

Sobre el conocimiento científico de la Hidrología^(*)

Por Ceferino ALVAREZ FERNANDEZ
Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

La planificación hidrológica ha de apoyarse sustancialmente sobre el conocimiento de la hidrología para satisfacer las demandas de agua necesarias para el desarrollo regional y nacional. La hidrología como ciencia necesita datos sobre los cuales estructurar el análisis que permita la formulación de las soluciones adecuadas a los problemas planteados.

EL CRECIMIENTO CIENTIFICO

Dentro del análisis del crecimiento científico, se puede diferenciar, como lo hace Mario Bunge (1), el crecimiento baconiano y el crecimiento newtoniano. El primero se caracteriza por una acumulación de información y crece en superficie; al segundo tipo le corresponde un crecimiento en profundidad, es decir, introduce ideas radicalmente nuevas, que sintetizan y explican la información que se dispone. Con una combinación de ambos, se alcanza un crecimiento en volumen.

El crecimiento más frecuente consiste, por supuesto, en el crecimiento en superficie, que tiene lugar cuando la atención se centra en la descripción, sistematización y predicción, a expensas de la teorización. Este crecimiento es necesario, pero no suficiente, para alcanzar la madurez, la cual uno tiende a alcanzar cuando la investigación aspira a la extensión, la profundidad y la solidez, es decir, cuando no sólo ensancha su campo, sino que, además, profundiza en él y lo organiza mejor.

La necesidad de un crecimiento en profundidad conlleva sus detractores, quienes, con tendencia empirista en la investigación, han desconfiado de la profundidad, porque con excesiva frecuencia se ha tomado por profundidad lo que no era sino oscuridad y especulación desenfrenada.

A este respecto, K. P. Popper (2) habla de profundidad no visible y de pseudo profundidad,

mostrando su preocupación por la explosión de publicaciones; en este caso, la profundidad parece sacrificarse a la cantidad y, si insistiéramos en la profundidad como una especie de criterios de control se podría paralizar el crecimiento de la ciencia, ya que esas teorías profundas tienen, a veces, un estudio embrionario durante el cual su profundidad dista mucho de ser visible.

La manifestación de la profundidad es el producto de discusión crítica entre científicos, que se produce a través de publicaciones o de simposios y encuestas. A pesar de todo, la profundidad es deseable y, por lo tanto, ha de ser estimulada.

Normalmente el crecimiento en profundidad se traduce por un conjunto de fórmulas ligadas deductivamente. Si estas fórmulas tienen un correlato real, tal como ocurre con la hidrología, la teoría es llamada factual. En este caso, reproduce la configuración de sistemas reales. La conquista de esta realidad comienza por idealizaciones, creando modelos conceptuales de un hecho (como, por ejemplo, las precipitaciones) o de una cosa (como puede ser una cuenca hidrológica).

Pero esto no es suficiente; es necesario, además, atribuir al objeto modelo unas propiedades susceptibles de ser tratada por teorías. Si el modelo no da todos los detalles que interesan, es posible, en principio, complicarlo.

La elaboración de un modelo comienza por simplificaciones, pero la sucesión histórica de los modelos es un progreso en complejidad. En este sentido, el modelo puede considerarse como la

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo que podrán remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 31 de agosto de 1988.

herramienta con la cual se participa en la búsqueda de la verdad.

De un sistema dado, se puede proponer una gran variedad de modelos; la elección entre esos diversos objetos modelos y los modelos teóricos correspondientes, dependerá del objetivo que se pretende alcanzar en la investigación o estudio.

La elaboración de un modelo corresponde al crecimiento en profundidad, y las discusiones sobre si realmente constituye un acercamiento a la verdad reflejan, únicamente, el deseo de mantenerse en un crecimiento en superficie.

A este respecto, vale la pena recordar lo dicho por M. Bunge (3) sobre los modelos: «Todo modelo teórico es parcial y aproximativo; no capta sino una parte de las particularidades del objeto representado. Por esta razón fracasará tarde o temprano. Pero en la ciencia la muerte es fructífera: el fracaso de un modelo teórico empujará hacia la construcción, sea de nuevos objetos modelos, sea de nuevas teorías generales. No siempre estamos seguros de qué es lo que hay que modificar, pero al menos se sabe que es preciso siempre tratar de perfeccionar las ideas y que, si se hace paso a paso, se acaba por triunfar. hacer de las cosas concretas imágenes conceptuales cada vez más ricas y expandirlas en modelos teóricos progresivamente complejos y cada vez más fieles a los hechos: es el único método efectivo para apresar la realidad por el pensamiento. La observación es una prueba para los modelos teóricos. La intuición es una fuente de ideas que deben implícitamente formularse y someterse a la crítica de la razón y de los hechos para ser fecundas».

