

de agua en los conos aluviales y para construir diques de control de sedimentos en los cañones de las corrientes afectadas por los flujos torrenciales de 1999. Los planes originales y los proyectos de diseño recomendaban estructuras hidráulicas de hormigón, pero el Gobierno decidió construirlas de gaviones (una malla rectangular de alambre de acero rellena de grava y adoquines). Hasta el momento, se han construido 18 diques en las corrientes que drenan el Monte Ávila en el Estado de Vargas.

Actividades de investigación

Se ha creado una cuenca experimental en el Monte Ávila para observación hídrica y de sedimentos. El Sistema de Observación de San José de Galipán consta de una red de pluviómetros distribuidos en la cuenca, una red de medidores del nivel del agua en las corrientes y el uso de diques de captación de sedimentos para vigilancia de sedimentos y muestreo del material del cauce. El objetivo general es recoger datos hídricos y de sedimentos para estudiar e investigar el mecanismo de la formación de flujos de detritos y de transporte de sedimentos en zonas de montaña. Los objetivos específicos son: obtener relaciones entre la precipitación y la producción de sedimentos; calibrar modelos matemáticos de flujo y de transporte de sedimentos; y mejorar el diseño de medidas de mitigación contra los flujos de sedimentos.

Conclusiones

El Gobierno ha dado pasos para poner en marcha estrategias para reducir los efectos perjudiciales de los episodios de flujos de detritos. Sin embargo, se necesi-

tan esfuerzos adicionales para crear regulaciones de uso del suelo y hacer cumplir la ley para evitar que se vuelvan a ocupar zonas sujetas a un alto grado de riesgo. Se debe prestar especial atención al desarrollo de una red de control de la precipitación, acoplada con un sistema de aviso temprano para el Monte Ávila. Tal vez no podamos evitar que vuelvan a producirse de nuevo corrimientos de tierra, crecidas repentinas y flujos de detritos en el estado de Vargas, pero podemos estar mucho mejor preparados para evitar que estos riesgos naturales se conviertan en desastres.

Referencias

- GARCÍA, R., J.L. LÓPEZ, M. NOYA, M.E. BELLO, M.T. BELLO, N. GONZÁLEZ, G. PAREDES, M.I. VIVAS y J.S. O'BRIEN, 2003: "Hazard mapping for debris flow events in the alluvial fans of northern Venezuela", Tercera Conferencia Internacional sobre Riesgos de Flujo de Detritos, Mitigación: Mecánica, Predicción y Evaluación, Davos, Suiza, 13-15 de septiembre de 2003.
- HUMBOLDT, Alejandro de, 1985: *Viaje a las Regiones Equinociales del Nuevo Continente en los años de 1799 a 1804* (edición de 1985), Caracas-Venezuela: Monte Ávila Editores.
- LÓPEZ, J.L., D. PÉREZ y R. GARCÍA, 2003: "Hydrologic and geomorphologic evaluation of the 1999 debris flow event in Venezuela", Tercera Conferencia Internacional sobre Riesgos de Flujo de Detritos, Mitigación: Mecánica, Predicción y Evaluación, Davos, Suiza, 13-15 de septiembre de 2003.
- SARDI, V., 1959: "Gastos máximos de los ríos y las quebradas del litoral central", Colegio de Ingenieros de Venezuela, Revista N.º 275, Febrero.
- WIECZOREK, G.F., M.C. LARSEN, L.S. EATON, B.A. MORGAN y J.L. BLAIR, 2002: "Debris-flow and flooding hazards associated with the December 1999 storm in coastal Venezuela and strategies for mitigation", Open File Report 01-0144, USGS.

Examen de una red hidrológica nacional—el caso de Noruega

Por A. TOLLAN, S. HARSTEN, L.E. PETERSSON y L.A. ROALD*

Historia de la red

Los inicios

La evaluación de los recursos hídricos es fundamental para el desarrollo económico de cualquier país —y las redes hidrológicas son fundamentales para cualquier

evaluación de recursos hídricos—. La lógica de estas declaraciones debería haber garantizado que las redes nacionales de estaciones hidrológicas se hubieran considerado siempre prioritarias. Como sabemos bien, raramente es así.

