

El desarrollo de la hidrología en México

Ramón Domínguez Mora

Instituto de Ingeniería, UNAM
Centro Nacional para la Prevención de Desastres

Antecedentes

En numerosas reuniones técnicas, nacionales y extranjeras, se ha manifestado una gran inquietud por las limitaciones en el desarrollo de la Hidrología Superficial. Por este motivo, se decidió trabajar en la elaboración de un programa que, a partir de un análisis crítico de dichas limitaciones, planteara acciones por desarrollar en nuestro país en los próximos años.

Un análisis somero de la literatura técnica publicada en los últimos años, tanto en México como en el extranjero, muestra una tendencia al desarrollo de modelos matemáticos cada vez más alambicados y pocas veces sustentados en mediciones que corroboren su bondad.

Por otra parte, dado su campo de trabajo, el hidrólogo necesita recurrir de manera constante a la medición de los fenómenos directamente en la naturaleza, por lo que el avance en la hidrología depende en gran medida de la planeación y selección de qué medir, cómo lograr que las mediciones den resultados confiables y finalmente, cómo organizar y difundir la información obtenida para que sus colegas puedan beneficiarse de ella.

En paralelo, debe considerarse la necesidad de proporcionar respuestas a problemas urgentes, por lo que también es necesario analizar los caminos que conducen a ello, tomando en cuenta las limitaciones actuales en el conocimiento de los procesos físicos.

Con objeto de propiciar la discusión sobre lo que debe hacerse para que la hidrología avance, mejorando la comprensión de los fenómenos físicos involucrados, y sobre cómo manejar la información disponible actualmente para resolver problemas que no pueden esperar hasta disponer de más y mejor información, se decidió editar este número especial de la revista Ingeniería Hidráulica en México,

integrado por las experiencias y puntos de vista de diversos especialistas en el tema.

Se pretende que esto sea sólo un primer paso, que facilite la incorporación de muchas otras opiniones de los especialistas interesados y permita la elaboración de un programa que tenga, al menos, los siguientes atributos:

- Participación amplia y crítica de todos los interesados, con la formalidad necesaria para evitar "críticas de café", que si bien amenizan las reuniones, no ayudan eficientemente al desarrollo de la hidrología.
- Continuidad en las acciones.
- Seguimiento.

Planteamiento

Con objeto de limitarme a analizar los aspectos en que mi experiencia es mayor, me referiré a uno de los objetivos de los estudios hidrológicos: conocer la cantidad de agua por unidad de tiempo (el gasto) que ha pasado y puede pasar en un sitio determinado.

Si se pretende determinar el volumen de almacenamiento de una presa, el estudio se dirige hacia el conocimiento de los gastos promedio (volúmenes) para intervalos de tiempo largos (días, meses o años, según el propósito de la obra). Si se quiere construir un vertedor u otra obra de drenaje, los intervalos que interesan son relativamente cortos (minutos, horas o días).

El conocimiento de la historia de los escurrimientos, dentro del contexto de sus causas (la distribución espacial y temporal de la lluvia y las características de la cuenca, fundamentalmente) y con la ayuda de las leyes de la física, debe conducirnos a la predicción correcta de los escurrimientos futuros. Esta predicción puede ser de dos tipos:

- Predicción probabilística. Cuando interesa definir la capacidad de las obras hidráulicas que operarán a lo largo de varios años y que, por tanto, deben diseñarse considerando todas las avenidas que podrían presentarse durante su vida útil, lo que se requiere es una predicción, en términos probabilísticos, de la magnitud de los gastos (medios, máximos o mínimos, según el tipo y función de la obra) que se pueden presentar en el sitio de la obra.
- Pronóstico en "tiempo real". Cuando se trata de operar obras existentes para controlar una avenida específica o, en algunos casos, tomar medidas de alertamiento, evacuación, etc., lo que se requiere es pronosticar las características de las avenidas en "tiempo real", es decir, indicando el momento (día, hora) en que ocurrirán, a diferencia de la predicción de tipo probabilístico, donde lo importante es conocer la magnitud de la avenida que puede ocurrir pero no el momento en que se presentará.

En otras palabras, por una parte se trata de construir obras que durante su vida útil estarán sujetas a la incidencia de diversas avenidas de diversas magnitudes para manejar cualquier avenida que se presente en el sitio que se estudia, y por otra, de pronosticar, al menos con unas cuantas horas de anticipación, la magnitud de cada avenida que ocurra en un lugar determinado.

