

Los cinco elementos primordiales de un programa de monitoreo hidrológico



por Stuart Hamilton¹

El agua es el capital natural de la creciente población mundial. Los servicios creados alrededor de nuestro capital natural corresponden a la moneda del siglo XXI. La regulación y distribución del agua superficial, junto con la variabilidad en la calidad de dicha agua, definen cómo se diseña y construye la infraestructura necesaria para los sectores energético, agrícola, minero, industrial y del transporte.

Si bien el agua sustenta nuestra infraestructura, también se cobra vidas. Las sequías y las inundaciones son amenazas que requieren de una constante vigilancia. Nuestra capacidad para predecir inundaciones y sequías, y para mantener ecosistemas saludables se ve desafiada por elementos como el uso de las tierras y los cambios climáticos. Las fuentes de agua potable segura y los ecosistemas en general dependen de mejoras continuas en cuanto a nuestra comprensión y trabajo para proteger los recursos hídricos.

De hecho, es imposible exagerar la importancia de la disponibilidad, la seguridad y la precisión de los datos provenientes de los programas de monitoreo hidrológico. Las redes de monitoreo hidrométrico de hoy van desde programas de voluntarios para la administración de cuencas pequeñas, hasta programas a nivel continental. En conjunto, conforman la base de todas las acciones que se toman para apoyar un uso beneficioso del agua y minimizar sus amenazas intrínsecas.

Este informe, dirigido a administradores de recursos hídricos, esboza los cinco elementos esenciales para un programa de monitoreo hidrológico exitoso:

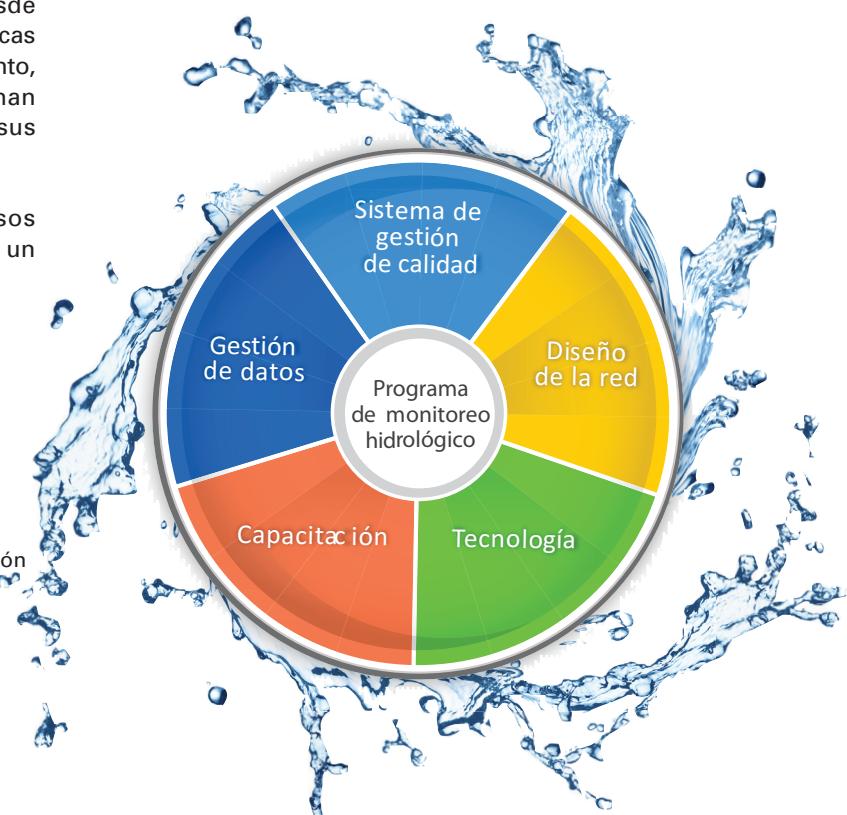
- 1) Sistema de gestión de calidad
- 2) Diseño de la red
- 3) Tecnología

- 4) Capacitación
- 5) Gestión de datos

El trabajo diario de los hidrógrafos de corrientes ha cambiado sustancialmente desde hace ya una década. Es hora de revisar cómo afectan estos cambios al sistema completo para recopilar y publicar datos verosímiles y defendibles. En este documento se presenta un enfoque moderno sobre las mejores prácticas para los sistemas de monitoreo hidrométrico. Estas prácticas se pueden adaptar a redes de cualquier tamaño y pueden mejorar la disponibilidad, la fiabilidad y la precisión de todos los sistemas de información hidrológica.