En el caso noruego, la recogida de datos hídricos ha estado íntimamente asociada al desarrollo de la energía hidroeléctrica, pero las raíces son más profundas. Ya en 1813 se creó una Inspección Real de Canales

* Dirección Noruega de Energía y Recursos Hídricos, Oslo (<http://www.nve.no>). Correo electrónico del autor principal: tol@nve.no

y Puertos en el Sur de Noruega (y, en 1815, para todo Noruega), estando entre sus tareas la reducción del daño por crecidas (todavía siguen vivos los recuerdos de una inundación catastrófica que afectó en 1789 al sur de Noruega). Fue la primera gestión institucionalizada de ríos en Noruega, y las primeras medidas sistemáticas de niveles hídricos tuvieron lugar entre 1824 y 1827. Las medidas continuas de altura de agua empezaron en la década de 1840 y los medidores de corriente se introdujeron en 1858. La aprobación para empezar "estudios sistemáticos" de las condiciones hidrológicas de Noruega se dio en 1881. El Parlamento decidió en 1894 financiar las investigaciones hidrológicas y, el año siguiente, en 1895, se organizó un departamento hidrológico ("hidrográfico", según la terminología de la época) y se nombró el primer hidrólogo del nuevo servicio hidrológico nacional. Durante los 20 ó 30 años siguientes se produjo un rápido crecimiento de la red hidrológica.

Una directiva ministerial que regula el trabajo de la actual Dirección Noruega de Energía y de Recursos Hídricos (NVE) data de 1921, y pide a la NVE "llevar a cabo investigaciones hidrológicas y de otro tipo y también recoger y procesar material para lograr un mayor conocimiento sobre los cursos de agua del país". A partir de ahora, el Departamento de Hidrología de la NVE aparece abreviado como DH.

Base legal para el desarrollo de la red

Alrededor del año 1900, la energía hidroeléctrica se convirtió en la fuerza motriz de la economía nacional y aumentó rápidamente la demanda de datos hidrológicos. La Ley de Regulación de los Cursos de Agua de 1917 fue especialmente importante. Pide a la industria hidroeléctrica con concesiones para desarrollar los recursos hídricos, que lleve a cabo dichas investigaciones hidrológicas como la autoridad central, es decir, la NVE, considere necesario, y que suministre a las autoridades los datos y otros resultados de manera gratuita. Esta base legal única ha hecho posible una red hidrológica nacional con una densidad, una continuidad y un nivel tecnológico muy satisfactorios, en general. Este mecanismo creó una estructura donde la mayoría de las estaciones hidrológicas no son propiedad del DH que, sin embargo, tiene completo acceso a los datos. De hecho, los propietarios de las estaciones pagan al DH para que lleve a cabo una parte importante del trabajo de campo necesario y del proceso de datos. Desde 1977

los servicios hidrológicos pagados han sido una parte regular de la economía del DH y dan trabajo, aproximadamente, a un tercio de la plantilla, que consta de 80 trabajadores.

La legislación posterior (de 2000) amplía los requisitos similares de recogida de datos a todas las actividades relacionadas con el agua que requieren autorización, con el fin de documentar los cambios en el medio ambiente natural.

Estado actual

Los parámetros relacionados con el agua que recoge actualmente el DH abarcan la fase terrestre del ciclo hídrico completamente, y pueden agruparse de la siguiente manera:

- Niveles y caudal de agua.
- Temperatura del agua y hielo sobre lagos y ríos.
- Transporte de sedimentos.
- Nieve y glaciares.
- Humedad del suelo y agua subterránea.

