

CAPÍTULO 9

PROCESO Y CONTROL DE CALIDAD DE DATOS

9.1 CONSIDERACIONES GENERALES

Numerosos organismos han adoptado programas de garantía de la calidad, como los de la serie ISO 9000 (ISO, 2000), así como prácticas tendentes a formalizar y normalizar los procedimientos, desde los de recopilación de datos hasta los de comprobación exhaustiva de éstos, pasando por el tratamiento. La garantía de la calidad abarca por lo general actividades de formación, prácticas idóneas, registro de errores y de averías, medidas correctoras, comprobaciones y otros controles de calidad, así como una auditoría independiente de todo el proceso. El presente capítulo estará dedicado al control de la calidad, considerado como proceso de comprobación y validación de los datos, aunque no a la garantía de la calidad en términos generales.

Una vez registrados en un soporte físico, sea éste papel, cinta perforada o un medio electrónico digital, los datos hidrológicos son convertidos a un formato adecuado para su archivado y recuperación. Además, en distintas etapas, los datos son objeto de una serie de comprobaciones para determinar su grado de exactitud y la ausencia de errores. El archivado mediante computadora es ya una práctica habitual en la mayoría de los países, por lo que el tratamiento conllevará la conversión de los datos al formato requerido, ya en las primeras etapas del proceso.

Los datos son obtenidos y registrados de muy diversas maneras, desde la lectura manual de medidores simples hasta toda una diversidad de sistemas automatizados de recopilación, transmisión y archivado de datos. Al ritmo actual de la tecnología, es más importante que nunca que los sistemas de proceso y control de calidad de los datos estén bien organizados y sean adecuadamente comprendidos por quienes se encargan de su recopilación y de su utilización.

A título de ejemplo, se representa en la figura I.9.1 un flujograma de un sistema relativamente simple.

Cabe señalar que la garantía de la calidad fomenta la adopción de prácticas idóneas reconocidas y de avances en la validación de los datos. Se recomienda que, con arreglo a la disponibilidad de recursos, los servicios hidrológicos consideren la posibilidad de

adoptar un programa de gestión de la calidad como el descrito en ISO 9001. Tras su adopción, las organizaciones suelen recurrir a un organismo de certificación acreditado para obtener verificación y asesoramiento independientes sobre el desarrollo del programa (Hudson y otros, 1999).

9.2 PRINCIPIOS, CONVENCIONES Y NORMAS

En tanto que disciplinas, la hidrología y la climatología han respetado las normas de toda ciencia rigurosa, en el sentido de que la recopilación de datos y su utilización han de atenerse siempre a unas buenas prácticas reconocidas y ser científicamente defendibles mediante una revisión por homólogos. Estos principios conllevan una actitud conservadora con respecto a la alteración de los datos y a la aceptación de diversos supuestos e hipótesis sobre procesos naturales cuya comprensión será, muy posiblemente, menor de lo que cabría presumir.

9.2.1 Criterio conservador, evidencias y conjeturas

El hidrólogo adoptará un criterio conservador a la hora de introducir correcciones en los datos. En la sección 9.7.2 se sugiere aplicar un criterio estricto respecto a la alteración o agregación de datos. Los supuestos a que respondan tales modificaciones estarán siempre fundamentados en evidencias, y no en conjeturas. Cuando se aventuren conjeturas, será el usuario quien las asuma, aunque disponiendo de toda la información posiblemente útil para ello, por lo general en forma de comentarios archivados, como parte integrante o no de la base de datos.

Otra convención importante consistirá en registrar toda alteración introducida en los datos de modo que otras personas puedan conocer las operaciones efectuadas y las razones para ello. No debería ser necesario acudir a quienes hayan introducido la alteración para recabarles una explicación. Se dispondrá de un registro de auditoría que permita, haciendo uso de los procedimientos documentados, conocer y comprobar todos los pasos seguidos. Este tipo de trazabilidad es también uno de los requisitos de los sistemas de calidad.

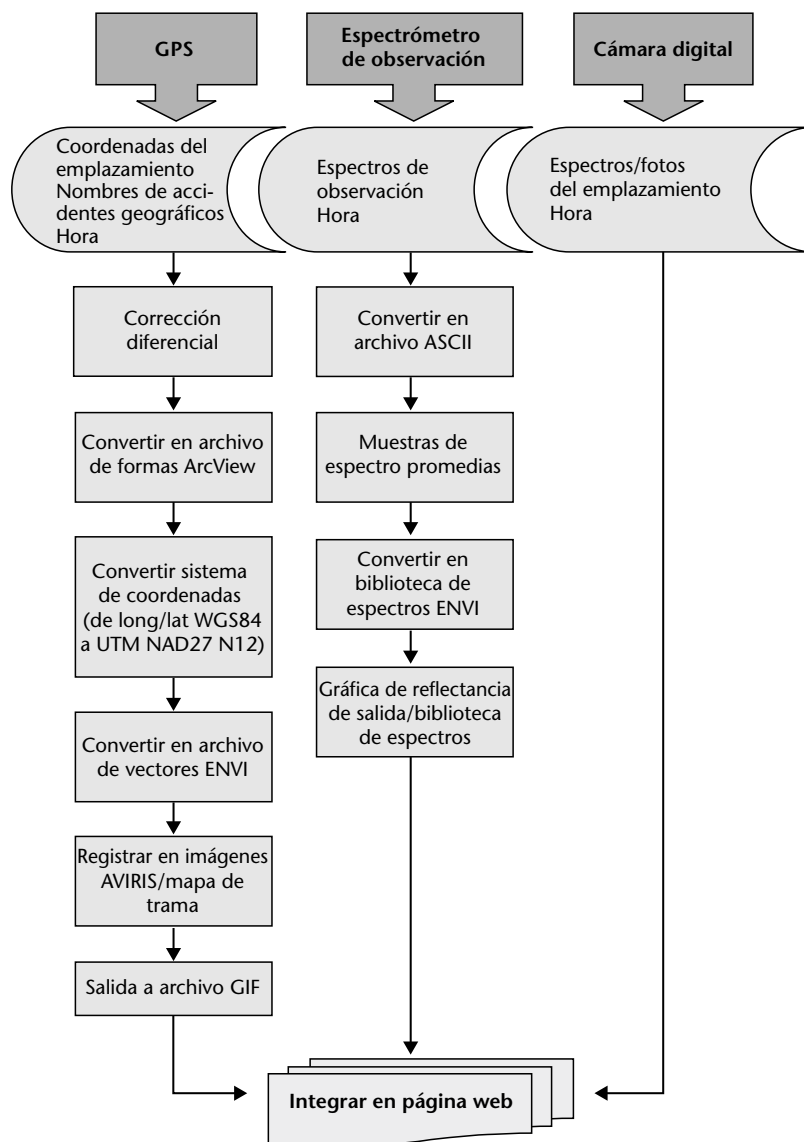


Figura I.9.1. Flujograma de proceso de datos

9.2.2 Normas y requisitos en relación con la exactitud de los datos

Los servicios hidrológicos u otros organismos equivalentes que registren datos formularán las normas aplicables a los datos en términos de resolución y grado de exactitud para cada parámetro. Este proceso tendrá lugar paralelamente a la aplicación de normas internacionales, como las indicadas en la *Guía de prácticas climatológicas* (OMM-N° 100), teniendo presentes las necesidades actuales y, lo que es quizá más importante, las posibles necesidades futuras en relación con los datos

Al explicitar las normas aplicables a los datos, será importante distinguir entre resolución, exactitud, errores e incertidumbre:

- la resolución de un dispositivo o técnica de medición es el incremento más pequeño que éstos son capaces de discernir. Así, por ejemplo, en una medición de altura del agua un registrador cronológico de datos y un transductor de presión arrojarán frecuentemente una resolución de 1 mm, aunque la exactitud podría ser menor, debido a los errores de deriva o histéresis del transductor;
- la exactitud de una medición indica el grado de aproximación al valor verdadero. Sin embargo, dado que el valor verdadero suele ser desconocido, la exactitud de una medición hidrológica suele expresarse en términos de probabilidades estadísticas. La exactitud es un término cualitativo, aunque no es inhabitual verla utilizada en sentido cuantitativo. En este último caso,

- solo será válido cuando se utiliza con criterio indicativo; toda estimación propiamente dicha deberá estar expresada en términos de incertidumbre (véase el apartado d) a continuación);
- c) el error de un resultado es la diferencia entre el valor medido y el valor verdadero de la magnitud que se está midiendo. Los errores pueden clasificarse generalmente en sistemáticos, aleatorios o espurios; y
 - d) la incertidumbre es el intervalo de valores en el que cabría esperar encontrar el valor verdadero de una magnitud medida, con un valor de probabilidad (o de nivel de confianza) dado. La incertidumbre y el nivel de confianza están estrechamente relacionados; cuanto mayor sea la incertidumbre, mayor será el grado de confianza en que el valor verdadero se encuentre en el rango de valores señalado. En hidrología se utiliza habitualmente un nivel de confianza del 95 por ciento, que en una distribución normal se corresponde con dos desviaciones típicas. Para una información más amplia, véase la *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement* (ISO/IEC, 1995).

El grado de incertidumbre que necesitan conocer los usuarios es, por lo general, la consideración más importante. Una vez establecido su valor, habrá que considerar las incertidumbres vinculadas a los métodos, técnicas e instrumentos. Frecuentemente, habrá que encontrar un punto de equilibrio entre el grado de incertidumbre deseado y el grado de exactitud y la resolución de los instrumentos por razones de costo, por consideraciones prácticas y por las limitaciones de las técnicas.

La utilidad de los datos dependerá, en gran medida, de su completitud, y convendría establecer también unos objetivos en términos de resultados razonables, por ejemplo, un porcentaje de registros faltantes. Se recomienda que los organismos, en lugar de invertir grandes esfuerzos en sustituir los datos faltantes por estimaciones, asignen recursos (en particular, para actividades de formación) con el fin de evitar tal proceder.

9.3 CIFRADO

9.3.1 Consideraciones generales

Toda base de datos deberá contener, además de los campos que contengan los valores de datos, varios campos de clave (véase también la sección 2.3). Ello responde a la necesidad de que los descriptores atribuyan un significado a los datos, adoptando para ello, generalmente, la forma de claves, que

permitirán obtener unos archivos más compactos y menos ambiguos. El ejemplo más conspicuo es el número de clave asignado a cada estación registradora. Algunas claves, como el número de estación, consistirán en una clave vinculada a una base de datos, mientras que otras describirán, en particular, métodos normalizados, niveles de calidad de los datos, unidades de medida y parámetros. En función de la estructura de la base de datos, podría ser necesario que las claves indiquen el parámetro representado por cada variable, mientras que en otros casos esa información estará definida en el formato del archivo.

Los sistemas de cifrado serán de alcance completo y flexibles, y se alentará a los encargados de recopilar los datos a utilizar sin reservas todas las opciones disponibles. Además de aplicar una serie de claves que orienten el desarrollo del proceso, habrá que incluir también comentarios. Éstos permiten disponer de una descripción general de los datos dentro de unos períodos de tiempos definidos, y serán automáticamente accesibles al usuario, conjuntamente con los datos.

9.3.2 Desarrollo de claves

La definición y utilización de claves se efectúa con arreglo a las etapas siguientes:

- a) se definen los datos que hay que cifrar. Éstos suelen ser elementos de información descriptivos frecuentemente utilizados, por ejemplo, nombres de lugares, variables, métodos de análisis, unidades de medida e indicadores de calidad de los datos;
- b) se decide el momento en que se efectuará el cifrado. Con el fin de utilizar un mismo documento para el registro e introducción de los datos, el cifrado se efectúa en el momento de la anotación cronológica del dato por el observador hidrológico o por el técnico de laboratorio;
- c) se considera la posibilidad de adoptar sistemas de cifrado existentes (nacionales o internacionales) respecto de ciertos elementos de información. En varios países se han elaborado esquemas de claves de variables, métodos de análisis en laboratorio y claves de unidades de medida. La adopción de tales sistemas facilita el intercambio de datos y reduce la necesidad de invertir recursos en el desarrollo de nuevas listas de cifrado;
- d) se consideran los posibles vínculos actuales o futuros con el SIG (sección 9.3.8) en el momento de recopilar las claves. Sería útil, por ejemplo, obtener las claves numerales de estación y de río en base a las ubicaciones cifradas en el SIG;
- e) se obtienen o elaboran listas de claves, se

incorporan éstos a los formularios de notificación e introducción de datos y a los sistemas informáticos, y se adjunta una serie de instrucciones para el cifrado (junto con las listas de claves correspondientes) a las instrucciones entregadas a los técnicos; y

- f) se imparte formación a los observadores para la utilización de las claves y se controla rigurosamente los formularios cumplimentados durante el período inicial, una vez introducido o modificado el sistema de cifrado. Estas operaciones se efectuarán durante varios meses, con el fin de que los técnicos se familiaricen con las claves.

La mayoría de las claves utilizadas con fines hidrológicos son de tipo numérico. Sin embargo, se utilizan también diferentes combinaciones de claves alfabéticas y numéricas. Las claves alfabéticas o alfanuméricas se utilizan extensamente en los registros cronológicos de perforaciones, y en los casos en que se necesiten datos más descriptivos, como la clasificación de los usos de la tierra en un suelo dado. Las aplicaciones más habituales de las claves en los sistemas hidrológicos aparece descrita a continuación y en el *NAQUADAT Dictionary of Parameter Codes* (Ministerio del Medio Ambiente de Canadá, 1985).

9.3.3 Claves de ubicación

Existen normalmente claves para las cuencas y subcuencas, y es de gran utilidad incorporarlas al archivo de datos descriptivo de la estación (capítulo 2). Gracias a ello será posible identificar rápidamente todas las estaciones (o aquellas que miden determinadas variables) en una única cuenca o grupo de cuencas. Para una información más amplia sobre la numeración de estaciones puede consultarse la sección 2.5.2.

9.3.4 Claves de variables (parámetros)

Se incluye en este epígrafe el grupo de claves más amplio. El número de variables hidrológicas y similares que podría ser necesario incluir en una base de datos completa es enorme. Por fortuna, varios organismos hidrológicos han preparado y publicado listas de claves de variables (Ministerio del Medio Ambiente de Canadá, 1985; Departamento de Medio Ambiente de Reino Unido, 1981).

Las listas de claves contienen, por lo general, una clave de cuatro o cinco dígitos que designa la variable, una definición textual de ésta y, en algunos casos, abreviaturas o sinónimos. Una característica que varía según el tipo de lista es la inclusión de las unidades de medida y/o de las técnicas de análisis en la definición (particularmente, cuando los datos

han sido obtenidos en laboratorio), que en caso contrario estarán ya cifradas. Así, en un sistema dado la clave 08102 podría representar el oxígeno disuelto, medido en mg/l mediante un medidor de oxígeno disuelto, mientras que en otro sistema diferente esa misma variable aparecerá cifrada como 0126 (oxígeno disuelto) con la clave de unidad de medida 15, donde 0126 y 15 representan, en las listas de claves correspondientes, las unidades mg/l y m, respectivamente.

9.3.5 Claves singularizadoras

Cuando la recopilación de datos sea manual, se dispondrá normalmente de un conjunto de claves accesibles al observador hidrológico y al técnico de laboratorio, con el fin de singularizar los datos inhabituales o inciertos, de manera que sea posible ponderar en consonancia los datos en aplicaciones futuras. Hay básicamente dos grupos de singularizadores: el primero podría definirse como el estado actual (fiabilidad) de los valores de los datos, mientras que el segundo denota determinadas circunstancias que podrían dar lugar a una clasificación anómala. La clave utilizada para ambos grupos suele ser un único carácter alfabético, conocido también como banderín.

Los banderines para indicar la fiabilidad de los datos suelen ser los siguientes:

- E valor estimado, implica una estimación satisfactoria;
- U valor incierto, considerado incorrecto aunque imposible de verificar;
- G valor superior al límite de calibración o de medición (valor fijado en el límite);
- L valor inferior al límite de detección (valor fijado en el límite);
- V valor no comprendido en el intervalo de valores normalmente aceptado, aunque comprobado y verificado.

Los banderines que denotan condiciones circundantes pueden consistir en:

- I presencia de hielo (u obturaciones por hielo);
- S presencia de nieve;
- F presencia de escarcha;
- D estación sumergida (durante episodios de crecida);
- N resultados obtenidos en un laboratorio no normalizado (con control de la calidad);
- P resultados obtenidos en un laboratorio con control parcial de la calidad.