1 Sistema de gestión de calidad

Los sistemas de gestión de calidad corresponden a un conjunto de procedimientos estándar de operación que rigen los procesos de producción de datos a fin de garantizar que la calidad de dichos datos sea congruente y reconocida. Cada programa de monitoreo requiere de



¹ Especialista asociado de la Comisión de Hidrología de la OMM; contacto para Canadá del Comité de Hidrología (TC 113) de la Organización Internacional de Normalización (ISO); presidente de la comunidad de Hidrógrafos de cursos de agua de América del Norte (North American Stream Hydrographers, NASH); e hidrólogo superior de Aquatic Informatics.



objetivos claros para (1) la calidad de los datos, (2) el servicio y (3) la seguridad, estrechamente vinculados con las necesidades de los usuarios finales. Los sistemas de gestión de calidad ofrecen normas para dirigir y controlar las organizaciones de modo que cumplan con dichos objetivos.

Al evaluar o crear un sistema de gestión de calidad, los administradores de recursos hídricos deben recordar el concepto

“Idoneidad para un propósito”. Los datos adecuados para ordenar una evacuación en un terreno aluvial, por ejemplo, pueden no ser adecuados para probar una hipótesis sobre una tendencia. Los usuarios finales de datos desarrollan una relación de confianza con los proveedores de dichos datos basándose en la certidumbre de que los objetivos de gestión de la calidad (para calidad de datos, servicio y seguridad) se han cumplido con respecto al propósito para el que se crearon.

Objetivos de la calidad

La calidad es un resultado de los procesos de observación y producción de la información. Estos procesos deben aplicarse mediante un cumplimiento formal a través de procedimientos operativos estándar debidamente documentados. Hoy se encuentran disponibles varias fuentes para estándares hidrométricos, entre ellas:

- Métodos y técnicas del U. S. Geological Survey (USGS)
- Técnicas del USGS para investigaciones de recursos hídricos
- Comités técnicos ISO 113 y 147
- Publicaciones de la OMM preparadas como parte del Marco de gestión de calidad – Hidrología (No. 49 “Reglamento técnico, Vol. III Hidrología”, edición de 2006; publicación No. 168 “Guía de prácticas hidrológicas”, sexta edición; y varios manuales entre los que se incluye la segunda edición del *Manual on Stream Gauging*). (Todas estas publicaciones pueden descargarse gratuitamente desde la página web de la OMM).

El cumplimiento con los estándares técnicos aceptados por la comunidad internacional provee las bases para la comparación de datos. Los datos producidos por las diferentes agencias (o incluso por hidrógrafos diferentes dentro de la misma agencia) deberían contar con un nivel de precisión y exactitud similares. Esto significa que si diversos hidrógrafos monitorean en forma independiente el mismo medidor, los hidrógrafos de caudal resultantes deberían ser muy similares y no presentar alteraciones sistemáticas.

Objetivos de servicio

Los objetivos del servicio guardan relación con la integridad de los datos (para niveles dados de aseguramiento de la calidad en diferentes tiempos de retraso desde la observación). Históricamente, los datos hidrométricos se publicaban en forma anual, como valores diarios agregados y estadísticas extremas. Hoy, el enfoque se centra en publicaciones continuas y en tiempo real de datos de valor unitario. Un servicio hidrométrico moderno debe abordar expectativas en evolución para la fiabilidad y puntualidad de los datos.

Lograr los objetivos de servicio deseados es, principalmente, una función del equilibrio entre:

- el personal (por ejemplo, el tiempo de respuesta ante errores en los instrumentos);
- las especificaciones del equipo (es decir, la fiabilidad de los instrumentos);
- la gestión del ciclo de vida del equipo (es decir, los procedimientos de calibración y control);
- las eficiencias en la producción de los datos (por ejemplo, notificaciones automatizadas, correcciones automáticas y publicaciones automáticas); y
- la información del proceso de producción de datos (por ejemplo, metadatos suficientes para apoyar un proceso continuo de mejoras).

