



Universidad de
Oviedo



TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA CIVIL

Mención en Hidrología

ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE AYUDA A LA DECISIÓN EN PREVENCIÓN DE INUNDACIONES EN LA ACTUALIDAD Y SU APLICACIÓN EN CUENCAS DEL CANTÁBRICO

Autor(a): Yelizaveta Yaguzhynska Skyrda

Tutor(a): Rodolfo Espina Valdés

Noviembre, 2023



Universidad de
Oviedo



Declaración de Originalidad del Trabajo Fin de Grado

D./Dña. Yelizaveta Yaguzhynska Skyrda, con DNI estudiante del Grado en Ingeniería Civil de la Escuela Politécnica de Mieres de la Universidad de Oviedo, declaro bajo mi responsabilidad que:

El Trabajo de Fin de Grado aquí presentado con título Análisis de los sistemas de ayuda a la decisión en prevención de inundaciones en la actualidad y su aplicación en cuencas del cantábrico ha sido realizado bajo mi autoría, es original y que todas las fuentes utilizadas para su realización han sido debidamente citadas en el mismo.

Para que así conste, firmo la presente declaración.

En Mieres, a 21 de noviembre de 2023.

Yelizaveta Yaguzhynska Skyrda



Universidad de
Oviedo



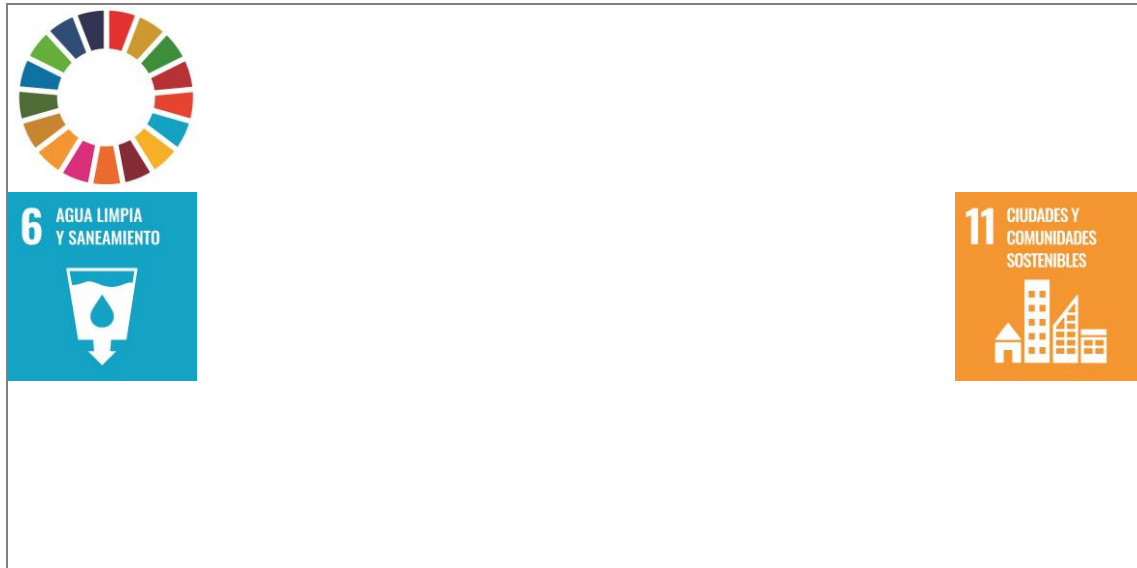


Universidad de
Oviedo



Relación del TFG con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

ODS con los que se relaciona el TFG:



Breve justificación: Uno de los principales aspectos para tener en cuenta son los objetivos fijados por la Agenda 2030, aprobada como una política nacional urbana para orientar el sentido de las políticas urbanas sostenibles. Este trabajo procede con los objetivos:

- Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.
- Objetivo 11: Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles.



ÍNDICE

1. OBJETIVO	3
2. INTRODUCCIÓN	3
2.1 CASO EN ASTURIAS	4
3. SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA (SAT)	5
3.1 ¿QUÉ ES UN SAT?	5
3.2 ¿PARA QUÉ SIRVE?	5
3.3 ANTECEDENTES	6
3.4 ELEMENTOS DE UN SAT	6
4. SISTEMAS DE INFORMACIÓN HIDROLÓGICA	7
4.1 PREVISIONES METEOROLÓGICAS	7
4.1.1 LA METEOROLOGÍA	7
4.1.2 AGENCIAS METEOROLÓGICAS	8
4.1.3 MODELOS DE PREDICCIÓN GLOBALES	30
4.1.4 RADARES METEOROLÓGICOS	34
4.1.5 SAIH	34
5. SISTEMAS DE AYUDA A LA DECISIÓN	37
5.1. OBJETIVOS	38
5.2 DATOS DE ENTRADA	38
5.3 SIMULADOR DEL SISTEMA SAD	38
5.4 DATOS DE SALIDA	39
5.5 INCERTIDUMBRE	39
5.6 MODELOS HIDROLÓGICOS	40
5.6.1 CLASIFICACIÓN	40
5.6.2 EJEMPLOS	42
5.7 MODELOS HIDRÁULICOS	50
5.7.1 CLASIFICACIÓN	50
5.7.2 EJEMPLOS	54
6. SISTEMAS DE AVISO A LA POBLACIÓN	59



6.1 SERVICIO DE SEGUIMIENTO Y ALERTA	59
6.2 TRANSMISIÓN DE DATOS	60
6.3 CAPACIDAD DE RESPUESTA	60
7. CLIMATOLOGÍA Y OROGRAFÍA EN EL NORTE	60
<hr/>	
8. APLICACIÓN EN EL CANTÁBRICO	61
<hr/>	
8.1 AGENCIA METEOROLÓGICA ELEGIDA	62
8.2 MODELO HIDROLÓGICO ELEGIDO	62
8.3 MODELO HIDRÁULICO ELEGIDO	63
9. PROPUESTA: INSTALACIÓN DE UNA ESTACIÓN SAIH	63
<hr/>	
9.1 PARTES DE LA ESTACIÓN	64
9.1.1 SISTEMA FOTOVOLTAICO	65
9.1.2. ARMARIO ELÉCTRICO	66
9.1.3. DATALOGGER CON GESTOR DE COMUNICACIONES GSM/GPRS [78]	67
9.1.4 TORRETA DE CELOSÍA	68
9.2 INSTRUMENTACIÓN	68
9.2.1 MEDIDA DE NIVEL DEL RÍO [79]	68
9.2.2 PLUVIOMETRÍA [80]	70
9.2.3 MEDIDA DE TEMPERATURA [81]	72
9.2.4 CÁMARA IP	73
9.3 PRESUPUESTO	75
9.3.1 PRECIOS UNITARIOS- MATERIALES	75
9.3.2 PRECIOS UNITARIOS (CONT.) - MAQUINARIA	76
9.3.3 PRECIOS UNITARIOS (CONT.) – MANO DE OBRA	76
9.3.4 PRECIOS UNITARIOS (CONT.) – OTROS	76
9.3.5 PRECIOS UNITARIOS (CONT.) - PORCENTAJES	77
9.3.6 PRECIOS DESCOMPUESTOS	77
9.3.7 PRECIOS DESCOMPUESTOS (CONT.)	78
9.4 MEDICIONES	84
9.5 RESUMEN GENERAL DEL PRESUPUESTO	85
<hr/>	
10. CONCLUSIONES	86
<hr/>	
11.BIBLIOGRAFÍA	87
<hr/>	



