

Gestión de Cuencas: De la Prevención de Inundaciones a la Gestión Integral del Ciclo del Agua

Basin Management: From Flood Prevention to the Integral Management of the Water Cycle

Carmen de Andrés Conde. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos
Creatividad y Tecnología, S. A. Presidenta. Madrid (España). cdeandres@cytsa.com

Resumen: El uso de las Tecnologías de la Información y de las Comunicaciones en los Procesos de gestión ha demostrado ser un requisito imprescindible a la hora de la toma de decisiones. La utilización de nuevas tecnologías para la gestión hídrica ha proporcionado a los Organismos gestores de Cuenca herramientas de Planificación, Control y Gestión de los recursos que hoy día resultan ya imprescindibles, tanto en la gestión normal como en situaciones extraordinarias. Sin embargo el permanente avance de estas tecnologías obliga a trabajar en la optimización de estos sistemas de información, que debe llevarse a cabo siguiendo normas de amplia aceptación y utilizando herramientas y protocolos abiertos, y no mediante tecnologías propietarias. Para el desarrollo y la gestión de tecnologías de la información es deseable seguir normas o recomendaciones internacionales como las ITIL, lo que redundará en un abaratamiento de los costes de desarrollo, y de explotación y mantenimiento de los sistemas, así como en una disminución de errores.

Palabras Clave: Tecnologías de la información; TIC; ITIL; Hidrología; Recursos hídricos; Gestión integral; Ciclo del agua; SAIH; Centro de control; Mantenimiento

Abstract: The use of information and communication technologies (ICT) in management processes has proved an essential requirement when taking decisions. The use of these new technologies for water management has given Basin Administrators tools for the planning, control and management of resources that are now considered essential both for normal management and in extraordinary situations. However, the permanent progress in these technologies makes it essential to optimise these information centres and this should be carried out following widely accepted standards and using open protocols and tools and not by proprietary technologies. In the development and management of information technologies it is preferable to follow international standards or guidelines such as the ITIL which then results in an economising of the development, running and maintenance costs of the systems as well as reducing errors.

Keywords: Information technologies; ICT; ITIL; Hydrology; Water resources; Integral management; Water cycle; HIAS; Control centre; Maintenance

1. Introducción

El uso de las Tecnologías de la Información y de las Comunicaciones (T.I.C.) en los Procesos de gestión ha demostrado ser un requisito imprescindible a la hora de la toma de decisiones.

En el ámbito de los Recursos Hídricos, estas tecnologías, han proporcionado a los Organismos ges-

tores de Cuenca herramientas de Planificación y Control y de Gestión de recursos e Información.

En España la implementación de las herramientas TIC en el control y gestión de los recursos hídricos surge como una respuesta ante el fenómeno de la gota fría, que en los años 80 causó la rotura de la Presa de Tous, y condujo a la pérdida de vidas humanas e incalculables pérdidas económicas en to-

do el levante español (12). Es en la década de los 80 cuando la Administración Hidráulica Española decide apostar por la implementación de Sistemas de Información Hidrológica a nivel de Demarcaciones Hidrográficas.

Es entonces en 1985, cuando se diseña el primer Sistema de este tipo en la Cuenca Hidrográfica del Júcar, llamándose SAIHs (Sistemas Automáticos de Información Hidrológica). A partir de entonces serán desarrollados en todas las Cuencas Hidrográficas españolas, continuándose con el SAIH Ebro, el Segura y toda la vertiente mediterránea, con redes de comunicaciones de radio terrestre propiedad de cada una de las Confederaciones hidrográficas.

En 1994 se empieza a construir el SAIH Guadalquivir que si bien sigue el esquema general de los anteriores supone un cambio significativo en la concepción de las comunicaciones, que son en este caso por satélite, subcontratándose este servicio con un operador externo.

Posteriormente se han construido los SAIHs del Tajo, Guadiana y Duero con una concepción muy similar, adoptando el Guadiana una red de comunicaciones radio basada en un sistema de trunking digital según es estándar TETRA, y siguiendo el Tajo y el Duero con las comunicaciones vía HISPASAT a través de un operador externo (5).

