



MINISTERIO
DE MEDIO AMBIENTE
Y MEDIO RURAL Y MARINO

SECRETARÍA DE ESTADO
DE MEDIO RURAL Y AGUA

DIRECCIÓN GENERAL
DEL AGUA

Sistema
Automático de
Información
Hidrológica



EL PROGRAMA S.A.I.H.: DESCRIPCIÓN Y
FUNCIONALIDAD.
EL PRESENTE Y EL FUTURO DEL SISTEMA.



INDICE

Página

1. INTRODUCCIÓN	1
2. EL SAIH: OBJETIVOS Y FUNCIONAMIENTO	2
2.1. OBJETIVOS	2
2.2. FUNCIONAMIENTO	3
2.2.1. PUNTOS DE CONTROL	4
2.2.2. PUNTOS DE CONCENTRACIÓN/CENTROS DE EXPLOTACIÓN	10
2.2.3. CENTRO DE PROCESO	11
2.2.4. LAS REDES DE TELECOMUNICACIÓN	12
3. SITUACIÓN ACTUAL DEL PROGRAMA SAIH	14
4. DIFUSION DE LA INFORMACION:	24
5. MODELOS DE PREVISIÓN HIDROLOGICA/HIDRAULICA Y SISTEMAS DE AYUDA A LA DECISION (SAD)	25
5.1. MODELOS DE PREVISIÓN HIDROLOGICA/HIDRAULICA	25
5.2. SISTEMAS DE AYUDA A LA DECISION (SAD)	26
6. RESUMEN	29

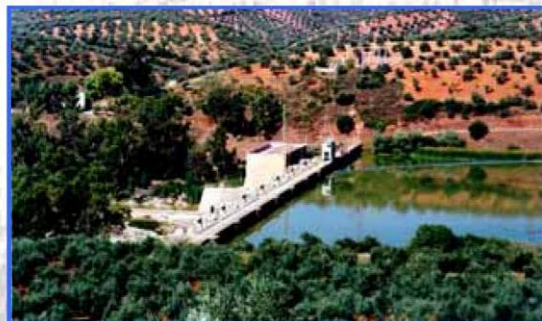
1. INTRODUCCIÓN

España dispone de unos recursos hídricos renovables del orden de los 111.000 Hm³, lo que supone unos 2.700 m³ por habitante y año.

El problema del agua en España se origina por la desigual distribución de las precipitaciones tanto en el espacio como en el tiempo, lo que reduce su disponibilidad; fruto de esa irregularidad han surgido los efectos asociados de sequía e inundación, cuyo control ha fomentado el desarrollo de importantes infraestructuras hidráulicas cuya seguridad es vital garantizar en situación de avenidas, así como, el de optimizar su explotación para reducir daños aguas abajo.

Asimismo, el agua es un recurso natural imprescindible para la vida. La creciente presión sobre los recursos hídricos hace necesario una gestión racional de los ecosistemas que haga posible un uso sostenible respetuoso con el medio ambiente.

Ante esta situación, y tras las trágicas inundaciones en el levante y el norte español al principio de la década de los ochenta del pasado siglo, nace la necesidad de implantar sistemas automáticos de información que permitan disponer de los datos hidrológico-hidráulicos en tiempo real, y prever, mediante modelos de simulación convenientemente contrastados, el comportamiento futuro de las cuencas.



2. EL SAIH: OBJETIVOS Y FUNCIONAMIENTO

Los Sistemas Automáticos de Información Hidrológica (**SAIH**) de las Confederaciones Hidrográficas son el resultado de un Programa de la Dirección General del Agua (DGA) del Ministerio de Medio Ambiente para su desarrollo en todas las cuencas intercomunitarias, iniciado en la del Júcar (1983) y actualmente en avanzado estado de ejecución. El SAIH puede definirse como un Sistema de Información en tiempo real, basado en la captura, transmisión y procesado de los valores adoptados por las variables hidrometeorológicas e hidráulicas más significativas, en determinados puntos geográficos de las cuencas hidrográficas sensorizadas.

Proporciona información relativa a los niveles y caudales circulantes por los principales ríos y afluentes, el nivel y volumen embalsado en las presas, el caudal desaguado por los aliviaderos, válvulas y compuertas de las mismas, la lluvia en numerosos puntos y los caudales detraídos por los principales usos del agua en cuenca.



2.1. OBJETIVOS

Los objetivos primordiales del SAIH son servir de sistema de información en tiempo real para:

- ✓ **Gestión en avenidas:** minimización de daños por una mejor gestión de las infraestructuras hidráulicas y por un aumento en el plazo y en la garantía de los avisos a Protección Civil y a la Unidad Militar de Emergencia (UME), aumento de la información relativa a la seguridad de las presas y el mantenimiento de los resguardos.
- ✓ **Gestión de sequías:** facilita el seguimiento de la sequía y de las medidas tomadas, vigilancia de dotaciones y control de caudales en las tomas.

- ✓ **Gestión de riegos:** vigilancia del cumplimiento de las dotaciones acordadas, modificación de los caudales por cambio de condiciones, por ejemplo un episodio de lluvia y ahorro del recurso por una mejor gestión.
- ✓ **Gestión de caudales ecológicos:** permite conocer el cumplimiento de los caudales ecológicos y anticipar posibles problemas.
- ✓ **Gestión de la calidad del agua:** suministra los datos de caudal, elemento básico de la calidad.
- ✓ **Gestión del conocimiento:** mejora el conocimiento de la cuenca que repercute en numerosas actividades de planificación y explotación.



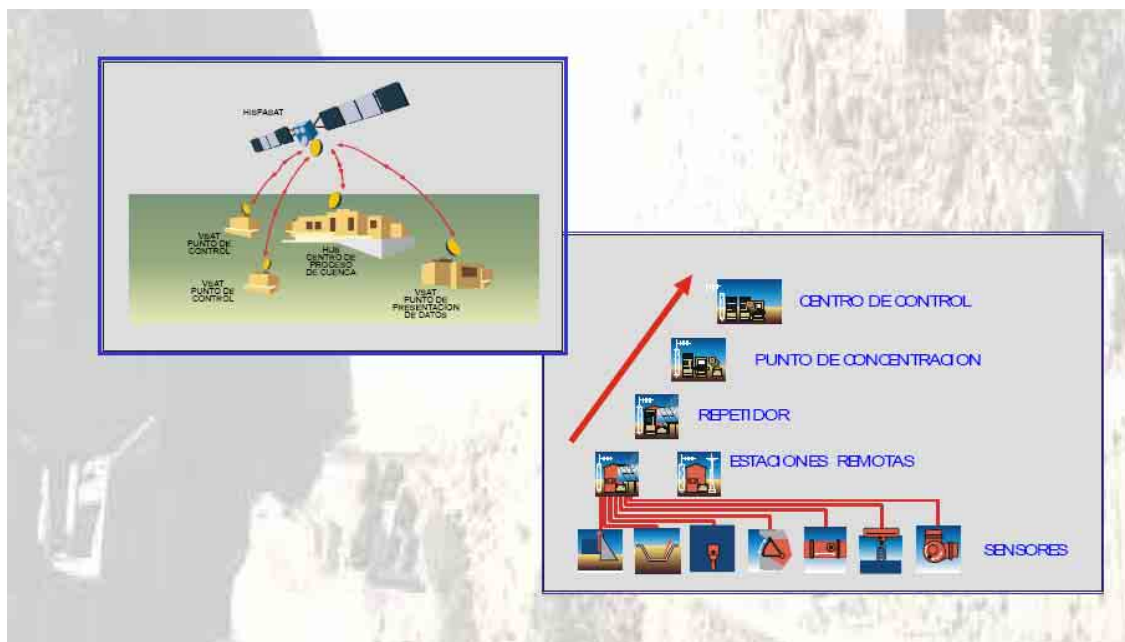
2.2. FUNCIONAMIENTO

Cada **SAIH** funciona de manera autónoma en cada una de las Confederaciones Hidrográficas, sin perjuicio de que exista, en un futuro, un denominado Centro Nacional con funciones de seguimiento en tiempo real y estadística.

Por otro lado, a lo largo de los años de su existencia, el programa **SAIH** ha ido incorporando las nuevas tecnologías que se han desarrollado en los diversos sectores involucrados, lo que ha hecho variar el enfoque de algunos de los criterios iniciales de diseño.

Por esta causa, coexisten en la actualidad, por ejemplo, sistemas que transmiten la información vía radio terrestre con sistemas que se comunican a través del satélite HISPASAT, puesto en órbita por España en 1.992.

En cualquier caso, atendiendo al esquema más general posible, puede decirse que el Sistema **SAIH** de cada cuenca hidrográfica CAPTA los datos por medio de distintos dispositivos sensorizados y los TRANSMITE a través de una red de comunicaciones, dentro de un sistema jerarquizado en dos/tres niveles, estructurado de la forma siguiente: Puntos de control, Puntos de concentración/explotación y Centro de proceso.