1. OBJETIVO

El presente documento tiene por objetivo realizar un exhaustivo estudio, análisis y evaluación de los diversos sistemas de prevención de inundaciones. La investigación se centrará en explorar los diferentes sistemas existentes y de qué manera estas herramientas pueden mejorar la capacidad de respuesta, anticipación y mitigación de los riesgos asociados a las inundaciones, con el objetivo de proteger a comunidades vulnerables y preservar los recursos naturales.

Para lograrlo, se llevará a cabo un análisis de las agencias especializadas, permitiendo anticipar las precipitaciones con mayor precisión. Además, se propondrá la integración de modelos hidrológicos en el sistema de prevención para calcular el caudal que hay en cada momento a lo largo de un río. Por último, una vez conocido el caudal, se incorporarán modelos hidráulicos para hacer un estudio del comportamiento de los fluidos y así poder observar en qué lugares desborda o aquellos lugares donde se puedan provocar problemas en la infraestructura, facilitando una predicción más precisa de aquellas zonas más susceptibles a inundaciones.

El objetivo último de este estudio es aplicar de manera integral estos conceptos y desarrollar una estación que las integre. Se pretende optimizar la capacidad de predicción y prevención de inundaciones en las cuencas del Cantábrico, contribuyendo así a la seguridad de las comunidades locales frente a los desafíos climáticos emergentes.

2. INTRODUCCIÓN

El cambio climático y en especial la variabilidad climática ocasionan frecuentes anomalías en el ciclo hidrológico, que impactan negativamente los ecosistemas y la sociedad. Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, existen tendencias al incremento de la precipitación, aumentando la probabilidad de ocurrencia e intensidad de eventos extremos y desastres como inundaciones.[1]

Las inundaciones son un fenómeno natural que ocurre durante la presencia de fuertes lluvias, que debido a su duración o a su intensidad, no lograron ser evacuadas cómodamente por los cauces naturales que integran la cuenca hidrográfica, produciendo el desbordamiento de los ríos.

La posibilidad de que ocurra una inundación e incluso su gravedad depende de múltiples factores para tener en cuenta. En el siguiente listado se recogen algunos de los más relevantes: [2]



- Lluvias intensas, uno de los principales factores desencadenantes de un suceso de estas características.
- Incrementos de temperatura que puedan acelerar el deshielo.
Relieve, que varía a lo largo del curso del río o arroyo, siendo más accidentado en las zonas de cabecera y más llano en las zonas intermedias y la desembocadura.
- Vegetación, que intercepta parte de la precipitación, ayuda a que el agua se infiltre en el terreno y disminuye la escorrentía que discurre libre por una superficie.
- Drenaje del suelo, es decir, la capacidad que tiene el sustrato para absorber el agua. Si las capas superficiales del suelo están impermeabilizadas, un efecto que genera, por ejemplo, el asfalto (salvo en el caso de los pavimentos porosos y otros materiales específicos), el drenaje se reduce y aumenta la escorrentía.

Estas amenazas ejercen un considerable impacto en la calidad de vida y seguridad de las personas, dando lugar a cuantiosas pérdidas económicas y provocando cambios en las condiciones de calidad del agua y del suelo. En virtud de ello, resulta necesario que las respuestas ante estos eventos sean prontas y eficaces, involucrando no solo a las autoridades locales y nacionales, sino también a la comunidad internacional.

Dada la magnitud del impacto, ha surgido la necesidad de disponer de sistemas que permitan predecir con suficiente antelación, la ocurrencia de eventos de riesgo por inundación, prevenir a la población y tomar medidas ante las situaciones de emergencia, logrando la evacuación de la población mediante el uso del Sistema de Alerta Temprana (SAT). [3]

2.1 CASO EN ASTURIAS

Un ejemplo claro de la necesidad de un buen Sistema de Alerta Temprana puede ser Arriondas. Los ríos Piloña, Sella y Chico a su paso por el núcleo urbano de Arriondas presentan tramos con capacidades de desagüe inferiores a las necesarias en caso de avenida. Esta situación, se acentúa por la presencia de obstáculos puntuales en determinadas zonas, tanto en el propio cauce, cómo en los márgenes.

La población de Arriondas ha sufrido numerosas inundaciones de las que se tiene constancia, como las ocurridas en los años 1938, 1975, 2003 y especialmente en 2010, en la que se inunda

gran parte del caso histórico, incluyendo zonas deportivas, escolares y que provocó la necesidad de desalojar el Hospital del Oriente de Asturias Francisco Grande Covián.

Debido a la problemática de la zona, el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico ejecutará obras de la Fase 1 en los ríos Sella y Piloña. Con una ejecución de 36 meses (se prevé que finalicen las obras en el tercer trimestre de 2025) y un presupuesto de 11,2 M €. [4]



Ilustración 1. Inundación del Hospital Grande Covián [5]

Este es un claro ejemplo en el que se requiere un sistema de alerta temprana apropiado para dicho suceso. A través de diferentes sistemas, se busca determinar cuándo sucederá este acontecimiento, y como consecuencia, desarrollar un sistema de alerta efectivo que permita notificar a la población y aplicar medidas preventivas evitando así este tipo de situaciones.

3. SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA (SAT)

3.1 ¿QUÉ ES UN SAT?

[6] Los sistemas de Alerta Temprana conocidos como SAT son un conjunto de procedimientos e instrumentos, a través de los cuales se monitoriza un evento adverso de carácter previsible, se recogen y procesan datos, ofreciendo predicciones temporales sobre su acción y posibles efectos.

3.2 ¿PARA QUÉ SIRVE?

Es una herramienta diseñada para avisar a la población de proximidad de un evento haciéndolo de forma inmediata pudiendo así reducir la pérdida de bienes y vidas humanas.