También existe una expectativa creciente en que los datos se deban descubrir, buscar y acceder de forma abierta. Los estándares armonizados para la interoperabilidad de los datos provienen del Consorcio geoespacial abierto. Por ejemplo, el estándar Water ML2.0 contempla el intercambio de (1) datos de series temporales basados en puntos, (2) valores procesados, como proyecciones y agregaciones, y por último (3) información afín relativa a los puntos de monitoreo, los procedimientos y contexto. Al trabajar dentro del marco del Consorcio, los encargados de administrar recursos hídricos pueden garantizar la entrega de observaciones en el contexto de coberturas y funciones afines.

Objetivos de seguridad

Los datos hidrométricos son valiosos. Las inversiones de capital, recursos humanos y operaciones son extensas en cuanto a información del caudal. Los objetivos de seguridad tienen por finalidad proteger estas inversiones durante la vida de dichos datos. En un ambiente de gestión de datos bien mantenido, el valor de los datos aumenta con el paso del tiempo.

Sin embargo, toda información que se herede del pasado está sujeta a ser descuidada o a que se pierda y destruya. Los avances tecnológicos pueden producir informes fragmentados y formatos incompatibles. La continuidad entre los sistemas modernos y los archivos históricos debe administrarse con cuidado y diligencia.

Dentro de los principios del Sistema Mundial de Observación del Clima se incluye una serie de mejores prácticas para mantener la integridad de los datos al manejar datos de series temporales. En términos particulares, "los detalles y la historia de las condiciones locales, los instrumentos y procedimientos operacionales, los algoritmos para el procesamiento de datos y demás factores relacionados con la interpretación de los datos (es decir, metadatos) deben documentarse y tratarse con el mismo cuidado que los datos".

Las mejores prácticas para la conservación de los datos aseguran que (1) los datos se guarden y mantengan seguros de todo peligro, (2) los metadatos sean completos y (3) la documentación se encuentre disponible para cambios en los métodos que potencialmente podrían afectar a la integridad de los datos.

Enfoque de los resultados

Además de estructurar claramente la calidad, el servicio y los objetivos de seguridad deseados para los datos, el sistema de gestión de calidad debe verificar que el producto cumpla con las necesidades de los usuarios finales. Toda divergencia de los resultados esperados debe ofrecer información, creando un círculo de mejora continua. Las necesidades de los usuarios finales cambian constantemente, por lo que el sistema de gestión de calidad también debe poder adaptarse.

La verificación de que los objetivos de calidad se hayan cumplido constituye un proceso de dos etapas. El control de la calidad es un sistema de comprobación rutinario y constante que permite garantizar la integridad de los datos, que estos estén completos y que cumplan con los procedimientos operacionales estándar indicados. El aseguramiento de la calidad es un sistema de procedimientos de revisiones independientes para verificar que se cumplen los objetivos de la calidad de los datos.

La mayoría de los Servicios Hidrométricos Naciones ha desarrollado sus propios sistemas de gestión de la calidad; sin embargo, algunos han optado por obtener la certificación en el método estandarizado ISO 9000.

2 Diseño de la red

El diseño de la red es un proceso constante en el que se establecen estaciones nuevas y se suspenden las ya existentes a medida que las prioridades y los fondos del programa van evolucionando. Este proceso debe gestionarse de forma selectiva, fortaleciendo el crecimiento para llenar los vacíos que se vayan produciendo en los datos. La actualización del diseño de una red es fundamentalmente un problema de muestras. El desafío radica en encontrar el equilibrio adecuado entre los objetivos de monitoreo hidrométrico y la conveniencia del emplazamiento.

Muestra de los fenómenos de interés

¿Cómo se usará la información? El proceso de diseño debe comenzar pensando en el final. Las localizaciones río arriba o río abajo de represas o desviaciones son útiles, pero por

motivos muy diferentes. Una ubicación río arriba representa la integración del proceso de escorrentía que ocurre en la cuenca contribuyente, en tanto que una ubicación río abajo ofrece más información sobre lo que ocurrirá en los ecosistemas acuáticos y ribereños receptores. Una buena localización es aquella donde la variación en el caudal es sensible a los fenómenos de interés.