2.2.1. PUNTOS DE CONTROL

Son las ubicaciones donde se instala el equipamiento necesario para adquirir los datos básicos a obtener, procesarlos, almacenarlos temporalmente y transmitirlos a sus Puntos de Concentración respectivos o directamente al Centro de Proceso de cuenca.

Las variables principales que se miden y, por tanto para las que se instalan los sensores correspondientes, son:

- ✓ Pluviómetros, pluviónivómetros y telenivómetros
- ✓ Embalses, presas y azudes:
 - Niveles de embalse
 - Posición de compuertas
 - Posición de válvulas
 - Potencia turbinada
- ✓ Ríos, Ramblas, canales y conducciones:
 - Nivel y caudal en ríos
 - Nivel y caudal en canal
 - Caudal en conducciones
- ✓ Estaciones meteorológicas:
 - Temperatura

- Humedad
 - Radiación solar
 - Evaporación
 - Velocidad del viento
 - Dirección del viento
 - Presión atmosférica
- ✓ Señales integradas
 - ✓ Alarmas de nivel
 - ✓ Nivel y densidad de nieve acumulada



Estos sensores, de modo individual o agrupados, se integran formando los siguientes tipos de puntos de control:

A	Aforo en Río
C	Aforo en canal
D	Puntos de concentración
E	Embalse
H	Central hidroeléctrica
I	Impulsión
L	Estación meteorológica aislada
M	Marco de control

N	Pluvionivómetro aislado
O	Conducciones
OT	Otros (subconcentrador, depuradoras, piscifactorías, etc.)
P	Pluviómetro aislado
Q	Calidad del agua
R	Repetidor
T	Telenivómetro
X	Centros de Cuenca, de Zona, etc.
Z	Pozo piezométrico

2.2.1.1 Topología de las Redes

La red general de puntos de control del **SAIH** está fundamentalmente integrada, a su vez, por otros dos subredes principales que responden a las necesidades de información que requieren los dos grandes objetivos del Sistema: la previsión y alarma en avenidas y la optimización de la gestión de los recursos hídricos.

Estas subredes no son independientes entre sí por lo que se refiere a los puntos de control que las conforman. Cuentan con elementos comunes, ya que un mismo punto puede proporcionar información relativa tanto a la previsión de avenidas como a caudales de explotación normal. Por ejemplo en determinados embalses y estaciones de aforo.

↪ Red de previsión y alarma en avenidas

↪ Red de gestión

↪ Red de Previsión y Alarma en Avenidas

Condicionantes iniciales

El primer aspecto contemplado en la definición de la red de avenidas es el que resulta de la conjunción de dos elementos primordiales:

- Determinación de los objetivos a proteger
- Puntos que pueden aportar información hidráulico-hidrológica.

Clasificación de cuencas

Dado que las avenidas se producen, normalmente, como consecuencia de la escorrentía generada a partir de las precipitaciones ocurridas en algún lugar de la cuenca, se puede hacer una primera clasificación de las mismas en función del tiempo de respuesta; esto es, en función del tiempo que transcurre desde que se producen las lluvias hasta que llegan los caudales resultantes. De esta forma, las diferentes subcuencas parciales pueden ser clasificadas según los dos grandes grupos siguientes:

- a) Cuencas de respuesta lenta
- b) Cuencas de respuesta rápida

Cuencas de respuesta lenta

Las cuencas de respuesta lenta son, por lo general, cuencas de dimensiones importantes, con cursos de agua de gran longitud y pendiente longitudinal relativamente pequeña. También pueden ser de este tipo las cuencas que, sin cumplir con los requisitos anteriores, cuentan con un número importante de embalses sucesivos. En ambos casos la respuesta de estas cuencas frente a las lluvias es mucho más lenta que en otros casos y, en general, bastará a los efectos de previsión y alerta, con disponer adecuadamente suficientes controles del caudal para poder deducir, con suficiente exactitud, la evolución del hidrograma a lo largo del curso del río a partir de los modelos de propagación del caudal.

En este tipo de cuencas es normal que los daños, poco frecuentes pero de enormes proporciones, se produzcan en los tramos medios y finales de los grandes ríos, que en general acogen el asentamiento de los núcleos de población más importantes.

Cuencas de respuesta rápida

Se entiende por cuencas de respuesta rápida aquellas en las que el tiempo que transcurre entre la ocurrencia de la lluvia y la presentación de la avenida es mínimo. Es el caso de muchas de las cuencas de los litorales mediterráneo y cantábrico, y también de las de cabecera de los afluentes a los grandes ríos. Es obvio que, en estos casos, el sistema de previsión y alarma deberá basarse en el conocimiento en tiempo real de las precipitaciones, de forma que permita el adelanto máximo en la predicción, y la ganancia del mayor tiempo posible a los efectos de generación de alarmas y de decisión respecto al empleo de medidas de protección.

Para la determinación de una estimación suficiente de la lluvia total, y de su distribución areal, se requiere el concurso tanto de los datos proporcionados por los pluviómetros instalados por el **SAIH** - disponibles en tiempo real pero con representatividad espacial limitada-, como de la información proveniente de radares meteorológicos que proporciona el INM.

Red de Gestión del Sistema Hidráulico

El objetivo de la red de gestión es el de proporcionar la información necesaria, en términos de volúmenes de agua almacenados y de caudales circulantes, que permita a los responsables de la explotación de recursos tomar decisiones que aseguren su aprovechamiento óptimo, buscando la satisfacción de las demandas existentes, sean éstas consuntivas o no.

Los criterios básicos utilizados en la selección de los puntos de esta red persiguen una tipología que asegure el control de:

- ✓ Las estructuras de regulación de la cuenca que tengan asociadas demandas significativas.
- ✓ Las conducciones más relevantes, tanto en cabecera como en sus principales derivaciones.
- ✓ Las tomas en los cauces naturales, bien sean elevaciones, derivaciones, etc.

El objetivo es el de contar con una red que permita conocer en todo momento las reservas de agua existentes en los embalses de regulación y, por tanto, la garantía de servicio de las demandas asociadas a cada escenario concreto. La red de gestión permite, además, tener una idea actualizada del estado de los caudales circulantes por las conducciones y, eventualmente, detectar situaciones anómalas como roturas u otros desperfectos a partir del simple balance entre los caudales circulantes y los derivados.

A. Medición de variables Hidráulicas e Hidrológicas

A.1. Medición en Presas

A.1.1. Altura de lámina de agua

La medición de la altura de la lámina de agua en un embalse viene determinada por dos condicionantes principales:

- ✓ El amplísimo rango a medir, acompañado de exigencias de alta resolución (en el orden del centímetro)
- ✓ Las dificultades de instalación, debidas a las características particulares de la infraestructura en cada emplazamiento

Los sistemas utilizados han sido los siguientes:

- ✓ Sondas de cuarzo sumergidas
- ✓ Balanzas con instalación hidrostática y neumática
- ✓ Sistema de flotador y contrapeso
- ✓ Sondas de cuarzo con instalación hidrostática y neumática

A.1.2. Caudales desaguados por aliviaderos, tomas y desagües de fondo

El primer objetivo es la de intentar medir directamente el caudal instantáneo. Cuando es el caso de un flujo circulando por una conducción en carga, se utiliza preferentemente uno de los dos siguientes sistemas:

- ✓ Caudalímetro electromagnético
- ✓ Caudalímetro por ultrasonidos

No obstante, en la mayoría de las ocasiones no es posible la medición directa del caudal, y se debe recurrir a su estimación a partir de la posición de las válvulas y compuertas de paso.

En estos casos, la tipología de estos sensores es muy variada, aunque se pueden destacar los siguientes:

- ✓ En compuertas de sector:
 - Pendulares.

- ✓ En válvulas y compuertas no de sector:
 - Mecánicos.
 - Ópticos.
 - Capacitivos.
 - Potenciométricos.

A.2. Medición en Ríos.

El objetivo principal de la medición en ríos es el de conocer el caudal circulante por el cauce. La medición del caudal directo es difícil o muy costosa, por lo que se suele recurrir al procedimiento indirecto basado en la medición del nivel de la lámina de agua -en una estación de aforo-, en la que, en función de su diseño, y con el tarado en campañas periódicas, se puede calcular el caudal correspondiente con suficiente precisión. Los principales sistemas utilizados en la medición de este nivel son los siguientes:

- ✓ De boya y contrapeso
- ✓ Piezorresistivos
- ✓ Neumático compacto
- ✓ De ultrasonidos
- ✓ Radar

A.3. Medición en Canales

El objetivo de la medición en canales es similar al caso de los ríos, dirigido a la medición del caudal circulante por los mismos. Cuando es posible, se recurre al cálculo del caudal a partir de la medida de nivel por razones de fiabilidad, precisión y coste. Sin embargo, no siempre es posible, puesto que, en muchas ocasiones, el régimen en el canal resulta alterado por efectos de remanso (compuertas), o es difícil -o imposible-, poder instalar la infraestructura necesaria.