3.3 ANTECEDENTES

- 1998 → EWC 98 Conferencia internacional sobre SAT: Se definen a los Sistemas de Alerta Temprana como un elemento de las estrategias nacionales e internacionales de prevención.
- 2003 → EWCII 03 Segunda conferencia Internacional de SAT: “Integrar la alerta temprana en las políticas públicas” de las naciones.
- 2005 → “Marco de Acción de Hyogo para 2005-2015: conocer los riesgos y potenciar la alerta temprana para reducir los desastres. Asimismo, propone promover el desarrollo de estos sistemas de alerta “centrados en la gente”.
- 2015 → Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030 “Incrementar considerablemente la disponibilidad y el acceso a sistemas de alerta temprana de amenazas múltiples transmitidas a las personas para 2030”.
- 2017 → Plataforma Global para la Reducción del Riesgo de Desastres. Con el objetivo de incrementar el número de países con estrategias para la Gestión de Desastres y acceso a sistemas de alerta temprana.
- 2021 → II Plataforma Regional para la Reducción de Riesgo de Desastre en las Américas y el Caribe. SAT: “pasar de sistemas de alerta temprana tradicionales, a sistemas con información sobre el impacto de la amenaza.
- 2023 → ONU. Iniciativa Alertas Tempranas para Todos, con el objetivo de que todas las personas en la tierra deben ser protegidos por los SAT al 2027. [7]

3.4 ELEMENTOS DE UN SAT

El sistema está formado por tres componentes principales:

- **Sistema de Información Hidrológica** (obtiene datos de medida necesarios).
- **Sistema de Ayuda a la Decisión** (disminuye el tiempo de identificación de un riesgo y sus posibles efectos).
- **Sistema de Aviso a la Población** (avisa a las autoridades y a la población afectada para garantizar la protección y disminuir los daños).



4. SISTEMAS DE INFORMACIÓN HIDROLÓGICA

[6] Los sistemas de Información hidrológica monitorizan el medio mediante el uso de redes de medición en tiempo real, compuestas por estaciones de medida de precipitación, niveles o caudales de ríos, con sus respectivos sistemas de comunicaciones, con los que se vigila la cantidad de lluvia, los niveles de los ríos, etc., para finalmente pronosticar avenidas de forma precisa.

Además, el sistema se alimenta de:

- Previsiones meteorológicas generadas por las Agencias o Institutos Nacionales de Meteorología.
- Información de radares meteorológicos.
- Modelos de predicción globales.
- Datos Hidrometeorológicos en tiempo real (SAIH).

4.1 PREVISIONES METEOROLÓGICAS

Las previsiones se basan en primer lugar en la observación. Se controlan todas las variables con ayuda de las estaciones meteorológicas, satélites y otras tecnologías que nos permiten conocer la humedad, el viento, la temperatura, la presión y la precipitación entre otras variables.

Después se necesitarán modelos matemáticos y ordenadores que analicen el tiempo en los próximos días. Estos modelos están basados para producir gráficos, productos digitales, predicciones del tiempo y de la calidad del aire, predicciones del clima; evaluaciones de riesgos y alertas tempranas.[8]

4.1.1 LA METEOROLOGÍA

La meteorología constituye el estudio, investigación y pronóstico del comportamiento de la atmósfera, los fenómenos y los efectos atmosféricos en nuestro clima. Esta tiene un gran impacto



sobre la vida humana y es un campo al que se dedican enormes esfuerzos económicos y humanos para entenderla y, sobre todo, pronosticarla.

Gracias a su estudio, se salvan vidas humanas e infraestructuras ya que permite anticipar con días de antelación. En el estudio de la atmósfera, se utilizan diferentes formas de observación y una variedad de instrumentos, entre los cuales se encuentran estaciones meteorológicas, satélites meteorológicos, radares y observación directa, entre otros.[9]

4.1.2 AGENCIAS METEOROLÓGICAS

En la fase inicial del estudio, se dedica al análisis detallado de las diversas agencias meteorológicas que se han seleccionado para el presente trabajo. Se centra en comprender las metodologías adoptadas por cada una de estas, explorando sus enfoques para pronosticar las condiciones climáticas. Se examinan las herramientas específicas que emplean con el fin de obtener unos pronósticos precisos, especialmente en lo que respecta a la predicción de la precipitación.

A continuación, se muestran algunos ejemplos de las agencias meteorológicas:

PAÍS	AGENCIA METEOROLÓGICA
Estados Unidos	NOAA
Alemania	DWD
Japón	JMA
Reino Unido	Met Office
Italia	Aeronautica Militare
Francia	Meteo France
España	AEMET

Tabla 1. Agencias Meteorológicas elegidas [10]



NOAA

La Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (National Oceanic and Atmospheric Administration) es una agencia de los Estados Unidos. Emite advertencias sobre condiciones meteorológicas peligrosas para mejorar el entendimiento y la administración del ambiente. [11]

Las herramientas con las que cuenta la NOAA para pronosticar el tiempo son las siguientes: [12]

- **Radar Doppler:** observación de tormentas severas. Detecta precipitaciones, la rotación de las nubes de tormenta, fuerza y dirección del viento.



Ilustración 2. Radar Doppler en Springfield, Missouri [12]

- **Satélites:** monitorean la Tierra desde el espacio. Se distinguen tres tipos de satélites meteorológicos:
 - Órbita polar: orbitan la Tierra cerca de la superficie.
 - Geoestacionarios: permanecen sobre la misma ubicación en la Tierra muy por encima de la superficie, tomando imágenes de toda la tierra.
 - Espacio profundo: miran hacia el sol para monitorear las poderosas tormentas solares y el clima espacial.

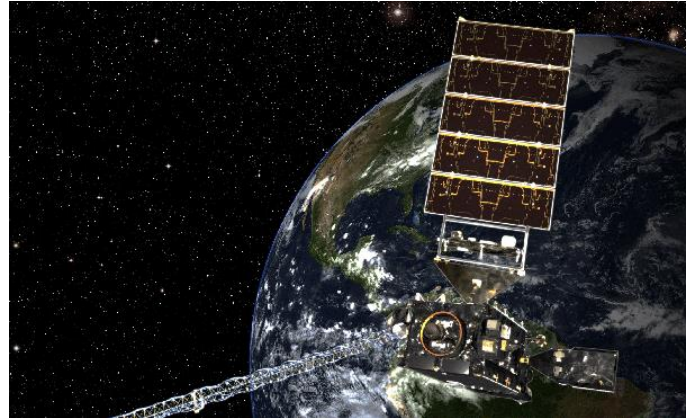


Ilustración 3. GOES-16 Satélite meteorológico lanzado a finales de 2016 [12]

- **Radiosondas:** principal fuente de datos de la atmósfera superior. Se conectan a globos meteorológicos y se lanzan a diversos lugares de los Estados Unidos. La radiosonda flota hasta la estratosfera superior, donde recopila y envía datos sobre la presión del aire, la temperatura, la humedad relativa, la velocidad y la dirección del viento.



Ilustración 4. Globo meteorológico del NWS equipado con una radiosonda [12]

- **Sistemas automatizados de observación de superficie (ASOS):** monitorean constantemente las condiciones climáticas de la superficie de la Tierra. Más de 900 estaciones reportan datos sobre las condiciones del cielo, la visibilidad de la superficie, las precipitaciones, la temperatura y el viento.