Estos casi 30 años de experiencia en el diseño de Sistemas Automáticos de Información, con sus luces y sombras han proporcionado a España un "Know How" muy valioso a la hora de evitar a futuro los problemas que han ido surgiendo en su implantación sobre todo si se quiere participar en el desarrollo de estos sistemas en otros países.

En este sentido, los principales problemas vinculados a estos Sistemas han sido causados por la falta de estandarización de las tecnologías usadas, y la no implementación de **protocolos abiertos** (13). La rápida evolución de las Tecnologías de la Información y de las Comunicaciones obliga a adaptarse a frecuentes cambios (11), tanto en las Estaciones Remotas, como en los sistemas de Comunicaciones, en los Centros de Proceso, en los sistemas de gestión de las Bases de Datos y en los Modelos Numéricos de Ayuda a la Decisión. Para ello es imprescindible una normalización y estandarización que permita a la Propiedad disponer de un abanico de proveedores suficiente para permitir la

adaptación a estos cambios sin que se penalice económicamente la gestión del Sistema.

Así, en muchas ocasiones, a la hora de instalar los diferentes dispositivos, sensores y demás hardware, como también los aplicativos software y las Bases de Datos, las compañías proveedoras han venido diseñando sistemas completamente **cerrados**, generando **problemas de cautividad** e impidiendo que cualquier otra compañía o técnico gestor realice futuras ampliaciones en su arquitectura, y dispositivos de medida, obligando incluso a que la operación y mantenimiento del sistema deba pasar necesariamente por el proveedor inicial.

Esta experiencia acumulada está permitiendo a las empresas españolas exportar este modelo tecnológico de gestión que aprovecha a su vez el bagaje histórico que tiene la Administración en la Planificación y buena Gestión de los recursos hídricos. Sin embargo el modelo español no es exportable directamente. La adaptación a los condicionantes tanto locales como temporales, hacen imprescindible un conocimiento detallado de la problemática geográfica y política de cada zona, así como de la capacidad de cada administración de asumir determinadas inversiones.

Así otro de los problemas vinculados a la aplicación de estas tecnologías hace referencia a su adecuación a las necesidades reales de los Gestores de los Sistemas de información hidrológica y del estado tecnológico del país o región en la que se implantan, ya que no son pocas las ocasiones en que se sobredimensiona la tecnología, y **se ofrecen soluciones más costosas y tecnológicamente inadecuadas / más avanzadas** que las requeridas, y sin tener en cuenta las infraestructuras ya existentes que pueden ser integradas en estos Sistemas a un coste relativamente escaso. Así, si no se consideran este tipo de factores, se incrementa innecesariamente el coste del Sistema, tanto en lo referente a su Implementación como a su Mantenimiento (8) Operación y Explotación.

La ayuda que proporcionan Los sistemas Automáticos de Información Hidrológica se ha venido utilizando también para abastecimientos, saneamientos, regadíos y en Redes de información meteorológica o climatológicas, poniéndose también en evidencia en estos casos los problemas antes mencionados.



Centro de Control SAIH-Sur.

2. Diseño Óptimo de los Sistemas de Información Hidrológica

A continuación se incluye una descripción del procedimiento que se debería seguir para alcanzar un diseño óptimo de los Sistemas de Información Hidrológica, teniendo en cuenta cada uno de los aspectos que componen su arquitectura.

Como ya se ha comentado anteriormente, si bien, la elección de una determinada tecnología, herramienta o fabricante casi siempre implica un cierto grado de cautividad, la experiencia nos demuestra que aunque en apariencia, dos soluciones puedan parecer similares, el grado de cautividad final una vez analizadas en detalle puede variar en gran medida, teniendo esto una enorme influencia tanto en el coste final del Sistema, como en las posibles limitaciones técnicas asociadas a su desarrollo y optimización una vez ha sido puesto en marcha.

Por ello, para conseguir un diseño óptimo, se requiere la realización de procesos diversos y complejos, que pueden ser llevados a cabo **mediante tecnologías y herramientas propietarias** o **bajo normas de amplia aceptación y herramientas abiertas**.