Los objetivos de monitoreo determinan los parámetros que deben incluirse en el diseño de la red. Si el objetivo es el cumplimiento de las normas o el desarrollo de estadísticas para diseños de ingeniería, entonces el único parámetro necesario es el caudal. No obstante, si el objetivo es comprender los procesos de escorrentía, desarrollar políticas de gestión de recursos hídricos o calibrar modelos predictivos, entonces el diseño de la red debe tener en cuenta todos los componentes del ciclo del agua, incluyendo dónde se almacena (p. ej., aguas freáticas, acumulación de nieve y niveles de lagos) y su flujo (p. ej., temperatura, evaporación y precipitación). La medición de algunos parámetros (p. ej., calidad del agua y del sedimento) debe co-ubicarse con la medición del caudal en caso de que se requieran cargas. La colaboración de los involucrados a nivel provincial es un elemento integral del proceso de diseño de la red y garantiza un enfoque eficaz y coordinado para el monitoreo dentro de una cuenca.

Muestra del espacio hídrico

El diseño de una red correcta de monitoreo hidrométrico también debe considerar cómo la variabilidad del espacio debe probarse para que así la variabilidad del tiempo se pueda monitorear eficazmente. Dicho de otra forma, la localización de los medidores debe reflejar la complejidad geofísica del terreno. Para satisfacer la suposición de que los datos son escalables y representativos, los medidores deben situarse a lo largo de la escala de la variabilidad geofísica de la cuenca.

Finalmente, la densidad pragmática de la estación en una región corresponde a una función de la tolerancia al riesgo. Estas recomendaciones sobre la densidad a escala regional pueden no ser adecuadas para caracterizar totalmente amenazas a escala local provenientes de inundaciones

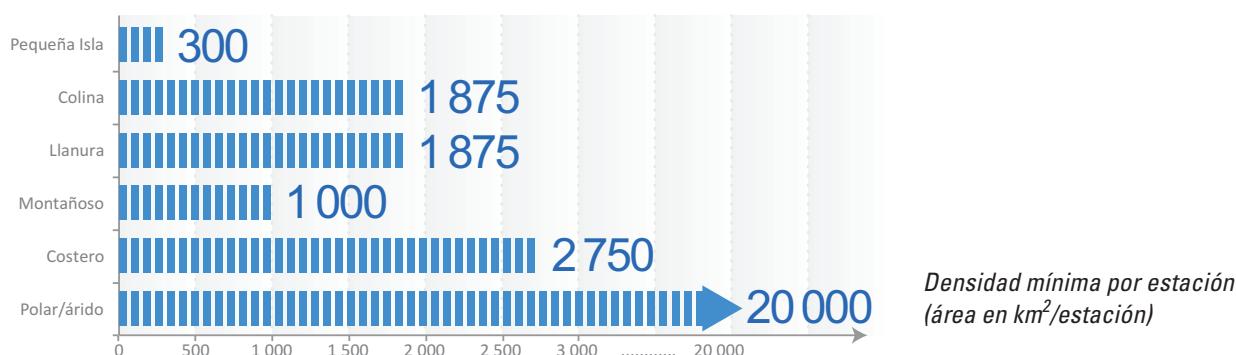
o para ofrecer una guía necesaria para la gestión del suministro de agua a escala local. La tolerancia al riesgo a menudo es particularmente alta en las regiones en desarrollo; ello da como resultado una necesidad constante de reaccionar a las situaciones de crisis relacionadas con el agua, en lugar de prevenirlas.

Selección del lugar

Una vez que se han establecido los objetivos de monitoreo y los criterios para la representatividad geofísica, se puede seleccionar el tramo del río para



En la Guía de prácticas hidrológicas de la Organización Meteorológica Mundial se recomiendan las siguientes densidades para las estaciones:



realizar el monitoreo. La localización a seleccionar debe (1) contar con un flujo uniforme que varíe en forma gradual, (2) ser de fácil acceso (es decir, que no sea muy caro acceder a ella), (3) contar con características geofísicas estables para marcas de control vertical y para control del canal, y (4) contar con condiciones seguras para la medición de las corrientes.

Los objetivos de monitoreo a menudo restringen la selección de localizaciones posibles a aquellas con condiciones adversas para el monitoreo. Una incongruencia entre las condiciones locales y la tecnología adecuada puede dar como resultado datos de mala calidad y requisitos complejos de mantenimiento tanto para los procedimientos sobre el terreno como en las oficinas. Existen tecnologías disponibles para mitigar casi cualquier tipo de compromiso necesario para la selección del lugar, pero las soluciones más fiables y asequibles provienen de una selección correcta del emplazamiento.