Ilustración 5. ASOS en el Aeropuerto Municipal de Childress [12]

- **Supercomputadoras:** el Sistema de Supercomputadora Operacional del Tiempo y el Clima (WCOSS) de la NOAA es la columna vertebral del pronóstico moderno. Los datos recopilados por las herramientas anteriores se introducen en modelos computarizados de pronóstico numérico del NWS. Los modelos utilizan ecuaciones, junto con datos meteorológicos nuevos y pasados, para pronosticar orientación de pronóstico a los meteorólogos.



Ilustración 6. Supercomputadoras de la NOAA [12]

- **AWIP:** Sistema Avanzado de Procesamiento de Información Meteorológica es un sistema utilizado para analizar datos, preparar y emitir pronósticos, vigilancias y advertencias.

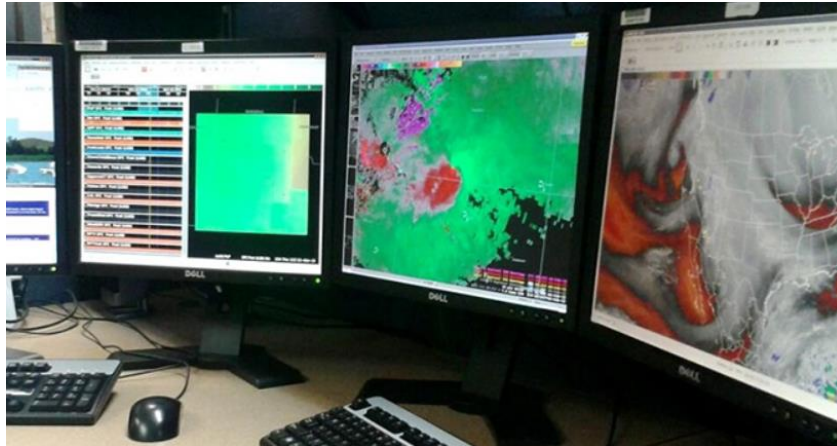


Ilustración 7. Estación de trabajo AWIPS en NWS [12]

DWD

El servicio Meteorológico Alemán (DWD) es el responsable de satisfacer las necesidades meteorológicas de Alemania. Los datos que se obtienen son la base para todos los procesos posteriores en predicción numérica del tiempo, gestión de alertas, consultoría, meteorología para la aviación y el transporte marítimo, así como servicios en el campo del clima y el medio ambiente.[13]

La recopilación de datos en el DWD se puede diferenciar en las siguientes áreas:[14]

1. Observación terrestre

- **Red de Medición Terrestre:** utiliza una amplia variedad de sensores y sistemas de medición. Los parámetros recogidos incluyen: presión atmosférica, temperatura, humedad, dirección y velocidad del viento, precipitación y profundidad de la nieve entre otros.
- **Red de Vigilancia:** los informes se envían al DWD por satélite desde barcos alemanes. Consisten en datos de sistemas de medición automáticos (estaciones meteorológicas a bordo) y observaciones de la tripulación del barco.

2. Observación atmosférica

- **Estaciones de radiosonda:** nueve sitios operativos de radiosonda, con esta se obtiene la temperatura, la humedad, la presión atmosférica, la dirección y velocidad del viento y se envían a la estación terrestre.
- **Monitoreo de radiosondas:** cuenta con un mapa interactivo dónde se muestran la trayectoria de las estaciones de radiosonda de DWD. El usuario puede navegar obteniendo una visión general de toda la trayectoria, así como representaciones detalladas. Estas se utilizan para registrar los parámetros meteorológicos.

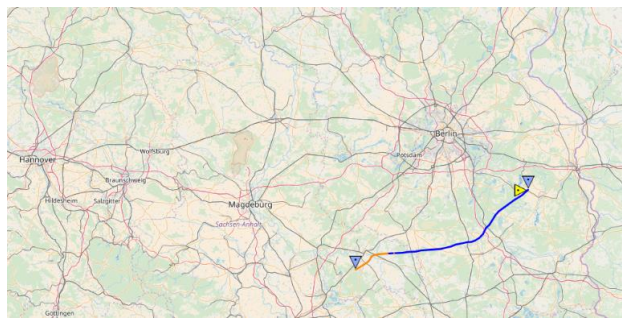


Ilustración 8. Ejemplo de radiosonda (mapa interactivo) [14]

- **AMDAR:** sistema europeo de medición de aeronaves (EUMETNET Aircraft Meteorological Data Relay). Además de los datos de hora y ubicación, cada mensaje contiene la temperatura del aire, la velocidad del viento y la dirección y ocasionalmente, la humedad. Estos datos se obtienen de forma selectiva durante el ascenso (10 a 15 km) o descenso de aviones comerciales.

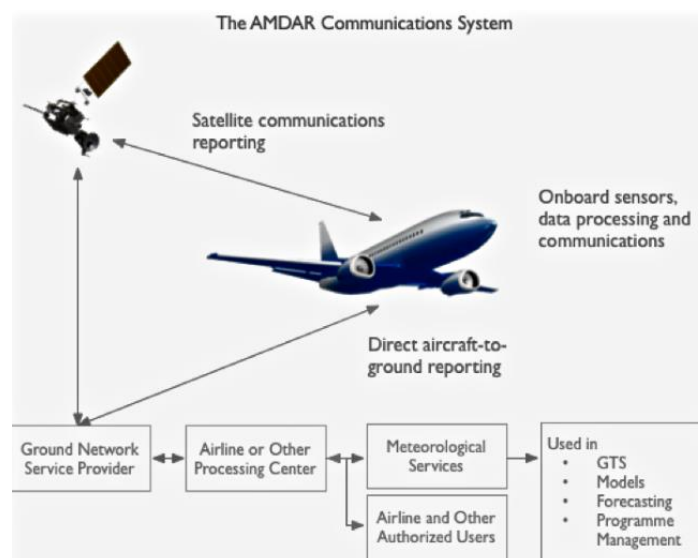


Ilustración 9. Sistema AMDAR [15]

- **Datos de rayos:** el DWD obtiene cada minuto datos actualizados de rayos de Alemania y otros países. Se utilizan para cumplir con tareas en el contexto de predicción a corto plazo, el asesoramiento a los clientes de aviación y la advertencia de tormentas eléctricas.
- **Red de radares:** opera una red de 17 radares meteorológicos operativos con tecnología Doppler. Proporcionan datos de alta resolución de las precipitaciones y el viento. Los sistemas de radar se usan para medir la precipitación de la zona, detectar tormentas eléctricas. Además, se utilizan para la predicción de inundaciones de los estados.
- **Satélites:** bajo el nombre de METEOSAT Europa opera varios satélites en órbitas geoestacionarias a una altitud de unos 36 000 km cada uno. Los datos proporcionados incluyen la cobertura y el tipo de nubes, las temperaturas de las superficies y los parámetros de humedad.
- **Perfilador de viento:** sistemas de radar Windprofiler son dispositivos de radar especiales que se pueden utilizar para medir el vector del viento en la atmósfera en una secuencia temporal alta siendo capaces de medir a través de las nubes y la niebla. Los datos obtenidos se incorporan a los modelos de predicción meteorológica.