LOS ESTUDIOS HIDROLOGICOS

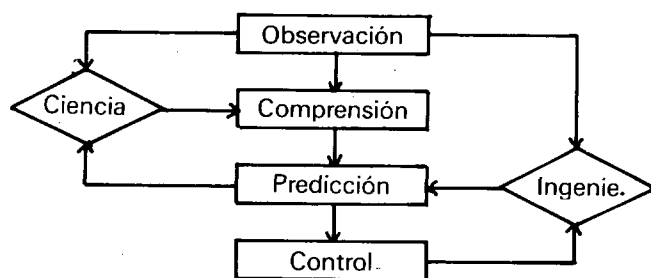
Las consideraciones expuestas se refieren al mundo científico en general, y al hidrológico en particular, considerando la hidrología (*sensus lato*) como una ciencia.

No cabe duda que cualquier estudio, cualquier formulación técnica es válida si tiene como finalidad unas aplicaciones prácticas que son las respuestas a los problemas que la sociedad tiene planteados. Y uno de estos problemas, y no el menor, es el que corresponde al dominio

de los recursos hidráulicos para satisfacer las demandas de todo tipo (las ya clásicas y las actuales, como es la ecológica).

No existe dicotomía entre ciencia y tecnología, o entre ciencia hidrológica e ingeniería hidráulica. Al contrario, la complejidad cada vez mayor de los problemas, obliga a una compenetración que supone un enriquecimiento mutuo.

La lucha del hombre para controlar cada elemento de su entorno puede dividirse en cuatro fases: observación, comprensión, predicción y control (4).



La observación corresponde a la acumulación de información, es decir, a un crecimiento baconiano del cual se alimenta la ciencia para la comprensión de los fenómenos. Se trata de la recogida de los datos hidrológicos necesarios a la elaboración de fórmulas o teorías, que son, al fin y al cabo, modelos para que el ingeniero pueda diseñar las obras a realizar.

Como ejemplo de esta observación, se pueden citar los datos pluviométricos, de caudal, de niveles piezométricos o de demandas, es decir, la información básica para poder gestionar el recurso «agua» en toda su plenitud. Esta primera fase de cualquier estudio hidrológico se queda muchas veces en sólo una exposición de datos que se acumulan de forma desordenada, o que traspasan tímidamente el umbral de la comprensión sin llegar a la profundidad necesaria para alcanzar un crecimiento cualitativo de la interpretación de los fenómenos.

Por supuesto que la comunidad internacional en ciencias hidrológicas elaboró modelos conceptuales generales sobre el aspecto físico para la interpretación de fenómenos tales como infiltración, evaporación, escorrentía etc. A este respecto cabe distinguir, a lo largo de la evolu-

ción histórica de la hidrología, tres períodos: la época heroica, la época clásica y la época moderna. Esta última tiene lugar a partir de los últimos veinte años, gracias al aporte de otras técnicas, tales como el ordenador, medidas de lluvias por radar, medidas ultrasónicas de descargas, nuevas técnicas de espectrometría y cromatografía en calidad del agua, trazadores isotópicos, sensoramiento remoto, etc. A pesar de todo, no cabe duda que persisten aún muchos problemas por resolver.

La investigación hidrológica no es la acumulación de datos o hechos, sino su comprensión, ya que ésta sólo se obtiene arriesgando y desarrollando hipótesis precisas. Una política hidráulica ha de apoyarse, entre otros, en el crecimiento en volumen del conocimiento científico de la hidrología.

La comprensión de la hidrología ha de plantearse a través de problemas bien circunscritos y claros, a ser posible en lenguaje matemático, avanzado, para resolverlos, hipótesis precisa y verificando los datos empíricos que se hayan podido incluir.

La hidrología práctica puede verse mejorada si los modelos que pretenden comprender el por qué de los hechos son elegidos adecuadamente, sobre la base de aprovechar al máximo la información existente y comprobar su representatividad: en los estudios de avenidas con gran período de retorno, este intervalo es claramente superior a la serie de datos de escorrentía disponibles; en este caso parece más apropiado aplicar un modelo probabilístico con tiempo independiente directamente de la serie disponible, o indirectamente, combinando los estudios de frecuencia de lluvias máximas, utilizando el hidrograma unitario o un operador determinístico.

En cambio, para previsiones en tiempo real de caudales, cuando se dispone de datos de aforo aguas arribas o de precipitaciones, parece más apropiado utilizar modelos determinísticos.