La selección del lugar afecta a los siguientes resultados:

- persistencia de los datos (es decir, una localización bien seleccionada debería producir datos útiles para las futuras generaciones),
- calidad de los datos (p. ej., conformidad con suposiciones básicas),
- representatividad de los datos (es decir, importancia para las localizaciones no medidas),
- costes de operación (p. ej., acceso al lugar),
- riesgos de responsabilidad (es decir, seguridad pública o ocupacional),
- selección de los métodos (p. ej., uso de curvas de gasto o el método de cálculo de la velocidad de índice), y
- riesgos de fiabilidad (p. ej., exposición al vandalismo).

Con tanto en juego, una investigación significativa es necesaria para cualquier tipo de cambio en el tamaño de la red. Desafortunadamente, los recursos hídricos a menudo se ven afectados negativamente por la necesidad imprevista de ampliar o reducir la red (p. ej., realizar un cambio para el término del año fiscal). Son muchas las

decisiones importantes que se deben tomar con prisa. Como una mejor práctica, el diseño de la red debe ser un proceso constante en el cual se pueda contar con la preparación necesaria para tomar decisiones correctas en un plazo breve.

3 Tecnología

Hoy en día, la selección de la mejor tecnología para una localización dada es más compleja que antes. Incluso al elegir un transductor de presión simple, el hidrólogo debe considerar el tipo (p. ej., piezoelectrónico, capacitivo, inductivo, potenciométrico, de cuerda o cilindro vibrante, o con calibrador de tensión) y el método de aplicación (p. ej., borboteador, purga o compensado). Para cada combinación de estas tecnologías existe una serie de distribuidores y productores, y cada producto cuenta con especificaciones propias que se pueden caracterizar por una banda de error, histéresis, resolución, sensibilidad o constante de tiempo.

Los operadores de la red hidrométrica deben tener en cuenta varios factores adicionales:

- Requisitos de fiabilidad: tiempo medio aceptable entre errores.
- Precisión en el área de aplicación: la distancia de borrado de algunos perfiladores Doppler acústicos de corriente (ADCP), por ejemplo, puede ser excesiva como para medir en forma correcta el caudal para algunas geometrías de corriente.
- Coste del acceso al lugar: en el caso de emplazamientos remotos, los crecientes costes de los medidores Doppler acústicos de velocidad (ADVM) para emplearse con un modelo de velocidad de índice se pueden recuperar fácilmente reduciendo las visitas al lugar.

- Factores locales del lugar: el alto transporte de sedimentos y el aumento de algas y hielo en el río son factores contrarios al uso de tecnologías caras sumergibles.
- Sensibilidad y precisión de los instrumentos: guarda relación con el tiempo y el esfuerzo dedicado al post-procesamiento de los datos.
- Capacitación y familiarización: limitar la variedad de productos empleados en una región puede reducir significativamente tanto las necesidades de capacitación como la probabilidad de errores causados por la falta de familiaridad con un dispositivo en particular.

Coste total de la propiedad

Los factores que afectan al coste total de la propiedad de una tecnología dada incluyen: el coste del capital inicial, los requisitos en cuanto a la frecuencia de servicio y calibración sobre el terreno, las visitas de campo no planificadas para reparar o reemplazar dispositivos, el tiempo y el trabajo dedicados a corregir y realizar el post-procesamiento de datos, los datos perdidos debido a fallos de los sensores, la cantidad de datos degradados por un nivel alto de ambigüedad y los suministros (p. ej., gas comprimido o fuentes de energía). Los costes de operación y mantenimiento pueden superar fácilmente el dinero ahorrado en el momento de la compra.

Sin embargo, los equipos de monitoreo de bajo coste sí tienen un lugar propio dentro de la red. Por ejemplo, al monitorear una localización de alto riesgo (como durante la rotura del hielo en un río), es necesario obtener la mayor cantidad posible de datos antes de que el sensor se pierda o destruya inevitablemente. Existe un orden de magnitud de diferencias en el coste de los sensores. Los sensores de bajo coste también han creado el concepto de "una red como un sensor", en el que varios sensores redundantes se pueden instalar en un medidor. En algunos casos, resulta conveniente usar un promedio de estos instrumentos independientes, si bien imprecisos, y obtener igualmente un coeficiente de la incertidumbre acumulada. Este concepto también se presta para el uso de varios sensores de bajo coste para tomar muestras sobre el terreno a escala de los sistemas espaciales de observación.