Cuando concorra alguna de estas circunstancias, se incluirá el banderín correspondiente, que se almacenará junto a los datos correspondientes. Los procedimientos informáticos de validación de los datos de entrada pueden dar lugar a nuevos banderines de estado, pudiendo utilizarse para éstos las mismas claves.

Alternativamente, algunos sistemas de base de datos permiten introducir comentarios en lenguaje corriente en el sistema (por lo general, mediante un archivo de texto en una base de datos asociada).

9.3.6 Claves de datos faltantes

Es muy importante diferenciar entre los datos faltantes y los datos registrados con valor cero. Cuando se ha dejado en blanco el campo de datos correspondiente a un valor numérico faltante, las bases de datos podrían ocuparlo automáticamente con un cero (de significado engañoso). Dado que en un campo de datos numérico no está permitido introducir un carácter, el problema de los datos faltantes no puede resolverse insertando una 'M' (clave de dato faltante). Una posibilidad consistiría en introducir la clave M como banderín de estado independiente, aunque en los sistemas que no hacen uso de banderines se introduce en el campo de datos un valor de datos físicamente imposible (por ejemplo, -999) para indicar al sistema de proceso la presencia de un dato faltante. En caso necesario, este valor podrá ser convertido mediante descifrado en un campo vacío, o en un símbolo “-” a la salida del sistema.

9.3.7 Claves de transmisión

Gran número de sistemas de transmisión de datos hacen uso de algún tipo de método de cifrado, con objeto de transmitir la información de manera rápida y fiable. Para ello será necesario convertir los datos a un formato cifrado antes de transmitirlos o procesarlos. Las claves se definirán de modo que sean compatibles tanto con las funciones de tratamiento como con las de transmisión.

9.3.8 Sistemas de información geográfica

Los SIG están siendo ampliamente utilizados en materia de hidrología operativa y recursos hídricos. Su capacidad para asimilar y exponer los datos en un contexto espacial es ideal para numerosas aplicaciones, desde la elaboración de mapas de base hasta la utilización de modelos de cuenca de drenaje o multicuenca para la representación cartográfica de la escorrentía y para la predicción de crecidas o sequías.

En la planificación y diseño de redes, la posibilidad de representar geográficamente y en breve tiempo el agua superficial y las correspondientes estaciones permite una integración más eficaz. Los mapas de red, que muestran las cuencas o estaciones en función de la calidad del registro, de la cuenca de drenaje o de las características operacionales, son útiles para la planificación tanto a corto como a largo plazo. Gracias a ellos, es posible apreciar con gran claridad las características esenciales de las redes complejas.

9.4 CAPTACIÓN DE DATOS

El término “captación de datos” designa los procesos de adquisición de datos registrados en forma escrita, gráfica o perforada en un soporte físico, o en formato electrónico analógico o digital, para trasladarlos a un medio físico en el que puedan ser ulteriormente procesados, almacenados y analizados. En los últimos años, el soporte ha sido casi invariablemente una computadora, en algunos casos de tipo central, aunque casi siempre una computadora personal (PC), posiblemente conectada a una red.

9.4.1 Introducción de datos mediante el teclado

Los datos obtenidos en forma escrita, tanto en un cuaderno como en otro formato apropiado, deberán ser introducidos en la computadora manualmente. Aunque existe la posibilidad de utilizar un escáner con reconocimiento óptico de caracteres, suele ser preferible no hacer uso de esos aparatos a menos que se tenga la seguridad de que no dan lugar a errores.

Cuando el observador deba anotar sus datos en papel, se recomienda utilizar un formato normalizado (posiblemente en forma de libro) que contenga los campos requeridos con arreglo a una secuencia clara y lógica. Este tipo de plantillas pueden confeccionarse mediante programas informáticos de tratamiento de texto, y tanto su producción como su utilización estarán controladas en el marco del proceso de tratamiento de datos de la organización. Algunos de los datos hidrométricos que pueden ser anotados por escrito y posteriormente introducidos mediante un teclado son las lecturas manuales del nivel de agua, las observaciones de lluvia y de otros aspectos climáticos, y las mediciones del flujo fluvial mediante molinetes. Se incluyen también en este grupo ciertos datos secundarios, por ejemplo, fragmentos de registros revisados, o curvas de altura-caudal.

Se recomienda descentralizar la introducción de datos mediante teclado, de manera que los encargados de la obtención de los datos estén también encargados de su introducción y de las etapas iniciales de validación de aquéllos. Así, la creación de los archivos de datos se efectuará normalmente en una PC, no necesariamente en línea o en red (excepto para facilitar las copias de seguridad y las transferencias de datos). Dado que el tamaño de los archivos creados será pequeño en comparación con la capacidad de memoria o de almacenamiento en ciertos dispositivos, por ejemplo disquetes, será posible hacer sin dificultad copias de seguridad y transferir los datos para su archivado con arreglo a los procedimientos vigentes de tratamiento y verificación de datos.

El proceso de verificación de los datos introducidos mediante teclado consistirá, como mínimo, en una comprobación uno a uno de los datos impresos, a cargo de una persona distinta de la que haya creado el registro. La comprobación será más eficaz cuando sea posible disponer de representaciones gráficas apropiadas de los datos. A tal efecto, podrían servir incluso gráficas simples obtenidas mediante impresora. Siempre que sea posible, y especialmente cuando se introduzcan grandes volúmenes de datos, sería útil incorporar al programa de introducción de datos una verificación automatizada de éstos, por ejemplo, en términos de intervalos de valores o comparándolos con los valores precedentes y/o siguientes.

9.4.2 **Captación de datos cartográficos**

Tiempo atrás, era habitual obtener registros analógicos de ciertos parámetros, por ejemplo, del nivel de agua o de la precipitación de lluvia; esta tecnología subsiste aún, dado que permite una rápida interpretación de los datos, se trata una técnica simple, y ahorra el costo de su sustitución por otros tipos de instrumento.

La captación en registros de computadora puede efectuarse mediante lectura manual y teclado, o mediante una tableta digitalizadora o un escáner. Para la lectura manual será necesaria, por lo general, una persona que lea la serie de valores comprendidos en un intervalo de tiempo apropiado, y que transfiera éstos a un formato que permita introducirlos mediante un teclado en un archivo de computadora informático, como se ha indicado en la sección 9.4.1.

El método más habitual son las tabletas digitalizadoras, que requieren una cierta pericia del operador para no introducir errores de precisión en

el registro. Más recientemente, se utiliza un escáner con un programa que interpreta los trazados, aunque el método no está muy extendido, ya que se utilizan preferentemente registradores electrónicos de datos cronológicos.

Sea cual sea el método, los mapas deberían contener campos de fecha, hora y lecturas de nivel de agua al comienzo y al final del proceso. Dado que estos valores indicarán los ajustes efectuados en las observaciones originales, es evidente que las anotaciones habrán de ser claras. La herramienta más útil para la verificación de los datos cartográficos será una representación gráfica de los datos introducidos, con el fin de compararlos con la gráfica original. Conviene que las gráficas estén impresas a la misma escala que el original, de modo que sea posible superponer ambas (por ejemplo, sobre un tablero iluminado) e identificar los errores, con el fin de subsanarlos.

9.4.3 **Datos en cinta perforada**

Los instrumentos de registro electromecánicos, muy utilizados en los años sesenta y ochenta, han sido en su mayoría reemplazados. Registraban valores decimales cifrados en forma binaria perforando una cinta de papel por intervalos de tiempo, y fueron los primeros registradores de uso habitual que podían ser leídos automáticamente. Un lector de cinta óptica leía los datos con relativa rapidez, y los introducía en un archivo informático.

Las operaciones de proceso de datos eran similares a las utilizadas con el registrador cronológico de estado sólido, utilizado en una etapa posterior, y los procesos de verificación desarrollados a tal efecto fueron el punto de partida de los utilizados actualmente para los datos electrónicos.

9.4.4 **Registro cronológico de datos por medios electrónicos**

La utilización de memorias electrónicas para almacenar valores obtenidos de sensores con distintos tipos de señal de salida eléctrica ha sido habitual desde los años setenta, y se fue extendiendo durante los dos últimos decenios del siglo XX. Con la disminución de su costo, al menos en términos reales, esos instrumentos se asemejan cada vez más a computadoras y son más fáciles de conectar a éstas.

Dado que la captación de datos en forma de claves electrónicas es una de las principales funciones de los registradores cronológicos de datos, esta etapa del proceso está ahora más simplificada. Al mismo

tiempo, esta tecnología favorece tanto la aparición de errores más graves como su expansión, por lo que el control de la calidad deberá ser, como mínimo, tan riguroso como el de otras tecnologías.

Al contrario que en los mapas, formularios y cintas, los archivos de datos electrónicos no existen en una forma tangible que permita identificarlos fácilmente, ni conocer su historial y sus modificaciones. Los datos en lotes, tanto si representan una serie cronológica como si son datos puntuales o de muestreo, deberán dejar pistas de su paradero, y su tratamiento será gestionado mediante un registro para cada conjunto de datos. Por razones de simplicidad, integridad y facilidad de uso, los registros suelen consistir en carpetas o formularios de papel. Sin embargo, pueden consistir también en archivos electrónicos, por ejemplo, hojas de cálculo o bases de datos, siempre que sea posible satisfacer tales criterios.

9.5 OPERACIONES DE TRATAMIENTO PRIMARIO

9.5.1 Consideraciones generales

Se define aquí el tratamiento primario como las etapas del proceso necesarias para preparar los datos con el fin de almacenarlos o archivarlos de modo que puedan ser utilizados a corto y/o largo plazo (figura I.9.2). Durante el proceso se efectuarán normalmente operaciones de control de calidad y verificación, que aparecen descritas en secciones posteriores.

En función del tipo de datos, la etapa de tratamiento primario podrá conllevar una serie de operaciones y una cierta dedicación, por ejemplo, para procesar los mapas o para la conversión de los archivos con un mínimo de correcciones, como sucede cuando se desea utilizar un registrador cronológico de datos configurado con precisión.

Pueden utilizarse también datos antes del tratamiento, por ejemplo en el caso de los niveles de agua obtenidos por telemedición; sin embargo, los usuarios deberán ser conscientes de que los datos están sin verificar y podrían contener errores.

Se define asimismo el tratamiento secundario como la serie de etapas necesarias para producir datos convertidos, resumidos o reducidos, por ejemplo, datos de pluviometría diarios obtenidos directamente, o datos del caudal medio diario

derivados de la altura del agua y de la gráfica que relaciona ambos. Este tema se examina más ampliamente en la sección 9.7.

9.5.2 Comprobación preliminar de los datos

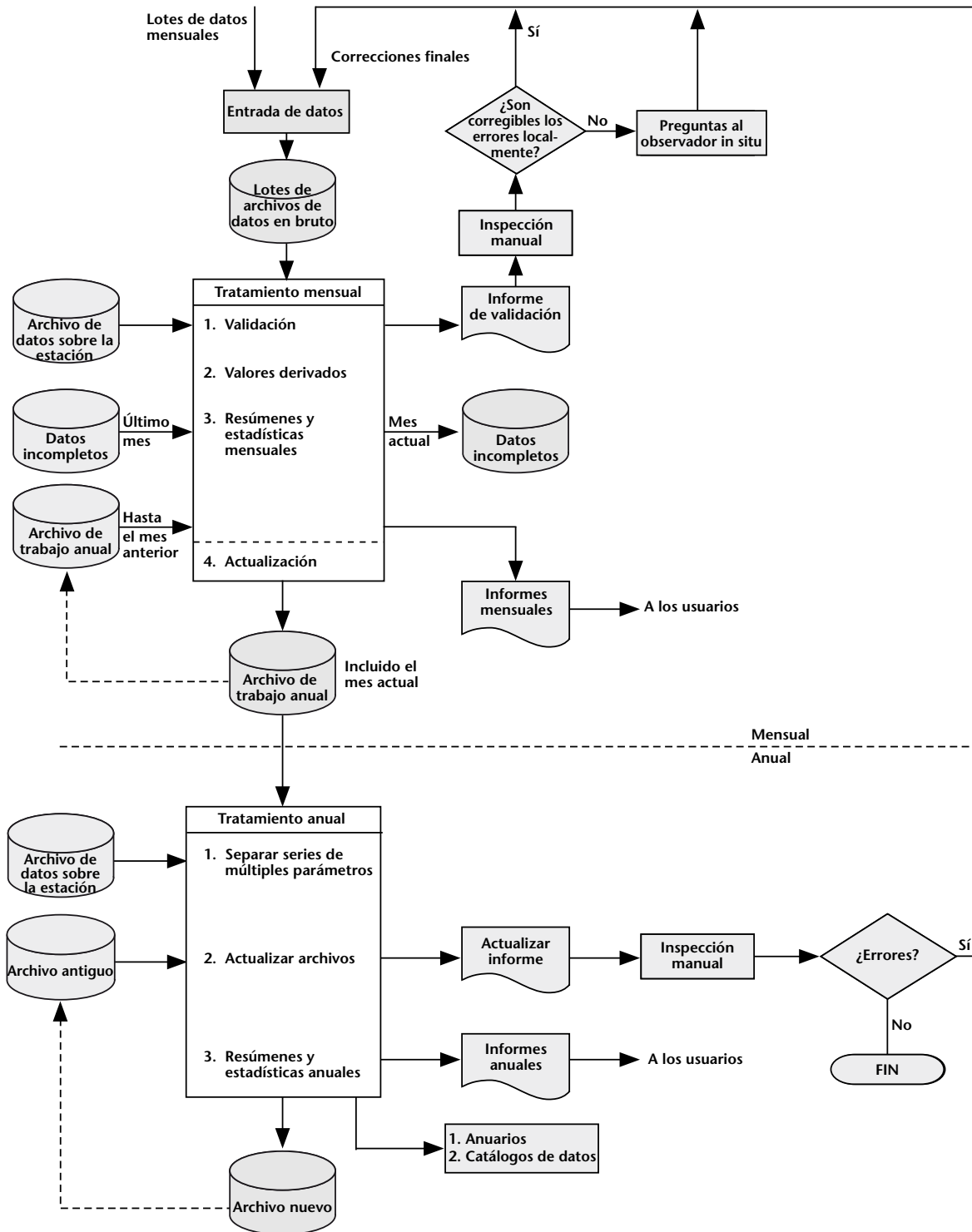
La diferencia entre la comprobación preliminar y la detección de errores es más bien arbitraria. Un procedimiento considerado como comprobación preliminar en un país podría estar conceptualizado como detección de errores en otro. Asimismo, la utilización generalizada de computadoras para procesar los datos podría obligar a modificar la definición de comprobación preliminar. Por ejemplo, cuando los datos han sido obtenidos manualmente e introducidos en archivos de computadora (posiblemente mediante un teclado o un escáner óptico), la expresión "comprobación preliminar" designará los procedimientos efectuados antes de transcribir los datos a un formato legible por máquina. Cuando los datos hayan sido obtenidos directamente en archivos legibles por computadora, la comprobación previa podría limitarse a la verificación de la identificación del lote de datos y de sus lecturas manuales (identificación del lugar de obtención; fechas correctas de comienzo y finalización de la unidad de datos; identificación adecuada del tipo de datos, por ejemplo, datos de muestreo, y frecuencia de muestreo).

Cuando los datos hayan sido obtenidos manualmente, la comprobación preliminar abarcará las etapas siguientes:

- a) anotación de los datos en un registro en el momento de recibir el formulario de informe;
- b) verificación de la completitud y corrección de la información correspondiente, es decir, fechas, nombre e identificador de la estación, si fuera necesario para un posterior tratamiento mediante máquina;
- c) verificación de la completitud de los datos;
- d) comprobación, en su caso, de los cálculos aritméticos efectuados por el observador; y
- e) comparación entre el informe del observador y los datos registrados.

En muchos países, esta última etapa dará comienzo tras la representación gráfica de los datos mediante computadora.