Cuando solo se mide el nivel, los sistemas de medida son los mismos que los utilizados para la medición en ríos. Cuando ello no es posible, hay que recurrir a la medida de la velocidad del agua. En ese caso, los sistemas utilizados son dos:

- ✓ Ultrasonidos por tiempo de tránsito
- ✓ Perfiladores ultrasónicos por efecto doppler

A.4. Medición en Impulsiones

La magnitud a controlar es el caudal bombeado. La medición se efectúa de manera directa con la disposición de caudalímetros en tubería. Los equipos a emplear son los mismos que para la medición en conducciones en presas.

B. Medición de variables Climáticas y Ambientales

B.1. Medición de Precipitación Líquida

El objetivo es el de medir la lluvia precipitada con el empleo de pluviómetros con capacidad ilimitada para minimizar el mantenimiento. En todos los **SAIH** se han instalado pluviómetros de balancín. Estos equipos recogen la lluvia sobre una superficie cónica que dirige el agua hacia un orificio calibrado. Las gotas de agua caen en uno de los dos recipientes de un balancín que se va llenando. Una vez lleno, vuelca el balancín, dando un pulso, vaciando el agua, y quedando preparado para comenzar el llenado del otro recipiente.

B.2. Medición de Precipitación Sólida

En este caso, los pluviómetros deben ser capaces de medir tanto precipitación líquida como la sólida. Los sistemas disponibles son los siguientes:

- ✓ Pluvionivómetros con calefacción
- ✓ Pluvionivómetros por peso

B.3. Medición de Nieve Acumulada

Este equipo se utiliza para la medición de las características de la nieve acumulada en un punto. Los parámetros que se miden directamente son dos: altura total de nieve y densidad.

Hay dos tipos de nivómetros:

- ✓ Nivómetro radioactivo mediante una fuente de haz horizontal móvil, y está basado en la detección de los rayos gamma emitidos por dicha fuente a través de la capa de nieve.
- ✓ Nivómetro de rayos cósmicos que se basa en medir la radiación natural recibida y compararla con la recibida a través de la capa de nieve

2.2.2. PUNTOS DE CONCENTRACIÓN/CENTROS DE EXPLOTACIÓN

Los Puntos de Concentración son los que transmiten la información recibida desde sus Puntos de Control al Centro de Proceso de Cuenca y vinieron condicionados en un principio por las necesidades de diseño de la transmisión de datos vía radio terrestre.

La utilización de las comunicaciones vía satélite ha supuesto una variación importante en este esquema, en el que los Puntos de Concentración pierden su sentido. En estos casos se han reconvertido hacia los denominados Centros de Explotación o Centros de Zona, que, en definitiva, no son más que puestos internos que utilizan los datos que le son enviados desde el Centro de Proceso.

El aumento de las prestaciones de los sistemas de comunicaciones empleados están permitiendo que en determinadas ubicaciones se reciban subconjuntos de información, por ejemplo: en presas importantes o en oficinas de las Confederaciones.



2.2.3. CENTRO DE PROCESO

Normalmente ubicados en las oficinas centrales de cada Confederación, es donde se:

- ✓ Recibe y archiva de modo automático todos los datos.
- ✓ Procesa la información y la aplica a la gestión del agua y a la previsión de avenidas, con ayuda de modelos informáticos y sistemas expertos, convenientemente desarrollados e implantados en el sistema, de acuerdo con los requerimientos específicos de cada cuenca.
- ✓ Presenta la información según las necesidades de los diferentes usuarios.
- ✓ Difunde la información a usuarios internos y externos al organismo.

Cada Confederación dispone de su Centro de Cuenca, dónde se dispone de unas salas para la explotación, operación y mantenimiento de los **SAIH**, para reuniones, especialmente en situaciones de crisis y para el alojamiento de los sistemas informáticos.

El núcleo del equipamiento de los Centros de Proceso de Cuenca está constituido por sistemas informáticos de altas prestaciones diseñados para trabajar en tiempo real. Otra característica importante es la utilización de arquitecturas de alta disponibilidad para asegurar el funcionamiento permanente de los sistemas.



2.2.4. LAS REDES DE TELECOMUNICACIÓN

Las redes de telecomunicación son un factor clave en sistemas que, como el **SAIH**, pretenden interconectar puntos espacialmente dispersos, en tiempo real y de forma fiable en situaciones adversas. La consecución de los objetivos previstos -en un sistema de información hidrológica, con características como las del **SAIH**-, requiere la adopción de un medio de transmisión que garantice un transporte adecuado y fiable de los datos de telecontrol que se manejan.

En los **SAIH** se han empleado numerosos medios de transmisión, pero el núcleo de los sistemas de comunicaciones se divide en los tipos siguientes:

- ✓ Sistema de comunicaciones vía radio utilizando una red propietaria de estaciones repetidoras terrestres.
- ✓ Sistema de comunicaciones vía satélite utilizando terminales VSAT y un operador externo

Los sistemas de comunicaciones empleados en las redes de los **SAIH** adoptaron, en un primer momento, una estructura condicionada por una serie de especificaciones iniciales de diseño, entre las que destacan las siguientes:

- ✓ La magnitud del volumen de información a transmitir y la tipología de la estructura distribuida de explotación de los datos.
- ✓ La adopción de un medio de transmisión según una red de radio terrestre. La razón fundamental de esta selección estriba en su seguridad de funcionamiento, siendo la radio terrestre el que resultaba más fiable, para las situaciones con condiciones climatológicas adversas que son de prever.
- ✓ La elección de una estructura jerarquizada para la red de telecontrol.

La estructura jerárquica ha supuesto la necesidad de proceder al diseño de dos redes radio de comunicaciones superpuestas.

La primera, denominada **red secundaria** de datos o de acceso, es la que une las estaciones de telecontrol con los puntos de concentración. Se trata de una red con topología de estrella y formada por enlaces monocanales, en un principio, o por enlaces trunking digitales TETRA en los últimos sistemas.

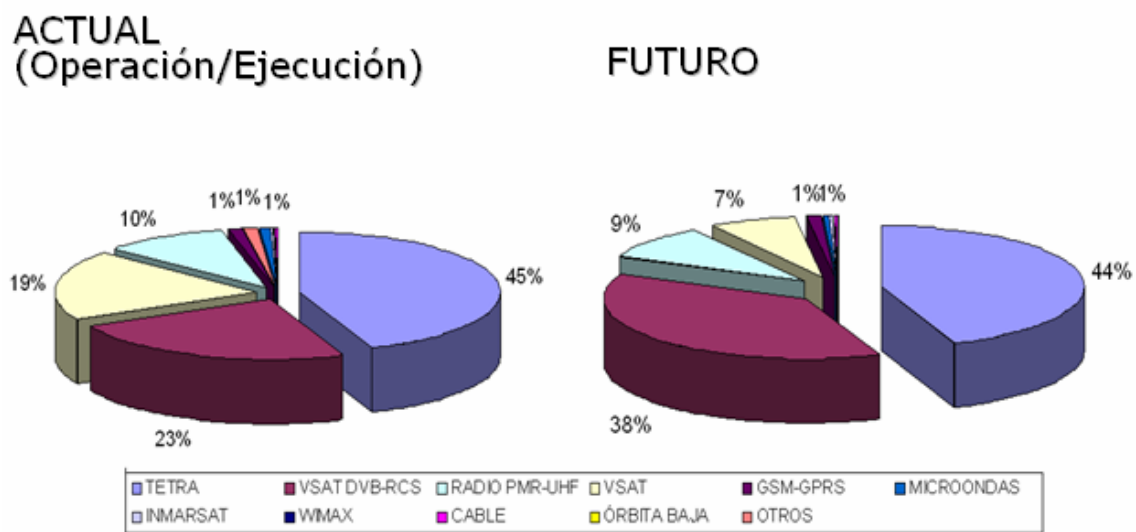
La segunda, que recibe el nombre de **red primaria** o de transporte, es la que formaliza la unión de los puntos de concentración con el centro de proceso de cuenca. En un principio también se utilizaron enlaces monocanales. Posteriormente se optó por utilizar una estructura basada en enlaces multicanales, con una mayor capacidad de transmisión. Asimismo se optó también por utilizar una estructura mallada, lo que permite disponer de rutas redundantes de comunicaciones entre los puntos de concentración y el centro de proceso de cuenca.

Posteriormente se diseñaron varios sistemas utilizando como soporte principal de las comunicaciones una red de terminales VSAT conectados con el centro de control mediante una estación alojada en un satélite.

La utilización de los sistemas de comunicaciones por satélite supone un cambio significativo en la estructura de la red de comunicaciones del **SAIH**, pues se hace necesario pasar de una red mallada a una red en estrella, con concentración de enlaces. Además, las características de los centros de control de comunicaciones de satélite han aconsejado recurrir a operadores externos que presten este servicio.