En los estudios del primer tipo, el análisis es fundamentalmente estadístico, con objeto de conocer las probabilidades asociadas con los diversos factores que determinan la magnitud de los escurrimientos: la magnitud de la lluvia, su distribución en el tiempo y el espacio, las condiciones de humedad en la cuenca, el nivel del agua en las presas, etc. El conocimiento de estas probabilidades y, en definitiva, de aquéllas asociadas a la magnitud de los escurrimientos, es indispensable para decidir correctamente el tamaño de las obras hidráulicas.

Los estudios del segundo tipo, en cambio, tienen que hacer énfasis en relaciones causa-efecto, con objeto de poder estimar, dadas ciertas condiciones en la cuenca, cómo una tormenta específica se transforma en escurrimiento, y cómo éste llega hasta el sitio que se protege. En otras palabras, se busca conocer la magnitud de la avenida y el momento preciso en que se presentará, a partir de datos de lluvia medidos en diversos puntos de la cuenca y transmitidos de inmediato a un puesto central de registro y análisis.

Para abordar estos problemas es necesario caracterizar de manera adecuada el fenómeno que

interesa directamente (el escurrimiento) y los que están relacionados con él: la lluvia, en primer lugar, y la cuenca (tipo de suelo, cobertura vegetal, red de drenaje, etc) y, con base en las leyes de la física, por un lado, y en la teoría de probabilidades, por el otro, elaborar una serie de modelos —entendiendo por modelo una representación simplificada de la realidad que, sin embargo, considera todas las componentes relevantes para la solución del problema específico que se estudia. Los modelos deben ser manejables en la práctica y conducir a pronósticos y predicciones correctas.

Los dos tipos de estudios mencionados se requieren para la gran diversidad de condiciones climatológicas, topográficas, geológicas, de vegetación, etc, de las cuencas del país, por lo que es indispensable un esfuerzo conjunto de organismos de gobierno, universidades y campañas de estudio, dirigido, en forma organizada, a realizarlos cada vez mejor.

El problema de la medición

Como se mencionó en los antecedentes y se abunda sobre todo en el artículo de Klemeš, uno de los problemas que motivaron la elaboración de este número de la revista, es el aparente estancamiento en el desarrollo de la hidrología como ciencia. Aparentemente, este no es un problema que se limite a este campo, como lo muestra el siguiente comentario de P. Kapitsa, premio Nobel de Física en 1978, en un discurso en la Academia de Ciencias de la URSS, sobre el desarrollo desequilibrado de la física teórica y la física experimental: "Los teóricos están poco acostumbrados a que cualquiera de sus trabajos posea valor sólo después de que esté relacionado con la práctica. La teoría comienza a trabajar por sí misma y en el mejor de los casos su valor se determina a partir de consideraciones metodológicas y estéticas".

Más adelante continúa... "Para el desarrollo armónico de la ciencia es necesario que la teoría no se aleje del experimento y esto puede tener lugar sólo cuando la teoría se sustenta sobre una base experimental suficientemente poderosa".

En el caso de la hidrología, nuestra base experimental está constituida sobre todo por las mediciones que realizamos directamente en el campo, aunque esto no excluye que en ocasiones sea aconsejable realizar experimentos en el laboratorio. Por este motivo, considero muy importante revisar, con el mayor cuidado posible, cuáles son los problemas que enfrenta la medición en nuestro país y proponer mecanismos para superarlos. Lo que sigue pretende ser

una pequeña contribución en ese sentido, basada en mi experiencia particular.

Mediciones de lluvias y escurrimientos

- Cálculos básicos

En mi opinión, los primeros problemas que se presentan en relación con las mediciones de lluvias y escurrimientos en México, se derivan de que hemos hecho muy poco por mejorar el equipo de medición. Cualquiera que haya intentado calibrar un modelo lluvia-escurrimiento en una cuenca no muy extensa, habrá encontrado que la principal dificultad que se le presenta es que no puede estimar correctamente la distribución de la lluvia en el tiempo porque no existen registros adecuados de pluviógrafo. Lo que me parece peor, es que en muchos casos existen pluviógrafos instalados pero, sobre todo cuando se presentan tormentas de magnitud importante, no funcionan de manera correcta.

Aunque ya se han señalado estos problemas, aparentemente no se han podido resolver, ni siquiera en los sitios que cuentan con operadores cuidadosos y responsables.

Considero que su solución implica sustituir los tradicionales pluviógrafos de sifón por otros que garanticen un buen funcionamiento. Si en toda la República existen en la actualidad menos de 1000 pluviógrafos y se logra diseñar otros confiables, con un costo aproximado de 2 millones de pesos por cada uno, se lograría mejorar radicalmente este aspecto de la hidrología, con una inversión que no parece excesiva.