Las correcciones introducidas en los formularios serán legibles, y se utilizará para ello una tinta de color diferente del utilizado para completar el formulario original, asegurándose de que el dato original no queda borrado o ilegible. Lo ideal sería



Notas:

1. El tratamiento mensual comienza normalmente 10 a 15 días después de finalizar cada mes.
2. El tratamiento anual comienza normalmente 30 días después de finalizar cada año.
3. Los archivos pueden conservarse permanentemente fuera de línea (en cinta o diskette), o pueden consistir en una mezcla de datos en línea (por ejemplo, los dos últimos años) y fuera de línea.
4. Pueden efectuarse correcciones finales de los datos en pequeña escala mediante unidades de presentación visual (VDU) o terminales de vídeo en línea.
5. Los informes de validación y mensuales mostrados por separado pueden ser un mismo documento, particularmente cuando se trata de parámetros que no es necesario transformar, por ejemplo lluvia.

Figura I.9.2. Procedimiento de tratamiento y actualización de datos hidrológicos en dos etapas

que las correcciones fuesen fechadas y firmadas por la persona que las efectúa.

Se efectuarán también ciertas comprobaciones preliminares de los datos procedentes de registradores gráficos. Las fechas registradas al comienzo y al final de la gráfica, así como las comprobaciones efectuadas durante ese período, serán comprobadas tomando como referencia la escala temporal de la gráfica, con el fin de determinar si será necesario introducir correcciones temporales, o para determinar la magnitud de la corrección temporal. Se intentará determinar si las correcciones temporales responden a un fallo del reloj, o si sería posible distribuir las de manera razonable a lo largo del período. Todas las lecturas manuales escritas sobre el mapa se ajustarán a un formato normalizado.

Cuando los datos hayan sido registrados cronológicamente, la comprobación preliminar de los valores temporales y la comparación con las lecturas manuales serán generalmente una etapa más del procedimiento de captación directa de datos. En función del programa informático disponible, las comprobaciones podrían consistir también en representar gráficamente los datos en una pantalla antes de abandonar la estación, con objeto de confirmar que el funcionamiento es correcto. Siempre que sea posible, esta operación formará parte de los procedimientos ordinarios.

Una vez de regreso en las oficinas, las comprobaciones preliminares consistirán en registrar los datos y la información correspondiente, creando copias de seguridad de los archivos en, como mínimo, tres lugares distintos (por ejemplo, el disco duro de una PC, un disco portátil y una unidad de red).

Cuando se trate de datos digitales obtenidos por telemedición, las comprobaciones preliminares antes de entregarlos al usuario podrían ser mínimas. En tales situaciones el usuario deberá tener presente, antes de hacer uso de los datos, que éstos no han sido verificados. Incluso aunque se utilizase un procedimiento de comprobación automatizado, éste solo podrá comprobar ciertos aspectos de los datos (por ejemplo, intervalo de valores, picos, saltos o valores faltantes), y el usuario deberá tener presentes tales limitaciones.

Por regla general, se recomienda que los datos obtenidos por telemedición se archiven en la estación u otro lugar seguro del sistema y se actualicen únicamente como datos archivados y/o verificados después de una comprobación preliminar exhaustiva (como se hace con los datos

registrados cronológicamente y se ha indicado más arriba) y de un proceso de detección y validación de errores. Si se utilizaran claves de calidad, éstos podrían ayudar a transmitir esa información a los usuarios.

9.5.3 Trazabilidad y tratamiento

Los datos hidrológicos son valiosos en la medida en que son relativamente costosos de obtener e insustituibles, y podrían ser extremadamente útiles a raíz de ciertos fenómenos. Con el fin de hacer realidad y mantener esa utilidad, deberá existir algún medio que permita verificar su grado de exactitud y asegurarse de que los errores han sido prácticamente eliminados. Por ello, la trazabilidad de los datos, así como los métodos utilizados para obtener y procesar éstos, deberán ser accesibles y fáciles de examinar. Los organismos hidrológicos establecerán procedimientos de trazabilidad, y procesarán eficazmente los datos de modo que su integridad quede preservada y pueda ser verificada.

Un sistema de tratamiento de datos debería incorporar las operaciones siguientes:

- a) registro de los datos tras su obtención, con el fin de confirmar su existencia y de conocer su historial de tratamiento;
- b) mantenimiento de copias de seguridad de los datos en su formato original;
- c) identificación inequívoca de cada lote de datos en las distintas etapas de tratamiento;
- d) identificación clasificatoria de los datos en términos de su procedencia y de su verificación o no antes de ser utilizados;
- e) presentación y almacenamiento de evidencias de modificaciones introducidas en los datos;
- f) archivado de todas las observaciones, libros-registro, formularios, etc. cumplimentados en el lugar de observación que permitan verificar los datos;
- g) control del número y tipo de correcciones que será posible introducir, y autorización para ello; y
- h) presentación de los datos en distintas modalidades para su comprobación y auditoría a cargo de personas preparadas para ello y que sean, en cierta medida, independientes del proceso.

9.5.4 Registros y seguimiento de los datos

En el momento de su llegada a las oficinas (tanto si son datos de telemetría como archivos informáticos, mapas o texto escrito), se introducirán los datos en registros seriales, generalmente clasificados por estaciones y tipos de datos, y por orden cronológico.

Este tipo de registros suele anotarse en papel, en una carpeta (aunque podrán ser electrónicos) en la oficina hidrológica, y son actualizados diariamente a medida que van llegando los lotes de datos. Inicialmente, habrá que anotar las horas de comienzo y finalización del lote, para a continuación confirmar las correcciones, comprobaciones y actualizaciones de la base de datos. Cada procedimiento se firmará con las iniciales del empleado y la fecha, con el fin de ir demarcando las responsabilidades y la autoría de las tareas a medida que se realizan éstas. Por consiguiente, los registros contendrán un registro cronológico verificado de las actividades de proceso de datos efectuadas en las oficinas.

9.5.5 **Identificación y conservación de los registros originales**

Todos los datos quedarán permanentemente identificados mediante los números de estación y otras claves requeridas. En las gráficas deberán figurar la fecha y hora, las lecturas manuales, etc., o bien una etiqueta que indique el comienzo y finalización del proceso. Los formularios, tarjetas y otros soportes de papel contendrán diversos campos que el personal cumplimentará con la información solicitada.

Todo este material se archivará por un período indefinido en un lugar apropiado, exento de humedad y protegido, junto con un sistema de indexación apropiadamente mantenido que permita recuperar cualquiera de sus elementos en caso necesario. Se adoptarán precauciones para evitar un deterioro indebido causado, por ejemplo, por moho, insectos, gusanos o pájaros. Ciertos tipos de material podrían volverse ilegibles por otras razones; por ejemplo, la cinta perforada con revestimiento de aluminio podría quedar pegada cuando el rollo está muy apretado, y será también difícil de leer los registros cuando los lectores de cinta y su programa queden obsoletos o no puedan ya funcionar. En tales casos, sería aconsejable almacenar la información reproduciéndola visualmente en formato electrónico. Una decisión en este sentido deberá estar precedida de un análisis de costo-beneficio.

Los datos electrónicos estarán sujetos a un sistema adecuado de denominación de archivos, y los datos originales quedarán archivados sin alteraciones. Es posible, y generalmente aconsejable, transformar los archivos a un formato duradero, legible por computadora, en el que consten el identificador de estación y otros identificadores procurando, con miras al futuro, no depender de programas informáticos o soportes físicos que pudieran quedar

obsoletos. Es aconsejable que los gestores del proceso de datos y de las bases de datos tengan presente esta observación a la hora de desarrollar y actualizar sus sistemas.

Se recomienda conservar un registro original de datos electrónicos en papel, en forma gráfica y a gran escala, o un listado impreso de sus valores si el conjunto de datos es pequeño. El material así obtenido se archivará inicialmente en la oficina de proceso, como copia de seguridad y como registro de las operaciones, siempre que en el archivo se hayan indicado por escrito todas las transformaciones, modificaciones y otras operaciones efectuadas, todo ello firmado y fechado por el encargado del tratamiento. Convendría anexar también otros documentos (por ejemplo, gráficos posteriores a las modificaciones); si se incorporan los comentarios adecuados, el resultado podría ser un registro simple pero completo del tratamiento. Algunos de los programas informáticos más avanzados disponen de funciones que permiten recopilar tales registros electrónicamente, y en algunas oficinas sería posible configurar un programa de base de datos específicamente con ese fin; sin embargo, los sistemas en papel son por lo general más sencillos y más fáciles de manejar, de comprender y de utilizar.

9.5.6 **Ajuste de los datos para subsanar los errores conocidos**

Los errores conocidos son los que han sido notificados por el técnico en el lugar de observación o por las personas encargadas del control manual de la calidad de los datos entrantes. Tales errores deberán ser subsanados antes de someter los datos a un proceso de validación. Los errores podrían ser consecuencia de una deriva gradual del reloj, del sensor o del mecanismo de registro, pero también podrían deberse a sucesos discretos como, por ejemplo, una detención del reloj o un fallo electrónico. En el primer caso, una base de datos de series cronológicas podría introducir automáticamente el ajuste necesario haciendo uso de valores registrados, o de ajustes de escala lineales o más complejos. En el segundo caso será posible insertar, en determinadas condiciones, estimaciones manuales de los datos faltantes (sección 9.4), siempre que el período alterado no sea demasiado prolongado y se disponga de información general suficiente.

Podría ser también necesario introducir ajustes para compensar fenómenos más complejos, como la presencia de hielo en las estaciones fluviométricas. En tales casos, los valores de altura del agua

corregidos se calcularán, casi con toda seguridad, por medios manuales durante el período alterado. También en este caso habrá que ejercer un control estricto de los supuestos previos que serían aceptables. Para la notificación de los errores se utilizarán procedimientos y formularios normalizados. Podrán utilizarse formularios para anotar las correcciones de la altura del agua o del flujo. Una característica esencial del proceso de corrección, tanto si es manual como informático, es la conveniencia de marcar adecuadamente todos los datos modificados y/o archivar los comentarios con el fin de indicar todos los ajustes efectuados.

Cuando haya que introducir ajustes en los valores temporales o paramétricos para cada uno de los lotes, deberá responderse a las preguntas siguientes antes de proseguir:

- a) ¿hay razones válidas para introducir los ajustes?
- b) ¿son los ajustes coherentes con el lote de datos precedente?; y
- c) ¿es necesario algún tipo de seguimiento, y se ha informado de ello al personal de la estación o a los observadores?

Las respuestas a las preguntas a) y b) deberán figurar, exhaustivamente documentadas, en el registro del tratamiento.

9.5.7 **Agregación e interpolación de datos**

Muchas variables de carácter dinámico han de ser muestreadas a intervalos relativamente breves, aunque se utilizarán únicamente en forma de promedio o total durante períodos largos. Así, en las aplicaciones hidrológicas que únicamente hagan uso de valores diarios de las variables climatológicas, éstas deberán ser muestreadas con mayor frecuencia para poder obtener unas estimaciones diarias fiables. La temperatura y la velocidad del viento son buenos ejemplos de ello, al igual que los datos de nivel de agua y de flujo fluvial. En tiempos pasados, en que los costos de almacenamiento en computadora eran más elevados, el volumen de agregación de los datos producidos solía ser diferente al de los datos almacenados. Pero las modernas bases de datos de series cronológicas dispondrán, por lo general, de capacidades de almacenamiento y recuperación eficaces que permitirán archivar todos los puntos de datos. Los datos agregados en períodos más extensos, por ejemplo, los promedios mensuales o anuales se utilizarán para la confección de informes y publicaciones, o se conservarán en forma de archivos de datos procesados con fines de referencia.

9.5.8 **Cálculo de variables derivadas**

Las variables derivadas son parámetros que no han sido medidos directamente, sino que han de ser calculadas a partir de otras mediciones. Los ejemplos más habituales son la escorrentía y la evapotranspiración potencial. Sin embargo, las variables derivadas son muy diversas, y abarcan gran número de índices de la calidad del agua.

Una decisión importante en relación con la gestión de una base de datos estriba en determinar si será necesario almacenar las variables derivadas después de que éstas hayan sido estimadas y notificadas. Evidentemente, cuando el espacio de almacenamiento es limitado, no es esencial ocuparlo con datos que podrían ser recalculados fácilmente a partir de los datos básicos disponibles. Así, por ejemplo, no es habitual almacenar los datos de carga de sedimentos o de sales disueltas, ya que se utilizan con menor frecuencia y pueden ser calculados muy rápidamente multiplicando dos series cronológicas básicas: la de flujo y la de concentración.

Dos ejemplos ilustrativos: en Estados Unidos, el *Water Data Storage and Retrieval System (WATSTORE)* (sistema de almacenamiento y recuperación de datos hídricos) (Hutchinson, 1975; Kilpatrick, 1981) mantiene en línea datos de flujos medios diarios, mientras que en Nueva Zelandia el programa informático para el archivo y recuperación de datos que varían con el tiempo (TIDEDA) (Thompson y Wrigley, 1976) almacena únicamente las alturas del agua de la serie cronológica original y calcula los flujos y otras variables derivadas cuando recibe una solicitud al respecto. La única regla inamovible es que, sean cuales sean los valores que se deriven, la serie de datos originales se conservará en una instalación de almacenamiento duradero estable y fuera de línea.

En su mayoría, las bases de datos de series temporales modernas dispondrán de capacidades que harán innecesario repetir los cálculos. Con la instalación de registradores cronológicos de gran capacidad de programación y tratamiento, tiene más sentido preguntarse si será posible calcular esas variables mediante un registrador cronológico antes de someterlas a un tratamiento primario de los datos. Se recomienda no efectuar el cálculo, con el fin de controlar y normalizar los métodos; es mucho más fácil verificar la metodología de un sistema de proceso de datos que hacerlo en el contexto de un programa vinculado a distintos tipos de instrumentos que, inevitablemente, diferirán con el tiempo y en términos geográficos.

9.5.9 **Categoría de estado de los datos**

Deberá controlarse cuidadosamente la categoría de estado de los datos, con el fin de determinar si han de ser validados o corregidos, o si se encuentran ya en su forma final y listos para su uso. Algunos sistemas de bases de datos incorporan una clave indicativa de ese estado; otros ofrecen la posibilidad de restringir el acceso e impedir la manipulación y las correcciones, con arreglo a su categoría de estado. Así, por ejemplo, el *Survey's Automated Data Processing System* (sistema de proceso automatizado de datos) del Servicio Geológico de Estados Unidos, contempla tres categorías de estado: en funcionamiento, en examen, y aprobado. En los sistemas de base de datos que carezcan de tales medios serán necesarias unas normas de funcionamiento que especifiquen cuáles de los miembros del personal podrán tener acceso a los distintos directorios de trabajo y de archivado, así como a otros privilegios, como la protección de los archivos frente a la escritura. Siempre que sea posible, se recomienda que sea una sola persona la que opere este tipo de sistemas para cada base de datos. Debería haber además otra persona, preferiblemente de nivel superior, con privilegios para actuar como sustituto, aunque solo cuando ello fuera esencial.

9.6 **PROCEDIMIENTOS ESPECÍFICOS DEL TRATAMIENTO PRIMARIO**

Los procedimientos generales anteriormente indicados son aplicables, en distinta medida, a diversos tipos de datos hidrológicos, por lo que conviene señalar algunos de los procedimientos específicos habitualmente empleados. En varias publicaciones de la OMM y de la FAO (por ejemplo, FAO/OMM, 1985) se exponen directamente muchos de los procedimientos indicados más adelante, y en el presente texto se hará frecuentemente referencia a las publicaciones correspondientes. Será útil consultarlas para conocer la teoría básica y la manera de formular las distintas técnicas, principalmente para las tareas de tratamiento manual. En la presente sección se ofrece información adicional para ampliar tales técnicas.

9.6.1 **Datos climatológicos** [HOMS H25]

Las variables climatológicas más importantes en las aplicaciones hidrológicas son, además de la precipitación, la temperatura, la evaporación y la evapotranspiración, por orden de complejidad de tratamiento. Antes de examinar las operaciones de tratamiento, será útil analizar los medios que permiten observar y registrar la mayoría de los

datos climatológicos, ya que éstos influirán considerablemente en las operaciones subsiguientes. La gran diversidad de variables climatológicas, así como su naturaleza dinámica, han dado lugar a una situación en que la mayoría de los datos primarios se obtienen de una de dos fuentes: estaciones climáticas permanentemente ocupadas, y estaciones climáticas (o meteorológicas) automáticas equipadas. En el primer caso, los observadores tendrán que estar adecuadamente preparados y desempeñar muchas de las tareas básicas del tratamiento de datos in situ. Dado que la mayoría de los parámetros requieren un tratamiento bastante simple, podría ser suficiente con someterlos a un tratamiento en el lugar de observación. Incluso en los casos en que hay que obtener parámetros más complejos, los observadores suelen estar preparados para evaluarlos mediante monogramas especialmente confeccionados, o mediante computadoras o dispositivos de registro cronológico y transferencia de datos electrónicos. Así, el tratamiento primario por medios informáticos, cuando se efectúe, abarcará en gran medida la verificación de los cálculos manuales.

