

PANORAMA ACTUAL DE LOS ESTUDIOS HIDROMETEOROLOGICOS

ROBERTO M. QUINTELA

Servicio Meteorológico Nacional

Se hace una síntesis histórica del desarrollo de la hidrología y su vinculación con la meteorología, incluyéndose algunos valores que ilustran acerca del volumen de agua disponible en nuestro planeta.

Se pone de relieve la acción de las organizaciones internacionales en la materia, en especial la UNESCO (a través del Decenio Hidrológico Internacional), la Organización Meteorológica Mundial y la Asociación Internacional de Hidrología Científica. A continuación, se reseña la intensa actividad que se desarrolla en la Argentina, y la intervencionalización entre los organismos específicos, puntualizándose los campos de acción en que existe carencia de información básica y elaborada.

Por último, se indican a juicio del autor, los estudios y trabajos que deberán encararse o intensificarse en nuestro país en los próximos años en el campo de la hidrometeorología.

This paper is concerned with a brief historical review about the development of Hydrology and its relationship with Meteorology, giving also the volumen of water available in our planet by means of some values.

Furthermore, the roles played by international organizations are analyzed, in particular those of UNESCO (through the International Hydrological Decade), the World Meteorological Organization and International Association of Scientific Hydrology. Later, the author gives an account on the intense activity of the development in Argentina and also stresses the lack of basic and elaborated data in order to foresee the occurrence of critical events.

Finally, this paper presents the studies in the field of Meteorology that, in the author's opinion, should be carried out in our country in the forthcoming years.

I. INTRODUCCION

Los antiguos escritores griegos y romanos nos dicen que esos pueblos aceptaban los océanos como el origen primario de todas las aguas, pero no llegaron a comprender la compensación de la precipitación con el escurrimiento, la infiltración, la evapotranspiración y el almacenaje en el suelo. Es decir no conocían la mecánica del ciclo del agua tal cual hoy la comprendemos. Una de las ideas antiguas era que el agua del mar avanzaba subterráneamente hasta la base de las montañas; allí por destilación natural perdía la sal y el vapor ascendía por los manantiales. Leonardo Da Vinci (siglo XVI) parece que fue uno de los primeros en reconocer el ciclo hidrológico y el francés Perrault fue el que dejó la prueba documental hacia 1650. Empleando instrumentos rudimentarios midió el caudal del Sena y observó que era sólo la sexta parte de la precipitación. Hacia 1700 el astrónomo inglés Halley confirmó que la evaporación de los océanos era el productor fundamental de humedad atmosférica.

La precipitación se midió en la India en el siglo IV a. de J.C. pero los métodos de medición de caudales se desarrollaron mucho después. Frontinus, comisario del agua de Roma en el año 97 d. J.C., basaba la estimación del caudal en el área de la sección transversal solamente. En los EE.UU. de Norteamérica, las mediciones organizadas de la precipitación comenzaron en 1819, en la Sanidad Militar, las continuó en 1870 el Signal Corps, y desde 1891 están a cargo del Weather Bureau. Mediciones aisladas de caudal se efectuaron en el Missisipi pero no se inició un programa sistemático hasta 1888, al hacerse cargo de esta tarea el Geological Survey.

La gran actividad y el gran impulso de la hidrología en el mundo es relativamente reciente. Ven Te Chow, el hidrólogo chino-americano fija el año 1930 como hito de la hidrología experimental, y a 1950, como la fecha inicial de la hidrología científica. Mucho se ha discutido acerca de la ubicación de la hidrología en el marco de las ciencias; tradicionalmente ha sido manejada por los ingenieros hidráulicos, pero hoy puede afirmarse que es típicamente multidisciplinaria: meteorólogos, geólogos, agrónomos y especialistas en ciencias conexas contribuyen en todo el mundo a su desarrollo.

Para dar una idea clara y objetiva sobre la importancia de los estudios encuadrados en el campo de la hidrología científica y aplicada, nada más oportuno que recordar algunas cifras relacionadas con el volumen de agua disponible en nuestro planeta y del involucrado en sus transformaciones.