La medición del escurrimiento enfrenta también varios problemas que no conozco a fondo. He sabido, sin embargo, que los molinetes que se utilizan en algunas estaciones hidrométricas con frecuencia fallan en la prueba de giro que se efectúa después de cada aforo, particularmente cuando el gasto aforado es alto y la corriente arrastra cantidades importantes de material en suspensión. Algunos aforadores me han dicho personalmente que los molinetes que utilizaban hace unos años funcionaban mejor que los actuales.

Por otro lado, quienes trabajamos en hidrología, y somos usuarios de la información, pocas veces revisamos la calidad y precisión de la misma. Por citar un ejemplo, el proceso de cálculo hidrométrico efectuado para obtener los gastos máximos anuales, que constituyen la información de partida para muchos de nuestros estudios, implica la extrapolación de las curvas escala-gasto a partir de los aforos. Sin embargo, es muy poco lo que se

ha hecho para desarrollar técnicas de extrapolación más confiables que los procedimientos tradicionales. Es frecuente que dichos procedimientos conduzcan a estimaciones con diferencias mayores al 100% entre los resultados obtenidos por dos personas distintas.

Los problemas descritos son sólo algunos ejemplos de los existen para obtener información básica para desarrollar nuestros modelos. Si consideramos el tiempo que los científicos de otras disciplinas dedican a diseñar y efectuar sus experimentos, probablemente estemos de acuerdo en que debemos dedicar más tiempo y esfuerzo para obtener mejores datos de campo.

Por otra parte, y todavía en relación con el manejo de la información de campo, debemos considerar que si bien ésta no puede controlarse como las mediciones de laboratorio, tampoco debemos utilizar la medición de cada sitio como información aislada, sino por el contrario, enfatizar la necesidad de efectuar estudios regionales, (de lluvias, de escurrimientos y de la relación entre éstos y las características de las cuencas) que nos permitan generalizar los resultados. Para ello es necesario balancear la necesidad de resolver los problemas específicos o urgentes con la de hacer estudios más generales que a largo plazo posibilitarán resolver mejor los problemas urgentes, que seguirán presentándose en el futuro.

Mediciones especiales

El desarrollo equilibrado del conocimiento de los procesos hidrológicos requiere que, además de las mediciones básicas que llevan a cabo las oficinas de gobierno en forma sistemática, se realicen otras más detalladas en cuencas experimentales, ya sea utilizando datos de redes de medición más densas, como las instaladas en el Pánuco y en la cuenca de Chicoasén, por ejemplo, o bien instrumentando cuencas pequeñas con propósitos específicos de investigación. Los esfuerzos realizados en este sentido han sido también muy escasos a pesar de que su impulso decidido redituaría seguramente en beneficios importantes a corto y a largo plazos.

Un primer paso, aunque sea tímido, sería revisar lo que se ha hecho en otros países y los resultados que han podido lograr. Simultáneamente, es necesario revisar nuestra red básica, dando mayor dinamismo a su conformación. Deben realizarse estudios periódicos que permitan suspender las estaciones de medición que ya no cumplan con su objetivo y crear otras donde sea necesario. La ausencia de estos estudios puede conducir a que se tomen decisiones a partir de criterios económicos y financieros, sin

tomar en cuenta la utilidad real de cada estación. En otras palabras, considero que debemos emprender estudios que justifiquen el dinero invertido en cada estación, tomando en cuenta que, cuando esto no exista, la estación debe suspenderse, pero también que en muchos casos se justifica de sobra instalar nuevas estaciones de medición.

Difusión de la información

Es muy común que, una vez terminado un estudio hidrológico, comentemos que los resultados habrían sido mejores si se hubiera contado con más información. Sin embargo, un análisis detallado seguramente mostrará que, en algunos casos al menos, no se utilizaron exhaustivamente muchos datos que ya habían sido medidos pero a los que no se tenía fácil acceso.

Esta situación implica que las inversiones para mantener una red nacional de medición, no siempre se aprovechan de manera correcta, quizá por falta de una inversión adicional (proporcionalmente muy pequeña) que permita a los usuarios el acceso fácil a toda la información existente.

Este tipo de problemas se agudizó en los últimos años, aparentemente a causa del sismo de 1985, que afectó los archivos de la Comisión Nacional del Agua. Hoy en día, son muy pocas las regiones con datos posteriores a 1980 publicados en boletines. Considero que esta problemática debe analizarse urgentemente para encontrar mecanismos que permitan tener información actualizada y de fácil acceso.