La utilización de estaciones climatológicas automáticas implica la existencia de un sistema de equipos y programas informáticos suministrado por el fabricante, con capacidad para efectuar una parte del proceso de datos. De hecho, gran número de estaciones climatológicas están específicamente diseñadas para proporcionar estimaciones de la evaporación y, por lo general, de la evapotranspiración mediante el método Penman (capítulo 4). Sin embargo, convendrá examinar cuidadosamente la conveniencia o no de calcular tales variables mediante el registrador cronológico de datos antes someter éstos a un tratamiento primario. No se recomienda esta opción, con objeto de poder controlar y normalizar los métodos. Cuando no sea necesario computar las variables, por ejemplo, cuando los datos están siendo utilizados en tiempo casi real, será preferible introducir también éstas en la base de datos para efectuar el cálculo mediante un método más controlado y normalizado. Los datos de las estaciones climáticas automáticas deberán ser utilizados con precaución, debido a que la calidad de los sensores es muy variable en comparación con la de la mayoría de estaciones climáticas manuales. En la *Guía de prácticas climatológicas* (OMM-N° 100) se encontrará un examen más detallado del proceso de datos climatológicos.

Algunas variables climatológicas han de ser transformadas en variables estándar antes de las fases de almacenamiento y/o aplicación. Así, por

ejemplo, las velocidades del viento medidas a alturas no estándar podrían tener que ser convertidas a una altura estándar de 2 o 10 m mediante la ley de potencias de la velocidad del viento. Análogamente, será posible corregir las mediciones de presión de modo que correspondan a un valor medio de la altura del nivel del mar, siempre que esta transformación no haya sido efectuada antes de la introducción de los datos.

9.6.1.1 Observaciones de evaporación y de evapotranspiración [HOMS I45, I50]

Cuando se utilicen técnicas de medición directas, podrá utilizarse una computadora para verificar las estimaciones de evaporación mediante la comprobación de los niveles de agua (o pesos del lisímetro), así como las cantidades de agua añadidas o sustraídas.

Para calcular la evaporación en lagos mediante datos de tanque, será necesario aplicar el coeficiente correspondiente. En algunos casos, este coeficiente no es un valor fijo, sino que deberá ser calculado mediante un algoritmo que haga uso de otros parámetros climatológicos, por ejemplo, velocidad del viento, temperatura del agua y del aire o presión de vapor. Estos parámetros podrán representarse mediante ciertos valores promedios de largo período, o mediante valores coincidentes con el período respecto del cual se analizan los datos del tanque. En el archivo descriptivo de la estación (capítulo 2) deberán indicarse los coeficientes de tanque o sus algoritmos correspondientes. Cuando un algoritmo hace uso de valores promediados en largos períodos, será necesario almacenar también éstos en el mismo archivo.

La estimación de la evaporación y de la evapotranspiración se examina más en detalle en los capítulos 2 y 4. El componente I50 de HOMS contiene programas de computadora que permiten resolver la ecuación de Penman.

9.6.1.2 Datos de precipitación [HOMS H26]

Los datos obtenidos mediante pluviógrafos se analizan frecuentemente con el fin de extraer de ellos información sobre las características de las tormentas, mientras que los datos obtenidos de pluviómetros totalizadores (o medidores de precipitación acumulada) se utilizan principalmente para cuantificar la disponibilidad y variación de los recursos hídricos.

Antes de analizar cualquier dato obtenido de pluviógrafos, será necesario elaborar series

cronológicas regularmente espaciadas, basándose en las series irregulares en que se registran habitualmente los datos. Cuando éstos han pasado por una etapa de validación previa, es posible que hayan sido ya convertidos a un formato de serie cronológica. El programa informático utilizado para la conversión permitirá evaluar las series temporales a intervalos constantes, compatibles con la resolución de los datos de entrada. Se examinan a continuación los métodos para seleccionar un intervalo de tiempo adecuado.

Tanto si los datos provienen de pluviógrafos como de pluviómetros totalizadores, la primera prioridad será la asignación de unos totales de precipitación de lluvia acumulada y la interpolación de los registros faltantes. Los valores totales de lluvia acumulada son habituales en los registros de precipitación diarios, por ejemplo, cuando un medidor no ha sido leído durante todo un fin de semana. Sin embargo, son también habituales en los medidores de cubeta basculante que transmiten los datos mediante sistemas básicos de telemetría. Si no se recibieran informes de éstos durante un período de lluvia, el primer informe recibido tras ese lapso contendrá el número acumulado de basculaciones de la cubeta. La diferencia entre este valor y el indicado en el último informe deberá ser distribuida de manera apropiada. Las técnicas utilizadas para distribuir los totales acumulados y para estimar los valores enteramente faltantes son, esencialmente, las mismas. Los valores de precipitación distribuida o estimada deberán ser adecuadamente marcados mediante el proceso correspondiente. Podrán utilizarse exactamente las mismas técnicas para los datos obtenidos a intervalos más breves utilizando pluviógrafos; las estimaciones que se obtengan, sin embargo, serán de menor calidad, ya que por lo general habrá un menor número de estaciones adyacentes, y debido también a la naturaleza dinámica de los episodios de lluvia breves. En algunos casos, la precipitación se mide asimismo mediante diferentes instrumentos a alturas no estándar. Por consiguiente, podría ser necesario transformar los datos para que correspondan a un tipo y altura de medidor estándar, en aras de la coherencia. En la *Guía de prácticas climatológicas* (OMM-N° 100) y en el capítulo 3 se encontrará más información sobre el proceso de datos climatológicos.

9.6.2 Datos sobre el flujo fluvial [HOMS H70, H71, H73, H76, H79]

Para producir datos sobre el flujo fluvial, el tratamiento se divide en varias etapas. La primera está vinculada a las series de datos de nivel de agua;

la segunda abarca las mediciones del flujo; la tercera representa los flujos medidos mediante curvas de gasto; y la cuarta culmina el proceso aplicando las curvas de gasto a los datos de la serie con el fin de calcular los flujos. En el *Manual on Stream Gauging* (WMO-No. 519) se encontrará más información sobre las técnicas de cálculo del flujo, aunque hay varias bases de datos de series cronológicas que efectúan esos cálculos con carácter estándar.

9.6.2.1 Datos seriales de nivel de agua

Al igual que con otros tipos de series de datos, se verificará en primer lugar que la fecha y hora de comienzo y los valores del lote de datos coincidan con los valores finales del lote precedente. Sería útil que mediante el tratamiento inicial se obtuvieran las alturas de la escala máxima y mínima, con objeto de efectuar una comprobación inicial del intervalo de valores. Todo valor inhabitualmente alto o bajo será señalado mediante un banderín, a fin de comprobar que los valores están en el contexto apropiado.

Con respecto al lote de datos, se representará gráficamente y se examinará a fin de detectar problemas tales como:

- conducciones de toma o pozos de amortiguación obturados, que se manifestarán generalmente en forma de crestas y recesiones redondeadas inhabitualmente planas;
- picos o pequeños grupos de valores manifiestamente fuera de contexto e incorrectos, debido a una variación anormalmente grande del valor entre puntos de datos adyacentes. Pueden darse tales situaciones, por ejemplo, cuando aparecen errores en los valores digitales entre un sensor y un puerto de entrada de un registrador cronológico de datos;
- lagunas de datos, que deberían tener alguna explicación e ir acompañadas de una nota explicativa de las operaciones necesarias para subsanarlas;
- errores inducidos por el personal de observación, como el bombeo de agua en un pozo para su llenado;
- restricciones de movimiento del sistema de flotador/contrapeso o del codificador (posiblemente causadas por un cable de longitud incorrecta);
- vandalismo o interferencia de personas o animales; y
- residuos atrapados en la estructura de control, u otras situaciones de bloqueo o de remanso.

Obsérvese que, si no se detectasen estos problemas en la visita sobre el terreno, será necesario investigarlos con la mayor prontitud posible.

Cuando no se haya identificado positivamente la causa, se aplazará el proceso completo de los datos hasta que sea posible investigar el asunto sobre el terreno.

Tras examinar la gráfica, se incluirá en el registro del tratamiento una descripción de los problemas identificados, junto con todo texto impreso que refleje los ajustes de los datos, las correcciones menores y cualquier otra operación. Además de los comentarios pertinentes, se incluirá también:

- la fecha en que se han representado gráficamente los datos;
- la firma del operario procesador; y
- las notas relativas a todas las correcciones introducidas en los datos y sobre cualquier otra operación efectuada posteriormente, que modifiquen los datos del archivo respecto de los representados en la gráfica (por ejemplo, picos eliminados o datos manuales insertados a consecuencia de la deposición de lodo). Por lo general, cuando se introduzca una corrección se añadirá otra gráfica con el fin de mostrar sus efectos, archivando seguidamente todas las evidencias al respecto.

Las gráficas contendrán un campo de fecha, hora y lectura de nivel de agua al comienzo y al final de la operación. Dado que estos datos indican los ajustes introducidos en las observaciones originales, es evidente que las anotaciones deberán ser claras.

9.6.2.2 Mediciones del flujo

El cálculo de los valores de flujo obtenidos de los datos de los molinetes suele efectuarse en la oficina local o sobre el terreno, según el tipo de instrumentación. Cuando se apliquen otros métodos, por ejemplo, volumétricos, de dilución o acústicos desde una barca en movimiento, se utilizarán diversos métodos de cálculo en el lugar de observación o en la oficina local. La última etapa del tratamiento consistirá en la comprobación de los cálculos seguida, posiblemente, de una etapa de postratamiento cuando se considere necesario introducir algún ajuste, por ejemplo, de las calibraciones de los instrumentos, de los desplazamientos de valores o de las estimaciones liminales.

El tratamiento primario abarcará también la inserción de información en el registro del medidor y, en su caso, la representación gráfica sobre la curva de gasto, así como la introducción de los resultados en la base de datos. En función del método y del programa informático utilizados, podría incorporarse también

íntegramente el archivo de datos en bruto en la parte correspondiente de la base de datos hidrológicos.

Debido a la influencia que ejercen en las estimaciones de flujo posteriores, se recomienda someter los datos de medición del flujo a una verificación apropiada. En este contexto, se calculará la incertidumbre estadística mediante métodos reconocidos, por ejemplo, los sugeridos en la norma ISO 748 (ISO, 1995). Si las técnicas y el programa informático utilizados lo permitieran, el proceso de verificación incorporará también un examen de las gráficas de la sección transversal y de las velocidades medidas, con el fin de comprobar los errores e incoherencias más llamativos. Cuando la experiencia lo justifique, se contemplará también la posibilidad de introducir correcciones en los casos de deflexión excesiva de los alambres de sondeo en los medidores suspendidos, y cuando la velocidad no sea perpendicular a la sección medida (*Manual on Stream Gauging* (WMO-No. 519)).

9.6.2.3 Curvas de gasto

Las curvas de gasto definen la relación entre la altura del agua y el flujo. Esta relación se determina mediante un gran número de mediciones fluviales para un rango amplio de valores de flujo, y utilizando los valores de altura del agua y de caudal para definir una curva de gasto continua. Aunque las estructuras de control tendrán posiblemente unos valores de gasto normalizados teóricos, se recomienda determinar estos valores sobre el terreno.

El ajuste de las curvas de gasto a las mediciones representadas gráficamente se ha efectuado, tradicionalmente, por medios manuales. En muchos casos, el ajuste de la curva puede efectuarse con mayor objetividad mediante métodos informáticos. En caso necesario, podrán asignarse valores de ponderación a cada medición del caudal con el fin de reflejar el grado de confianza subjetivo o estadístico a ella asociado. Sin embargo, dado que algunas secciones contienen varios puntos de control hidráulico, numerosos hidrólogos prefieren seguir ajustando manualmente las curvas de gasto. Son muchos los factores que influyen en la calidad de la curva de gasto. Por ello, es absolutamente necesario que un sistema de tratamiento de flujo sea capaz de identificar y situar la curva de gasto correcta, teniendo presentes los límites de su aplicabilidad. Merece señalarse la importancia otorgada a la conservación de las curvas de gasto históricas con el fin de poder recalculer los flujos.

El almacenamiento en computadora de las curvas de gasto se efectúa atendiendo a dos modalidades: funcional y tabular. La modalidad tabular sigue siendo la más habitual, y consiste en elaborar una tabla extrayendo manualmente distintos puntos situados sobre la curva de gasto. La extracción se efectúa de manera que sea posible interpolar puntos intermedios, en forma lineal o exponencial, sin obtener un error apreciable en la estimación del flujo. La modalidad funcional de la curva de gasto proviene de tres procedencias distintas:

- a) una ecuación teórica (o modificada) de una estructura de medición;
- b) una función ajustada mediante computadora a los puntos medidos, es decir, el equivalente automatizado del proceso de ajuste manual; y
- c) una función ajustada a los puntos de la tabla elaborada conforme se ha indicado en el párrafo precedente; en otras palabras, el equivalente de un alisamiento de la curva ajustada manualmente. Este método se utilizará normalmente para las bases de datos de series cronológicas con funciones hidrológicas.

9.6.2.4 Cálculo del flujo

Actualmente, los programas informáticos de bases de datos de series cronológicas incorporan un proceso estándar para aplicar las curvas de flujo a la serie de datos de nivel de agua. La decisión de aplicar las pequeñas variaciones del nivel del lecho en forma de nuevas curvas o de desplazamientos que introducen una corrección o ajuste a los datos del nivel de agua dependerá de la capacidad del programa informático.

En cada caso, la curva que se aplique deberá abarcar el intervalo de valores de nivel de agua correspondiente al período considerado; en caso necesario, habrá sido extrapolada mediante un método reconocido y justificado, y será válida para el período considerado. Los valores de altura del agua deberán haber sido validados una vez introducidas las correcciones necesarias de los errores del elemento de referencia, del desplazamiento de valores del sensor y de la cronología. Cuando las curvas de gasto estén relacionadas con controles artificiales frecuentemente cambiantes, por ejemplo, puertas o esclusas, podría ser necesaria una serie cronológica de ajustes de control como elemento orientativo para la selección de la curva de gasto apropiada mediante computadora.

Aunque la recopilación de las curvas de gasto es teóricamente simple y constituye un procedimiento normalizado, en ocasiones ha de ser interpretada y obliga a adoptar decisiones. Ello se debe a la

posibilidad de que el número y cronología de las mediciones de flujo sean inadecuados, debido a las dificultades prácticas para realizar esa operación. Podrían ser necesarios los conocimientos y experiencia de un hidrólogo para poder responder a preguntas tales como:

- ¿cuál de las crecidas sobrevenidas entre dos mediciones sucesivas ha ocasionado una variación o desplazamiento de la curva?;
- ¿en cuál de los períodos de, por ejemplo, una crecida, debería aplicarse una transformación progresiva de una curva en otra?; y
- ¿debería aplicarse una ponderación menor a una medición de flujo elevado efectuada en condiciones inadecuadas o mediante una técnica menos exacta cuando su representación gráfica se salga de la curva predicha por el método ampliado de área-velocidad?

Estas preguntas y otras del mismo tenor pueden inducir a examinar detenidamente y, en ocasiones, revisar las curvas de gasto después de concluir las mediciones de flujo adicionales, especialmente en regímenes de flujo elevado.

Un problema que se plantea frecuentemente al aplicar múltiples curvas de gasto es la aparición de cambios abruptos del caudal en el momento de la sustitución. Cuando el sistema de tratamiento no tiene capacidad para unificar las curvas con el paso del tiempo, será necesario algún tipo de ajuste manual del flujo durante el período de transición. Cuando en lugar de alterar la curva de gasto se alteren los valores de altura del agua (desaconsejable), podrían hacerse variar los desplazamientos durante el período considerado para obtener el resultado.