Ilustración 10. Ejemplo de un perfilador de viento [16]

MET OFFICE

Es el Servicio Meteorológico Nacional de Reino Unido, y un Departamento Ejecutivo del Ministerio de Defensa. Sus funciones incluyen la emisión de pronósticos del tiempo, alertas meteorológicas. Esta utiliza tecnologías avanzadas para proporcionar información precisa,

Las observaciones que realiza la Met Office son: [17]

- **Red de estaciones meteorológicas:** cuenta con más de 200 estaciones que miden una gran variedad de parámetros diferentes incluida la temperatura del aire, la presión atmosférica, precipitación, velocidad y dirección del viento, humedad, altura y visibilidad de las nubes. Cada estación produce observaciones a intervalos de minutos, a partir de los sensores. A continuación, los datos se transmiten a un sistema central donde pasan por controles de calidad.
- **Satélites:** dan imágenes de todo el globo terráqueo desde el espacio. Se dividen en dos grandes categorías:
 - Satélites geoestacionarios: situados a una altura de 35 800 km orbitan la tierra una vez cada 24 horas. Girando a la misma velocidad que la tierra, permanecen sobre el mismo lugar todo el tiempo proporcionando una serie ininterrumpida de imágenes de la atmósfera que se encuentra debajo.
 - Satélites en órbita polar: situados a 850 km están mucho más cerca lo que permite que sus instrumentos realicen mediciones con una resolución mucho mayor. Orbitando la Tierra escaneando amplias franjas de la atmósfera a medida que se desplazan polo a polo.
- **Dispersómetros de viento:** sistema radar montado en un satélite en órbita polar que dirige los pulsos de radar hacia la superficie de la Tierra y mide la fuerza del haz de retorno retro dispersado. Sobre los océanos, esta es causada por pequeñas olas generadas por el viento (5 a 20 cm de longitud de onda). Midiendo la retrodispersión en dos o más ángulos de incidencia, es posible derivar la velocidad y dirección del viento cerca de la superficie del mar.



Ilustración 11. Ejemplos de Dispersómetros [24]

- **Sistemas de navegación por satélite:** trabajando con los mismos principios básicos de los sistemas GPS. El tiempo de llegada a una estación terrestre de una señal de satélite que pasa a través de aire completamente seco se puede calcular con inmensa precisión. El vapor de agua en la atmósfera ralentiza su llegada y el retardo medido puede utilizarse para estimar el contenido total de vapor de agua a lo largo de la trayectoria de la señal desde el satélite. Los datos son particularmente valiosos para identificar áreas de aire húmedo profundo que desencadenan tormentas eléctricas en los calurosos días de verano.
- **Altimetros:** algunos satélites en órbitas polares bajas llevan un altímetro que mide con mucha precisión la distancia entre el satélite y la superficie de la Tierra inmediatamente debajo de su trayectoria. Sus aplicaciones incluyen la medición de la altura de las olas y la velocidad del viento en la superficie del océano, el grosor y la extensión del hielo marino, la tasa de aumento del nivel del mar a largo plazo, pronosticar la temperatura y el movimiento del agua en todos los niveles del océano.



Ilustración 12. Ejemplo ed un Altimetro [18]

- **Lidar Doppler:** emite pulsos de luz desde un láser y mide las propiedades de los objetivos a partir de la naturaleza de la señal devuelta. En el caso de un Lidar de viento Doppler montado en un satélite meteorológico de órbita baja, los objetivos son las moléculas atmosféricas, las gotas de nubes y los aerosoles. El desplazamiento Doppler medido está directamente relacionado con la velocidad del viento a lo largo de la línea de visión del haz LIDAR. Si se utilizan dos o más haces LIDAR, apuntando en diferentes direcciones, se pueden obtener tanto la velocidad como la dirección del viento.



Ilustración 13. Lidar Doppler [19]

- **Superficie terrestre:** medición del clima que experimentamos en el suelo mediante instrumentos.
- **Marino:** realizar mediciones cerca de la superficie del océano y a través de sus profundidades. Siendo importante para el pronóstico y advertencias en el mar, entrada de modelos informáticos que predicen el estado futuro de la atmósfera y el suministro de información meteorológica a largo plazo que ayude a comprender el clima global. La Oficina Meteorológica recopila observaciones marinas desde cinco fuentes principales:
 - Estaciones meteorológicas automáticas marinas: boyas amarradas, embarcaciones ligeras e instalaciones en alta mar.



Ilustración 14. Ejemplo de boya meteorológica [20]

- Buques de observación voluntaria: buques mercantes que cruzan los océanos del mundo.
- Estaciones meteorológicas automáticas Shipbourne: en barcos adecuados que operan principalmente en aguas costeras del Reino Unido.
- Boyas a la deriva: pequeñas boyas que se desplazan con la corriente oceánica.
- Flotadores Argo: dispositivos de medición compactos que descienden a las profundidades de los océanos.



Ilustración 15. Flotadores Argo [21]

- **Aire superior:** proporciona la estructura 3D de la atmósfera sobre la superficie de la tierra.
- **Radar:** proporciona el detalle fino de la lluvia en escalas de hasta 1km. Los datos son utilizados directamente por los meteorólogos y se introducen en los modelos de predicción. Las funciones de radar Doppler también se utilizan para la detección de condiciones peligrosas del viento (por ejemplo, cizalladura del viento) que constituyen un peligro significativo para la seguridad de la aviación.
- **Ubicación de la tormenta eléctrica:** localización de las tormentas eléctricas y su clima severo asociado.

JMA

La JMA (Japan Meteorological Agency) se refiere a la Agencia Meteorológica de Japón. Opera una serie de redes de observación para monitorear el tiempo, el clima y el medio ambiente las 24 horas del día a escala nacional.

Los servicios con los que cuenta la JMA para pronosticar el tiempo son las siguientes:[22]

- **Observación de superficie:** se lleva a cabo en unas 1300 estaciones mediante el uso de equipos de observación automática. Los datos que se obtienen son la dirección/velocidad del viento, la cantidad de precipitación, el tipo y la altura de la base de la nube, visibilidad, temperatura del aire, humedad y presión atmosférica. Además de estos elementos, también se observa profundidad de nieve en estaciones en zonas de fuertes nevadas.