Actualmente los sistemas han ido evolucionando hacia sistemas mixtos utilizando diferentes medios optimizando las redes y mejorando las prestaciones.

En el siguiente gráfico se representa los tipos de comunicación de los distintos puntos **SAIH**:



3. SITUACIÓN ACTUAL DEL PROGRAMA SAIH

Los **SAIH** se encuentran operativos en las Confederaciones Hidrográficas del Júcar, Segura, Guadalquivir, Tajo, Ebro, Guadiana y el entonces Norte I (hoy Miño-Sil y parte de la Confederación Hidrográfica del Cantábrico, antes Norte II y III. Este último, actualmente en fase de tramitación para su licitación) y en vía de implantación a corto plazo en la Cuenca Hidrográfica del Duero (prevista la finalización el 31 de diciembre de 2009).

Decir que es un sistema consolidado, que se utiliza con cotidianeidad en las Confederaciones Hidrográficas y que está considerado muy eficaz tanto para la gestión de los recursos ordinarios así como de los fenómenos extremos, sequías e inundaciones. Se dispone de protocolos de actuación en esas situaciones y a escala adecuada el ciudadano es informado de la situación.

Los resultados obtenidos y la confianza en su utilización han provocado que se requiera la ampliación de los sistemas a nuevas infraestructuras y su integración con otras redes con el objeto de satisfacer nuevas necesidades. Se está procediendo a la integración del **SAIH** con el Sistema Automático de Información de Calidad de las Aguas (SAICA) a nivel de comunicaciones y de aplicación.

En la figura siguiente se refleja el estado de implementación de los distintos Sistemas de Información Hidrológica.



A continuación se aportan los datos económicos más relevantes:

1. Inversión de obra realizada aproximada actualizada (a 31 de diciembre de 2008): 640 M€

2. Coste de mantenimiento realizado aproximado actualizado (a 31 de diciembre de 2008): 159 M€
3. Coste de otros conceptos aproximado actualizado (a 31 de diciembre de 2008): 42 M€
4. Coste de inversión total realizada aproximada (a 31 de diciembre de 2008): 841 M€
5. Coste de Mantenimiento aproximado actualizado/año (a 31 de diciembre de 2008): 26 M€

NOTA:

- (1) Se incluye sólo la obra ejecutada hasta la fecha de referencia.
- (2) Se incluye la inversión total desde que el SAIH se implantó.
- (3) Se incluye asistencias técnicas, redacción proyectos, etc.
- (4) Suma de los conceptos (1), (2) y (3)
- (5) Incluye los contratos vigentes, así como la parte estimada y correspondiente al de la CH Duero.

En todos estos conceptos se incluye también la parte correspondiente de los SAIH de las cuencas intracomunitarias hasta la fecha de su traspaso.

En todos los conceptos se ha aplicado una tasa de actualización correspondiente al IPC.

CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS IMPLANTADOS

Las características básicas (toma de datos y transmisiones) de los **SAIH** de las distintas cuencas en las que están implantados (o en fase de instalación), aunque con las lógicas diferencias derivadas de las respectivas fechas de construcción y de las condiciones propias de cada cuenca, se ajusta, según todo lo expuesto, a unas pautas similares. Tales características son las siguientes:

- ✓ Composición de las redes (en todas hay un único Centro de Proceso)

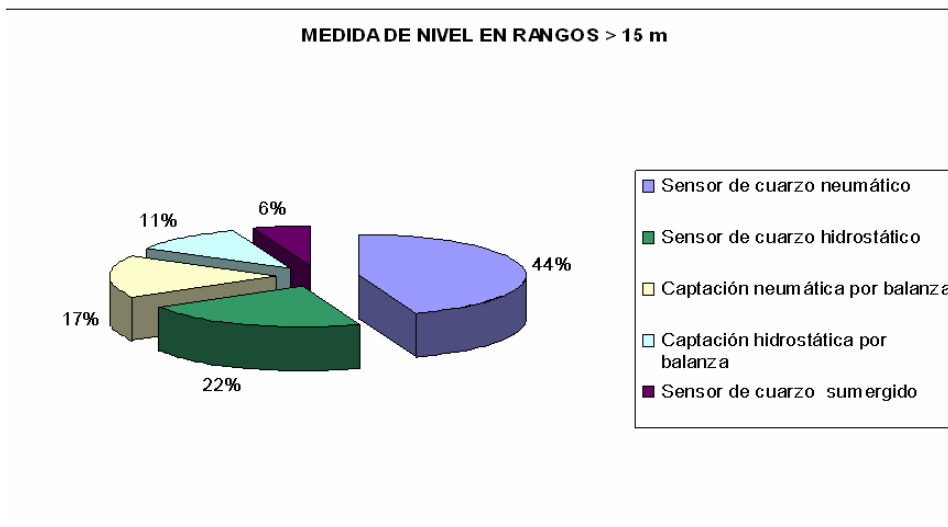
En los gráficos que se incorporan a continuación se presentan un análisis tanto de la instrumentación, tipología de puntos de control como de las comunicaciones:

A. INSTRUMENTACIÓN

1. **Gráficos de los diferentes instrumentos de medida de la Red SAIH** (se incluyen todos independientemente de su estado de funcionamiento (Operativo, ejecución y licitación)):