Se desaconseja desplazar los valores de altura del agua en lugar de elaborar una nueva curva, dado que:

- al introducir en los datos originales una corrección que, de hecho, es falsa, se requerirá una dedicación y un volumen de recursos considerables para salvaguardar los datos correctos y evitar una utilización inadecuada de los datos desplazados;
- los procesos de determinación, aplicación y comprobación de los desplazamientos incrementan considerablemente la complejidad de los métodos; y
- los procesos de control de la calidad (por ejemplo, la representación gráfica de las alturas del agua medidas en un hidrograma, o la representación gráfica de las desviaciones medidas respecto de la curva de gasto) son más difíciles de aplicar y de utilizar.

Con las actuales aplicaciones hidrométricas de los programas informáticos, el esfuerzo necesario para recopilar y aplicar nuevas curvas de gasto es mucho menor, obviando así la necesidad de alterar los datos de altura del agua como solución indirecta.

9.6.3 Datos sobre la calidad del agua

El tratamiento primario de los datos sobre la calidad del agua abarca cuatro grandes áreas de actividad:

- verificación de los valores de laboratorio;
- conversión de las unidades de medida y ajuste de los valores a escalas de referencia normalizadas;
- cálculo de índices de calidad del agua; y
- cálculos de balance de masa.

La verificación de los resultados de laboratorio podría incluir la reevaluación de los valores calculados manualmente y/o comprobaciones de coherencia entre diferentes valores constituyentes. Estas operaciones consisten esencialmente en una ampliación de las técnicas de validación de datos.

La normalización de las unidades es importante para lograr la coherencia de los valores almacenados en la base de datos. Las operaciones necesarias abarcan la conversión de las unidades de medida utilizadas, por ejemplo, unidades normales en unidades de equivalencia, o la corrección de los valores para ajustarse a una norma de referencia, por ejemplo, transformando los valores de oxígeno disuelto y de conductividad en los correspondientes valores para una temperatura del agua estándar de 20 °C.

Los índices de calidad del agua suelen estar basados en relaciones empíricas cuya finalidad es clasificar las características correspondientes de la calidad del agua con un fin específico. Así, hay índices de idoneidad, por ejemplo, respecto a la potabilidad, la tratabilidad, la toxicidad o la dureza del agua. Dado que estos índices han sido obtenidos del conjunto básico de datos sobre la calidad del agua, no suele ser necesario almacenarlos después de haber sido comunicados. Podrán ser recalculados cuando sea necesario.

Algunos índices tienen una importancia directa para la gestión del agua. Se pueden utilizar, por ejemplo, relaciones empíricas de las principales variables del agua de desecho como base para elaborar un baremo de costos de tratamiento de ésta: cuanto más alto sea el índice, mayor será el costo.

Los cálculos del balance de masa tienen por objeto medir la carga de polución y comprobar adicionalmente la fiabilidad de los datos de calidad del agua. La carga se calcula multiplicando la concentración por el flujo (o por el volumen, en masas de agua confinadas). Mediante el cálculo de las cargas en varios puntos de un sistema fluvial es posible detectar fuentes de polución importantes que, de otro modo, habrían quedado enmascaradas por las variaciones del flujo. Evidentemente, los cálculos del balance de masa deberán efectuarse después del cómputo de los flujos. Son cálculos sencillos en el caso de los componentes conservadores de la calidad del agua, es decir, aquellos que no varían, o que evolucionan muy lentamente con el tiempo.

Los componentes no conservadores, como el oxígeno disuelto o la DBO, pueden variar con gran rapidez, y se necesitarán unas técnicas de modelización bastante sofisticadas para conocer de cerca su comportamiento. Se encontrará información y técnicas adicionales sobre este tema en las publicaciones *Manual on Water Quality Monitoring: Planning and Implementation of Sampling and Field Testing* (WMO-No. 680), y *Guía Operativa GEMS/Agua* (PNUMA/OMS/UNESCO/OMM, 1992).

9.7 TRATAMIENTO SECUNDARIO

Se interpretará aquí el tratamiento secundario como el conjunto de etapas necesarias para producir datos en un formato convertido, resumido o reducido, por ejemplo, las precipitaciones de lluvia diarias obtenidas de los datos directos, o el caudal promedio diario obtenido de los datos de altura del agua y de la curva de gasto. Se incluyen también en ese concepto las correcciones secundarias introducidas tras una validación más compleja, y la inserción de datos sintéticos en las lagunas de datos del registro.

Además, es posible reagrupar los datos e introducir niveles adicionales de cifrado, así como convertir las unidades de medida en las unidades normalizadas adoptadas en la base de datos. La conversión de series temporales irregulares en regulares es también, en muchos casos, una de las operaciones necesarias. Hay muchas posibilidades con respecto a la manera de comprimir los datos para mejorar la eficacia del almacenamiento, aunque los equipos y programas informáticos de bases de datos están ya reduciendo la necesidad de compresión.

9.7.1 Tareas habituales posteriores al cálculo

En el proceso de los datos, una tarea importante que reviste interés en relación con el flujo es el conjunto de operaciones de mantenimiento necesarias de los conjuntos de datos. Estas operaciones obedecen a decisiones respecto a los conjuntos de datos que habrá que conservar, descartando aquellos que son superfluos o incorrectos y que pudieran ser confundidos con el conjunto de datos correcto. Se aconseja conservar únicamente los datos básicos esenciales (junto con sus copias de seguridad) y, posiblemente, en función de las capacidades informáticas de las bases de datos, todo dato derivado que haya sido laborioso de obtener. Así, por ejemplo, en algunos sistemas el cálculo del flujo medio diario requiere una gran dedicación, por lo que este tipo de conjuntos de datos se conservarán como datos primordiales. Por otra parte, algunos organismos utilizan programas informáticos (por ejemplo, TIDEDA en Nueva Zelanda o *Time Studio* en Australia) que calculan rápidamente los conjuntos de datos a partir de los datos de altura del agua y de la curva de gasto archivados, por lo que carecería de sentido almacenarlos una vez utilizados. (Sería desaconsejable hacerlo ya que este tipo de sistemas permite actualizar fácilmente las curvas de gasto cuando se dispone de datos adicionales, con lo que se dispondría automáticamente de los datos de flujo más recientes.) (Se encontrará más información sobre el componente del HOMS, TIDEDA, en el sitio web de la OMM, en <http://www.wmo.ch/pages/prog/hwrp/homs/Components/Spanish/g06201.htm>).

Según el tipo de sistema utilizado, y con fines orientativos, convendría conservar los datos siguientes en relación con el flujo:

- datos de altura del agua en su forma original, sin modificaciones (los archivos de registro cronológico de datos deberían incluirse cuando se incorporen o anexasen datos sobre la estación y datos de fecha/hora);
- datos de correcciones temporales y de la altura del agua obtenidos sobre el terreno, así como las correcciones introducidas en el tratamiento primario, junto con el nombre de la persona que haya efectuado las correcciones y registrado las fechas;
- datos de altura del agua ajustados, en otras palabras, la serie cronológica de valores de nivel de agua corregidos para subsanar los errores del elemento de referencia, de la altura de la escala y de la cronología. Debería conservarse (fuera de línea) una copia en papel y, como mínimo, una copia de seguridad;

- d) datos del medidor en su forma original, tanto en forma de fichas como de archivos informáticos, por ejemplo, datos de un perfilador de corriente de efecto Doppler;
- e) curvas de gasto, también en su forma original, tanto en gráficas sobre papel como en archivos de corrección gráficos;
- f) toda corrección de desplazamiento correspondiente;
- g) si procediera, los valores promedios del flujo diario; y
- h) datos sobre el uso de agua a nivel de cuenca, utilizados para obtener valores de flujo naturalizados, si éstos hubieran sido calculados.

En términos generales, los demás conjuntos de datos serán, en su mayoría, transitorios, o podrán ser fácilmente obtenidos de los conjuntos básicos.

Será esencial hacer una copia de seguridad, tanto en línea como fuera de línea, de todos los conjuntos de datos electrónicos. Será aconsejable mantener varias copias de seguridad con diferentes frecuencias de reescritura, almacenando la de frecuencia más larga en una ciudad diferente. Los registros originales en papel se conservarán en habitaciones especialmente diseñadas, a prueba de incendios y de inundaciones, cuyo acceso estará estrictamente controlado; como alternativa, si fuera aceptable en términos de costo, se convertirán en imágenes y se almacenarán electrónicamente.

9.7.2 Inserción de estimaciones de los datos faltantes

La utilidad de los datos dependerá, en gran medida, de su completitud. Sin embargo, la sustitución de datos faltantes por estimaciones puede poner seriamente en tela de juicio su utilidad para ciertos fines y, dado que podrían no conocerse las aplicaciones futuras en el momento de obtener o procesar los datos, la operación debería efectuarse con gran precaución y comedimiento. Estas operaciones deberían ser también constatables, de manera que la presencia de datos sustituidos sea discernible para el usuario y el proceso pueda ser revertido en caso necesario.

Como se ha indicado en la sección 9.2, el hidrólogo debe obrar con precaución cuando introduzca correcciones en los datos. Debería haber un organismo que formulase unos criterios estrictos para la modificación o incorporación de datos, tarea que deberá estar siempre basada en evidencias, y nunca en conjeturas.

Se indican a continuación algunos criterios sugeridos en relación con los datos de nivel de agua y de la precipitación de lluvia, tal y como son utilizados en el *Water Resources Archive* (archivo de recursos hídricos) de Nueva Zelanda (Nacional Institute of Water and Atmospheric Research, 1999, manual no publicado):

- a) no se introducirán alteraciones a menos que haya razones científicas para ello y que éstas queden registradas, como se indica más adelante;
- b) la justificación de las alteraciones constará en el registro de tratamiento, que podría consistir en una gráfica de los datos originales del registro de la estación o en un comentario incorporado a la base de datos;
- c) por norma general, las lagunas debidas a registros faltantes no serán sustituidas por datos sintéticos o interpolados. Todo dato aproximado deberá ser comunicado a los usuarios incluyéndolo o referenciándolo mediante un comentario en la base de datos. En los apartados d) a e) siguientes se indican algunas excepciones que permitirían utilizar datos sintéticos o interpolar valores;
- d) las lagunas de los registros de altura del agua podrán ser sustituidas por una línea recta o curva, según el caso, siempre que se cumplan todas las condiciones siguientes:
 - i) el río esta experimentando una recesión natural, y su nivel de agua es inferior (o idéntico) al final del período;
 - ii) se tiene la seguridad de que no ha habido lluvias importantes en la cuenca de drenaje durante el período de concentración vinculado al período de datos faltantes;
 - iii) se ha constatado que la cuenca de drenaje está exenta de abstracciones y descargas que modifiquen el régimen de flujo natural, como estaciones hidroeléctricas o instalaciones de riego;
 - iv) la gráfica resultante es coherente con los datos anteriores y posteriores;
 - v) en determinadas situaciones (por ejemplo, plantas hidroeléctricas), una estación adyacente podría registrar datos idénticos o casi idénticos. En el primer caso, el registro se completará como si fuese una copia de seguridad. En el segundo caso, se introducirán los datos ajenos cuando la incertidumbre sea inferior a la del valor estándar, o cuando la correlación entre estaciones respecto de ese parámetro y ese mismo intervalo de valores sea convincentemente igual o superior a 0,99. Deberá adjuntarse un comentario que contenga una descripción de las relaciones correspondientes; y

- vi) la estación no está situada en un lago expuesto habitualmente a seiches o inclinaciones por efecto del viento (este fenómeno está muy estudiado, y no se dispondrá de un registro sintético que permita recrearlo);
- e) cuando las condiciones no cumplan estos criterios pero haya personal capacitado en el emplazamiento durante todo el período (por ejemplo, para limpiar de lodo el pozo de amortiguación) y se disponga de observaciones manuales registradas, los datos faltantes podrán ser sustituidos por estos valores, e interpolados en consonancia;
- f) no será aceptable subsanar una laguna de datos del registro original con datos sintéticos obtenidos por correlación. Éstos podrán utilizarse, sin embargo, para atender una solicitud de datos, siempre que se informe al usuario del grado de incertidumbre inherente. Este tipo de datos deberán ser cuidadosamente controlados, para asegurarse de que no son archivados erróneamente en los archivos locales o centrales;
- g) las lagunas de datos existentes en registros de lluvia solo podrán interpolarse cuando sea posible establecer que no ha habido lluvias durante el período, en base a correlaciones demostradas con otros medidores situados dentro o fuera de la cuenca de drenaje cuyo coeficiente de correlación sea igual o superior a 0,99.

La renuencia a archivar datos que no se ajusten a unas normas estrictas presenta la ventaja de permitir centrarse en las medidas necesarias para reducir el volumen de datos faltantes. Dado que muchas de las lagunas de datos son evitables, un esfuerzo permanente por mejorar los resultados a ese respecto representará una diferencia cualitativa con respecto a la calidad general de los datos.

Cuando sea necesario subsanar lagunas debidas a registros faltantes, como sucederá inevitablemente en ciertos tipos de análisis, el tiempo invertido en efectuar estimaciones durante la etapa de pretratamiento podría reportar considerables beneficios cuando se utilicen o analicen los datos finales. Sería también conveniente que estas primeras estimaciones fuesen efectuadas por el responsable de la obtención de los datos, contando con los conocimientos recientes y de ámbito local. Suele suceder, sin embargo, que la reconstrucción de los registros defectuosos requiere una gran dedicación, o que, para su recuperación, será necesario acceder a datos procesados de otra fuente que abarquen ese mismo período. Deberá adoptarse una decisión acerca de si la responsabilidad de la estimación

inicial del registro faltante recaerá sobre el encargado de la obtención de los datos, o si sería posible sintetizarlos más eficazmente en una etapa posterior del proceso mediante rutinas de tratamiento terciarias.

Normalmente, suele intentarse subsanar las lagunas de datos mediante correlación cruzada con estaciones de medición cercanas, particularmente si están situadas en el mismo sistema fluvial. En ausencia de relaciones de intercorrelación fiables, podrá hacerse uso de modelos de lluvia-escorrentía, y en particular de modelos de cuenca de drenaje conceptuales. Todos los datos estimados estarán marcados con los banderines apropiados, o quedarán almacenados en un archivo aparte.

Muchos sistemas fluviales resultan considerablemente afectados por las actividades humanas, y estos efectos tienden a variar a lo largo del tiempo. En los estudios sobre hidrología y recursos hídricos, suele ser necesario tratar de aislar estos efectos artificiales de la respuesta natural de la cuenca de drenaje, es decir, tratar de obtener una serie cronológica estacionaria. Este proceso requiere una amplia información general acerca de todas las desviaciones directas e indirectas, descargas y acumulaciones en la cuenca de drenaje. Los efectos del uso del agua podrían incorporarse conjuntamente a una serie temporal única de modificaciones netas del flujo fluvial. Cuando se aplican estas correcciones a los flujos de corriente medidos, se obtiene una serie temporal naturalizada. También en estos casos habrá que marcar los datos utilizando los banderines apropiados.

9.8 VALIDACIÓN Y CONTROL DE LA CALIDAD

En el presente capítulo, y a efectos de simplificación, se ha establecido una distinción relativamente artificial entre los procedimientos de tratamiento primarios y secundarios y los procedimientos de validación. Los procedimientos de validación de datos suelen consistir en comparar los datos introducidos con los valores de prueba, y operarán frecuentemente en distintos niveles del tratamiento primario, de la comprobación de datos y del control de la calidad. Podrían consistir en comprobaciones automatizadas simples, complejas y, posiblemente, automatizadas en distintas etapas del proceso y archivado de los datos. Algunas podrían ser también aplicables a los datos resultantes y a los análisis estadísticos, cuando el operario sea un experto usuario de los datos.

Dado que son elementos integrantes del control de la calidad, la finalidad perseguida es conseguir el nivel más alto posible de todos los datos antes de entregarlos a los usuarios.

9.8.1 Procedimientos generales

Aunque las técnicas de validación de datos mediante computadora son cada vez más útiles y potentes, conviene tener presente que nunca estarán enteramente automatizadas hasta el punto de que el hidrólogo no necesite comprobar los valores marcados. De hecho, para conseguir la eficacia máxima, el hidrólogo podría tener que ajustar constantemente los valores de umbral del programa, y deberá aplicar su criterio, adecuadamente fundamentado, para decidir si acepta, rechaza o corrige los valores de datos marcados por los programas. Los valores más extremos podrían ser correctos, en cuyo caso serán esenciales para todo tipo de aplicaciones de datos hidrológicos.