Además, si no se establecen los condicionantes necesarios a la hora de especificar los sistemas, el implementador tiende a utilizar la primera de las formulas, con lo que asegura una dependencia futura de sus tecnologías, disminuyendo la competencia y favoreciendo el aumento de los costes de mantenimiento.

En general, para el desarrollo y la gestión de tecnologías de la información es deseable seguir normas o recomendaciones internacionales como las ITIL (Information Technology Infrastructure Library)

(14) que evitan la creación de sistemas estancos que elevan los costes tanto de desarrollo como de explotación de los sistemas TIC.

A la hora de proyectar estos sistemas es necesario asegurar unas especificaciones lo suficientemente abiertas para que puedan concurrir muchos licitadores, pero también lo suficientemente cerradas para que obliguen al desarrollo e instalación de hardware y software que luego puedan ser gestionados y mantenidos por muchos proveedores.

Es necesario asegurar la apertura del sistema desde el inicio, mediante:

- La definición de las normas aplicables en el diseño tanto físico como lógico.
- La exigencia del uso de formatos y protocolos estándares de comunicación entre aplicaciones, y que sean compatibles con productos externos.
- La definición de los modelos de datos y reglas de validación adecuadas a la información a tratar y a las necesidades de los usuarios.
- El empleo de herramientas flexibles y de amplia difusión.
- La aplicación de estándares de programación y la entrega de documentación adecuada, como los códigos fuente, entre otras acciones.

Se hace necesaria una adecuada valoración del coste de implementación del sistema de comunicaciones (4), teniendo en cuenta el posterior coste de mantenimiento del mismo, conjugando diferentes aspectos:

- Fiabilidad tecnológica.
- Disponibilidad de recursos humanos con formación adecuada en el Sistema de Mantenimiento.
- Dificultad de acceso al punto de control.
- Ausencia de Cobertura / Empleo de repetidores.
- Un análisis costo / beneficio en aquellos casos en los que ya exista un sistema implantado para valorar su incorporación al sistema o la sustitución por la nueva tecnología propuesta.

3. Funcionamiento de un Sistema de Información Hidrológica

Un Sistema de Información hidrológica pone a disposición de los interesados por diferentes medios y for-

matos, adecuados a sus necesidades, la información de los datos del medio físico necesaria para realizar una acertada toma de decisiones.

Genéricamente, la arquitectura de estos sistemas integra los siguientes elementos:

- Obtención de los datos: **Puntos de Control**
- Transmisión de la información: **Sistemas de Comunicación**
- Validación y Gestión de la información: **Centro de Control**

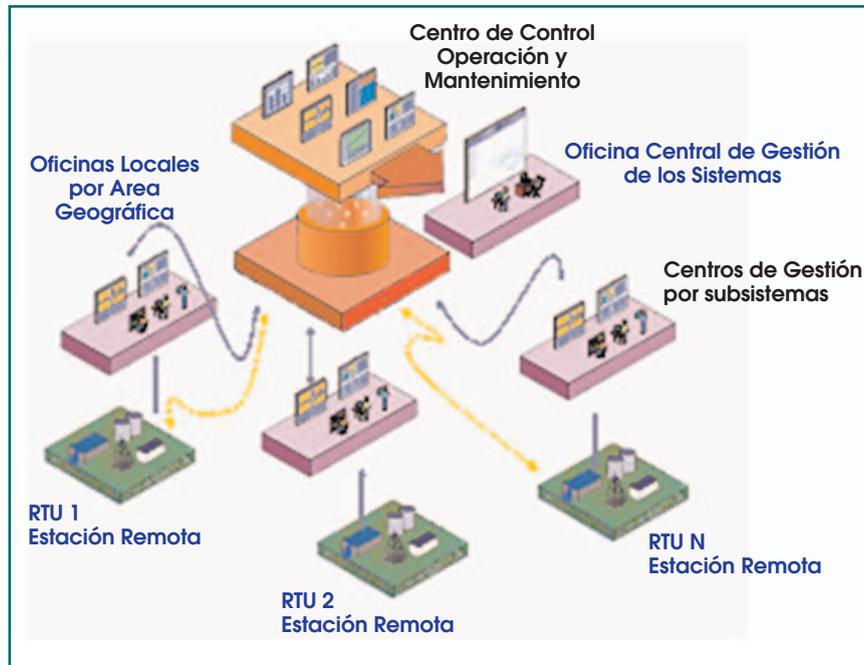
3.1. Obtención de los datos: Puntos de Control