Otros problemas que afectan el desarrollo de la hidrología superficial

En seguida se enlistan comentarios sobre algunos aspectos que, a mi juicio, afectan al desarrollo de la hidrología superficial en México.

- No hemos logrado definir una política que sirva de guía para orientar las líneas de desarrollo de los estudios hidrológicos. Tal política debería partir del estudio de los problemas nacionales, actuales y futuros, que requieren la contribución de los hidrólogos para su solución.
- Si se discuten y establecen políticas generales, el trabajo individual de cada especialista podrá ser mejor capitalizado, habrá continuidad y se evitarán algunas duplicidades y esfuerzos infructuosos.
- Hace falta una integración entre los hidrólogos formados en México que en general, por diversas razones, hemos estado más expuestos a las

necesidades prácticas, casi siempre urgentes, derivadas del diseño, construcción y operación de las obras hidráulicas, y los hidrólogos formados en el extranjero –sobre todo en los Estados Unidos– cuya formación si bien los acerca a los desarrollos teóricos más recientes, los aleja de su aplicación práctica en las condiciones de nuestro país.

Por razones tal vez fortuitas, pero favorecidos por la ausencia de la política que se menciona en el punto anterior, estos dos grupos, con formación y antecedentes distintos, dedicamos más esfuerzos a competir, buscando que prevalezca nuestro punto de vista, que a analizar, con la formalidad que se requiere, cómo debemos dirigir las capacidades de cada uno hacia una mejor solución de los problemas relacionados con la hidrología que tendrá México a corto y a largo plazos.

- Me parece que algunos de los problemas relacionados con la difusión de la información hidrológica, se derivan de que los organismos que tienen encomendada la función de realizar las mediciones y difundir los resultados, también se encargan de otras funciones. Particularmente cuando estas últimas incluyen la operación de las obras, se tiende a priorizarlas, a utilizar la información para resolver problemas inmediatos y a disminuir la importancia que se concede a su difusión.

Considero que es necesario analizar con cuidado la necesidad de crear un organismo único, cuya función básica sea recopilar la información disponible y facilitar su acceso a cualquiera que esté interesado en obtenerla. La medición propiamente dicha podría seguir haciéndose como hasta ahora, añadiendo solamente la obligación de entregarla a este organismo.

Conclusiones y recomendaciones

Si bien puede afirmarse que la hidrología en México ha logrado avances importantes e inclusive ha hecho contribuciones de trascendencia mundial, las inquietudes manifestados por Klemeš y otros autores deben ser analizadas con mucho atención, en un espíritu de autocritica que, sin desconocer los logros, permita encontrar los factores que limitan su desarrollo, para analizarlos y tomar las medidas que faciliten el avance en nivel nacional en esta rama del conocimiento.

En este proceso no debemos olvidar la necesidad de contribuir, simultáneamente, a dar solución a los problemas nacionales derivados de la necesidad de diseñar, construir y operar obras para el mejor aprovechamiento del agua. Hay que tomar en

cuenta que muchos de estos problemas requieren solución urgente, aun cuando no se tenga un conocimiento preciso de las relaciones entre las variables hidrológicas involucradas.

En este apartado se proponen tres grupos de actividades que podrían contribuir a acelerar el proceso del desarrollo de la hidrología en México.

- Estudios orientados a mejorar el conocimiento de los procesos hidrológicos en nuestro país.
- Medidas específicas enfocadas a atacar factores que actúan como limitantes en el desarrollo de la hidrología nacional.
- Planteamientos para elaborar un programa que permita incorporar las experiencias y propuestas de los especialistas interesados en el tema, concrete actividades futuras y garantice su seguimiento y evaluación periódica.

Estudios

Una forma de aprovechar mejor la información estadística disponible es elaborar estudios regionales. Este tipo de estudios permite disminuir la incertidumbre que surge, en relación con las variables hidrológicas, generalmente aleatorias, cuando la información correspondiente a cada sitio de medición se analiza aisladamente. En seguida se propone una lista que ejemplifica posibles estudios regionales:

- Determinación de las características estadísticas de las precipitaciones intensas (para duraciones menores de 120 min), en las regiones hidrológicas definidas por el Plan Nacional Hidráulico.
- Estimación de la temperatura de rocío máxima persistente a lo largo de las costas nacionales.
- Análisis de las relaciones entre las precipitaciones máximas en un punto y los valores medios asociados a distintas áreas.
- Regionalización de los parámetros estadísticos que determinan las funciones de distribución de los gastos máximos anuales. Aunque ya se han hecho trabajos en este sentido, aún falta explorar varias posibilidades, particularmente en las regiones en que los valores medidos manifiestan la existencia de dos poblaciones; por otra parte, hace falta verificar, y en su caso modificar, los resultados obtenidos hace varios años, incorporando la información reciente.
- Estimación regional de los parámetros estadísticos que determinan las funciones de distribución de probabilidad de los escurrimientos mensuales (particularmente coeficientes de asimetría y de autocorrelación).