Convendría desarrollar técnicas de validación que permitan detectar los errores más habituales. Por lo general, el programa estará diseñado de manera que indique, junto con los resultados, las razones por las que se han marcado los valores de datos. Al adoptar una decisión sobre la complejidad de un procedimiento de validación respecto de una variable dada, convendrá tener presente el grado de exactitud con que será posible observar la variable, así como la posibilidad de corregir los errores detectados.

Es habitual validar los lotes de datos simultáneamente a la actualización de los archivos de la base de datos, normalmente con periodicidad mensual o trimestral. Algunas organizaciones efectúan reexámenes anuales de los datos, repitiendo los procesos de comprobación o utilizando otros más elaborados, con el fin de efectuar las validaciones tras la actualización de cierto número de lotes en el archivo. En ciertos casos, los procesos de comprobación abarcarán la totalidad de datos de una estación. Un sistema de estas características reduce considerablemente la tasa de error de los datos que llegan al archivo central, donde suele efectuarse una validación ulterior. Una ventaja posiblemente más importante de la aplicación de estos procedimientos radica en que la responsabilidad de la mayor parte del proceso de validación es encomendada a los propios observadores.

No cabe duda de que la comprobación visual de las series cronológicas de datos representadas gráficamente a cargo de personal experimentado es una técnica muy rápida y efectiva para detectar las

anomalías de datos. Por esa razón, la mayoría de los sistemas de validación de datos incorporan una instalación que elabora gráficas de series temporales en pantallas de computadora, impresoras y trazadoras gráficas. La superposición de gráficas de datos procedentes de estaciones adyacentes es un método muy sencillo y eficaz para controlar la coherencia entre estaciones.

9.8.2 Técnicas de validación automatizadas

Con el fin de examinar las distintas técnicas disponibles para los sistemas de validación automatizada, sería útil distinguir entre errores absolutos, relativos y fisioestadísticos.

La comprobación absoluta implica que los datos o las claves están situadas en un intervalo de valores cuya probabilidad de ser excedidos es nula. Así, las coordenadas geográficas de una estación deberán estar situadas dentro de las fronteras del país, el número del día de una fecha deberá estar comprendido entre 1 y 31, y en un sistema de cifrado numérico el valor 43A no puede existir. Los datos que no superen estas pruebas deberán ser incorrectos. Estos errores suelen ser fáciles de identificar y de subsanar.

Las comprobaciones relativas abarcan los elementos siguientes:

- a) intervalo de valores esperados de las variables;
- b) variación máxima esperada de una variable entre observaciones sucesivas; y
- c) diferencia máxima esperada entre variables correspondientes a estaciones adyacentes.

En las primeras etapas de utilización y desarrollo de estas técnicas, sería aconsejable establecer unos límites de tolerancia amplios. Sin embargo, no deberían serlo hasta el punto de que el número de valores discordantes sea inmanejable. Podrán ir estrechándose los límites a medida que se obtengan mejores estadísticas sobre la variación de las variables individuales.

Aunque será necesario un extenso análisis de fondo de los registros históricos, convendrá calcular, respecto de varios intervalos de tiempo, incluido aquel en el que se hayan observado los datos, los intervalos de valores previsible de las comprobaciones relativas (método a)). Esta operación será necesaria debido a que la varianza de los datos disminuye a medida que aumentan las alteraciones temporales. En primer lugar, se compararán los niveles fluviales diarios con un intervalo esperado de valores diarios correspondientes al período de

tiempo actual (por ejemplo, el mes en curso). Dado que cada valor diario podría estar comprendido en un intervalo previsible aunque la totalidad de los valores fueran coherentemente (y erróneamente) altos o bajos, deberán comprobarse los intervalos de valores durante un período más prolongado. Así, al término de cada mes se compararán los valores promedios diarios correspondientes al mes en curso con el promedio de largo período correspondiente al mes dado. Análogamente, al término de cada año hidrológico se comparará el promedio correspondiente al año en curso con el promedio anual de período largo. Esta técnica es aplicable, con carácter general, a todas las series cronológicas de datos hidrológicos.

El método utilizado para comparar cada valor de datos con la observación u observaciones inmediatamente precedentes (método b)) reviste particular interés en relación con las variables que presentan correlaciones seriales, por ejemplo, la mayoría de los datos relacionados con el nivel de agua. Cuando la correlación serial sea muy marcada (por ejemplo, respecto a los niveles de agua subterránea), podrían efectuarse comparaciones de múltiple período, como se describe en el método a). En primer lugar, se podrían comprobar las observaciones diarias del agua subterránea respecto de las tasas de variación diarias esperadas para, a continuación, comparar la variación mensual total con las variaciones mensuales esperadas.

El método c) es una variante del b), aunque basado en criterios de aceptabilidad de las variaciones en el espacio, y no en el tiempo. Este tipo de comprobación es particularmente eficaz cuando los valores de altura del agua (y de flujo fluvial) corresponden a una misma cuenca, aunque en cuencas más extensas será necesario ajustar temporalmente los datos por algún medio antes de efectuar comparaciones entre estaciones.

Con respecto a las demás variables hidrológicas, la utilidad de esta técnica dependerá de la densidad de la red de observación respecto a la variación espacial de la variable. Un ejemplo de ello es la conversión de los totales de precipitación de lluvia en unidades sin dimensiones, basándose en el cociente entre los valores observados y un valor promediado en períodos largos respecto de una estación. Esta operación permitirá reducir las diferencias asociadas a las características de la estación.

Las comprobaciones fisioestadísticas consisten en la aplicación de métodos de regresión entre variables relacionadas entre sí, con el fin de predecir los

valores esperados. Se incluyen en este concepto las comparaciones entre los niveles de agua y los totales de lluvia, y la comparación entre los valores de un tanque de evaporación y temperatura. Este tipo de comprobaciones son particularmente útiles cuando las observaciones provienen de redes poco densas, en que la única comprobación posible consiste en compararlas con valores de variables interrelacionadas pertenecientes a redes de observación más densas.

Otra categoría de comprobaciones fisioestadísticas consiste en verificar que los datos obedecen a las leyes físicas y químicas generales.

Este tipo de comprobación se utiliza ampliamente para los datos de calidad del agua.

En su mayoría, las comprobaciones relativas y fisioestadísticas anteriormente descritas están basadas en la utilización de series temporales y de técnicas de correlación, regresión múltiple y ajuste de superficies.

9.8.3 Comprobaciones de rutina

Las comprobaciones habituales se efectuarán como parte integrante de los procedimientos de proceso de datos de la organización, y serán aplicables para la comprobación rutinaria de los datos. Consistirán, por lo general, en comprobar éstos mediante lecturas independientes, con el fin de detectar errores temporales y de magnitud. Se verificará y evaluará también la coherencia y la posible deriva de las pruebas de calibración de los instrumentos. Se examinarán las lecturas secuenciales y, preferiblemente, las gráficas de datos tomando como referencia las pautas previsibles, o las comparaciones con parámetros conexos que hayan sido también registrados.

Basándose en estas evaluaciones, será posible aplicar a los datos unas claves de calidad (si los hubiere) que indiquen el grado de fiabilidad evaluado. Las claves indicarán si se considera que la calidad del registro es buena y, posiblemente también, el grado de confianza, expresado en términos de exactitud de los datos (véase la sección 9.10 en relación con la incertidumbre). Como alternativa a las claves de calidad, podrán adjuntarse comentarios a los datos, aunque únicamente cuando éstos no cumplan las normas establecidas.

Una vez realizadas estas operaciones, se adjuntará a los datos los comentarios y explicaciones pertinentes acerca de la evaluación (o se incluirá esa información en bases de datos que contengan

comentarios o claves de calidad), para ponerlas a disposición de futuros usuarios.

9.8.4 Inspección de las estaciones

Para que las observaciones sean siempre de buena calidad, será esencial que una persona capacitada inspeccione periódicamente las estaciones para verificar el funcionamiento correcto de los instrumentos. Además, se efectuarán normalmente inspecciones formales con informe por escrito, preferiblemente con periodicidad anual, a fin de comprobar el funcionamiento general de los instrumentos (y, en su caso, la eficiencia del observador local). En estaciones hidrométricas y de agua subterránea, esta operación incluirá la medición de la cota del cero de la escala, con el fin de comprobar y registrar las variaciones de nivel experimentadas.

Cuando se inspeccione estaciones de aforo de caudales, se supervisará la estabilidad de la curva de gasto, se realizarán las tareas que se indican más adelante, y se examinarán las relaciones existentes entre los medidores y los puntos de referencia de nivel permanentes, con el fin de verificar que los medidores no se han desplazado. Se examinará también la frecuencia de medición y las variaciones de la curva de gasto identificadas. A medida que aumentan la carga de trabajo o las restricciones presupuestarias y de recursos, suele ser habitual omitir las tareas “opcionales”, por ejemplo en relación con las mediciones. Esta circunstancia es lamentable, aunque comprensible y, en ocasiones, inevitable. Para una buena calidad de los datos, será esencial destinar recursos para esas tareas, y darles prioridad mediante un análisis riguroso y oportuno de la probabilidad y frecuencia de las variaciones de la curva de gasto.

En todas las visitas a estaciones de aforo de caudales se comprobarán los instrumentos y las curvas de gasto, como se ha indicado precedentemente. Se efectuarán como mínimo dos comprobaciones anuales, preferiblemente con mayor frecuencia, para evitar el peligro de perder datos y/o de que éstos resulten seriamente afectados por problemas tales como las deposiciones de lodo, el vandalismo o el crecimiento vegetal estacional.

En el lugar de observación, el programa contemplará también la realización de visitas a cargo de un técnico o inspector capacitado inmediatamente a continuación de cada crecida importante, con el fin de comprobar la estabilidad de la sección fluvial y de los medidores. Si hubiera un observador local, se le impartirá formación con el fin de que

compruebe estos problemas y los comunique a la oficina regional o local.

Entre las tareas del inspector o encargado sobre el terreno cabe señalar:

- a) anotación y registro de toda variación experimentada en el lugar de observación (sería útil, a este respecto, un mapa esquemático, acompañado de fotografías digitales);
 - b) operaciones locales para mejorar o restaurar el lugar de observación, por ejemplo eliminar árboles que afecten a la cuenca del pluviómetro;
 - c) comprobación de los instrumentos, y reparaciones o ajustes necesarios sobre el terreno;
- y, cuando proceda:
- d) inspección del libro de registro del observador local;
 - e) instrucciones al observador sobre los procedimientos de observación y las tareas rutinarias de mantenimiento de los instrumentos;
 - f) instrucciones al observador sobre la conveniencia de anotar prontamente toda la información ciñéndose a la realidad; e
 - g) instrucciones al observador sobre las observaciones especiales que fueran necesarias, por ejemplo una mayor frecuencia de lectura en períodos de tormenta o de crecida.

Para poder desempeñar eficazmente sus tareas (véase el apartado e)), el inspector deberá conocer los errores cometidos por los observadores, y especialmente los errores cometidos repetidamente por alguno de los observadores. Los oficiales responsables de la comprobación preliminar y de los procedimientos de detección de errores remitirán periódicamente esta información al inspector. Los resultados de tales inspecciones serán incluidos en los archivos históricos de la estación.

9.8.5 Comprobación de datos obtenidos manualmente

Cuando los datos han sido obtenidos manualmente, los procedimientos de control de la calidad consisten básicamente en datos de computadora impresos en papel, por lo general con periodicidad diaria, por ubicaciones o por regiones. Basándose en los datos impresos, será fácil detectar visualmente las estaciones en que los datos hayan sido sistemáticamente atribuidos a un día incorrecto, o que presenten errores manifiestos.

Sin embargo, convendrá obrar con precaución al modificar los datos comunicados. Antes de corregir un error aparente, será necesario estudiar el informe original de la estación, comprobarlo tomando como

referencia el historial de ésta (atendiendo a la calidad del registro), y evaluar los factores que hayan ocasionado el suceso (a fin de asegurarse de que los datos no reflejan una anomalía natural). La alteración será marcada mediante una clave o comentario que indique que los datos en bruto han sido modificados y que toda esta información deberá ser documentada.

Para comprobar las fluctuaciones relativas de un elemento observado durante un período dado, otro método podría consistir en utilizar diversos tipos de relaciones matemáticas, por ejemplo polinómicas. La idea radica en comparar el valor calculado con el valor observado en el momento en cuestión. Si la diferencia entre ambos no excede de la tolerancia previamente determinada, se considerará que los datos son correctos. Si se excedieran los límites, estaría justificada una investigación más a fondo.

Cuando se trate de datos obtenidos manualmente e introducidos en una computadora, los errores detectados en la comprobación preliminar o mediante procedimientos de detección de errores serán objeto del tratamiento siguiente:

- a) se indicará de forma clara la corrección en el formulario original, que irá acompañada de las iniciales del corrector;
- b) se corregirá la tabla o gráfica que contenga los datos erróneos, y la corrección se hará extensiva a toda copia existente de la observación y a todos los datos que pudieran haber sido derivados de las observaciones erróneas;
- c) se advertirá del error al observador de la estación. Si el error fuera sistemático y se debiera a un mal funcionamiento de los instrumentos o a una inobservancia de los procedimientos de observación, el problema se subsanará mediante una visita del inspector; y
- d) se incorporará a un registro una anotación sobre el error, con el fin de poder efectuar una comprobación de la calidad de las observaciones en todas las estaciones, y para que el personal de observación o de inspección pueda advertir a las estaciones en que los errores sean frecuentes.

9.8.6 **Comprobación de datos cartográficos**

El método ideal para comprobar los datos obtenidos mediante digitalización o escaneo de gráficas consiste en replicar la gráfica del archivo de datos inmediatamente antes de archivar ésta. Cuando sea posible replicar los ejes y las escalas, ambos documentos podrán ser fácilmente comparados por métodos visuales, por ejemplo sobre un tablero iluminado. Hay que señalar que la réplica diferirá

de la original, ya que incorporará correcciones, por ejemplo de las lecturas manuales, y otros ajustes que se hayan considerado necesarios y válidos.

Si el sistema de tratamiento no pudiera construir una réplica aproximada (como sucederá probablemente con las gráficas circulares), será necesario comparar más detalladamente las gráficas; si fuera necesario, se medirá en cada una de ellas, mediante una regla de escalas, una serie de puntos indicativos con fines comparativos.

9.8.7 **Comprobación de datos anotados cronológicamente**

Los registradores cronológicos de datos obtienen datos difíciles de comparar con documentos originales. Sin embargo, dado que los datos originales no corregidos habrán sido representados gráficamente y compilados en el archivo de tratamiento de la estación (capítulo 2), podrán utilizarse del mismo modo que una gráfica original.

Con respecto a los errores detectados en ese proceso, al igual que en las comprobaciones iniciales, se adjuntarán al documento anotaciones a los puntos de datos, que convendrá también archivar. Se archivará asimismo el archivo originalmente registrado, adjuntando a él una copia corregida y actualizada.

9.9 **PROCEDIMIENTOS DE VALIDACIÓN ESPECÍFICOS**

Las técnicas de control de la calidad de los datos difieren en varios aspectos. Se indican a continuación varios ejemplos detallados de las técnicas utilizadas con respecto a varios parámetros.