Hoy sabemos que la atmósfera contiene (en promedio) vapor de agua equivalente a 13.000 km^3 de agua, cantidad que si precipitara totalmente cubriría la Tierra con una lámina de 2,5 cm. de espesor. Esta pequeña cantidad de vapor en relación al volumen total de agua, produce grandes precipitaciones porque existe renovación constante (cada molécula de H_2O solo permanece en la atmósfera de 8 a 10 días, lo que ha podido comprobarse con determinaciones mediante isótopos radiactivo).

Se ha calculado que el 97% del volumen mundial de agua está en el mar. El ciclo hidrológico es el gran mecanismo de la desalinización de la naturaleza, que convierte el agua de mar en vapor de agua, y a este en agua pura que cae sobre la Tierra.

El calor solar evapora anualmente 350.000 Km³ de agua de los océanos, y 70.000 Km³ de los continentes. Este total vuelve a precipitarse a través de distintos mecanismos, llegando a los continentes unos 100.000 Km³ (1) parte sustancial de los cuales reingresa al ciclo por evaporación y escurrimiento.

Del 3% restante del volumen mundial de agua, que corresponde al agua pura, una proporción aproximada de tres cuartos está bloqueada en los hielos perpétuos y un considerable porcentaje del resto se halla bajo el suelo. Es decir, solo una pequeñísima proporción del agua "terrestre" alimenta el ciclo hidrológico.

En cualquier momento, los lagos y los ríos del mundo no contienen más que un tercio del 1% del agua pura y la atmósfera contiene tan solo un décimo de esa pequeña proporción.

Esta rápida imagen puede interpretarse erróneamente. Es cierto que, en un momento dado, la atmósfera contiene solo una proporción relativamente pequeña de las aguas terrestres, pero el aire que rodea la Tierra está en continuo movimiento y puede transportar, en un período determinado, un enorme volumen de agua. Por ejemplo: en una semana normal del mes de Enero, la atmósfera transporta 18.000 millones de metros cúbicos sobre la seca extensión de Cuyo, es decir, un volumen igual al caudal del Río Negro. En realidad, toda el agua que alimenta nuestros lagos, ríos y pozos ha de pasar por la atmósfera para volver a la Tierra desde el mar. Por consiguiente, el caudal de los ríos y de las aguas subterráneas, de las que dependemos está regulado por procesos atmosféricos, que a consecuencia de la dinámica de la atmósfera, están muchas veces alejados, tanto en el tiempo como en el espacio, de los pozos o de los cursos de agua de que nos servimos.

Sobre el proceso así descrito quedan aún muchas incógnitas por develar, en especial en el aspecto cuantitativo. En ese sentido, y como una muestra del déficit de conocimientos que poseemos, obsérvese que solo el 50% del caudal fluvial del mundo ha sido aforado directamente. El Amazonas se aforó recién en 1963, dando un gasto medio de 175.000 m³/s., valor este dos veces mayor que el que se había estimado.

II. SITUACION MUNDIAL

En el ámbito internacional, varias son las organizaciones que se ocupan de hidrología. La Organización Meteorológica Mundial (OMM) (heredera desde 1950 de la Organización Meteorológica Internacional —OMI— organismo no gubernamental, que tenía su Comisión de Hidrología) asume responsabilidades en el campo de estudios hidrológicos en su IV^o Congreso de 1956, aunque solo en su fase atmosférica. Crea así la Comisión de Meteorología Hidrológica (MH), transformada luego en Comisión de Hidrometeorología y, últimamente, en Comisión de Hidrología.

¹ *Cifra un millón de veces mayor que la producción industrial actual de agua desalinizada.*

A partir del 1º de enero de 1965 la UNESCO inicia y pone en ejecución un programa de trabajos y estudios a nivel mundial, denominado Decenio Hidrológico Internacional. Prácticamente todos los países del mundo intervienen en este gran evento y se anticipa ya que el mismo no terminará en 1974 sino que se extenderá a más largo plazo, probablemente bajo otra denominación. En la Conferencia de la mitad del Decenio, realizada en París en diciembre de 1969 se efectuó el primer balance global de lo ya realizado y se fijaron las pautas para la acción futura. Paralelamente, la OMM advierte la necesidad de operar activamente en hidrología y convoca recientemente (octubre 1970) a una conferencia técnica, en Ginebra (Suiza) donde se encuentra su sede central. Se echan las bases así de una delimitación del campo de cobertura de ambas agencias internacionales, una a través de los servicios meteorológicos de los países miembros y la otra en conexión con los diversos organismos nacionales que se ocupan de problemas hídricos.