El crecimiento en profundidad de las ciencias hidrológicas se vió favorecido por los conceptos de modelos. Cabe citar como botón de muestra, los simposios organizados por la Asociación Internacional de Hidrología Científica (AIHS): en 1974 (Modelos Matemáticos en Hidrología), en 1975 (Aplicación de los Modelos



Matemáticos en Hidrología) y en 1978 (Modelos Matemáticos en los Sistemas de Calidad del Agua).

El concepto «hidrológico» puede transformarse en una fórmula que se puede definir como hipótesis factual, ya que se refiere a hechos, y esta hipótesis puede corregirse a la luz de nuevos conocimientos. Además, este concepto puede calificarse de teórico, al pertenecer a una teoría científica, y es también observable.

El modelo teórico es una teoría específica de un objeto concreto. Lo que se pretende con este modelo es la obtención de leyes y un acopio de datos, por vasto que sea, no crea ni un grupo de leyes ni un artificio explicativo. Se puede decir que el científico moderno es esencialmente un animal que construye y contrasta modelos.

No cabe duda que de todo esto se beneficia, en primer lugar, la ingeniería, ya que le permite definir soluciones más fidedignas, más completas y con mayor ventaja desde el punto de vista económico y técnico.

Pero si los modelos teóricos constituyen la herramienta básica para la comprensión de la hidrología, también participan en la elaboración de predicciones sobre el comportamiento del sistema hidrológico. Por supuesto que estos as-

pectos se basan en el determinismo científico, y no corresponden a las definiciones del universo abierto expuesto por K. Popper (7). En este sentido cabe señalar el amplio campo introducido por éste último en su crítica al determinismo, y los modelos de predicción se encuentran en el centro del debate.

Lo que se pretende con el esquema de Doo-ge es mostrar la interrelación entre los estudios hidrológicos y la ingeniería hidráulica, siendo los primeros parte de las ciencias que se ocupan del agua, y la segunda la que abarca la mecánica que estudia el equilibrio y los movimientos de los fluidos. Por esto, una planificación hidráulica ha de englobar todo el sistema y no será, en ningún caso, ni una lista de obras a realizar, ni unos estudios científicos sin objetivos pragmáticos.

LA PLANIFICACION HIDROLOGICA

Los estudios de planificación hidrológica vienen forzados por el proceso evolutivo del uso del agua, el cual, normalmente, está directamente relacionado al desarrollo económico, ya que éste implica las necesidades y, por consiguiente, las demandas.

Este concepto, que pone en énfasis la Demanda, ha de construir nuestro objetivo para lle-

gar a adaptar los Recursos Globales Totales de las manera más racional y económica posible.

Aquí también ha de aplicarse el crecimiento newtoniano, elaborando unos modelos que tengan en cuenta el aspecto social y económico. El conocimiento científico de la hidrología ha de abrirse hacia un sentido práctico que abarque los tres mundos del universo expuestos por K. Popper, es decir, que la creatividad de soluciones ha de sumarse al enfoque exclusivamente físico.

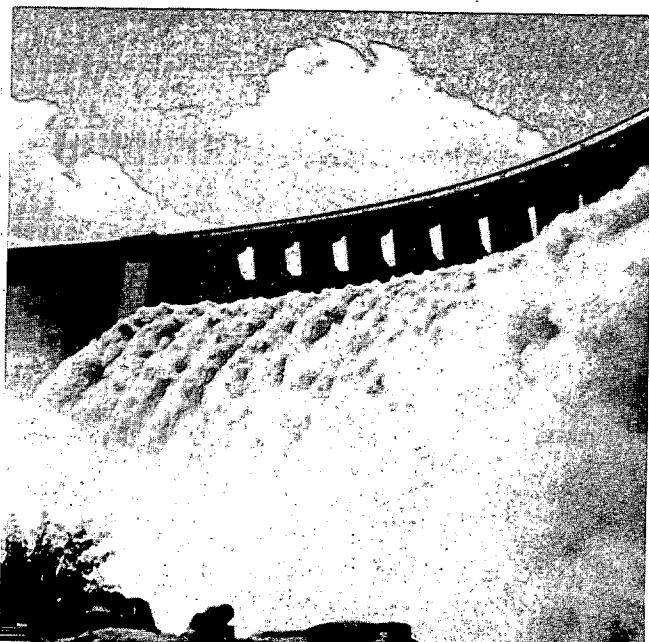
Es posible considerar, dentro de la política hidráulica española, tres etapas (5).