9.9.1 **Datos de flujo**

Dado que los datos de flujo fluvial son continuos a lo largo del tiempo y están correlacionados en el espacio, será posible comprobar su fiabilidad mediante métodos de interpolación y estadísticos. Podrán efectuarse también comprobaciones cualitativas mediante diversas técnicas, como puede verse en los ejemplos siguientes:

- a) representación gráfica de la precipitación de lluvia en función del flujo o de la altura del agua, con el fin de detectar pequeñas crecidas (o cualquier episodio de crecidas) no acompañadas de lluvias importantes, e inversamente;
- b) representación gráfica de series temporales de valores de altura del agua (hidrogramas) u otros

parámetros, con lecturas manuales superpuestas (incluidas las obtenidas de los medidores) durante el período considerado;

- c) representación gráfica de hidrogramas de flujo obtenidos de series de valores de altura del agua, a las que se habrán aplicado las curvas de gasto y superpuesto las mediciones de flujo obtenidas de los medidores (representadas a una misma escala);
- d) gráficas acumulativas (CUSUM) de las lluvias anuales, con superposición gráfica de las medias mensuales correspondientes al registro completo y de otras gráficas de doble masa;
- e) detección de incrementos de datos superiores a un valor especificado (que podrá variar en función de la altura del agua). Este método permitirá normalmente detectar picos gráficos sobrevenidos cuando un fallo físico o electrónico haya dado lugar a un valor excesivamente alto o bajo (incluidos el máximo posible y el valor cero, respectivamente);
- f) detección de valores faltantes (que el programa podría interpolar si no fuesen detectados);
- g) gráficas impresas de períodos rectilíneos de los registros de altura del agua que excedan de ciertas longitudes especificadas por el usuario (permiten detectar compresiones excesivas o interpolaciones erróneas para cubrir huecos);
- h) superposición gráfica de parámetros idénticos o relacionados (flujo, altura del agua, lluvia y turbidez) obtenidos de estaciones cercanas. Si fuera posible superponer gráficas de estaciones situadas en el mismo sistema fluvial, sería particularmente aconsejable; y
- i) evaluación ocular cualitativa de las gráficas, de las formas del hidrograma, y de su correspondencia con las pautas normales, teniendo presente los valores precedentes y la fase del régimen fluvial considerada.

Los paquetes informáticos de bases de datos hidrológicas permiten generalmente utilizar estas técnicas, o bien incorporadas al programa o aplicadas manualmente. En algunos casos, será también posible ejecutar los procesos automáticamente en forma de macros.

9.9.2 Altura del agua

Las técnicas, anteriormente descritas, de tabulación y representación gráfica de datos y de comprobación de intervalos de valores y tasas de variación se utilizan ampliamente para datos de nivel de agua. Varias de las técnicas de representación gráfica pueden ser aplicadas también a la altura del agua y al flujo. Sin embargo, dado que los datos de flujo pueden conllevar errores asociados a las curvas de

altura-caudal, será importante comprobar por separado la altura del agua (por lo general, como primera providencia).

En relación con los datos de altura del agua, se recomiendan las técnicas de verificación mínimas siguientes:

- a) comprobaciones tomando como referencia las lecturas manuales registradas por el observador al comienzo y al término de cada lote, más cualquier otra registrada en visitas intermedias o por un observador local (por lo general, esta tarea se efectuará durante la comprobación preliminar);
- b) representaciones gráficas de la altura del agua superpuestas con gráficas de cualesquiera otros valores de altura del agua correspondientes al período estudiado que figuren en la base de datos, por ejemplo derivadas de mediciones del flujo o de conjuntos de datos sobre la calidad del agua (en función del contenido de la base de datos); y
- c) comprobaciones cualitativas de las configuraciones de los hidrogramas y de los sucesos en ellos representados, con objeto de identificar elementos sospechosos, como la presencia de líneas rectas, escalones, picos o crecidas pequeñas, avenidas y recesiones en circunstancias no previsibles.

Además, se efectuarán las comprobaciones cualitativas anteriormente indicadas en relación con el flujo. Toda incoherencia aparente será investigada lo más detalladamente posible:

- a) en primer lugar, se efectuarán comprobaciones para determinar si existen ya observaciones al respecto en la base de datos o en el libro de registro de la estación, o cualquier evidencia de tratamiento. El observador, el técnico de observación o el procesador de los datos ya podrían haber comprobado el suceso y/o anotado sus causas reales o aparentes; y
- b) con arreglo al tipo de incoherencia anotado se comprobarán, con ayuda del observador directo o tomando como referencia las evidencias del proceso de datos, los aspectos siguientes. Algunos de ellos podrían hacer necesarias investigaciones específicas en la propia estación, y de lotes de datos precedentes y subsiguientes:
 - i) si se apreciase algún pico y recesión de desarrollo lento, podría ser necesario comprobar sobre el terreno el pozo de amortiguación y la conducción de toma, por si hubiera obturaciones debidas al lodo;
 - ii) la presencia de escalones o picos en el registro podría indicar un funcionamiento inapropiado o algún tipo de interferencia en el sensor, en el flotador o en el registrador cronológico o gráfico;

- iii) los lotes de datos que presenten valores superiores o inferiores a los registrados en el período precedente o subsiguiente (o en ambos) podrían haber sido procesados incorrectamente, debido a la introducción de correcciones erróneas basadas en lecturas manuales o en el desplazamiento de valores de los sensores;
- iv) la presencia de líneas rectas en el registro podría indicar lagunas debidas a datos faltantes incorrectamente interpolados, o a problemas en los instrumentos o sensores, por ejemplo, un cable de flotador trabado o la detección de valores superiores o inferiores al intervalo de valores de medición;
- v) la presencia de flujos crecientes entre crecidas (recesiones ascendentes) podría indicar la presencia de correcciones de altura del agua incorrectas, o la acumulación de malas hierbas o sedimentos en el canal indicando, en este último caso, la necesidad de rectificar la curvas de altura-caudal; y
- vi) la presencia de fluctuaciones diurnas (24 horas) regulares podría indicar la existencia de problemas en el sensor (en sensores de presión, podría delatar la presencia de humedad en el sistema), hielo en los controles (que obligaría a introducir correcciones

para su conversión en valores de flujo), o algún fenómeno real, como evaporación en el canal o un ciclo de congelación-deshielo diario en la cuenca de drenaje.

Naturalmente, incluso las técnicas de verificación más idóneas tienen una utilidad limitada, a menos que se investiguen adecuadamente los interrogantes que plantean y se adopten las medidas correctoras apropiadas, y en particular la compilación de los resultados. Esta última operación podría consistir en la compilación de los comentarios juntamente con los datos, o en la asignación de claves de calidad informativos.

Los métodos automatizados para la aplicación de muchas de estas técnicas forman parte de los paquetes informáticos de hidrometría, o pueden ser desarrollados utilizando éstos. En algunos casos, será posible aplicarlos automáticamente a los datos obtenidos por telemedición en tiempo casi real. En la figura I.9.3 se reproduce una pantalla de un programa informático de esas características.

Nota: en la figura I.9.3 se muestra un formato de representación gráfica interesante, ya que, aunque se refiere al flujo, es igualmente válido para los niveles de agua. La gráfica abarca un período de 13 meses, y tiene por objeto revelar posibles discontinuidades entre actualizaciones anuales sucesivas de una base de datos central.

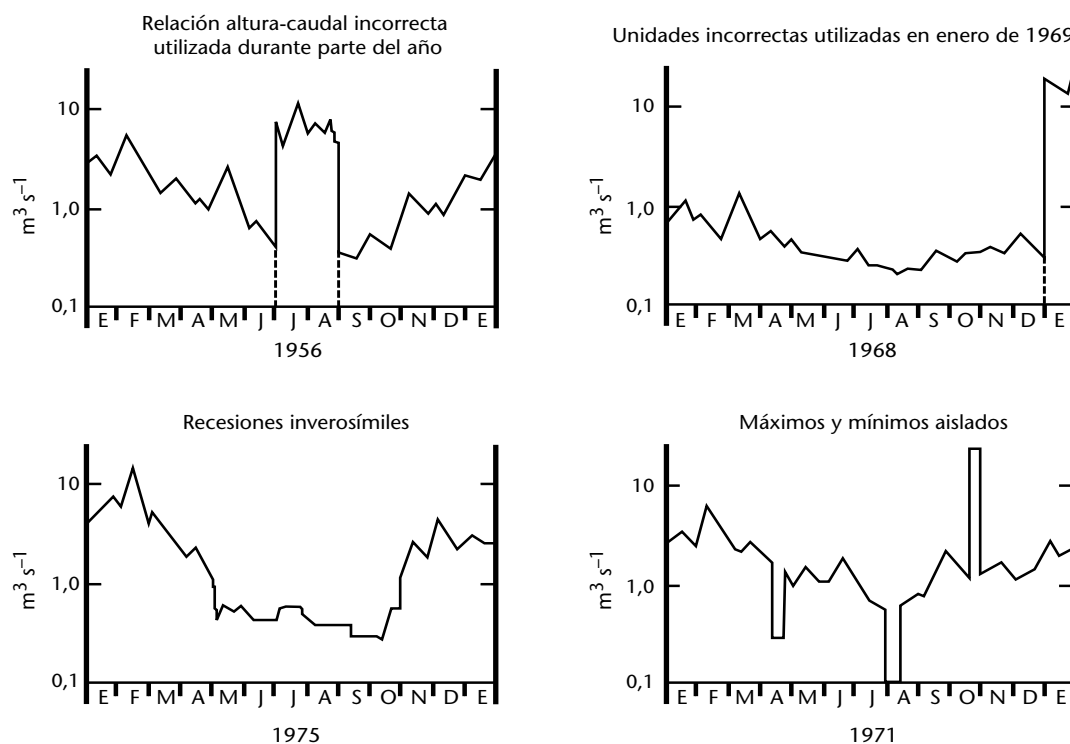


Figura I.9.3. Gráficas de series cronológicas para la comprobación de datos de flujo fluvial (Fuente: Organización Meteorológica Mundial/Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 1985: *Guidelines for Computerized Data Processing in Operational Hydrology and Land and Water Management* (WMO-No. 634), Ginebra)

9.9.3 Precipitaciones de lluvia

La lluvia es un fenómeno hidrológico muy importante y variable, por lo que el número de estaciones que la miden es elevado y se dispone, por consiguiente, de grandes volúmenes de datos. En la mayoría de los países se utilizan desde hace tiempo sistemas de control de calidad y de compilación de datos de lluvia.

En la *Guía de prácticas climatológicas* (OMM-N° 100) se describe un sistema utilizado por la Oficina Meteorológica de Reino Unido para el proceso de datos de pluviosidad diarios. Los errores en la recopilación y proceso de los datos de precipitación de lluvia son casi universales, por lo que este sistema podrá servir de modelo para muy diversos tipos de situaciones.

La fiabilidad de un sistema basado en comparaciones entre estaciones está vinculada a la densidad de la red. En áreas de cobertura pluviométrica tenue, se tiende actualmente a instalar radares para las mediciones de lluvia (sección 3.7). Los valores de las zonas obtenidos de tales aparatos proporcionan datos excelentes, tanto de validación como de observación, en áreas que carecen de estaciones pluviométricas. Otra de las áreas de aplicación de los datos de radar con fines de validación son las regiones expuestas a tormentas eléctricas intensas y localizadas, por ejemplo la mayoría de los países tropicales.

La naturaleza episódica de la lluvia implica una gran diversidad de métodos de representación gráfica y de presentación de los datos con fines de verificación. Entre ellas, la acumulación de lecturas de distintos intervalos de tiempo, o su representación gráfica como episodios separados o en forma de totales acumulativos. Podrán utilizarse las técnicas siguientes:

- a) representación gráfica de los datos, posiblemente en forma de totales horarios, superpuesta a datos de altura del agua o, preferiblemente, de flujo procedentes de una estación de flujo cercana. Cuanto menor sea la cuenca de drenaje de la estación, más fidedigna será probablemente la comparación;
- b) además de la técnica precedente, superposición gráfica de los máximos anteriores;
- c) representación gráfica de los totales diarios acumulativos (CUSUM), por ejemplo, durante un año, superpuesta a representaciones gráficas similares obtenidas de estaciones adyacentes y a los totales acumulativos obtenidos del medidor de comprobación. En la figura I.9.4 puede verse una gráfica típica de doble masa;

- d) superposición de totales diarios acumulativos a datos semanales, mensuales o anuales medios con el fin de comparar el año o temporada actual con los promedios de largo período. Se representarán también los máximos y mínimos, con fines de comparación; y
- e) posiblemente también, representaciones gráficas que permitan la comprobación manual de las variaciones espaciales. Para ello, un método simple consistirá en representar gráficamente la ubicación de las estaciones, junto con sus números de identificación y los valores de datos. Esta técnica se utiliza ampliamente para la comprobación mensual y anual de los datos de precipitación de lluvia y de agua subterránea en términos de superficie. Mediante programas informáticos más complejos será posible efectuar interpolaciones espaciales de datos y representar gráficamente las isolíneas.

Toda aparente incoherencia en los datos será investigada con el mayor detalle posible:

- a) se efectuarán comprobaciones para determinar si existen ya comentarios al respecto en la base de datos o en el libro de registro de la estación, o evidencias de tratamiento. El observador, el técnico de observación o el procesador de los datos podrían haber comprobado ya el suceso y/o anotado sus causas reales o aparentes; y
- b) con arreglo al tipo de incoherencia anotado se comprobarán, con ayuda del observador directo o tomando como referencia las evidencias del tratamiento de datos, los aspectos siguientes. Algunos de ellos podrían hacer necesarias investigaciones específicas en la propia estación, y de los lotes de datos precedentes y subsiguientes:
 - i) si los datos indicasen valores de precipitación inferiores a los esperados, ello podría deberse al mal funcionamiento o interferencia en el sensor, en el registrador cronológico o en las conexiones; en el mismo caso se encontrarían los sensores que aparentemente hubieran dejado de registrar ciertos episodios de lluvia;
 - ii) si la lluvia hubiese experimentado una atenuación aparente (distribuida a lo largo de un período más amplio), ello podría indicar obturaciones en el medidor debido a la presencia de derrubios o a interferencias, o acumulaciones de nieve que experimentan una fusión gradual; y
 - iii) los lotes de datos que presenten valores superiores o inferiores a los registrados en el período precedente o subsiguiente (o en ambos) podrían haber sido procesados incorrectamente, debido a correcciones erróneas basadas en las lecturas manuales,

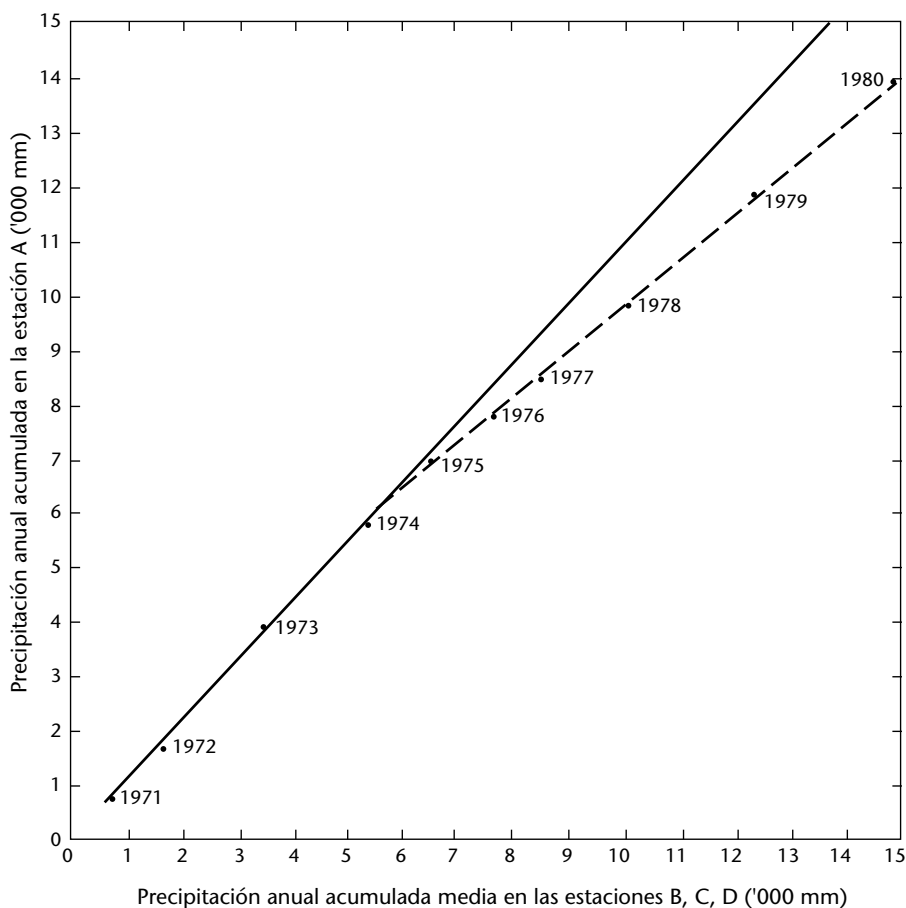


Figura I.9.4. Gráfica de doble masa. Curva de doble masa que representa la relación entre la precipitación anual en la estación A y la media de las tres estaciones cercanas. Obsérvese el cambio abrupto acaecido en 1975

o la utilización de unidades o escalas incorrectas;

9.9.4 Datos climatológicos

En muchos casos, la comparación entre estaciones como medio para validar los datos climatológicos podría ser cuestionable, debido a la escasa densidad geográfica de las estaciones climatológicas. Así, las técnicas de validación básicas aplicadas consisten en comprobaciones de los intervalos de valores, de las tasas de variación y, sobre todo, de la coherencia entre variables afines observadas en el mismo emplazamiento.