Por otro lado la Asociación Internacional de Hidrología Científica, integrante de la Unión Geodésica y Geofísica Internacional (UGGI), organismo no gubernamental, tiene activa participación en aspectos no aplicativos. La Asamblea General realizada en varias ciudades de Suiza, en 1967, reúne a numerosos especialistas que presentan importantes trabajos en la materia; en agosto de 1971 se realizó en Moscú otra Asamblea General, ensamblada en el tiempo con un Simposio sobre Modelos Matemáticos en Hidrología, celebrada en Varsovia (Polonia). También el Congreso Internacional de Uniones Científicas ha creado, no hace mucho tiempo, el COWAR (Comité on Water Research), dedicado a promover estudios científicos.

Otras entidades internacionales que se ocupan de hidrología, en el marco de sus especialidades son: la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO), en hidrometeorología agrícola; la Agencia Internacional de Energía Atómica (ATEA) en isótopos radiactivos en hidrología; la Organización Mundial de la Salud (OMS) sanidad hídrica; y la Asociación Internacional de Investigaciones Hidráulicas (AIH), en lo que concierne a la aplicación de la hidrología a obras hidráulicas (fluvial, marítima, grandes presas, etc.).

Contribuyen además al conocimiento del recurso agua, a nivel mundial, en diversas áreas especializadas, la Asociación Internacional de Hidrogeólogos, la Asociación Internacional de Meteorología y Física de la Atmósfera, la Asociación Internacional de Limnología Aplicada, la Comisión Internacional de Ingeniería Agronómica, la Asociación Internacional de Oceanografía Física, la Comisión de Riego y Drenaje, la Comisión de Grandes Presas, la Oficina Hidrográfica Internacional, la Asociación de Abastecimiento de Agua y el Centro de Desarrollo de Recursos Hídricos.

En el sector específico de la hidrometeorología, la Organización Meteorológica Mundial ha organizado un eficaz sistema de coordinación intergubernamental, y lleva actualmente a cabo un amplio programa de asistencia técnica, colaborando asimismo con otros organismos internacionales en la preparación de proyectos de investigación sobre recursos hidráulicos, como parte de las actividades del Decenio Hidrológico Internacional.

III. SITUACION NACIONAL

En nuestro país existen registros sistemáticos pero aislados de observaciones pluviométricas desde principios del siglo XIX; series continuas de algunos observatorios desde 1872, fecha de creación por Sarmiento de la Oficina Meteorológica, base del actual Servicio Meteorológico Nacional (SMN). En lo que respecta a la información hídrica superficial y subterránea el registro se inicia a principios de este siglo. Observaciones de evaporación en tanques desde la década del 30 y estudios experimentales sistemáticos desde hace 15 años.

Puede decirse sin temor a error que luego de los pioneros, dos grandes figuras contribuyeron fundamentalmente al nacimiento de la Hidrometeorología en nuestro país: los ingenieros Galmarini y Ballester; el primero, desde la Dirección General de Meteorología, Geofísica e Hidrología, el segundo, al frente de la Dirección General de Irrigación.

Agua y Energía Eléctrica, la Dirección Nacional de Minería y Geología, la Dirección General de Obras Portuarias y Vías Navegables, las Universidades, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria y las Direcciones de Hidráulica de las provincias, mantienen y acrecientan esos esfuerzos, muchas veces ingentes e incomprensidos por los niveles de decisión.