Se hace necesario definir las tecnologías más adecuadas y redacción de las especificaciones técnicas con el suficiente nivel de detalle para el conjunto de equipos y sistemas, basadas entre otros, en el empleo de sistemas y tecnologías abiertas y modulares con amplia aceptación internacional.

Así se tendrá:

- Implementación de sistemas modulares que puedan ser fácil y económicamente integrados con otros elementos.
- Reducción drástica de los costes de desarrollo, mantenimiento y explotación del sistema.
- Minimización de los futuros procesos de reingeniería para la consecución de los objetivos buscados.
- Optimización de los procesos de recolección, almacenaje, análisis y distribución de la información, permitiendo que los usuarios tengan acceso a la información que necesitan, cuando la necesitan y en el formato adecuado.

En la actualidad, el **área de los sensores** se encuentra experimentando un gran desarrollo debido



a la necesidad por parte de los gestores de controlar y monitorizar cada vez más parámetros y variables que históricamente no se han tenido en cuenta.

Por ejemplo se está apostando por el **desarrollo de biosensores** de última generación para la medición en continuo de una serie de variables relacionadas con la calidad de las aguas cuyo control es de obligado cumplimiento por parte de los gestores del agua

desde la entrada en vigor de la nueva Directiva Marco del Agua.

Las Estaciones Remotas son el sistema de adquisición de los datos y deben cumplir determinadas especificaciones tanto en cuanto a hardware como a la hora de realizar su programación y conexión con el SCADA mediante la red de comunicaciones escogida.

Para su especificación debe tenerse en cuenta el modelo OSI de Interconexión de Sistemas Abiertos, especialmente los niveles 1 al 4 (capa física, capa de enlace de datos, capa de red y capa de transporte) desarrollada por la Organización Internacional de Estándares ISO.

3.2. Transmisión de la información: Sistemas de Comunicación

La función principal del sistema de comunicaciones asociado a una red de información es transmitir los datos recogidos por los sensores y estaciones de campo asociadas a las distintas variables hidrológicas y hacerlas llegar al Centro de Proceso de Datos.

Las Tecnologías asociadas al campo de las comunicaciones están en constante evolución, y siempre se requiere un análisis minucioso del estado del

arte de las mismas (9) en el mismo momento de elegir uno u otro sistema como el más adecuado para cada nodo de la red.

La criticidad de las comunicaciones en cada punto de control y en el conjunto del Sistema determinará si la red de comunicaciones debe ser propiedad del operador hidrológico o puede ser subcontratada totalmente o en parte, con un operador de comunicaciones radio, satélite, etc.

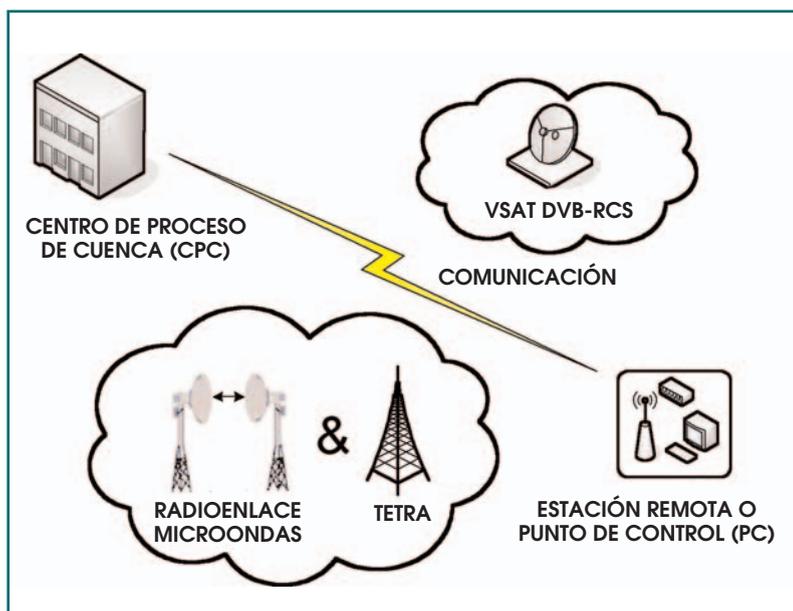
3.3. Gestión de la información:

Centro de Control

El gestor hidrológico deberá manejar todos los datos de la red, tanto hidrológicos como los relativos al mantenimiento, aunque este mantenimiento se encuentre externalizado. En este sentido son muy útiles las aplicaciones GMAO de Gestión del Mantenimiento (2) que sirven tanto para el contratista mantenedor como para la supervisión por parte de la propiedad, que debe ser el depositario de la Base de Datos y del histórico del inventario y de las actuaciones de mantenimiento realizadas.

En el Centro de Control Es necesario también hacer un diseño de los Sistemas de Información y Bases de Datos asociadas, de acuerdo a estándares internacionales específicamente orientados a la gestión, tratamiento e intercambio de información.

Esto resulta fundamental para:



- Disponer de una adecuada trazabilidad de la información a lo largo de todo el proceso de generación de la información desde la captación de los datos hasta su etapa de uso y difusión
- Optimizar los procesos de almacenamiento y recuperación de la información procedente de distintas fuentes, así como su integración y análisis.
- Permitir la adecuada identificación y valoración del nivel de calidad de los datos.
- Permitir la obtención de un adecuado nivel de fiabilidad y precisión tanto de los datos de origen, como de las predicciones realizadas a partir de ellos.
- Facilitar la difusión y el intercambio de información con otras entidades y organizaciones.

3.4. Modelos matemáticos de soporte a la gestión

Una vez recibidas las señales en los Centros de Control y validados los datos según los protocolos que se establezcan, éstos se utilizarán en los modelos matemáticos de soporte a la gestión.

Los modelos matemáticos son una herramienta de ayuda a la explotación de los recursos e infraestructuras hidráulicas.

Se dispone por un lado de modelos hidrológicos predictivos, que son modelos de simulación de fenómenos como la relación lluvia-escorrentía o la fusión nival. Estos modelos pueden ser agregados, tomando a cada subcuenca como una unidad hidrológica, o distribuidos subdividiendo el terreno en celdas.

El carácter predictivo de estos modelos matemáticos hace que sea muy importante disponer de series históricas sobre el comportamiento de las variables a analizar, y que haya que calibrarlos periódicamente de forma iterativa a partir de episodios reales.

Por otra parte se dispone de modelos de ayuda o soporte a la decisión, como los modelos de gestión de embalses, que incorporan generalmente los resultados de los modelos predictivos anteriores.

Entre los modelos de soporte o ayuda a la decisión podemos distinguir aquellos de tiempo real, utilizados para gestión de infraestructuras y demandas hídricas, y otros orientados a la gestión integral de cuencas, muy útiles para la Planificación Hidrológica.



3.5. Un ejemplo. El SAIH del Ebro

El sistema de Información hidrológica del río Ebro (SAIH) actúa sobre una superficie de 85.000 km². Las obras terminaron en 1997 con una inversión de 74,5 M. euros.

El SAIH del Ebro se estructura en tres niveles jerárquicos:

- 354 Estaciones Remotas de Control
- 14 Puntos de Concentración
- 1 Centro de Proceso de Cuenca

Las 354 Estaciones de control se clasifican en: 64 estaciones de control en embalses; 117 estaciones de control en ríos; 114 estaciones de control en canales; 53 estaciones de pluviometría y 6 estaciones de calidad de aguas.