- Análisis de la persistencia de los escurrimientos anuales.
- Relaciones con fenómenos como el del "Niño".
- Estudios sobre trayectorias ciclónicas, tanto estadísticos como determinísticos.

Por otra parte, es indispensable realizar estudios que ayuden a entender y modelar mejor la interacción entre las variables relacionadas con el proceso de transformación de lluvias en escurrimientos. Para llevarlos a cabo, conviene aprovechar toda la información disponible, ya sea de las cuencas donde la medición se realiza en la forma tradicional (en algunas de las cuales se cuenta con muchos años de registro), o de cuencas "piloto" como las del Pánuco, de Chicoasén, del arroyo El Cajoncito, etc., donde la densidad de puntos de medición es alta.

Además, es necesario planear la instrumentación de cuencas experimentales que permitan estudiar con más detalle los procesos hidrológicos. Algunos aspectos que podrían estudiarse con este enfoque son:

- Los análisis de los procesos que determinan las pérdidas durante tormentas aisladas y su relación con la distribución de la lluvia y las características de las cuencas.
- El estudio de la velocidad de respuesta de cuencas con diversas características (tiempos de concentración, de pico, etcétera).
- La determinación de hidrogramas unitarios, particularmente de los hidrogramas unitarios sintéticos.
- El análisis de la validez de las hipótesis de linealidad y su relación con las características de las cuencas.
- La relación entre los coeficientes del método Muskingum-Kunge y las características de las cuencas. Los rangos de validez de los métodos hidrológicos de tránsito de avenidas por los cauces.
- La modelación de tormentas históricas.
- Los efectos de la urbanización en los procesos hidrológicos.

Estos y cualesquiera otros estudios que se propongan, deben ser abordados con la participación de los hidrólogos de diversas partes (la Comisión Nacional del Agua, la Comisión Federal de Electricidad, las universidades, las empresas de estudios, etc.) pero de preferencia dentro de un plan bien establecido.

Algunas propuestas para atacar factores limitantes del desarrollo de la hidrología en México

En seguida se plantea una pequeña lista de acciones que, a mi juicio, servirían para atacar los factores que limitan el desarrollo de la hidrología nacional. El propósito es iniciar un proceso que permita analizarla, modificarla, y sobre todo, complementarla.

- Aparentemente, es cada vez menor el número de estudiantes interesados en especializarse en la rama de la hidráulica y aún menos en la de la hidrología. Esto sucede a pesar de que la necesidad de personal bien preparado es, en cambio, cada vez mayor. Parece entonces evidente la necesidad de emprender una campaña de difusión en todo el país, mostrando los logros en estas ramas del conocimiento y la gran amplitud de sus aplicaciones.

Sería también muy útil que los profesionales con amplia experiencia al respecto, cuya principal actividad se realiza en oficinas de gobierno o empresas de estudios, además de participar en estas campañas, reforzaran al personal docente de las universidades impartiendo cursos, seminarios, conferencias, etcétera.

- Es conveniente coordinar las actividades de los hidrólogos con distinta formación. En este sentido, pienso que sería útil definir políticas generales para

el desarrollo de la hidrología en nuestro país.

- Es prioritario trabajar seriamente para mejorar de manera radical la calidad del equipo de medición en las estaciones hidrométricas y climatológicas. En particular, me parece urgente sustituir los pluviógrafos de sifón por equipos más confiables.
- Se requiere también dar mucha mayor importancia a la difusión de la información hidrológica. Las inversiones aplicadas para medir se desperdician, en buena medida, si la información no se proporciona oportunamente a los interesados.
- Es necesario diseñar un plan para el desarrollo de cuencas experimentales, con objeto de profundizar, ordenada y eficientemente, en el conocimiento de los procesos hidrológicos.

Programa de seguimiento

Como ya se comentó, es conveniente establecer un programa de eventos que permita incorporar las opiniones de los especialistas interesados y garantice la continuidad, seguimiento y evaluación de las acciones. Para ello se propone realizar reuniones en los años noes, empezando en 1991. Aquéllas con carácter nacional tendrían una duración de uno o dos días y estarían precedidas por reuniones regionales.

En cada una, se presentaría el trabajo realizado en los últimos dos años y se discutiría y aprobaría el programa de trabajo para el siguiente bienio.