La política del DH es cubrir los aspectos cuantitativos del agua y sólo se crean estaciones de calidad del agua para medir elementos físicos de calidad, tales como temperatura del agua, concentraciones de sedimentos y, en casos seleccionados, conductividad eléctrica.

El tamaño de las redes hidrológicas nacionales puede ilustrarse de la siguiente manera:

- El tamaño de las redes hidrológicas nacionales puede ilustrarse de la siguiente manera:
- 1 500 estaciones de niveles y caudal de agua, de las cuales más de 300 están equipadas con registradores electrónicos y/o para transferencia automática de datos (más de 100) (véase la Figura 1).
- 400 estaciones de temperatura del agua y hielo, incluidas verticales de temperatura en lagos y grosor del hielo.
- 30 estaciones de transporte de sedimentos, equipadas en general con medidores automáticos, siendo analizadas las muestras en los propios laboratorios del DH.
- Las medidas de equilibrio de masa de los glaciares se realizan en 14 glaciares. El equivalente en agua de la nieve se registra en 24 sitios con colchones de nieve, además de la estimación convencional de la nieve y la teledetección.
- La humedad del suelo se mide en unas 10 localizaciones y el agua subterránea (niveles, temperatura, profundidad del suelo helado, muestreo

La futura red hidrológica noruega debería incluir todos los elementos de la fase terrestre del ciclo hídrico. Debería abarcar todo el país y representar todos los tipos de medios acuáticos. Nuestra visión es desarrollar una red de clase mundial. Se está alcanzando este objetivo mediante la aplicación de un conjunto de criterios para mantener o abandonar las estaciones existentes e instalar nuevas. La modernización tecnológica y la flexibilidad para satisfacer las necesidades futuras de datos son parte de la receta.

químico) en unas 80 estaciones, en cooperación con el Reconocimiento Geológico de Noruega.

No basta sólo con hacer observaciones. Debe controlarse la calidad de los datos, almacenarlos, analizarlos y facilitarlos a los usuarios. La gestión de las bases nacionales de datos hidrológicos es, por lo tanto, una importante tarea del DH. El sistema nacional de bases de datos hidrológicos, HYDRA II, consta tanto de datos de observación como de software para análisis. Incluso los datos de estaciones creadas como parte de las condiciones para la concesión de una licencia son considerados públicos, aunque el propietario de la estación pueda ser una compañía privada. Los datos públicos están generalmente disponibles para el acceso directo de los clientes. Los datos en sí mismos son gratis, pero se pagan sumas simbólicas por su manejo.

Necesidad de cambio

Uso de los datos

La fuerza motriz para recoger datos hidrológicos es, por supuesto, la necesidad de buena salud y seguridad, trabajo, comida y energía. Por lo tanto, es fundamental evaluar la necesidad de datos para instalar o abandonar estaciones. Se identificaron algunos grupos importantes:

- *Cartografiado* de las características estadísticas de los parámetros hidrológicos en el espacio y en el tiempo, para evaluar el régimen y la tendencia y para simular la hidrología en puntos sin mediciones. Esta necesidad exige observaciones a largo plazo y de alta calidad bajo condiciones no reguladas por todo Noruega. El desafío incluye el funcionamiento de la estación hidrométrica más septentrional del mundo, Bayelva, en las islas Svalbard, a 78°N.
- *Desarrollo tecnológico y económico*: el desarrollo de la energía hidroeléctrica a gran escala ha sido el principal usuario de datos durante más de 100 años y la producción eléctrica de Noruega es hidroeléctrica en un 99,5 por ciento. Los datos hidrológicos para fines de planificación y de control eran especialmente necesarios en las grandes y montañosas cuencas del interior, donde están situados los pantanos y las plantas de producción. En los últimos años está creciendo en importancia la pequeña energía hidroeléctrica (al igual que la mini y la micro) y las necesidades de datos están cambiando para incluir a las cuencas fluviales más pequeñas. La nueva actividad industrial de las piscifactorías a lo largo de la costa y las necesidades de los asentamientos y de las ciudades atraen el centro de atención en la misma dirección, de las montañas interiores a las tierras bajas costeras.