La primera, denominada inconexa o de oportunidad, se caracteriza por la abundancia de recursos disponibles frente a la demanda, con un porcentaje de utilización de los recursos que se puede cifrar aproximadamente en el 50 por 100 de las disponibilidades. Las obras de regulación se programan para cada utilización concreta sin interconexión entre ellas. Esta etapa supone un notable desarrollo de la ingeniería hidráulica de superficie en España. Por contra, las aguas subterráneas se hallan en un estado rudimentario de su ciencia y tecnología y son prácticamente ignoradas por la Administración. Esta etapa se puede estimar que duró hasta casi los años sesenta.

Como se ve, se trata de solucionar problemas puntuales sin una visión general; se utiliza el recurso hidráulico de manera exclusivamente ingenieril sin pretender alcanzar unos objetivos de planificación. La meta es más bien una solución (y tal vez no la más afortunada) a un problema específico local.

La segunda etapa, que se puede denominar de aprovechamiento integral, aparece al incrementarse las demandas de agua, debido en gran parte, al desarrollo económico del país y a la elevación del nivel de vida.

El porcentaje de demanda alcanza, a nuestro juicio, el 75 por 100 de los recursos, pero desigualmente distribuido a lo largo de la geografía nacional. Los estudios se plantean entonces a nivel de cuenca hidrográfica, considerada como unidad de gestión para el ordenamiento del territorio. Los poderes públicos empiezan a preocuparse más por la disponibilidad de recursos hidráulicos que por aprovechamientos concre-



tos y, como consecuencia de ello, aparece, por una parte, el Inventario de Recursos Hidráulicos del Ministerio de Obras Públicas, en lo que respecta a recursos superficiales y, por otra, el Plan de Investigación de Aguas Subterráneas del Ministerio de Industria, referente a recursos subterráneos.

Estos dos trabajos marcan una clara pauta en los planteamientos de planificación de recursos hidráulicos. Durante esta época, que se extiende hasta final de los años setenta, la explotación de acuíferos se hace más intensa, debido, en particular, a la evolución de la tecnología de extracción de aguas de los pozos y de la perforación de sondeos profundos.

Será, principalmente, la iniciativa privada la que promueva con gran impulso la utilización de las aguas subterráneas (6), lo cual lleva (motivado en parte por la anterior Ley de Aguas), a una explosiva e incontrolada explotación de aguas subterráneas (principalmente en áreas costeras para atender al aumento de la demanda estival en áreas turísticas), que ha conducido al rápido agotamiento o salinización de pequeños acuíferos costeros sometidos a unas extracciones abusivas. Esto ha producido una idea negativa y poco afortunada de las posibilidades reales de integración de las aguas subterráneas para satisfacer las demandas de abastecimiento, lo que, además, es causa de que aquellos que infravaloran el potencial de las aguas subterráneas, se sientan respaldados en sus convicciones y, haciendo caso omiso de ellas, presten atención preferente a los aprovechamientos superficiales.

Se entra tímidamente, durante esta época, en un crecimiento newtoniano; los modelos hidrológicos, a pesar de su amplia difusión a nivel internacional, difícilmente se abren aquí camino. Se sigue diferenciando el aspecto naturalista de las aguas, del problema de ingeniería. Los inventarios a los cuales nos referíamos, entran plenamente en el concepto baconiano de la investigación.

A pesar de todo y sin entrar en detalles, surgen, tanto por parte de la Administración, como de las empresas de consultoría, unas tentativas newtonianas en cuanto a profundizar en el conocimiento científico de la hidrología. En



particular, en lo que respecta a las aguas subterráneas, cabe decir que éstas deben mucho a las investigaciones petrolíferas, tanto en el plan tecnológico, como científico, en las definiciones de la hidrodinámica subterránea; el acuífero considerado como mero objeto modelo, que no es sino una lista de rasgos del objeto concreto, pasa a ser un modelo teórico. Al enunciar las leyes físicas que relacionan el funcionamiento hidráulico del acuífero, se obtiene un mayor conocimiento científico del mismo.

La tercera etapa, en la cual nos encontramos, se presenta al estar las demandas, dentro de la unidad geográfica, en consonancia con las disponibilidades de recursos propios. Se trata de un aprovechamiento integral-planificado donde se entremezclan la concepción de cuenca hidrográfica, como unidad de planeamiento, con la realidad de la región a desarrollar. En este caso es necesario tender a identificar unas «cuencas-regiones» que abarquen tanto la unidad fisiográfica, como la unidad de planeamiento. La infraestructura hidráulica que se derive de este planeamiento debe considerar el hecho de que la planificación hidrológica moderna no concibe el desarrollo de las disponibilidades hídricas en compartimentos estancos de los diferentes usos, y resulta cada vez más evidente que, en general, toda la obra hidráulica que tenga por objeto aumentar dichas disponibilidades de forma sensible, es de aprovechamiento múltiple, aunque tengan algún objetivo sectorial preferente.