En el contexto del coste total de operación, las tecnologías de telecomunicaciones ofrecen una mejora significativa en la fiabilidad de los datos como resultado de la capacidad de realizar monitoreos sobre el estado de la estación en tiempo real y mejoras en la regulación de las actividades de medición de la corriente.

4 Capacitación

Ningún tipo de inversión en tecnología puede compensar los resultados de una toma de decisiones incorrectas en el momento de recopilar y manejar datos. Los errores a nivel de procedimientos son los más difíciles de detectar y de corregir al realizar el post-procesamiento de los datos. La capacitación acelera la velocidad de adquisición de las competencias necesarias y, al mismo tiempo, reduce la frecuencia de los errores. Hoy en día, la capacitación es, sin lugar a dudas, más importante que nunca. En la



actualidad, en la demografía de varias agencias de monitoreo se observa un crecimiento en el número de empleados nuevos y de aquellos a punto de jubilarse, con lo que se crea una necesidad urgente de compensar la pérdida de experiencia con un incremento de conocimientos.

Los hidrógrafos de corrientes deben contar con conocimientos en varias disciplinas para ser realmente eficaces. La medición del agua que fluye corresponde a una aplicación sofisticada de principios científicos y de ingeniería. Las decisiones tomadas sobre el terreno y en el momento de interpretar los datos requieren de conocimientos básicos de física, química, biología, hidrología, hidrodinámica, geomorfología fluvial, matemática y estadística.

Asimismo, para la instalación y la operación de equipos de monitoreo hidrométrico es necesario contar con habilidades en programación, electricidad y fontanería. La medición de las corrientes requiere de una interpretación experta de los protocolos de gestión de calidad con respecto a la selección y la aplicación de las diferentes metodologías, a la vez que se debe tomar en consideración el contexto específico de las condiciones propias de la medición. Los hidrógrafos de corrientes deben tomar decisiones para limitar los efectos ambientales adversos y mantener la seguridad pública y personal.

Si bien las opciones de capacitación son limitadas, algunos Servicios Hidrométricos Nacionales (p. ej., el USGS) ofrecen cursos para el público en general. Existen proveedores de equipos y programas que ofrecen cursos breves en métodos hidrométricos.

Las inversiones en términos de capacitación mejoran la calidad de los datos, aumentan la productividad, mejoran la precisión de las mediciones y la seguridad. La capacitación en materia de hidrografía de las corrientes debe ser un proceso continuo para mantener actualizadas las mejores prácticas a medida que estas se apliquen a las nuevas tecnologías.

5 Gestión de datos

Las mejoras en los programas de monitoreo hidrológico se centran con frecuencia en las tecnologías que se aplican en el trabajo sobre el terreno. Con frecuencia se pasa por alto cómo se manejan y gestionan los datos una vez recopilados. Los datos hidrológicos son complejos. Los hidrógrafos de corrientes son responsables de guardar, validar, analizar y realizar informes basándose en una gran cantidad de datos.

Existen sistemas especializados de gestión de datos hidrológicos para satisfacer las cambiantes necesidades de los hidrólogos y para apoyar los estándares actuales de la

industria en materia de la gestión de información hídrica. Para que un programa de monitoreo hidrológico sea excelente y eficaz, se deben emplear programas de software diseñados especialmente para hidrólogos.

Datos auditables y defendibles

Como ya se ha dicho, el sistema de gestión de calidad establece la credibilidad del proceso de producción de los datos. Un papel importante de este tipo de sistema es el de permitir que los datos se puedan defender, ofreciendo pruebas en las que se ponga en evidencia la conformidad con el sistema de gestión de calidad. Esto significa que el sistema de gestión de datos debe preservar el historial completo de los datos, incluyendo quién hizo qué, cuándo, cómo y por qué.