- *La seguridad nacional* frente a los daños por inundaciones es una preocupación importante y el DH lleva 40 años emitiendo alertas de crecidas. Desde 1989 la predicción del flujo fluvial es un servicio que se presta todo el año y para todo el país. Hay una gran necesidad de datos en tiempo real. Los estudios de crecidas y de sequías necesitan que se recojan datos a largo plazo.
- *El control del medio ambiente* tiene varios fines, entre otros: las alertas tempranas, el control de que se cumplen las leyes y las evaluaciones de impacto. Las necesidades de datos tienen que coordinarse con los programas químicos y biológicos de recogida de datos. La aplicación de la directiva marco de agua de la Unión Europea está planteando nuevos desafíos.
- *Las demandas internacionales de datos* comprenden el intercambio de éstos a través de las fronteras con los países vecinos, y también la presentación de datos en el marco de convenios internacionales. La descarga de agua y de sustancias desde los ríos noruegos a los océanos es asimismo muy importante.

Oportunidades tecnológicas

Se tendrán en cuenta las mejoras recientes (y no tan recientes) en los equipos de detección y en los equipos de tratamiento de datos. Algunos ejemplos:

- *Medidas de caudal*, utilizando variantes de la tecnología acústica Doppler. Esto ha ofrecido nuevas posibilidades para situar estaciones, y el personal de campo trabaja de forma más segura.
- *Los registradores de canal múltiple* permiten situar sensores para una amplia serie de datos.
- *Los datos de teledetección* deberían integrarse en las bases de datos hidrológicos, pero pueden requerir observaciones desde tierra. La vigilancia de lugares importantes con cámaras conectadas a Internet complementará las técnicas tradicionales de control y se está poniendo en uso de forma lenta.
- *Los sistemas de información geográfica (SIG)* ofrecen notables posibilidades de combinar el almacenamiento y la presentación de la información cartografiada, pero son menos adecuados para presentar y analizar series temporales largas.

Cambios externos

Los hidrólogos no trabajan aislados. Nuestra profesión se ve muy afectada por los cambios de la sociedad que nos rodea, nacional e internacional. Algunos de dichos cambios tendrán efectos claros en el diseño de la red.

En 1991 Noruega introdujo un mercado nacional abierto para la energía, siendo uno de los primeros

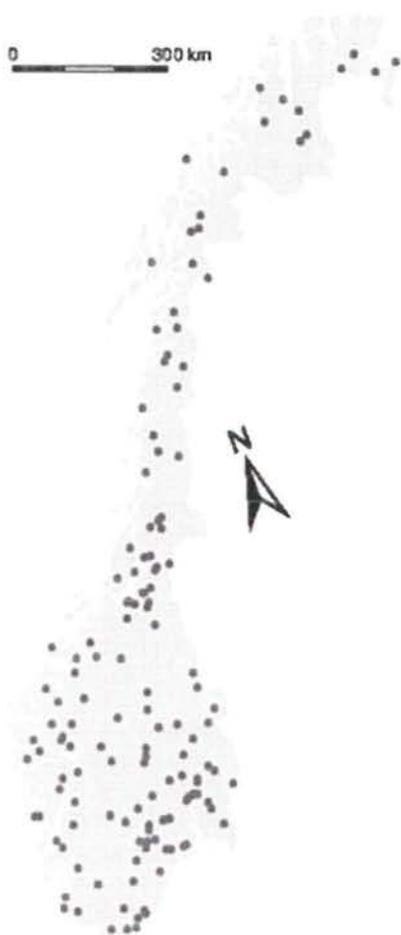


Figura 1 — Red nacional de estaciones hidrométricas que informan de niveles hídricos en tiempo real