MEDIDAS DE NIVEL EN AGUA

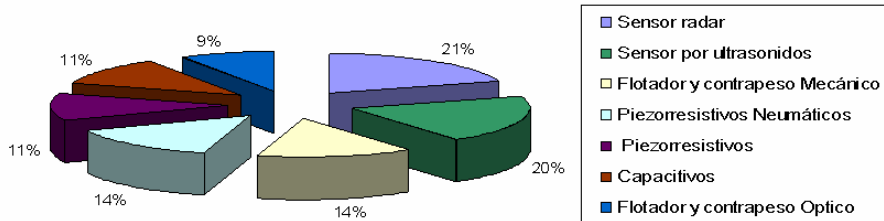
DESPLIEGUE DE TECNOLOGÍAS



MEDIDAS DE NIVEL EN AGUA

DESPLIEGUE DE TECNOLOGÍAS

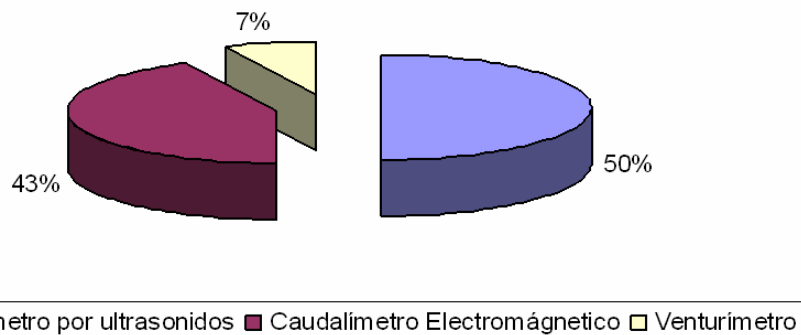
MEDIDA DE NIVEL RANGO < 30m



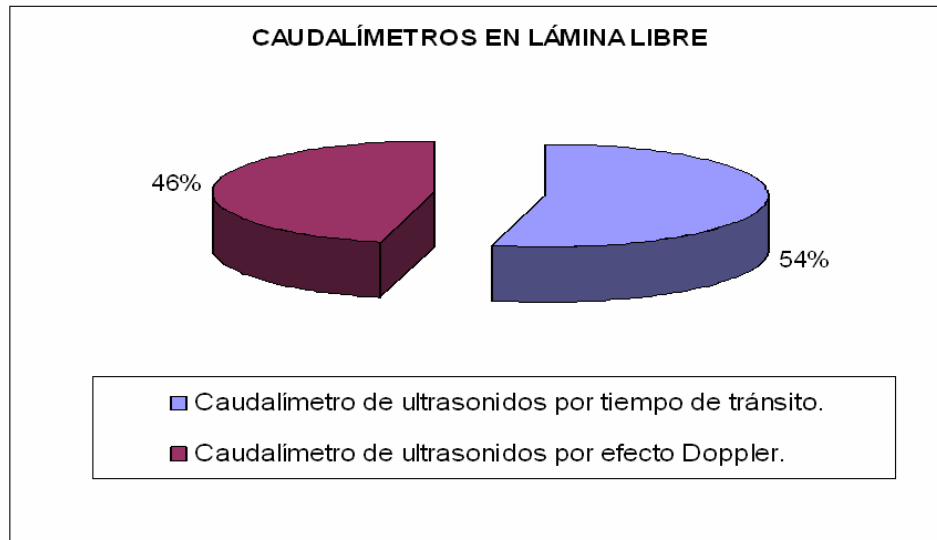
MEDIDAS DE CAUDAL EN TUBERIAS BAJO PRESIÓN

DESPLIEGUE DE TECNOLOGÍAS

CAUDALÍMETROS EN TUBERÍAS

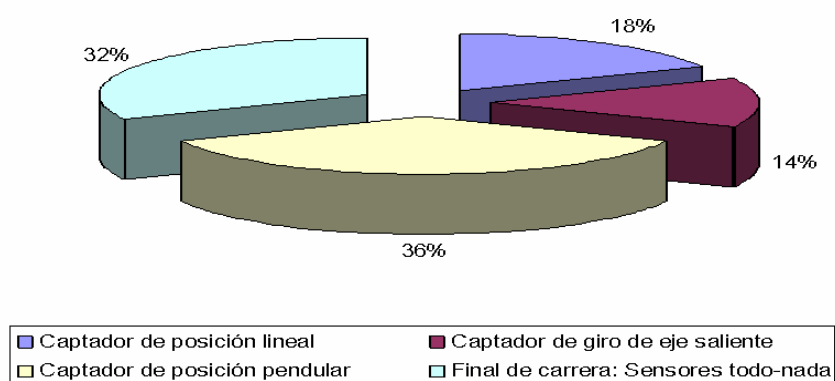


MEDIDAS DE CAUDAL EN RÍOS Y CANALES DESPLIEGUE DE TECNOLOGÍAS



MEDIDAS DE GRADO DE APERTURA EN VÁLVULAS Y COMPUERTAS E INDICADORES DE POSICIÓN FINAL DE CARRERA.

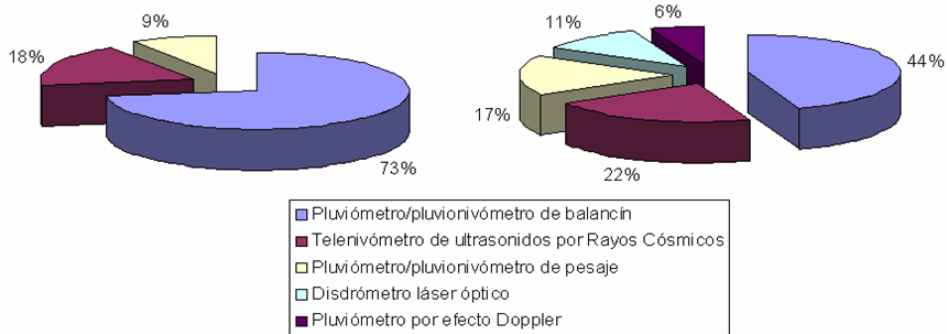
DESPLIEGUE DE TECNOLOGÍAS



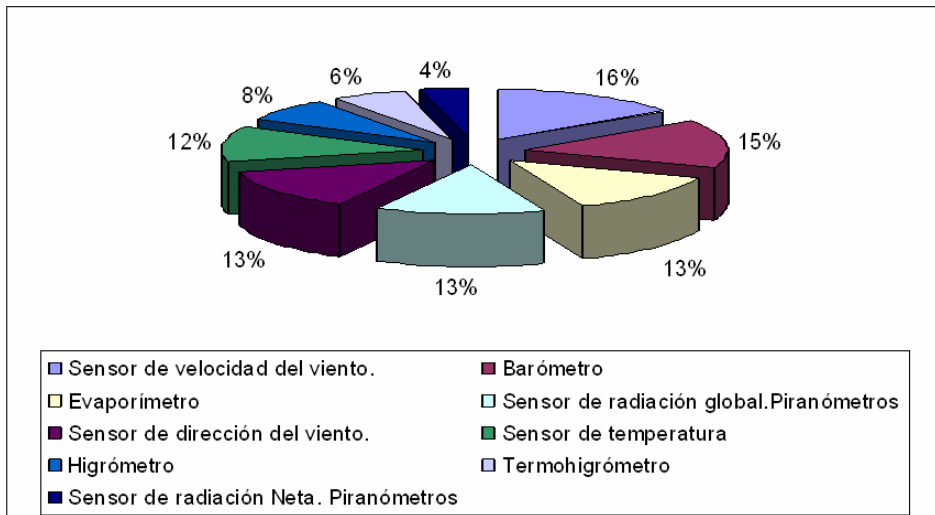
MEDIDA DE PRECIPITACIÓN DESPLIEGUE DE TECNOLOGÍAS

ACTUAL
(Operación/Ejecución)

FUTURO



MEDIDAS METEOROLÓGICAS DESPLIEGUE DE TECNOLOGÍAS



B. PUNTOS DE CONTROL:

2. **Puntos de control de los SAIH según su tipología** (se incluyen todos los puntos de control independientemente de su estado de funcionamiento Operativo, ejecución y licitación):

TIPOLOGÍA DE PUNTOS	DEMARCACIONES									
	Duero	Ebro	Guadalquivir	Guadiana	Júcar	Miño-Sil	Cantabrico	Segura	Tajo	Total
SUPERFICIE AFECTADA (KM2)	78.952	85.534	57.527	66.890	42.903	17.717	20.831	18.815	55.810	444.979
Aforo en canal	52	216	15		18			14	20	335
Aforo en Río	102	148	15	52	31	24	51	30	51	504
Calidad del agua		27								27
Central hidroeléctrica		31	2					14		47
Centros de Cuenca, de Zona, etc.		2						1		3
Conducciones				10			3			13
Embalse	29	63	67	45	32	28	21	31	47	363
Estación meteorológica aislada				70		7	8	2		87
Impulsión			15					4	11	30
Marco de control	16		28	35	24	16	42	30	7	198
Pluviometro aislado	25	15	34		57	11	14	44	44	244
Pluvionivometro aislado	59	38	6		28		7	6	18	162
Pozo piezométrico				10				5		15
Punto Medida	55	115	8							178
Punto sin Medida	8		3						27	38
PUNTOS DE CONTROL	346	655	193	222	190	86	146	181	225	2.244
Puntos de concentración		6			7			3		16
Repetidor		97		34	9					140
Telenivómetro	14	11					1	4	4	34
Otros		7						2		9
TOTAL PUNTOS MANTENIMIENTO	360	776	193	256	206	86	147	190	229	2.443

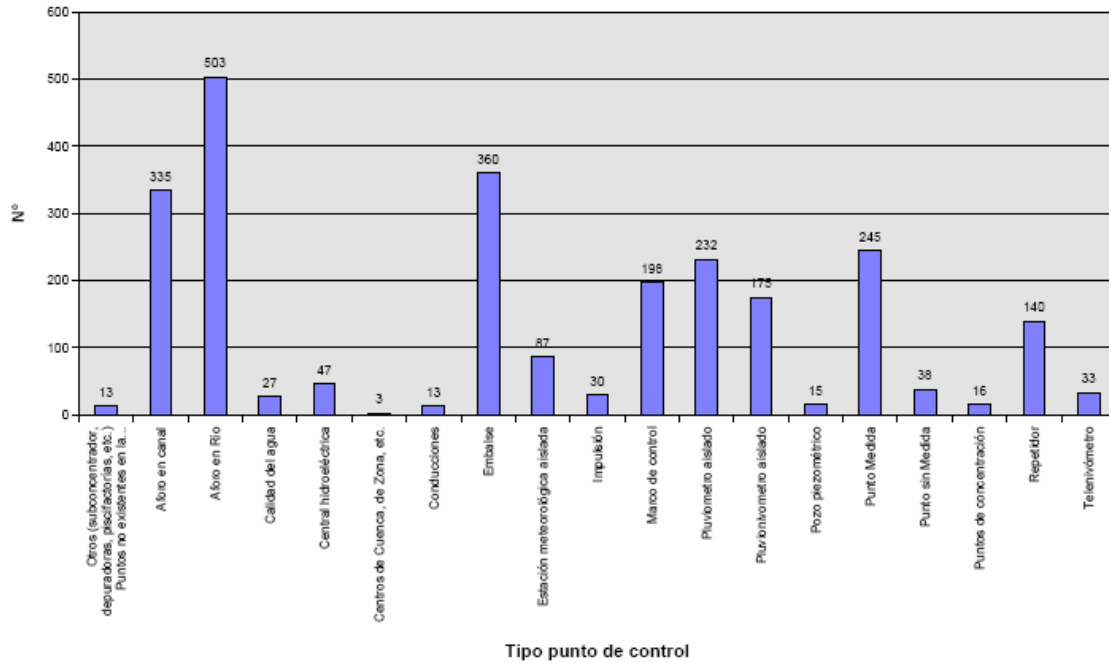
3. Puntos de control según el estado de funcionamiento

Por otra parte el número de puntos de control que están operativos, en ejecución y en licitación son los siguientes:

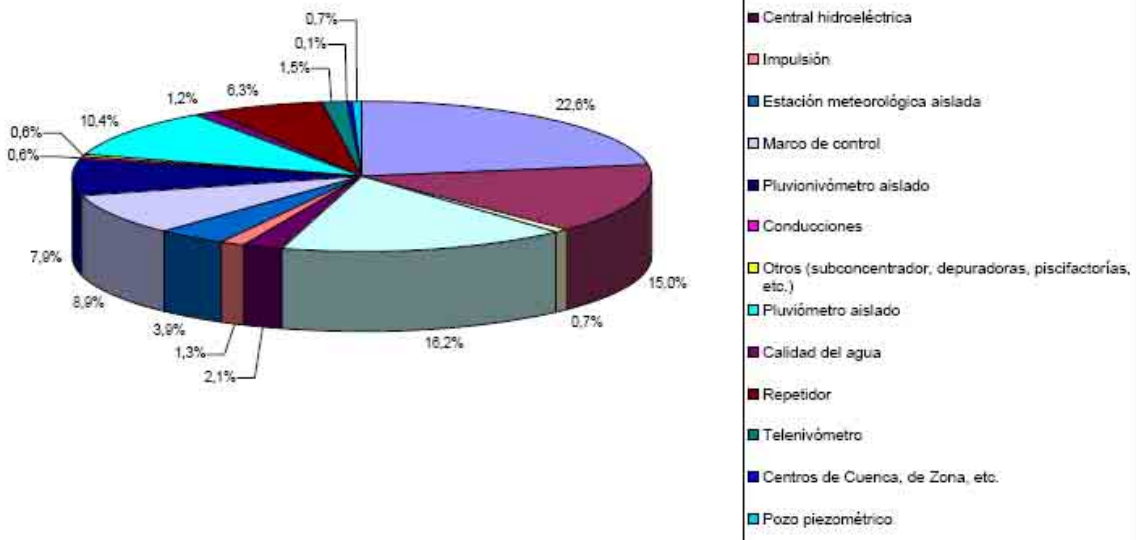
Estado	Miño-sil	Cantábri co	Duero	Tajo	Guadalquivir	Guadiana	Segura	Júcar	Ebro	TOTAL
Ejecución	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operativo	86	0	360	229	193	256	102	206	776	2.208
Licitación	0	147	0	0	0	0	88	0	0	235
TOTAL	86	147	360	229	193	256	190	206	776	2.443

4. **Distribución por tipología del conjunto de la Red SAIH** (se incluyen todos los puntos de control independientemente de su estado de funcionamiento (Operativo, ejecución y licitación):

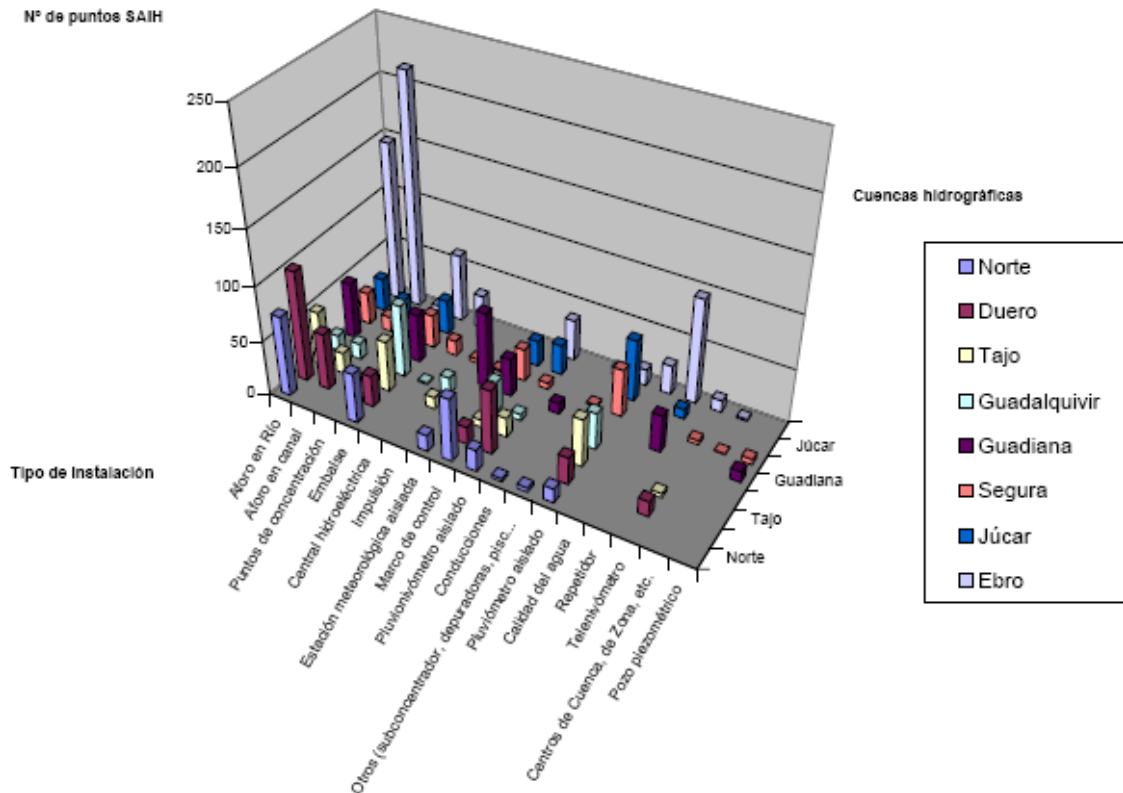
Puntos de control según tipología para el conjunto de la red SAIH



Puntos de control según tipología para el conjunto de la red SAIH



5. **Gráfico comparativo del número de puntos de control de la Red SAIH** (se incluyen todos los puntos de control independientemente de su estado de funcionamiento (Operativo, ejecución y licitación):

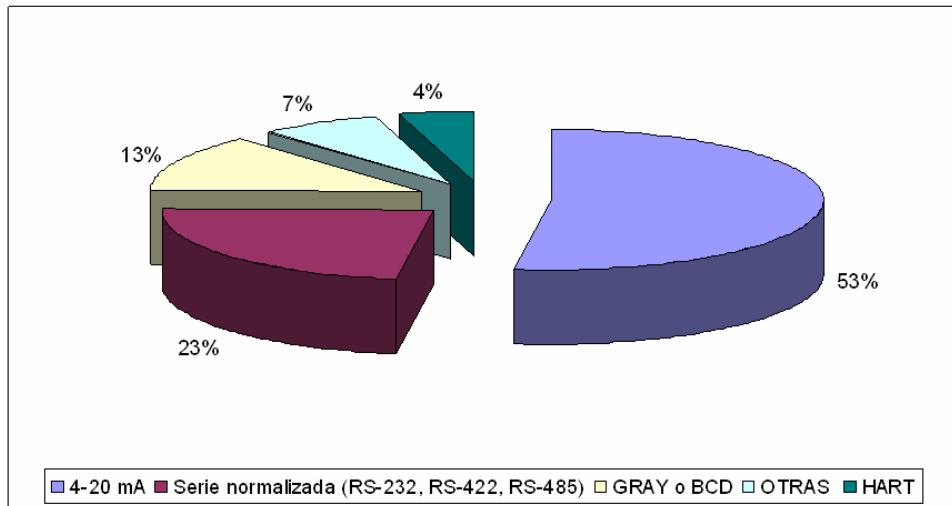


C. COMUNICACIONES

✓ Sistemas de Comunicaciones

- **Júcar:** En origen radio, actualmente, entre los puntos de concentración y el centro de proceso, se está sustituyendo por comunicación vía satélite, mediante una red VSAT. Composición de las redes (en todas hay un único Centro de Proceso).
- **Segura:** Radio.
- **Ebro:** Radio con sistemas multicanales digitales, entre los puntos de concentración y el centro de proceso, y enlaces monocanales, entre los puntos de control y concentración. Actualmente en fase de renovación de la red primaria y secundaria (TETRA).
- **Guadalquivir:** Satélite con terminales VSAT.
- **Tajo:** Satélite con terminales VSAT.
- **Guadiana:** red radio propia, con sistema trunking digital mediante el estándar TETRA.

