Journal of the Hydraulics Division*, ASCE, 104(2):249-259, 1978.
- Titus, J.G., C.Y. Kuo, M.J. Gibbs, T.B. La Roche, M.K. Webb y J.O. Waddell, "Greenhouse Effect, Sea Level Rise, and Coastal Drainage Systems", *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE 113(2):216-227, 1987.

- USA National Research Council Panel on Water and Climate (Ed.), *Climate, Climatic Change, and Water Supply*, National Academy of Sciences, Washington, D.C., 1977.
- Venetis, C., "The IUH of the Muskingum Channel Reach", *Journal of Hydrology*, 7:444-447, 1969.
- Viejo Zubizaray, M. y P. Alonso Palacios, *Energía Hidroeléctrica: Turbinas y Plantas Generadoras*; Limusa, 1977.
- Viessman, W., Jr., "Technology, Society, and Water Management", *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, 115 (1):48-51, 1989.
- Viessman, W. Jr., J.W. Knapp, G.L. Lewis y T.E. Harbaugh, *Introduction to Hydrology*, Harper & Row, 1977.
- Vinnikov, K.Y. y N.A. Lemeshko, "Soil Moisture Content and Runoff in the USSR During Global Warming", *Soviet Water Resources and Hydrology*, 12:79-85, 1987.
- Waggoner, P. y R.R. Revelle (Eds.), *Climate and Water: Climatic Variability, Climate Change, and The Planning and Management of US Water Resources*, Wiley, 1989.
- Wallis, J.R., "Hydrology - The Computer Revolution Continues", *Reviews of Geophysics*, 25(2):101-105, 1987.
- Warnaka, K. y L. Pochop, "Analyses of Equations for Free Water Evaporation Estimates", *Water Resources Research*, 24(7): 979-984, 1988.
- Waylen, P. y M.K. Woo, "Prediction of Annual Floods Generated by Mixed Processes", *Water Resources Research*, 18(4):1283-1286, 1982.
- White, I. y P. Broadbridge, "Constant Rate Rainfall Infiltration: A Versatile Nonlinear Model 2. Applications of Solutions", *Water Resources Research*, 24(1):155-162, 1988.
- Wigand, R.T. y G.L. Frankwick, "Inter-Organizational Communication and Technology Transfer: Industry-Government-University Linkages", *International Journal of Technology Management*, 4(1):63-76, 1989.
- Wilson, B.N. y R.L. Elliot, "Furrow Advance Using Simple Routing Models", *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, 114(1):104-117, 1988.
- Woo, M.K. y P. Waylen, "Areal Prediction of Annual Floods Generated by Two Distinct Processes", *Journal of Hydrological Sciences*, 29(1):75-88, 1984.
- Wood, E.F. y P.E. O'Connell, "Real-Time Forecasting", en Anderson, M.G. y T.P. Burt (Eds.) *Hydrological Forecasting*, Wiley, 1985.
- Yair, A. y H. Lavee, "Runoff Generation in Arid and Semi-arid Zones", en Anderson, M.G. y T.P. Burt (Eds.) *Hydrological Forecasting*, Wiley, 1985.
- Yeh, G.T. y V.S. Tripathi, "A Critical Evaluation of Recent Developments in Hydrogeochemical Transport Models of Reactive Multichemical Components", *Water Resources Research*, 25(1): 93-108, 1989.
- Yevjevich, V., "Misconceptions in Hydrology and Their Consequences", *Water Resources Research*, 4(2):225-232, 1968.
- Zierold Reyes L., "La Lluvia y su Aprovechamiento en la Agricultura", *Ingeniería Hidráulica en México*, III(3):18-33, 1988.