Lo mejor es que los datos primarios se preserven intactos y que todos los cambios se registren, además de que sea posible revertirlos en caso necesario. Esto significa que los datos se pueden revertir para mostrar de forma exacta los cambios, las correcciones, las aprobaciones o las notas que se aplicaron en momentos específicos. Lo anterior resulta particularmente importante en el momento de publicar datos en forma dinámica con el uso de páginas web o de servicios electrónicos, a diferencia de hacerlo a través de documentos estáticos. Al contar con un historial completo (de quién hizo qué, cuándo, dónde, cómo y por qué) es posible realizar un proceso de control de calidad y aseguramiento de la calidad por parte de pares y colegas. El historial confirma la segunda mitad del mantra de la gestión de la calidad: "Di lo que haces. Haz lo que dices".

Datos centralizados y accesibles

Los hidrólogos deben manejar varios tipos de datos en diferentes formatos. Por ejemplo: datos de laboratorio en Excel, series temporales en formato CSV, datos de mediciones en programas y equipos de diferentes proveedores, y datos de las estaciones en formato GIS. Como mejor práctica, todos estos datos y metadatos afines deben consolidarse y manejar como una colección coherente y segura. Las mejores soluciones respaldan el uso de consultas relacionales de dicha colección de datos. Las conexiones mediante servicios web a esta base de datos significan que se puede acceder a los datos y metadatos

desde cualquier lugar y en cualquier momento.



Datos en tiempo real y automatización

Un sistema moderno de monitoreo hidrométrico entrega datos en forma dinámica y en tiempo real. Idealmente, los mejores datos se encuentran disponibles en forma continua y se pueden entregar mediante estándares internacionales para una mejor

interoperabilidad. Esto significa que los usuarios finales se benefician tan pronto se agregan datos nuevos, se filtran valores erróneos, se aplican correcciones, se actualizan curvas de gasto o se aplican correcciones de desviaciones. Las mejores soluciones también les ofrecen a los usuarios finales metadatos informativos sobre la calidad y el estado de los datos. Los datos se pueden filtrar con base en el estado de dichos datos en el proceso del sistema de gestión de calidad. Los datos de calidad archivados se pueden identificar sin problemas y bloquear para que no sean editados.

Las notificaciones automáticas representan avisos oportunos sobre eventos hidrológicos y alertan a los hidrógrafos sobre errores o indicadores del estado de la estación que requieran ser atendidos de forma inmediata. Los algoritmos de corrección de datos automáticos censuran valores inválidos y corrigen errores predecibles o persistentes en tiempo real. Ello elimina parte de las tareas repetitivas y onerosas, permitiendo que el hidrógrafo de corrientes se concentre en el análisis interpretativo que representa un mayor valor. Los informes automatizados generan productos de datos de gran valor para profesionales de los recursos hídricos y para los encargados de la toma de decisiones ante casos específicos y en forma programada.

Curvas de gasto creíbles

Las mejores soluciones para el desarrollo y la validación de las curvas de gasto provienen de principios hidráulicos básicos. La colección completa de información recopilada sobre el terreno es importante para el proceso de calibración y no solo para las coordenadas x/y de las mediciones. Lo anterior incluye tener en cuenta fotografías del lugar, cortes transversales, notas, calidad de la medición, condiciones de control, gasto histórico y las series temporales de los datos. Se ha demostrado que el uso de un enfoque que se base en pruebas para el ajuste de curvas es más preciso y requiere de menos trabajo en comparación con la "búsqueda" de la curva usando técnicas de regresión estadística.

Con los sistemas modernos de monitoreo hidrométrico, los modelos de derivación del caudal se pueden calibrar con respecto a los principios básicos de ingeniería y ciencia hidráulica. Como resultado:

- la confianza mejora en la extrapolación (con la gama de geometrías de canal conocidas),
- el acuerdo sobre una solución mejora (es decir, diferentes hidrógrafos producirán de forma independiente resultados similares), y
- se mejora la capacidad de defender los resultados (es decir, los parámetros de la curva de gasto ayudan a limitar la solución).

Con frecuencia es necesario tener en cuenta condiciones de control del canal cambiantes con correcciones en el modelo nivel-caudal. Las mejores soluciones para manejar correcciones de desviaciones incluyen la inspección e interpretación de observaciones sobre el terreno, la gráfica de valores residuales y la visualización de series temporales.