A partir de la década del 50 nuestro país sufre, sin embargo, un estancamiento relativo en hidrología y fundamentalmente en hidrometeorología, en función de una alarmante dispersión de esfuerzos, de hombres, y de métodos. Los técnicos que se ocupan del problema cobran conciencia de este hecho, pero lamentablemente durante un período relativamente largo poco pueden hacer para remediarlo por sus escasas posibilidades de acción a nivel de decisión. Los Congresos Nacionales del Agua y la creación del Comité Coordinador de Actividades Hidrológicas (CCAHA) dependiente del Consejo Interprovincial de Ministros de Obras Públicas (CIMOP) son eventos tendientes a remediar esta situación. Como puede advertirse, igual que en tantos acontecimientos similares en nuestro país, las provincias convergen hacia Buenos Aires para alertar al gobierno nacional sobre una política hídrica sin una programación coherente y racional, base fundamental de nuestro desarrollo económico. La creación de la Subsecretaría de Estado de Recursos Hídricos (SERH) es la respuesta concreta a esas inquietudes y debe esperarse, que su cometido se ajuste a cubrir acertadamente los fines de promoción, desarrollo y encauzamiento de la actividad hídrica en el país.

Por otra parte es sabido que el Consejo Federal de Inversiones (CFI) y agencias internacionales especializadas de las Naciones Unidas (NU), Consejo Económico para la América Latina (CEPAL), el Banco Mundial, el BID, etc., han contribuído, no siempre en la medida de lo deseable, a encarar estudios y realizar obras en el quehacer hídrico argentino.

En la Argentina, existe actualmente una cooperación muy activa entre los organismos estatales ya citados, entre sí y por convenios con empresas privadas, para la corrección de planes de acción y de estudios de indudable interés tendientes al desarrollo de los recursos naturales del país.

IV. CONCLUSIONES

Cabe señalar que el mejoramiento de las actividades (operativas y de investigación), a nivel mundial, regional y nacional, tiende a cubrir necesidades ineludibles del desarrollo de los recursos de agua para satisfacer fundamentalmente:

- a) la necesidad creciente de agua potable para bebida, riego y consumo familiar e industrial.
- b) la producción de energía de origen hídrico.
- c) el control de inundaciones.
- d) la prevención de la contaminación ambiental, incluyendo la hídrica.

Una de las deficiencias fundamentales que aún debemos afrontar es la escasa cantidad de datos básicos, en situaciones críticas. Maximizar los procesos que ocurren en la naturaleza (precipitaciones y caudales) para poder prever la ocurrencia de situaciones críticas en el futuro, es uno de los problemas más importantes e inciertos que debe abordar el hidrólogo. En la Rep. Argentina, p. ej., los estudios a que dio lugar el aluvión que destruyó el dique Frías, en la ciudad de Mendoza, mostraron escasez de información y calidad no siempre óptima de la existente. Algunos de los defectos observados fueron: carencia de datos pluviométricos en cantidad suficiente como para trazar sin dudas el campo de isolíneas de precipitación; falta de homogeneidad de los registros; utilización parcial del radar meteorológico instalado en San Martín (Mendoza) y registros insuficientes o discontinuos.

Otro ejemplo que ilustra acerca de las dificultades emergentes de la falta de información adecuada, es la controversia existente entre los especialistas sobre la predicción de los caudales de los ríos andinos, en base al estudio de las precipitaciones. Se observa una gran correlación entre los promedios móviles de las precipitaciones en Santiago de Chile (más de cien años de observaciones) y los caudales en el río San Juan, por ejemplo constatándose una disminución en los últimos 30 años. Pero esa sola correlación no autoriza, a juicio del autor a extrapolar hacia el futuro, pues se trata de armónicas de período muy largo, que exceden la longitud de los registros existentes si se estudian las curvas en el pasado se observa que hay períodos en que los promedios crecen y otros en que disminuyen, sin que pueda preverse la periodicidad de los mismos.

Estos ejemplos, que son típicos de la región cuyana, ponen en evidencia una vez más lo imperioso de contar con una red observacional homogénea y de alta calidad, asociada a métodos de procesamiento electrónico que garanticen la disponibilidad del dato en tiempo útil, e integrada con radiosondeos regulares con intercambio dinámico de datos (en este caso, con Chile) y fundamentalmente que se realicen estudios hidrometeorológicos completos con medios adecuados.