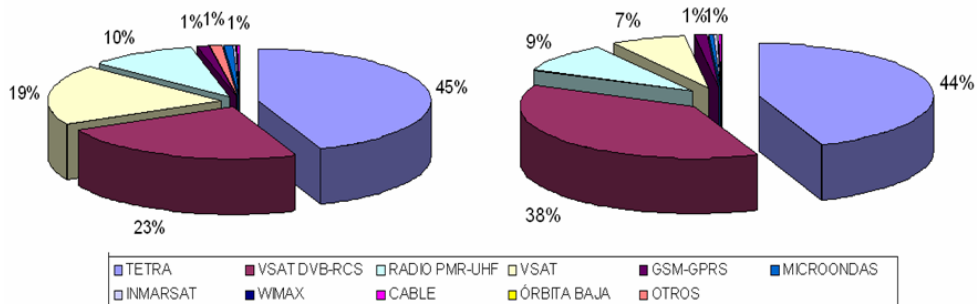
TIPOS DE COMUNICACIONES SAD



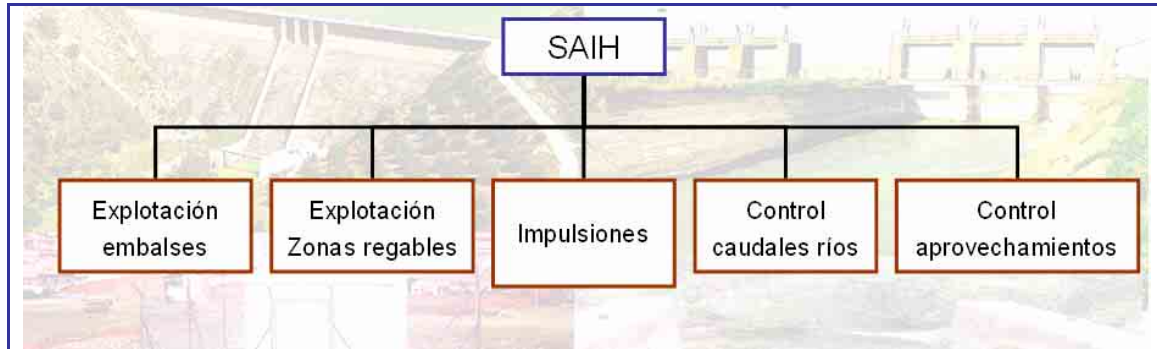
TIPOS DE COMUNICACIÓN DE LOS PUNTOS SAIH

ACTUAL
(Operación/Ejecución)

FUTURO



4. DIFUSION DE LA INFORMACION:



- ✓ Intranet de la Confederación
- ✓ El **SAIH** en Internet: En algunas confederaciones se difunde la Información obtenida a través de Internet.
- ✓ Planes de Emergencia de Emergencia de Protección Civil.
- ✓ Datos **SAIH** a través de aplicación de la DGA. La Dirección General del Agua ha establecido, en una primera etapa, un sistema de recolección de datos de cada Confederación y ha estructurado una base de datos común que sirve para el intercambio de datos con diferentes organismos. Además, el servicio se ha establecido de forma que podrá ser compartido por otros usuarios que solo requieran información de una Confederación Hidrográfica.

No menos importante es la difusión de la información al ciudadano y en este sentido decir que ha sido necesaria una primera etapa de la implantación de los **SAIH** que ha consistido en la puesta en marcha de los sistemas y en dotar a las Confederaciones Hidrográfica de los medios y procedimientos para que los datos sean fiables y estén disponibles en todo momento.

Una vez realizada esta etapa, se está habilitando, a través de la web del Ministerio, la forma de presentar los datos más importantes de los **SAIH** de una manera homogénea y con un interfaz único mediante la ejecución de una aplicación, en la que a través de un fichero de intercambio se efectúa, en tiempo cuasi real (refresco cada 15 minutos), la captura de los valores de determinadas variables (Pluviometría, caudales y niveles en embalses) procedentes de los distintos **SAIH** para presentar la salida de la información en formatos predeterminados.

5. MODELOS DE PREVISIÓN HIDROLÓGICA/HIDRÁULICA Y SISTEMAS DE AYUDA A LA DECISIÓN (SAD)

5.1. MODELOS DE PREVISIÓN HIDROLÓGICA/HIDRÁULICA

El **SAIH** dispone de numerosas aplicaciones informáticas, unas de carácter general, aplicables en todas las cuencas, y otras específicas, propias de cada cuenca. Estas últimas son, en general, las correspondientes a los modelos de gestión.

De las aplicaciones referidas a la previsión de avenidas, cabe anotar las siguientes:

	JUCAR	SEGURA	TAJO	GUADALQUIVIR
MODELOS EN TIEMPO REAL	<ul style="list-style-type: none"> • HEC-HMS • PLU, CREM, CRAF, EDIMACHI • MOCRE • Modelo Estadístico de Comportamiento Hidrológico de Cuencas • LAMINADOR • SAIDA (MOREA) 	<ul style="list-style-type: none"> • HEC-1 • PLU, CREM, CRAF, EDIMACHI • SHYSKA • TOPKAPI 	<ul style="list-style-type: none"> • HEC-1 • PLU, CREM, CRAF, EDIMACHI • Sacramento • HSPF • TETIS • ASTER 	<ul style="list-style-type: none"> • Alguna experiencia con EDIMACHI
MODELO DE EXPLOTACION	<ul style="list-style-type: none"> • Aquatool 	<ul style="list-style-type: none"> • Aquatool 	<ul style="list-style-type: none"> • Aquatool 	<ul style="list-style-type: none"> • Ninguno
MODELOS HIDRAULICOS	<ul style="list-style-type: none"> • HEC-RAS, MIKE 11, ETC. 	<ul style="list-style-type: none"> • PROC Segura 	<ul style="list-style-type: none"> • HEC-2 	<ul style="list-style-type: none"> • Ninguno

- ✓ HEC-HMS: Modelo clásico de previsión hidrológica en cuencas desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos de Norteamérica.
- ✓ MOREA: Modelo hidrológico de cuenca desarrollado por la Universidad Politécnica de Madrid.
- ✓ EDIMACHI: Interfaz modular para el análisis y cálculo hidrológico. Acceso a las distintas aplicaciones:
 - PLU: Evolución temporal de una situación atmosférica sobre una cuenca y estimación de histogramas de precipitación.
 - CREM: Modelo de crecidas en embalses
 - CRAF: Modelo de crecidas en estaciones foronómicas.
- ✓ SAIDA: Línea de investigación, en fase de experimentación, que comprende diferentes módulos basados en aplicaciones de la inteligencia artificial

- ✓ CAESAR: Previsión del nivel máximo esperado en un punto y momento de ocurrencia, durante una avenida, a partir de datos en tiempo real de la red hidrométrica del SAIH.
- ✓ ASTER: Determinación de la disponibilidad de recursos hídricos en forma de nieve y previsión de aportaciones diarias.
- ✓ HEC-RAS: Modelo clásico desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos de Norteamérica para el cálculo de curvas de remanso (altura de la lámina de agua a lo largo del río).
- ✓ MIKE-11: Modelo de cálculo dinámico de corrientes desarrollado por el Instituto de Hidráulica Danés.
- ✓ Modelos de predicción basados en redes neuronales.

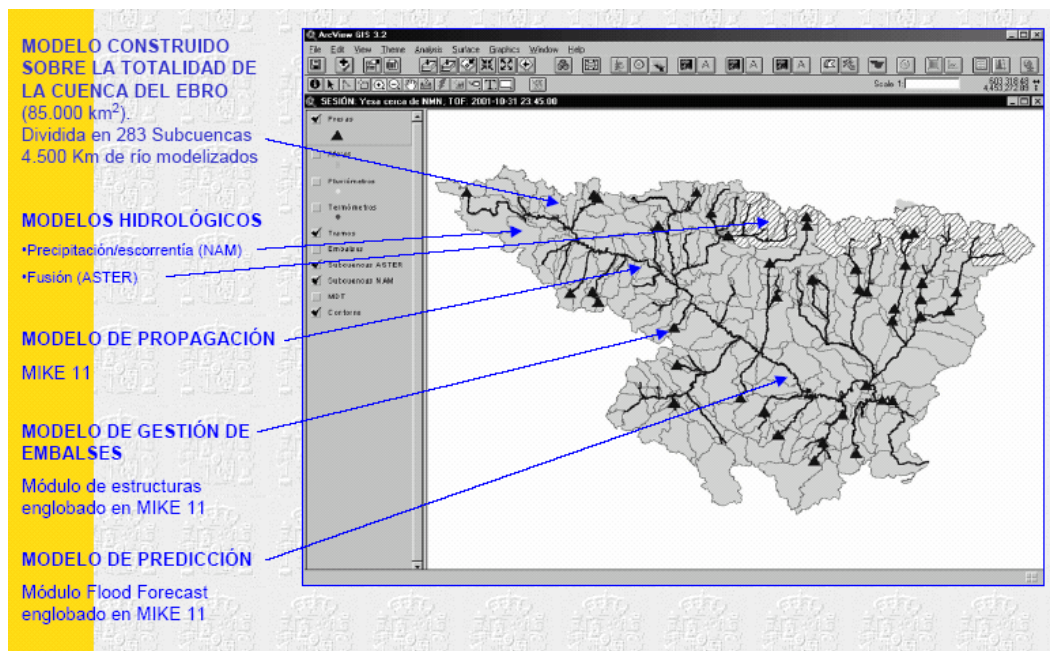
5.2. SISTEMAS DE AYUDA A LA DECISIÓN (SAD)

Sistema de Ayuda a la Decisión en una Cuenca completa integrando diferentes modelos de previsión.

Estos sistemas, partiendo de los datos del **SAIH** y de otros datos complementarios (previsiones meteorológicas, datos de nieve, etc.) y, utilizando fundamentalmente modelos matemáticos, estiman la evolución de los parámetros más característicos de la cuenca.