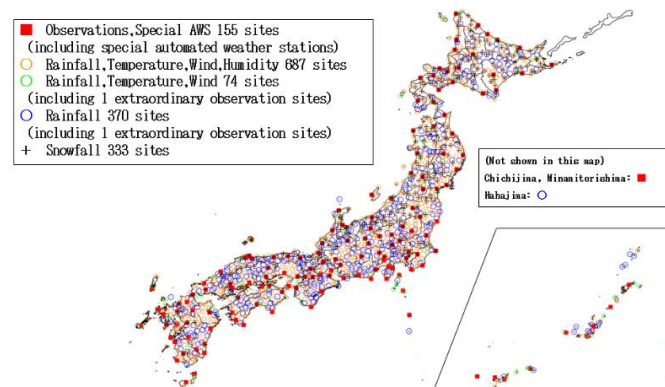


Ilustración 16. Red de observación AMeDas [22]

- **Observaciones oceanográficas:** observaciones oceanográficas y meteorológicas a través de buques de investigación y boyas. Equipadas con sensores cerca del nivel de la superficie del mar para medir el posicionamiento, la presión del aire, la temperatura de la superficie del mar y la altura/periodo de las olas.
- **Radar:** 20 radares Doppler para observar la intensidad de las lluvias y el viento. Los pronósticos generados se utilizan para el monitoreo meteorológico y para la obtención de valores iniciales que se utilizarán en pronósticos de muy corto plazo.

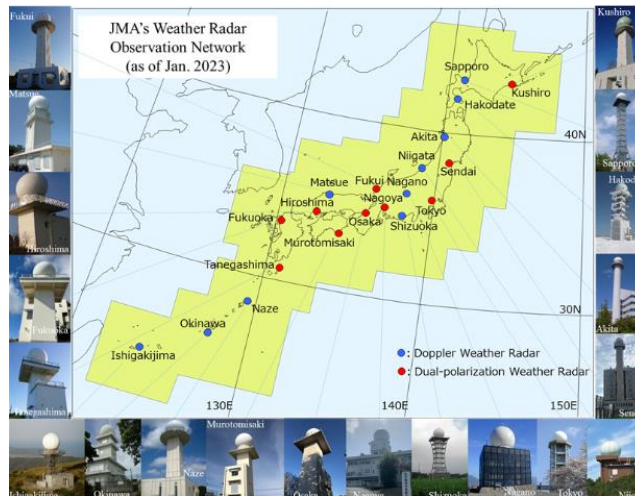


Ilustración 17. Red de Observación de Radar JMA [22]

- Observación superficie del aire:** la observación de la atmósfera superior se realiza a través de dos redes diferentes: la Red de Observación de Radiosondas (16 estaciones) y la Red de Observación de Perfiladores de Viento (33 estaciones). La radiosonda (una plataforma de instrumentos transportada por un globo con un dispositivo de transmisión de radio) cubre el aire superior hasta un máximo de 30 km de la superficie, midiendo temperatura, presión, humedad y viento. El perfilador de viento, una unidad de radar Doppler de haz múltiple basada en tierra, cubre un rango hasta un máximo de 12 km de la superficie y mide automáticamente el viento cada diez minutos. Los datos observados se recopilan en la sede central de la JMA en tiempo real.

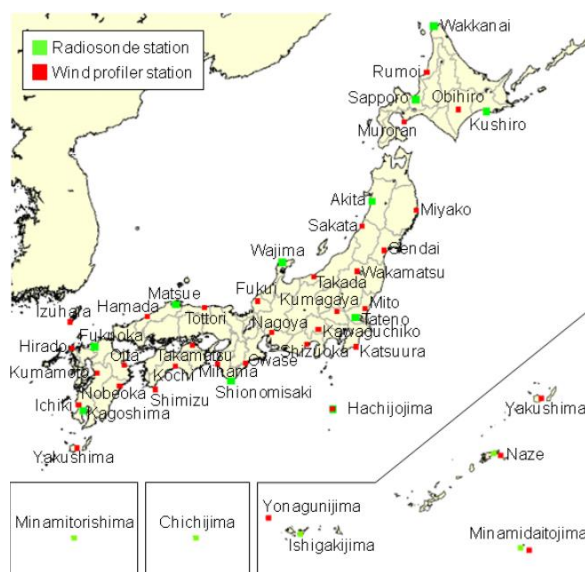


Ilustración 18. JMA Observación de la Atmósfera Superior [22]

- **Satélites:** la observación satelital proporciona una gran cantidad de información, incluidos datos sobre la altura y distribución de las nubes, el viento en la parte superior del aire, y la distribución de la temperatura de la superficie del mar.

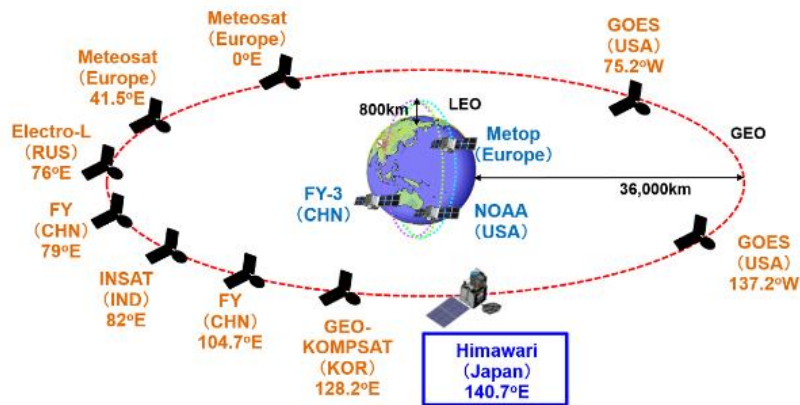


Ilustración 19. Componente espacial actual del Sistema Mundial de Observación [22]

- **Monitoreo de rayos:** el sistema de monitoreo de rayos señala la hora y la ubicación de los relámpagos mediante la detección de ondas de radio causados por relámpagos. Los datos de los detectores individuales ubicados en 30 aeropuertos son recopilados y procesados por el Centro de Procesamiento de Datos de JMA. Los resultados se entregan inmediatamente a las aerolíneas para fines tales como asegurar las operaciones en tierra en los aeropuertos y administrar las aeronaves en el espacio aéreo de Japón.
- **Observaciones aeronáuticas:** se pueden observar los rayos mediante un sistema de monitorización compuesto por un detector de rayos instalados en 30 aeropuertos de todo el país. Las precipitaciones son monitoreadas por radares Doppler en nueve aeropuertos. Cuando no hay precipitaciones, se observan campos de viento tridimensionales utilizando LIDARS Doppler en tres aeropuertos.