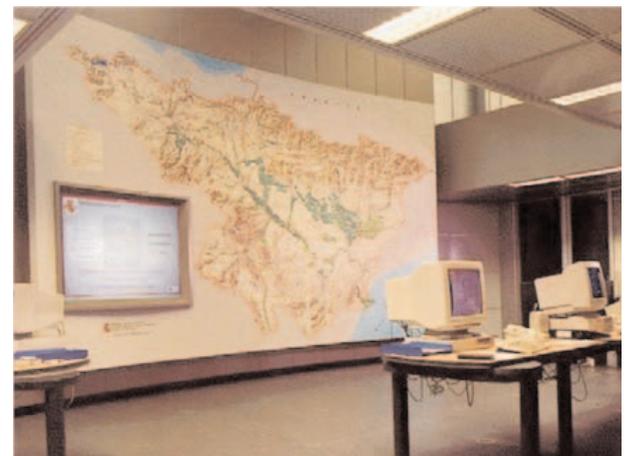
El SAIH Ebro dispone de una red propia de comunicaciones vía radio, que es operada y mantenida por la propia Confederación Hidrográfica.

Esta red sirve para transmitir los datos del SAIH y para comunicaciones de fonía del personal de la Confederación.

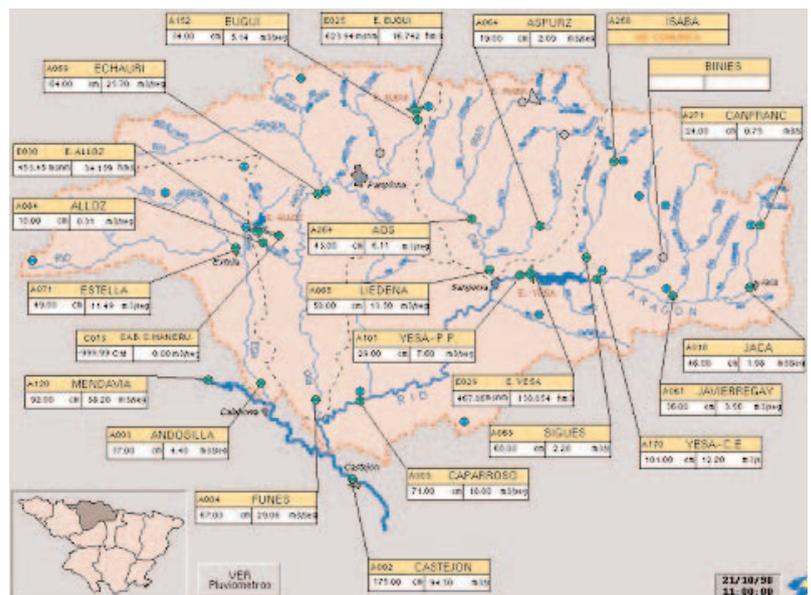
En el Centro de Proceso de Cuenca, se reciben unas 7.500 variables: 2.500 variables hidrometeorológicas y 5.000 variables de estado de la red.

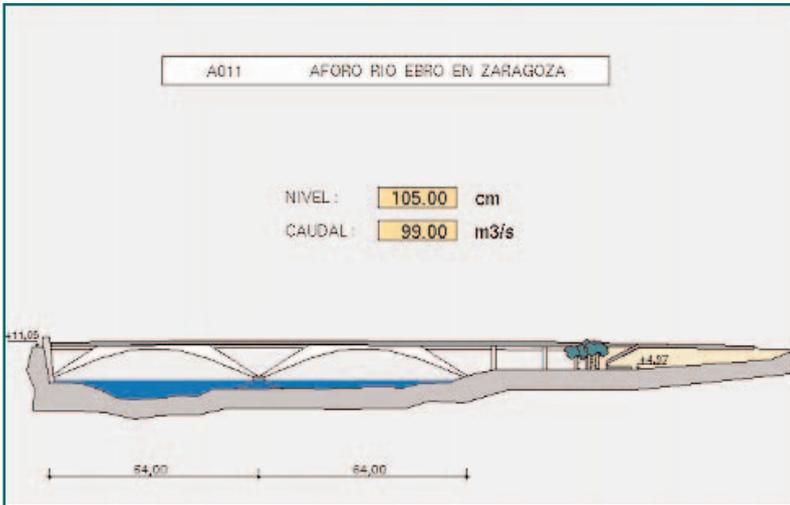
Todos los datos de la red SAIH-Ebro están disponibles en internet desde noviembre de 2002 www.saihebro.com. Hay información general disponible para cualquier usuario, y también deter-