Debe señalarse la enorme trascendencia que en un futuro próximo tendrá para la hidrología el empleo de sensores remotos en satélites meteorológicos. Programas mundiales de gran magnitud, como el denominado Global Atmospheric Research Program (GARP) pondrán a disposición de todos los países una cantidad extraordinaria de datos que, aunque con el propósito primario de formular

pronósticos numéricos, acrecentarán sin duda el acervo en el conocimiento hidrológico. Nuestro problema será el tener los medios adecuados para procesar esa enorme información proveniente de globos a gran altura y de satélites artificiales. La vigilancia Meteorológica Mundial y el Eolo son otros programas de investigación que influirán a corto plazo en el desarrollo de nuestras redes de observación, en los métodos de procesamiento e, incluso, en el tratamiento de los estudios teóricos vinculados a la hidrometeorología.

En nuestro país será necesario realizar un amplio plan de estudios dentro del marco del Decenio Hidrológico Internacional y de la Vigilancia Meteorológica Mundial. Algunos de esos estudios son:

- 1) Investigación integral de la evaporación en superficies libres (determinación directa y cálculo indirecto, estudios comparativos, por balance de radiación y de masas) y Evapotranspiración.
- 2) Balance del flujo de vapor de agua en la atmósfera por el método de Palmen;
- 3) Transferencia de masa y transmisión de calor en la capa baja;
- 4) Estudios sobre regímenes de precipitación;
- 5) Balances hídricos de cuencas;
- 6) Estudios sobre lluvias intensas de corta duración;
- 7) Influencia de las precipitaciones sobre el derrame;
- 8) Determinación de precipitación media durante tormentas, por medio de radar;
- 9) Influencia de factores meteorológicos en las variaciones de nivel, cantidad y temperatura de las aguas;
- 10) Oscilaciones de la capa freática por factores meteorológicos;
- 11) Estudios sobre aplicación de instrumental automático;
- 12) Investigaciones sobre pronósticos hidrometeorológicos;
- 13) Seiches;
- 14) Estudios glacionivológicos y su relación con el derrame;
- 15) Precipitación máxima probable y transposición de tormentas;
- 16) Estudios limnológicos y su vinculación con meteorología;
- 17) Estudios con isótopos radiactivos.

Con referencia a la utilización de radioisótopos en hidrología, se vislumbra su creciente importancia, tanto en lo que respecta al uso de trazadores radiactivos y estables como a la medición de densidad y humedad en suelos y estratos, con instrumental especial.

BIBLIOGRAFIA

Berry E., Bollay, E. y Beers, W. R., 1945: Handbook of Metereology Mc Graw Hill New York.

Bruce, J., y Clark, R., 1964: Introduction to Hydrometeorology, Pergamon Press, New York.

Consejo Federal de Inversiones, 1961: Recursos hidráulicos superficiales. Evaluación de los recursos naturales de la Argentina, Buenos Aires.

Galmarini, A. y Raffo, J. M., 1963: Condiciones de aridez y humedad en la República Argentina.

Grupo conjunto CEPAL-CFI, 1964: Los recursos hidráulicos en la Argentina, Buenos Aires.

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA): Diversas publicaciones seriadas del Instituto de Suelos y Agrotécnia, Revista IDIA.

Meteóros, 1950-1955: Varios artículos, Servicio Meteorológico Nacional, Buenos Aires.

Meteorológica, 1969-1973: Varios Artículos. Centro Argentino de Meteorólogos. Buenos Aires.

Organización Meteorológica Mundial (OMM): Diversas publicaciones técnicas y científicas.

Organización Meteorológica Mundial (OMM): Guía de prácticas hidrometeorológicas. Ginebra.

Quintela, R., Medina, L. y Piazza, L., 1970: Contribución al conocimiento del régimen de evaporación en la Argentina. Buenos Aires.

Subsecretaría de Recursos Hídricos: Diversos documentos del Comité Intergubernamental de Información Hídrica.

Unión Geodésica y Geofísica Internacional (UGGI): Publicaciones de Asambleas Generales.

Ven-Te-Chow, 1964: Handbook of applied hidrology. Mc Graw Hill., New York.

Wiesner, C. J., 1970: Hydrometeorology. Chapman and Hall.