A título de ejemplo, todos los datos psicrométricos comunicados habrán de ser comprobados o recalculados, con el fin de determinar si la temperatura de bulbo seco es superior o igual a la temperatura de bulbo húmedo o de punto de rocío comunicada; según el tipo de datos de que se disponga, convendrá calcular y comprobar, tomando como referencia el valor comunicado, la temperatura de punto de rocío y/o la humedad relativa.

Análogamente, las relaciones empíricas entre los datos de tanque de evaporación o lisímetro y otras variables observadas podrían indicar, en términos generales, la presencia de datos sospechosos en la etapa de validación. Por lo general, en las etapas posteriores del tratamiento primario se introducen ajustes más sofisticados para la evaluación de la evaporación y de la evapotranspiración.

La validez de las claves de estación y de variable será verificada respecto de todos los datos climatológicos; cuando proceda, los valores de calibración de sensor y sus intervalos acompañarán en los resultados a los valores sospechosos.

En la *Guía de prácticas climatológicas* (OMM-Nº 100) se exponen detalladamente los procedimientos de control de la calidad de los datos climatológicos.

9.9.5 Datos de nieve y de hielo

Aunque el equivalente en agua de la nieve caída en los pluviómetros puede ser validado conjuntamente con los datos de lluvia, otras

variables de la nieve y del hielo son más difíciles de abordar.

Los datos sobre la extensión de la capa de nieve solo podrán ser validados mediante una laboriosa síntesis manual de las observaciones directas, de los datos de reconocimiento aéreo y de las imágenes satelitales (secciones 3.7.4, 3.12 y 3.13). Se están desarrollando técnicas para interpretar automáticamente las imágenes satelitales de las superficies de nieve (así como la profundidad y el equivalente en agua). Aunque estas técnicas parecen prometedoras, se tropieza aún con dificultades para diferenciar entre la capa de nieve y la de nubes, y la resolución de las imágenes es insuficiente. Además, a menos que se utilice un SIG, los datos de extensión solo podrán ser almacenados en forma de totales abstraídos manualmente para toda la superficie de la cuenca.

Los datos de profundidad de nieve y de su equivalente en agua habrán de ser validados y verificados pormenorizadamente integrando los datos de los cursos de nieve, de los nivómetros y de los medidores de precipitación convencionales. La amplia variación espacial de la capa de nieve dificulta la comparación entre estaciones. Existen, sin embargo, ciertas técnicas que permiten estimar la fiabilidad estadística de las observaciones de cursos de nieve en condiciones de nieve en fusión. Con fines de correlación, se utilizan muy a menudo factores grado-día y, cuando la fusión de la nieve represente una proporción considerable del flujo fluvial, podrán utilizarse relaciones establecidas entre la escorrentía y los equivalentes en agua de la nieve. Las relaciones entre las temperaturas del aire (y del agua) son útiles no solo para calcular los factores grado-día, sino también para validar los datos de la capa y espesor del hielo, y para predecir las fechas de formación y ruptura del hielo.

Los datos de nieve y hielo, tanto cuantitativos como cualitativos, son importantes para validar muy diversas variables hidrológicas. Así, la presencia de datos de altura fluvial anómalos durante los meses de invierno podrá ser explicada y, posiblemente, corregida cuando los datos de fondo indiquen la naturaleza y extensión de los fenómenos de hielo.

9.9.6 Datos fluviométricos

Al procesar las mediciones será necesario comprobar diversos elementos, y en particular la exactitud de los datos introducidos mediante teclado, y la corrección o no de las calibraciones de los

medidores, como ya se ha indicado. Hay varias técnicas de verificación aplicables:

- a) algunos programas de cálculo permiten superponer gráficamente valores de velocidad horizontal y de profundidad medida. Aunque estos parámetros no están enteramente relacionados, en la mayoría de los canales presentan algún tipo de vínculo, y la persona que efectúa la medición debería ser capaz de verificar la verosimilitud de las gráficas y de identificar los datos anómalos. Sería deseable, pues, realizar el cálculo lo antes posible tras la medición, preferiblemente sobre el terreno;
- b) en algunas estaciones podría ser viable la comprobación del área y del contorno de la sección transversal y de los niveles de agua obtenidos de datos de sección transversal anteriormente determinados;
- c) la incertidumbre teórica se calculará de conformidad con la norma ISO 748, con el fin de verificar que la técnica utilizada permite alcanzar el nivel de incertidumbre requerido. Normalmente, esta tarea será efectuada por el programa de cálculo;
- d) la representación gráfica del medidor en la curva de gasto podría permitir una verificación al menos parcial. Si la gráfica se desviase considerablemente, habría que tratar de encontrar otras evidencias de una posible variación de la curva de gasto, por ejemplo, una crecida suficientemente intensa como para desencadenar un cambio en el lecho, o la presencia estacional de malas hierbas o derrubios;
- e) en las relaciones altura-caudal, la corrección de los valores de altura del agua utilizados para representar gráficamente las mediciones es tan importante como la corrección del valor de caudal. Por ello, convendrá verificar los valores de altura del agua tomando como referencia los valores registrados por el limnógrafo (si lo hubiere);
- f) se verificará que la ubicación de la sección transversal de medición se corresponde con las necesidades de datos en lo referente a posibles abstracciones de agua, afluentes y descargas artificiales, flujo bajo el lecho, lixiviación en las presas, etc.; y
- g) en las mediciones mediante ADCP, habrá que verificar la corrección de parámetros tales como la existencia o no de mediciones de salinidad y densidad del agua, la inclusión del desplazamiento sensible de los instrumentos, la compatibilidad del intervalo de valores del instrumento con la profundidad del río, la utilización de parámetros correctos en relación con la ambigüedad Doppler, la comprobación de la presencia de lechos en movimiento, la conformidad de

las técnicas de extrapolación con las requeridas o recomendadas, la suficiencia de la proporción entre el flujo medido y el no medido, la utilización de un número suficiente de transversales de medición, o la adopción de unos coeficientes de variación adecuados. Se verificará asimismo la conformidad de los procedimientos con los requeridos o recomendados.

En todas las mediciones, el programa de validación comprobará la validez de las claves de estación, de instrumento y de método de análisis y, siempre que sea posible, las combinaciones válidas de éstos. Sería también útil que las representaciones gráficas o en forma impresa contuviesen esta información, además de los coeficientes de calibración pertinentes.

En el *Manual on Stream Gauging* (WMO-No. 519) se obtendrá información adicional sobre las mediciones del caudal.

9.9.7 **Datos sobre la calidad del agua**

La gran diversidad de variables de calidad del agua ha conducido a la utilización de procedimientos de validación relativamente simples respecto de los datos de calidad del agua. Los criterios consisten normalmente en comprobaciones absolutas de claves de análisis, comprobaciones relativas de intervalos de valores esperados, y comprobaciones fisicoquímicas de relaciones determinantes. Si se deseara comprobar los intervalos de valores en ausencia de datos históricos, habrá que tener presente que, en muchas de las variables, los intervalos válidos dependerán de la aplicación a que se destine la muestra obtenida y de la ubicación del punto de muestreo. Así, en muestras obtenidas de fuentes de agua potable los niveles de sales disueltas serán inferiores a los medidos en aguas residuales o en masas de agua estancada o marina.

Las pruebas fisicoquímicas son muy eficaces, por lo que se utilizan ampliamente en relación con la calidad del agua.

En la tabla I.9.1 se ofrecen varios ejemplos de pruebas fisicoquímicas típicamente efectuadas con muestras normales y específicas (aguas residuales).

Cuando algunos de los valores hayan sido determinados en un laboratorio y la computadora disponga de todos los datos correspondientes,

podría efectuarse un segundo cálculo con fines de verificación. En tal caso, se comprobará la validez de los datos de calidad del agua y de las claves de estación, de variable y de análisis así como, siempre que sea posible, la validez de sus combinaciones.

9.9.8 **Datos de sedimentos**

Al igual que con los datos sobre la calidad del agua, podrán efectuarse cálculos de balance de masa siempre que se disponga de datos suficientes. Si se dispusiera de una curva de gasto de sedimentos respecto de la sección muestreada, podrá estimarse a partir de ella la significación estadística del valor muestreado, y/o podrá efectuarse una representación gráfica con el fin de proceder a un análisis manual.

Convendrá examinar las mediciones y la curva de gasto en relación con los sedimentos, con el fin de determinar si ha habido alguna variación estacional. De ser así, se revisará el programa de muestreo con el fin de reunir, como mínimo, cantidades de datos aproximadamente iguales de cada estación meteorológica. Análogamente, se examinará la proporción de mediciones en las fases ascendente y descendente de la altura del agua, y se procurará obtener muestras en ambos casos.

9.10 **INCERTIDUMBRE DE LOS REGISTROS**

Los usuarios de los datos estarán interesados en conocer la exactitud de éstos, ya que esta información determinará la confianza que podrán depositar en ellos y en los datos de ellos obtenidos. La exactitud puede expresarse por muy distintos medios, en muchos casos de manera imprecisa y, en ocasiones, ambigua. La incertidumbre estadística permite expresar objetivamente la "exactitud" mediante un intervalo de valores o en términos porcentuales, con una probabilidad de suceso dada.

Varias de las normas ISO sobre técnicas hidrométricas abordan los aspectos de incertidumbre respecto de las distintas áreas temáticas. A ese respecto, se recomienda la publicación de la ISO *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement* (1995). En el *Reglamento Técnico* (OMM-N° 49), Volumen III, anexo, parte VIII, se ofrecen directrices para la estimación de la incertidumbre en las mediciones de caudal.

Tabla I.9.1. Comprobación de los datos de calidad del agua en términos de leyes fisicoquímicas*1. Sólidos disueltos*

Todos los resultados expresados en mg l⁻¹ deberían satisfacer la comprobación:

$$0,1 \times \text{TSD} > [\text{TSD} - (\text{Na} + \text{K} + \text{Mg} + \text{Ca} + \text{Cl} + \text{SO}_4 + 4,42 \text{NO}_3 + 0,61(\text{Alc}) + 3,29\text{NO}_2 + \text{S}_1\text{O}_2 + \text{F})]$$

NO₂, S₁O₂ y F son opcionales, es decir, puede efectuarse la validación aun omitiéndolos pero, si se dispusiera de ellos, convendría incluirlos.

2. Equilibrio iónico

a) Requisitos típicos (8 a 12 iones)

Los iones han de ser convertidos en mEq l⁻¹ y sometidos a la comprobación:

$$\frac{[\text{Cationes} - \text{aniones}]}{[\text{Cationes} + \text{aniones}]} \times 100 < 3\%$$

donde los cationes = Na+K+Mg+Ca+NH₄

y aniones = Cl+SO₄+NO₃+HCO₃+NO₃+PO₄+F

PO₄, NH₄, NO₂ y F son opcionales, es decir, el equilibrio podrá ser comprobado incluso aunque se omitan;

b) Requisitos mínimos (6 iones)

Esta comprobación aproximada puede efectuarse cuando solo se han medido los principales iones.

Los resultados deberán convertirse en mEq l⁻¹ y someterse a la comprobación:

$$\frac{[\text{Cationes} - \text{aniones}]}{[\text{Cationes} + \text{aniones}]} \times 100 < 10\%$$

Donde los cationes = Na + Mg + Ca

y aniones = Cl + SO₄ + HCO₃

3. Conductividad

0,55 conductividad (μs cm⁻¹) < TSD < 0,7 conductividad (μs cm⁻¹) donde TSD = total de sólidos disueltos

4. Comprobaciones generales de la calidad del agua

Total de sólidos	> total de sólidos disueltos
Total de sólidos	> sólidos depositables
Saturación del oxígeno disuelto	< 200
mg l ⁻¹ de oxígeno disuelto	< 20
DBO ₅ (total)	> DBO ₅ (filtrado)
DBO ₅ (total)	> DBO ₅ (depositado)
DQO	> DBO
Total de nitrógeno oxidado	> nitrato
Dureza total	> dureza temporal
Total de cianuro	> cianuro, excluyendo el ferrocianuro
Total de fenoles	> fenoles monohídricos
Total de fenoles	> fenoles polihídricos
Total de cromo disuelto	> cromato
Aceites (total)	> aceites (libres)
Aceites y grasas	> aceites (libres)
Total de nitrógeno oxidado	= nitratos más nitritos
Dureza total	= Ca + Mg
Total de fenoles	= fenoles monohídricos y polihídricos

Fuente: Organización Meteorológica Mundial/Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 1985: *Guidelines for Computerized Data Processing in Operational Hydrology and Land and Water Management* (WMO-No. 634).

Referencias y lecturas sugeridas

- Departamento de Medio Ambiente de Reino Unido, 1981: *Hydrological Determinand Dictionary*, Water Archive Manual No. 5, Water Data Unit (<http://www.defra.gov.uk/>).
- Hudson, H. R., D. A. McMillan y C. P. Pearson, 1999: "Quality assurance in hydrological measurement", en *Hydrological Sciences—Journal des Sciences Hydrologiques*, 44(5) (http://iahs.info/hsj/440/hysj_44_05_0825.pdf).
- Hutchinson, N. E., 1975: *WATSTORE User's Guide*, Open-File Report 75-426, Servicio Geológico de Estados Unidos (http://www-eosdis.ornl.gov/source_documents/watstore.html).
- Kilpatrick, M. C., 1981: *WATSTORE: A WATER Data STORAGE and RETRIEVAL System*, publicación de la Oficina Gubernamental de Impresión de Estados Unidos, 52, Reston, Virginia, Departamento del Interior de Estados Unidos, Servicio Geológico de Estados Unidos, 341–618.
- Ministerio del Medio Ambiente de Canadá, 1973: *NAQUADAT Dictionary of Parameter Codes*, Ottawa, Inland Waters Directorate, Ministerio del Medio Ambiente de Canadá.
- , 1985: *NAQUADAT Dictionary of Parameter Codes*, Ottawa, Data Systems Section, Water Quality Branch, Ministerio del Medio Ambiente de Canadá.
- National Institute of Water and Atmospheric Research, 1999: *TIDEDA—Software for archiving and retrieving time-dependent data*, Wellington (<http://www.niwascience.co.nz/rc/instrumentsystems/tideda>).
- Organización Internacional de Normalización, 2000: *Quality Management Systems: Requirements*, ISO 9001, Ginebra.
- , 2005: *Quality Management Systems: Fundamentals and Vocabulary*, ISO 9000, Ginebra.
- y Comisión Electrónica Internacional, 1995: *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*, ISO/IEC Guide 98, Ginebra.
- Organización Meteorológica Mundial, 1980: *Manual on Stream Gauging*, Volúmenes I y II, Operational Hydrology Report No. 13, WMO-No. 519, Ginebra.
- , 1983: *Guía de prácticas climatológicas*, segunda edición, OMM-N° 100, Ginebra.
- , 1988: *Manual on Water Quality Monitoring: Planning and Implementation of Sampling and Field Testing*, Operational Hydrology Report No. 27, WMO-No. 680, Ginebra.
- , 2006: *Reglamento Técnico*, Volumen III – Hidrología, OMM-N° 49, Ginebra.
- y Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 1985: *Guidelines for Computerized Data Processing in Operational Hydrology and Land and Water Management*, WMO-No. 634, Ginebra.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Organización Mundial de la Salud, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura y Organización Meteorológica Mundial, 1992: *Guía Operativa GEMS/Agua*, Burlington, Ontario, Inland Waters Directorate.
- Thompson, S. M. y G. R. Wrigley, 1976: "TIDEDA", en *SEARCC 76*, M. Joseph y F. C. Kohli (eds.), Amsterdam, 275–285 (<http://www.niwascience.co.nz/rc/instrumentsystems/tideda>).
- WATSTORE: http://daac.ornl.gov/source_documents/watstore.html.
-