países del mundo en hacerlo. De forma gradual, esta forma de liberalización ha acabado incluyendo los mercados energéticos de nuestros vecinos nórdicos y de otros países del noroeste de Europa. Esto ha significado una gran atención sobre el control de los niveles y la predicción de los flujos de entrada de los pantanos hidroeléctricos. También ha introducido algo de secretismo por parte de las compañías eléctricas en lo que respecta a los datos del estado de los pantanos y de la cubierta de nieve. Dicho secretismo está claramente reñido con las necesidades públicas de datos utilizados en la predicción de crecidas y para una visión detallada de las perspectivas de suministro de energía. En la práctica, se acepta algún retraso en la emisión de los datos considerados sensibles para el productor de la energía, y las estadísticas publicadas semanalmente sobre los contenidos de los pantanos son cifras globales. Para evitar retrasos en el acceso público a los datos de nieve, el DH podría estudiar encargarse de una parte mayor de las estima-

ciones nacionales de nieve, pagadas hasta ahora por el sector hidroeléctrico.

La recientemente revisada Ley de Recursos Hídricos (2000) amplía el mandato de la NVE para solicitar la recogida de datos hidrológicos. Ya no está limitada a los promotores hidroeléctricos sino que se aplicará a todo aquel que necesite una licencia para explotar recursos hídricos. Dichas peticiones están justificadas por la necesidad de evaluar los posibles cambios en el medio ambiente natural. Queda por ver en qué medida se explotará esta nueva posibilidad de recogida de datos. La Ley de Recursos Hídricos también fortaleció el régimen legal para la gestión del agua subterránea y esperamos una demanda creciente de datos de agua subterránea.

La reciente directiva marco del agua de la Unión Europea, que entró en vigor el 22 de diciembre de 2000, será aplicable y se aplicará también en Noruega, aunque no sea miembro de la Unión Europea. Los requisitos de control de la directiva necesitarán una coordinación mejorada de las estaciones hidrométricas tradicionales con los programas de recogida de datos químicos y biológicos, bajo los auspicios de distintos organismos gubernamentales. La amplia aplicación de registradores de canal múltiple es una consecuencia práctica inmediata. La directiva de la Unión Europea ordena la organización de la gestión integrada del agua por cuencas hidrológicas, una decisión que entusiasma a los hidrólogos y que facilitará diseños sensatos de red.

Métodos analíticos

El análisis de la red se llevó a cabo a lo largo de un período de un año, y se emplearon herramientas variadas.

Análisis de datos hidrológicos

Se estudiaron los datos existentes y los mapas hidrológicos para identificar los gradientes regionales de los parámetros hidrológicos. Más aún, los escenarios de cambio climático, utilizados como entrada en los modelos de escorrentía, han indicado zonas donde se esperan tendencias muy marcadas a largo plazo. Dichos análisis regionales han guiado la toma de decisiones sobre la necesidad de una mayor densidad de la red.

Opiniones de los expertos

El análisis de la red ha involucrado a casi toda la plantilla profesional y técnica del DH. El director del DH y el gestor superior ofrecieron asesoramiento y apoyo, la coordinación estuvo en manos de un grupo de trabajo y los trabajadores responsables de tipos particulares de datos o de redes regionales tomaron parte activa en la planificación. El amplio compromiso de muchos ha sido garantía para que el resultado sea equilibrado. Se consultó a los usuarios de servicios hidrológicos como

parte de las evaluaciones generales de la NVE llevadas a cabo de vez en cuando. Las respuestas reflejan una satisfacción bastante general con el diseño de la red y con la disponibilidad de datos, pero los costes implicados en el funcionamiento de campo de las redes se consideran con frecuencia demasiado altos.