Visualización, corrección y marcación de datos

El análisis y la interpretación visual avanzada de los datos son necesarios para identificar errores que no se pueden detectar de forma automática. Existen herramientas gráficas sofisticadas junto a los sistemas de gestión de datos que facilitan la calibración de las series temporales mediante el uso de observaciones a partir de mediciones de referencia. Se pueden efectuar correcciones especializadas para muchos de los errores típicos más comunes y a menudo repetitivos de las tecnologías empleadas para el monitoreo hidrométrico. Es necesario utilizar métodos sofisticados para calcular brechas más extensas en los datos y para períodos en que haya efectos del hielo. Se requieren habilidades extensas y completas para comentar estas acciones y agregar marcadores de eventos e indicadores de calidad, así como para cambiar el estado de los datos.

Informes y publicación

Los mejores sistemas de gestión de datos permiten lograr una continuidad en los informes con plantillas adaptables, que se pueden ajustar para que coincidan con informes antiguos. Los informes nuevos de alto valor se pueden aplicar desde cero o modificando plantillas para informes estándar de la industria. El contenido de los informes se puede filtrar en función del estado del sistema de gestión de calidad, de manera que los informes de datos de calidad archivados se puedan obtener rápidamente para ser publicados en forma convencional. El acceso a servicios web permite publicar datos en forma dinámica, con base en filtros para metadatos, mediante el uso de estándares de la industria.

Programas modernos de monitoreo hidrológico

Empezando con una definición clara de los objetivos de calidad de los datos y terminando con la publicación puntual de información creíble, los cinco elementos primordiales presentados en este artículo resultan fundamentales para desarrollar cualquier programa de monitoreo hidrológico moderno. Las mejores prácticas, los estándares de la industria y las tecnologías para el monitoreo hidrométrico han cambiado sustancialmente en la última década. De este cambio está surgiendo un nuevo estándar y es el momento de rediseñar los programas hidrométricos con el fin de mejorar la disponibilidad, la fiabilidad y la exactitud de los recursos de información sobre el agua.

Los cambios que se han llevado a cabo para optimizar la eficiencia y para maximizar la eficacia en la entrega de productos y servicios de datos hidrológicos críticos asegurarán el éxito de megaproyectos, la preservación de ecosistemas vitales y la protección de los ciudadanos. Las mejoras en la interoperabilidad y accesibilidad de los datos hídricos respaldará la toma de decisiones basadas en evidencias para problemas relacionados con el agua desde la escala del diseño de la alcantarilla hasta la política medioambiental global que hará que al final el mundo sea un lugar mejor para las generaciones venideras.

Referencias:

- [1] *US Geological Survey (USGS) Techniques & Methods Report* – <http://pubs.usgs.gov/tm/>
- [2] *USGS Techniques of Water Resources Investigations Report* – <http://pubs.usgs.gov/twri/>
- [3] *ISO Technical Committee 113* – http://www.iso.org/iso/standards_development/technical_committees/other_bodies/iso_technical_committee.htm?commid=51678
- [4] World Meteorological Organization (WMO) [Organización Meteorológica Mundial, OMM)] – *Operational Hydrology Reports* – <http://www.wmo.int/pages/prog/hwrp/ohr.html>
- [5] *WaterML2.0 Standard* – http://www.google.ca/url?sa=t&rc=t=j&q=waterML2.0+OGC&source=web&cd=7&ved=0CE0QFjAG&url=http%3A%2F%2Fexternal.opengis.org%2Ftwiki_public%2Fpub%2FHydrologyDWG%2FWaterML2%2FWaterML2_Overview_compressed.pptx&ei=9NZ1T9LwMqayiQK-yh82nDg&usg=AFQjCNHJfhesdY1kgHzRBuxwEW8g1vy1mw&sig2=E89jPxS-sGyuFV1vlsIVFw
- [6] *Global Climate Observing System (GCOS) Principles* – http://www.wmo.int/pages/prog/gcos/documents/GCOS_Climate_Monitoring_Principles.pdf
- [7] *Standardized ISO 9000 Method* – http://www.iso.org/iso/iso_9000_essentials
- [8] Organización Meteorológica Mundial (OMM) – *Guía de prácticas hidrológicas* – ftp://ftp.wmo.int/Documents/MediaPublic/Publications/Guide_to_Hydrological_Practices_WMO_no_168/WMOSPA_v5.pdf