SAIH Ebro. Torre de antenas y Centro de Proceso del SAIH Ebro en Zaragoza.

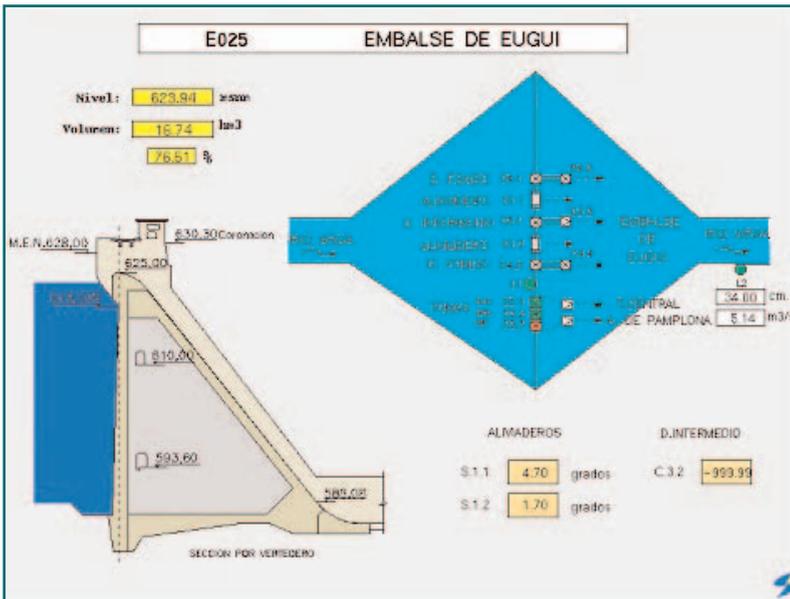


Informe pluviométrico por zonas.

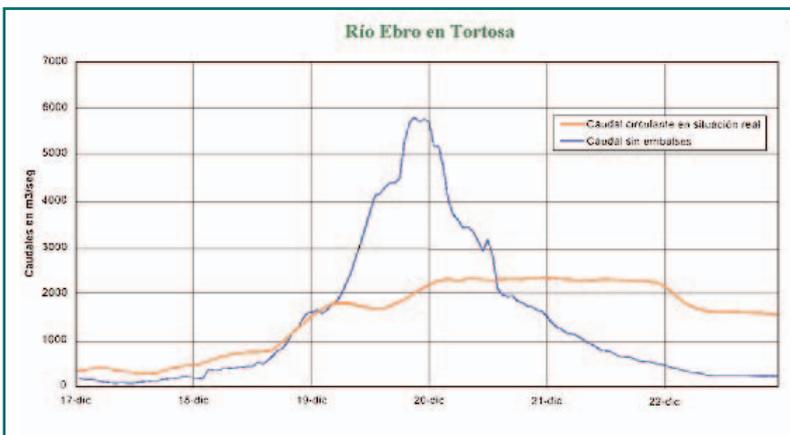




Informe de una estación de aforos.



Informe de estado de embalse.



Informe de caudales circulantes.

minada información cuyo acceso depende del perfil del usuario.

Algunos ejemplos de informes son:

- Informe pluviométrico por zonas
- Informe de una estación de aforos
- Informe de estado de embalse
- Informe de caudales circulantes

4. Conclusiones

El diseño de los Sistemas de Información Hidrológica se debe enfocar hacia las necesidades reales de gestión del organismo usuario final, es decir, diseñar el sistema en función del uso que se le quiera dar al mismo (10).