Criterios para mantener o abandonar las estaciones

Las estaciones con datos de poca calidad o en los que lograr una calidad alta implicará unas inversiones o unos costes de mantenimiento excesivamente altos son buenas candidatas para el cese. Para mantener las estaciones hidrológicas o para instalar nuevas se aplican los criterios siguientes:

- Localización en o cerca de las desembocaduras de ríos importantes o de afluentes principales. Son importantes para estimar la escorrentía y el transporte de material al mar.
- Localización en ríos internacionales, que permiten estimar el caudal transfronterizo (hacia o desde Suecia, Finlandia y Rusia).
- Las series largas de datos son esenciales para estudios de tendencia, incluidos los efectos del cambio o la variación del clima, y también las estadísticas de extremos.
- Las estaciones regionales para estimar parámetros hidrológicos en cuencas sin medidas.
- Las estaciones adecuadas para estudios científicos de procesos hidrológicos, ya sean naturales o inducidos por el hombre, por ejemplo en zonas urbanas. Dichas estaciones pueden necesitar datos de mayor resolución.
- Las estaciones necesarias para predicción de crecidas y preparación frente a ellas. Dichas estaciones necesitan transmisión automática de datos en tiempo real.
- Estaciones para controlar que se cumplen las condiciones bajo las que se ha otorgado una licencia, o como partes de programas de control medioambiental.
- Estaciones que suministran datos indispensables para interpretar otros datos u observaciones.
- Intereses especiales, por ejemplo equilibrio de masa y movimiento de glaciares, e hidrología de lagos grandes sin regular.

Resultados

Clasificación de las estaciones

Se han examinado los sistemas anteriores de clasificación de estaciones y ello ha llevado a una clasificación sencilla en:

- Largo plazo (principalmente estaciones "de cota").

- Basadas en proyectos (investigaciones limitadas espacial y temporalmente).
- Relacionadas con operaciones (instalaciones técnicas, vigilancia del cumplimiento de leyes, etc.).
- De mezcla (p. ej., medidas de pico de crecida, variaciones de la lengua de un glaciar).

Las estaciones básicas, que se consideran tan importantes para la sociedad que necesitan continuidad y la mejor tecnología disponible, deberían ser de propiedad estatal.

Ahorros en términos de redes reducidas

Al examinar las redes existentes, hemos considerado principalmente la calidad de las series de datos en términos de factores físicos, tales como controles estables y accesibilidad, y también la demanda de datos. En la actualidad hay menos demanda de datos hidrológicos de zonas montañosas, que antes eran esenciales para planificar nuevas instalaciones de energía hidroeléctrica a gran escala.

La evaluación implicó la estimación crítica del valor futuro de las investigaciones hidrológicas nacionales de las estaciones una vez creadas para algún fin particular. Un ejemplo típico son las estaciones de caudal que apoyan prácticas locales de abono con cal en ríos y lagos acidificados. La responsabilidad de dichas estaciones se transferirá ahora a las autoridades locales.

Las estaciones creadas para controlar el cumplimiento de los flujos bajos en ríos regulados se mantendrán para vigilancia pública, pero con un funcionamiento simplificado. Dichos medidores se equiparán con un indicador fijo del nivel que siempre debería excederse y el propietario de la estación será responsable de la recogida y almacenamiento de los datos. Sólo en casos en los que las estaciones de flujo bajo sean necesarias para cálculos de escorrentía se mantendrán como parte de la red nacional (p. ej., en casos en los que el registro de flujo bajo junto con el caudal de una planta hidroeléctrica sumen el flujo total del río).

En total, la reducción propuesta de la red supone el cese de unas 90 estaciones de nivel hídrico o caudal. Los ahorros anuales en los costes operativos se estiman en unos 0,2 millones de \$ EE.UU. (1,5 millones de coronas noruegas).