Pues bien, nos hallamos ante la complejidad de definir unos planes hidrológicos que, apoyándose en la Ley de Aguas, permitan el desarrollo equitativo de las diversas regiones de España. Para esto se ha de coordinar convenientemente todos los recursos hidráulicos, conjugando los esfuerzos, tanto en el campo de las aguas

superficiales, como en el de las subterráneas. Las «imprescindibles conexiones hidráulicas» no han de ligar únicamente los embalses superficiales, sino que han de considerar también lo que la naturaleza nos ofrece, es decir, los embalses subterráneos.

Es decir, que los planes hidrológicos deben de considerar las demandas de agua necesarias para alcanzar un desarrollo socio-económico y, a partir de estas premisas, estudiar la forma de utilizar los recursos existentes. Se trata entonces de aprovechar unos conocimientos científicos para solucionar unos problemas concretos. Estos conocimientos han de ser profundos, en el sentido expuesto por M. Bunge y, por eso, creemos que es necesaria la utilización de herramientas que tengan en cuenta tanto el aspecto determinístico como cuántico.

CONCLUSIONES

La planificación hidrológica ha de apoyarse substancialmente sobre el conocimiento de la hidrología para satisfacer unas demandas de aguas necesarias para el desarrollo regional y nacional. Será, pues, la determinación de estas demandas el punto de arranque para que la creatividad pueda ofrecer soluciones que han de, obligatoriamente, considerar el marco newtoniano de la hidrología. Pero el crecimiento en profundidad ha de tener en cuenta la necesidad de unos datos para elaborar unos modelos que han de ser representativos de la realidad. Por esta razón la innumerable cantidad de datos hidrológicos tiene que sobrepasar los límites de una simple enumeración, alcanzando un análisis que los haga dignos de ser utilizados para unos modelos que persiguen una representación cuasi perfecta de nuestros sistemas hidráulicos. Nos gustaría, por tanto, entremezclar los pensamientos de K. Popper con lo expuesto sobre el conocimiento científico de la hidrología, refiriéndonos al «mundo 1» como mundo de la física, es decir, el mundo fundamentalmente determinista donde debe de florecer el crecimiento newtoniano, al «mundo 2» como el de las ex-

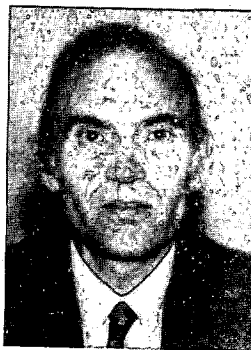
periencias subjetivas, o, dicho de otro modo, la experiencia profesional, el cual conecta con el «mundo 3» que ha de ser el de la creatividad, es decir, el que aporte las soluciones a la planificación hidrológica.

Nos queremos mover en un universo abierto donde se entremezclen el rigor científico con la creación del ingeniero, diseñando unos modelos conceptuales del sistema hidrológico que desemboquen en unos proyectos que respondan a la problemática del desarrollo de nuestra sociedad.

BIBLIOGRAFIA

1. MARIO BUNGE: La maduración de la ciencia. Teoría y Realidad Ariel 1981.
2. K. P. POPPER: Profundidad no visible, profundidad y pseudo profundidad en «La maduración de la ciencia» 1968.
3. MARIO BUNGE: Les concepts de modèles-L'age de la Science Vol. I 1968.
4. J. C. DOOG: The waters of the earth. Journal AIHS Vol. 29 June 1984.
5. RAFAEL HERAS: Inventario, estudio y planificación de recursos hidráulicos en España. Hidrología 1975.
6. EMILIO CUSTODIO: Las aguas subterráneas en España. Hidrología 1975.
7. K. P. POPPER: El universo abierto. Tecnos 1986.

Ceferino Alvarez Fernández



Doctor Ingeniero de Caminos, Ingeniero Civil por Francia, licenciado ICADE, Consultor del Banco Mundial y UNESCO.

Ha intervenido en numerosos estudios, conferencias y publicaciones sobre Recursos Hidráulicos. Desarrolló su actividad profesional en el campo de Agua en empresas privadas en España y en el extranjero fue director de proyectos de la UNESCO en Brasil. Participó en varios trabajos de organismos oficiales sobre aguas subterráneas y planificación hidráulica.