Los objetivos de los SAD son, fundamentalmente, prever la evolución de los episodios, establecer diferentes escenarios, estimar lo que sucedería en cada uno de dichos escenarios y establecer recomendaciones de operación en las infraestructuras hidráulicas. Con todo ello, los responsables de las Confederaciones Hidrográficas dispondrán de una potente herramienta que les ayudará en la toma de decisiones, especialmente en las situaciones más comprometidas.

La Confederación Hidrográfica del Ebro dispone de un SAD que ha sido un precedente de alto interés para demostrar su utilidad y su viabilidad.



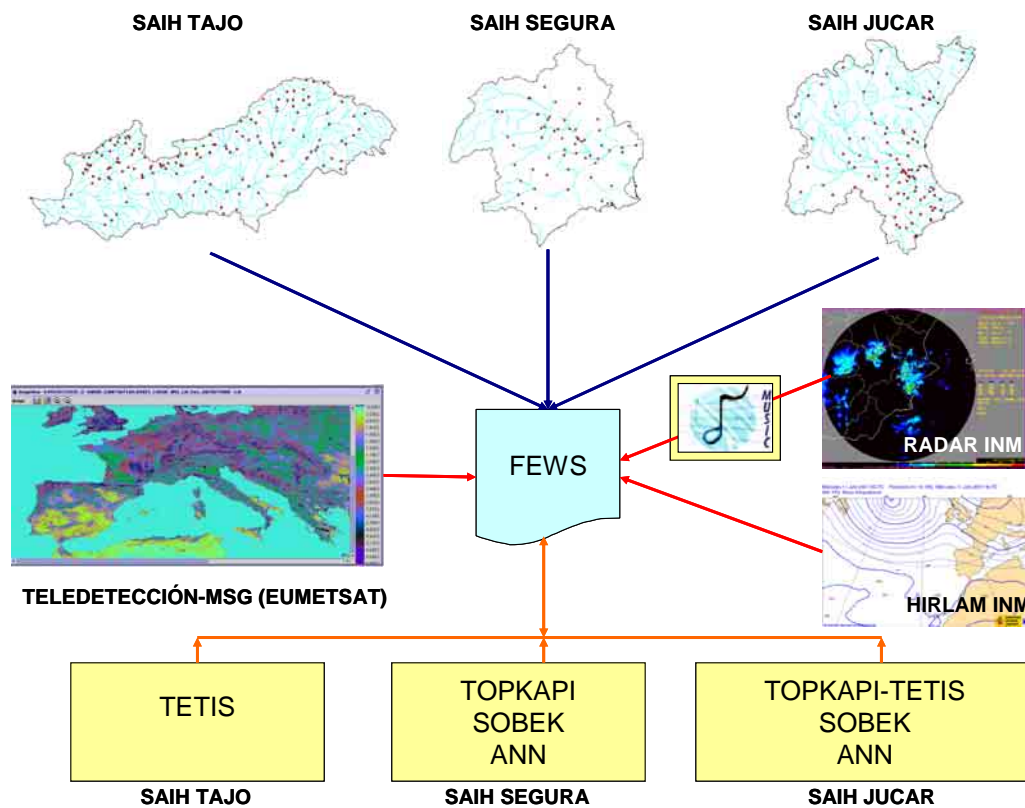
La Dirección General del Agua está impulsando la implantación de los SAD en el resto de Confederaciones para que estén operativos en el tiempo más breve posible.

Para impulsar esta línea de trabajo, se ha realizado una fase inicial de análisis del estado del arte de los entornos de gestión y previsión en tiempo real y de la modelación hidrológica y hidráulica en el mundo, se han recogido las experiencias en sistemas similares y el conocimiento adquirido por los equipos de explotación de los **SAIH**. Tras contrastar la información recopilada y analizada con un panel de expertos de reconocido prestigio, se ha realizado un diseño para abordar las implantaciones, seleccionado un entorno de gestión y previsión multimodelo de fácil integración en los **SAIH** existentes.

El entorno propuesto es la aplicación FEWS (Flood Early Warning System) de WL | Delft Hydraulics, que garantiza la integración con los sistemas actuales a través de interfaces abiertos, que permite la incorporación y proceso de la información de medidas y previsiones provenientes de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), que puede incorporar numerosos modelos de diferentes suministradores y facilita la visualización y difusión de las previsiones realizadas.

En una primera fase se han ejecutado los SAD correspondientes a las Confederaciones Hidrográficas del Júcar, Segura y Tajo.

En concreto se ha previsto la incorporación de la información pluviométrica proveniente de los radares de la AEMET, las salidas del modelo de previsión meteorológica HIRLAM e información gráfica aportada por satélites EUMETSAT. Esta información adecuadamente procesada y los datos del estado hídrico procedentes de los **SAIH** serán las entradas principales a los modelos de previsión. El entorno permitirá disponer de diferentes modelos que se utilizarán en función del ámbito geográfico o de la situación hídrica a analizar.



Un objetivo primordial ha sido disponer de un entorno lo más abierto posible, especialmente, en lo referente a poder trabajar con diversos modelos. El procedimiento consiste en disponer de un interfaz documentado, basado en un formato abierto en XML. Se va a realizar la instalación piloto incluyendo modelos tales como: TOPKAPI, TETIS, SOBEK, ASTER o modelos tipo caja negra que confirmen la viabilidad de la solución propuesta.

La importancia de la cuantificación de la lluvia en la previsión de inundaciones en numerosas circunstancias hace necesario disponer de una herramienta potente para el conocimiento del mapa de precipitación. Para ello se va a incluir un módulo, basado en MUSIC, que facilitará la corrección de las imágenes de los radares meteorológicos con la lluvia medida en los pluviómetros de los **SAIH**.

El entorno dispone de herramientas de “workflow” que facilitan la organización, diseño e implantación de los procedimientos que se realizan asociados a la predicción. Asimismo, se incluyen funcionalidades de visualización de las previsiones y su incertidumbre y de difusión de la información y de los avisos que se pudieran establecer.

Aplicando la misma estructura está en vía de implementación los SAD de las Confederaciones Hidrográficas del Duero y del Miño-Sil.

6. RESUMEN

Como síntesis de todo lo anterior, cabe señalar que el **SAIH** ha supuesto un avance muy significativo en los sistemas de gestión del agua y en la previsión de avenidas. Pero ha servido, además, por las características intrínsecas del programa, para potenciar y mejorar otros aspectos básicos de la administración hidráulica y la protección ambiental.

En resumen, la implantación del **SAIH** ha supuesto:

- ◆ La instalación o modernización de numerosos **PUNTOS DE CONTROL** hidrometeorológicos, en servicio continuo y sistemático. -La actualización y optimización de las de las **BASES DE DATOS HIDROLÓGICOS Y METEOROLÓGICOS**. -El desarrollo y aplicación de **MODELOS Y SISTEMAS EXPERTOS** generados para cubrir demandas internas del propio sistema.
- ◆ Con ello se ha cumplido-o están cumpliendo-los fines originales del **SAIH**, esto es:
 - **LA GESTIÓN DEL AGUA, Y**
 - **LA PREVISIÓN DE AVENIDAS.**
- ◆ Pero con ello se ha logrado además: -Paliar los **DAÑOS** producidos por las inundaciones, al disponer de medios e información para una mejor gestión de las avenidas, en coordinación con los servicios de Protección Civil.
- ◆ Mejorar la **SEGURIDAD** de las infraestructuras hidráulicas.
- ◆ Potenciar y facilitar la **PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA** al disponerse de una amplia base de datos que permiten un mejor conocimiento de las condiciones de cada cuenca. -Optimizar el **USO DEL AGUA** en circunstancias normales, lo que facilita el ahorro y mejora la disponibilidad de **CAUDALES ECOLÓGICOS** en los cauces.
- ◆ Densificar las **REDES METEOROLÓGICAS**, en especial las pluviométricas, lo que permitirá un mejor conocimiento de la climatología peninsular y la optimización de los sistemas de predicción, al poderse facilitar información en tiempo real a los correspondientes servicios del Instituto Nacional de Meteorología.
- ◆ Dinamizar la **INVESTIGACIÓN BÁSICA** en hidrología y otras materias afines. Los sistemas expertos son un buen ejemplo, pero no el único. -Potenciar la aplicación de **NUEVAS TECNOLOGÍAS** capaces de atender las demandas del **SAIH**.
- ◆ Mejorar la gestión propia de la **ADMINISTRACIÓN HIDRÁULICA** al poderse disponer, a través del SAIH, de datos, medios y modelos operativos de clara aplicación en otros sectores distintos de los hasta ahora mencionados. En definitiva, el SAIH es un sistema de información, organizado para obtener y procesar datos con objeto de suministrarlos-a los distintos centros de decisión y otros potenciales usuarios.