Ampliación a zonas sin mediciones

Sin embargo, respondiendo a los cambios en las necesidades de datos, las redes se ampliarán en los próximos años para incluir cuencas de tamaño medio o más pequeño (de 10 a 100 km²) en ríos no regulados. Está previsto que este esfuerzo dé como resultado 60 nuevas estaciones de caudal. Para otros parámetros (temperatura del agua, agua del suelo y subterránea, nieve y glaciares) se espera un aumento neto en el número de



Figura 2 — Estación hidrométrica equipada con flotador, codificador óptico, registrador electrónico y panel fotovoltaico. La estación transmite los datos vía satélite. (Fotografía: Departamento de Hidrología de la NVE)

52

estaciones. Debido a que las demandas de datos son mayores para el diseño de pequeñas plantas hidroeléctricas, para el suministro de agua dulce para piscifactorías y para la infraestructura mejorada del abastecimiento de agua y la higiene, al igual que para el drenaje urbano, la mayor parte de estas nuevas estaciones estará situada en distritos costeros y en los fiordos. La inversión de capital en las nuevas estaciones excederá fácilmente lo que se ahorre al abandonar las viejas, pero la automatización implica menos trabajo de campo y un manejo más sencillo de los datos, lo que significará menores gastos operativos a largo plazo.

El interés particular en el archipiélago ártico de Svalbard está relacionado tanto con la soberanía noruega de las islas como con la importancia de estudiar los procesos hidrológicos bajo condiciones árticas. Por ejemplo, el permafrost hace que el agua subterránea se dé en acuíferos confinados. El ciclo de hielo-deshielo de la capa activa determina los índices de erosión y la susceptibilidad a los corrimientos de tierra.

Mejora tecnológica

La red hidrológica noruega ya está muy automatizada y una estación típica de caudal puede estar compuesta de un sensor de presión y de un registrador electrónico. La transmisión automática de datos utiliza tecnolo-

gía de telefonía móvil y, en lugares remotos, las estaciones funcionan por paneles solares (Figura 2). En paralelo con la modificación de la estructura de la red, se han desarrollado especificaciones para la próxima generación de registradores electrónicos y se han llevado a cabo negociaciones con los suministradores. El próximo registrador será de canal múltiple, robusto y resistente a la temperatura.

El acceso a los datos hidrológicos se está volviendo cada vez más sencillo, tanto para el público como para los usuarios profesionales. En Internet están disponibles, como un servicio WAP para teléfonos móviles o por suscripción de correo electrónico, datos seleccionados en tiempo real de niveles y caudal de agua (de 50 estaciones), niveles del agua subterránea y temperatura del aire. Los datos se actualizan dos veces al día. También están disponibles en Internet productos como el mapa nacional de escorrentía, un boletín hidrológico mensual y predicciones de caudal y alertas de crecidas (también en Teletexto y por correo electrónico directo con las autoridades responsables). Pagando, los clientes profesionales tienen una amplia variedad de productos de datos y de formatos electrónicos.

La tecnología de perfil acústico Doppler (ADP) se ha convertido en una alternativa muy utilizada a los sensores tradicionales en localizaciones difíciles. En particular, cerca de las desembocaduras de ríos, donde la medición tradicional puede ser un problema debido a los efectos de las mareas, pueden ser adecuadas las técnicas de ADP. En la actualidad, el alto coste es un inconveniente. Los medidores de corriente ADCP están complementando en la actualidad a los medidores de corriente tradicionales por razones de ahorro de tiempo y de seguridad.

En el DH se está desarrollando y probando en la actualidad un registrador acústico de transporte de carga de lecho. El espectro acústico (frecuencia y amplitud) de los cantos rodados, las piedras y la arena moviéndose a lo largo de los lechos fluviales, puede interpretarse en términos de transporte cuantitativo.

Una parte importante de los datos hidrológicos almacenados en la base de datos nacional son datos de caudal obtenidos de la producción de electricidad de las plantas hidroeléctricas. Con frecuencia, no se conoce bien la precisión de dichos datos. Por lo tanto, es necesario calibrar en el lugar el rendimiento del generador como función del flujo de agua a través de las turbinas. Mejoraría la situación si se asignara personal especial, con responsabilidad hidrológica, a las plantas de producción eléctrica.