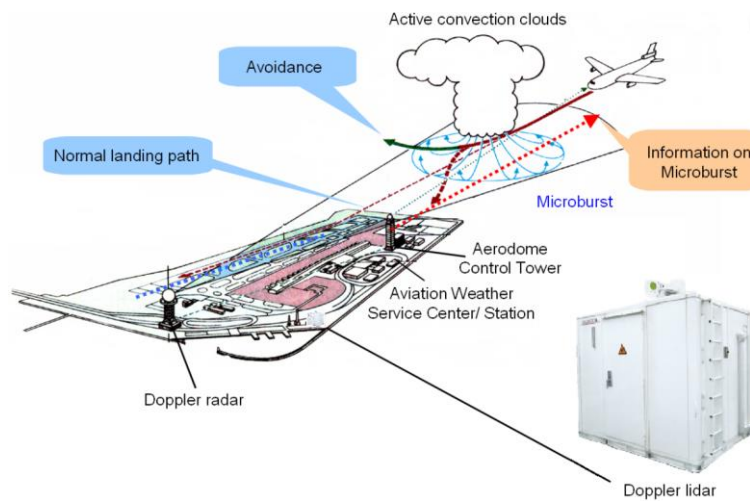


Ilustración 20. Radar Doppler y Lidar Doppler para la observación meteorológica aeroportuaria [22]

METEO FRANCE

Es el Servicio Meteorológico Nacional de Francia. Es responsable de proporcionar servicios meteorológicos y climatológicos en todo territorio francés. Con sede en París, pero muchas de las operaciones nacionales se han descentralizado en Toulouse.[23]

Las herramientas de las que dispone la Meteo France son:[24]

- **Boyas y barcos:** recoge las observaciones de la superficie del océano. Estas cuentan con la contribución de algunas boyas fijas, numerosas boyas a la deriva y más de 60 embarcaciones equipadas con estaciones automáticas.
- **Estaciones:** cuenta con una red de 550 estaciones profesionales (red Radome) distribuidas uniformemente. Dependiendo de la estación, solo se medirán los parámetros básicos (viento, temperatura, humedad, precipitación) o muchos otros parámetros: presión, radiación, estado de la superficie (congelada, húmeda, seca), cantidad de nubes, altura de la base de la nube, profundidad de la nieve y clima actual, es decir, fenómenos meteorológicos como lluvia, nieve, niebla. Para el mar, también se miden las olas y el oleaje. Se complementan, si es necesario, con observadores humanos profesionales que proporcionan información más precisa para cuantificar el granizo, la profundidad de la nieve o la visibilidad horizontal, por ejemplo.



Ilustración 21. Estación receptora [25]

- **Radares:** observan y miden las precipitaciones.
- **Radiosondas:** mediciones en altitud.
- **Satélites:** supone una mejora en el campo de predicción, en particular en zonas que no están cubiertas por instrumentos terrestres. El Centro Nacional de Predicción de Toulouse recibe datos satelitales de varias fuentes, los procesa, archiva y difunde datos de satélites europeos y americanos.

Además, se han añadido nuevos instrumentos a la gama, como lidars, sodars, perfiladores, etc. Estos sistemas se pueden utilizar para tareas específicas, como la detección de cenizas volcánicas o la detección de fuertes vientos en las proximidades de los aeropuertos.

AERONAUTICA MILITARE

La agencia meteorológica de Italia es el Servizio Meteorologico Dell 'Aeronautica Militare, conocido como Meteo AM. Este servicio está bajo la jurisdicción de la Fuerza Aérea Italiana y es responsable de proporcionar información meteorológica y climatológica para Italia.

Las herramientas con las que cuenta son: [26]

- **Satélites estacionarios:** es fundamental en el estudio de la atmósfera y su dinámica. Permite la observación del planeta en doce canales diferentes. Las imágenes de cada canal proporcionan diferentes tipos de información que pueden ser utilizadas, por

ejemplo, en el análisis de estructuras de nubes, en el estudio de fenómenos convectivos o en la monitorización de componentes atmosféricos específicos.

- **Infrarrojos:** el producto se construye a partir de las observaciones del satélite geoestacionario en el canal en el escenario europeo. A estas frecuencias, el sensor a bordo del satélite proporciona una medición de la temperatura de las nubes superiores. Una elaboración gráfica resalta con una escala de colores, del azul al rojo (el azul oscuro se asocia con nubes más cálidas y el rojo con nubes más frías), los sistemas de nubes cuya cumbre está por debajo de una temperatura fija.

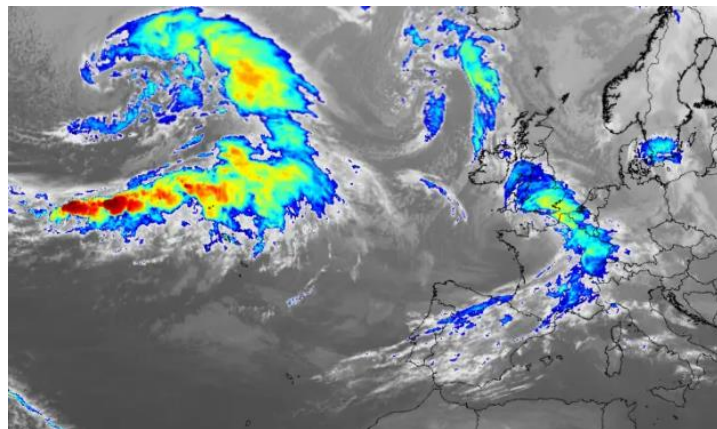


Ilustración 22. Imágenes del producto infrarrojos[26]

- **Productos Nefodina:** detectan la presencia de tormentas eléctricas y evalúan su intensidad. Se basa en un algoritmo que combina datos de diferentes canales de satélites. Es utilizado diariamente por los pronosticadores de la Fuerza Aérea para analizar la actividad convectiva, evaluar su intensidad y predecir su evolución.
- **Análisis de la nube:** es el resultado del procesamiento por un software específico que permite identificar tanto la parte superior de las formaciones de nubes como su tipo. Las nubes con cimas altas identificadas como cúmulos, es decir, con alto desarrollo vertical, pueden estar en el origen de fenómenos intensos e incluso peligrosos para la navegación aérea. Las nubes identificadas como estratiformes con una cumbre baja, pero en cualquier caso a altitudes superiores al Cero Térmico (o cero absoluto), pueden ser peligrosas generando fenómenos de precipitación extensos pero no intensos.