Así para la gestión de los recursos hídricos, los Sistemas de Información pueden diseñarse para gestionar distintos aspectos:

- Como sistema de alerta temprana, para la prevención de desastres naturales y la gestión del riesgo en el caso de inundaciones (6),
- Como sistema de explotación en situaciones ordinarias, para la gestión normal de la cantidad y calidad del agua en ríos y embalses (3).
- Como sistema gestor de regadíos (7) y de situaciones extraordinarias en caso de sequías.

Además se hace imprescindible adecuar tecnológicamente este tipo de sistemas al "estado del arte" y grado de desarrollo tecnológico al respecto en cada zona, región o país en el que se vaya a implantar.

Así, el diseño de Sistemas de Información ha de contemplar, por un lado, la totalidad de infraestructuras presentes tanto a nivel de hardware como de sistemas de comunicación existentes que puedan ser integradas en la red de información con la intención de abaratar costes; y por otro, la definición de las especificaciones del sistema que permitan la adopción de tecnologías asequibles según las circunstancias particulares de cada zona, región o país (1).

Todo esto se traduce en disponer de Sistemas de información de forma modular y escalonada, priorizando los elementos a integrar y mejorando la archi-

itectura del sistema con el tiempo y en función de la disponibilidad de fondos económicos.

Además, el diseño óptimo de Sistemas de Información Hidrológica ofrece las siguientes ventajas:

- Evitar la cautividad y "secuestro" del sistema por parte de los proveedores tecnológicos.
- Adaptar el sistema a las necesidades funcionales del organismo operador.
- Adecuar la tecnología empleada al grado de desarrollo tecnológico de la ubicación de las redes.
- Reducir los costes del sistema en cuanto a su implantación y futura operación y mantenimiento. ♦

Referencias:

-(1) AYALA-CARCEDO, F. J. "La ordenación del territorio en la prevención de catástrofes naturales y tecnológicas. Bases para un procedimiento técnico-administrativo de evaluación de riesgos para la población", en Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles, nº 30 (monográfico sobre "Riesgos Naturales"), Madrid, Asociación de Geógrafos Españoles. 2000.

-(2) BLANCO BARRAGAN, LUIS y SANCHEZ OVIES, ANGEL, "Mantenimiento de Equipos Electrónicos", Ed. Paraninfo. 2002.

-(3) DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS HIDRÁULICAS (D.G.O.H.), Reglamento Técnico sobre seguridad de presas y embalses 1996.

-(4) DIRECCIÓN GENERAL DEL AGUA "Estudio de Homogeneización SAIH" 2008.

-(5) DIRECCIÓN GENERAL DEL AGUA "Estudio, evaluación y propuesta estratégica de los sistemas de comunicaciones de las Confederaciones Hidrográficas" (2004).

-(6) DIRECCIÓN GENERAL DEL AGUA "Directriz básica de planificación de protección civil ante el riesgo de inundaciones" BOE 14-2-95

-(7) EPE, "Telecontrol y Supervisión Centralizada de Zonas de Riego". Junio 2001.

-(8) GONZALEZ FERNÁNDEZ, FRANCISCO JAVIER, "Contratación Avanzada del Mantenimiento", Ed. Díaz de Santos. 2007.

-(9) HUIDOBRO, JOSÉ MANUEL, "Fundamentos de Telecomunicaciones." Ed. Paraninfo. 2001.

-(10) MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO, "Informe de sostenibilidad ambiental; Actuaciones urgentes del programa A.G.U.A. en las cuencas mediterráneas".2011.

-(11) ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL, "Guía de prácticas hidrológicas de la OMM": Adquisición y proceso de datos, análisis, predicción y otras aplicaciones. 1994.

-(12) PÉREZ CUEVA, A.J. "Precipitaciones extraordinarias en España peninsular. Agricultura y Sociedad, 1983; 2002.

-(13) PROYECTO ESTÁNDARES ABIERTOS.ORG "Definiciones oficiales de Estándares Abiertos en Europa". 2007.

-(14) VAN HAREN Gestión de Servicios TI basado en ITIL. 2011.