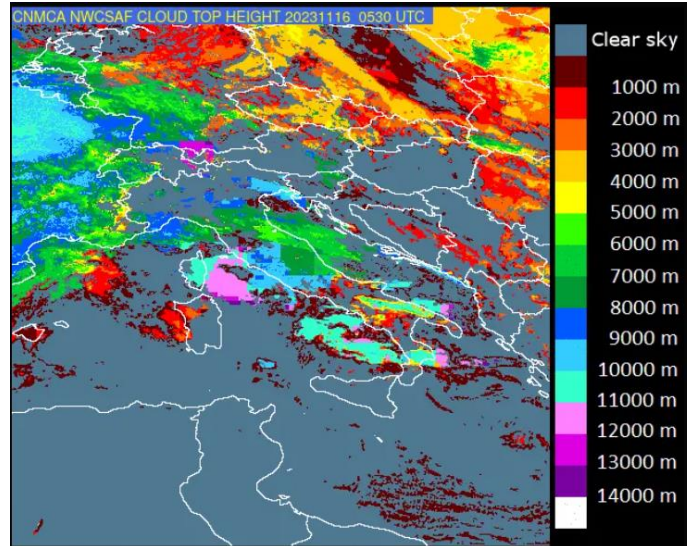


Ilustración 23. Resultado del software NWC SAF (análisis de la nube)[26]

AEMET

AEMET se refiere a la Agencia Estatal de Meteorología de España. Es el organismo encargado de elaborar y difundir la predicción del tiempo en España. Opera una red de estaciones distribuidas en todo el territorio español y utiliza tecnologías avanzadas, para monitorear y estudiar las condiciones atmosféricas.

Los métodos y herramientas que utiliza AEMET son: [27]

- **Modelos numéricos** disponibles:
 - HARMONIE-AROME modelo que permite elegir entre dos áreas: Península y Baleares, y Canarias. Las variables que se tiene acceso son: presión, viento, temperatura, nubosidad, precipitación, descargas eléctricas y racha máxima con un alcance temporal de 48 horas.

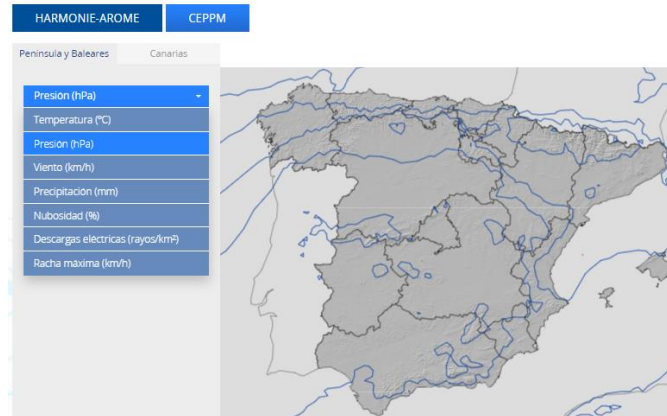


Ilustración 24. Modelo numérico Harmonie-Arome [28]

- CEPPM permite elegir también dos áreas: Atlántico norte (se puede acceder a las variables de temperatura, presión, viento, nubosidad y precipitación entre otros) y Global (se puede elegir entre la presión y el geopotencial). Alcance temporal de 10 días.

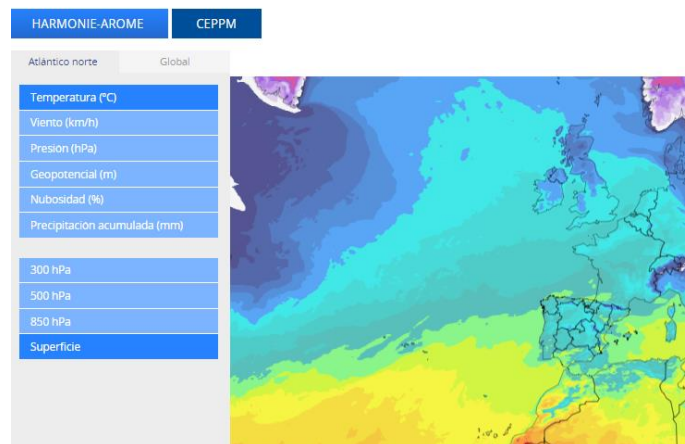


Ilustración 25. Modelo numérico CEPPM [28]

- **Redes de observación en superficie y altura:**
 - En superficie opera con una red de más de 3000 estaciones. El programa de medidas incluye observaciones de temperaturas extremas diarias, precipitación acumulada en 24 horas y los diferentes meteoros observados. Además, dispone de una red de alta densidad espacial en las que se llevan a cabo programas de medida más completos.

Los sensores con los que cuentan las estaciones automáticas son: detector de tipo de precipitación y su valor acumulado, medidor de visibilidad y lanzamiento de un radiosondeo desde un equipo automático.



Ilustración 26. Estación meteorológica automática de la red climatológica ordinaria [29]



Ilustración 27. Detector de tipo precipitación [29]



Ilustración 28. Medidor de visibilidad [29]

- En altura contribuye con programas internacionales de observación en altura con los radiosondeos. En concreto, las campañas de Data Targeting que consiste en el despliegue de observaciones adicionales en aquellas zonas específicamente sensibles para conseguir una mejor predicción en casos de fenómenos de tiempo adverso.



Ilustración 29. Lanzamiento de un radiosondeo desde un equipo automático [29]

- **Redes de observación de teledetección terrestre:**

- Observación radar: opera un sistema de observación radar (SOR) compuesto por quince sistemas regionales (SRR) y un sistema nacional (SNR). El sensor está dotado de capacidad Doppler. A partir de la exploración del volumen de la atmósfera al alcance del radar, en la estación se realiza el proceso principal, obteniéndose datos de distintos parámetros físicos. Los datos son introducidos en las estaciones de trabajo donde se combina con otras fuentes y es utilizado en el ámbito hidrológico para suministrar estimaciones de precipitación de alta resolución espacial y temporal.



Ilustración 30. Instalación de la estación radar situada en el Pico Mijas (Málaga) [30]

- Detección de rayos: compuesta por tres subsistemas encargados respectivamente de la detección de descargas eléctricas (SDDE), el control de los equipos, el análisis y localización de sus medias (SCAL) y la explotación de estos datos. El SDDE está formado por veinte detectores que captan y analizan y discriminan la radiación electromagnética generada en las descargas eléctricas atmosféricas ocurridas dentro de su alcance. El SCAL recibe los datos, localiza y determina las características físicas.



Ilustración 31. Equipo detector de descargas eléctricas [27]

- Perfilador y sistemas RASS: un perfilador de viento es un radar Doppler cuyo fin es proporcionar estimaciones de viento a distintas alturas sobre el emplazamiento en el que se encuentra ubicado. Estos instrumentos utilizan una longitud de onda más larga que los radares meteorológicos. Entre sus ventajas cabe destacar el bajo coste por observación y su capacidad de operar sin intervención en casi todo tipo de condiciones meteorológicas.



Ilustración 32. Perfilador y sistema RASS desplegados por AEMET en el aeropuerto de Madrid-Barajas [27]



- Observación para aplicaciones aeronáuticas: es uno de los pilares del servicio que presta AEMET a la navegación aérea. Cuenta con un equipo de última generación, aplicaciones de software específicas para atender e integrar las necesidades de información meteorológica. Las oficinas situadas en los aeropuertos cumplen la función de vigilar de manera continua sobre el aeródromo.

4.1.3 MODELOS DE PREDICCIÓN GLOBALES

Los modelos de predicción son una representación matemática o estadística que utiliza un conjunto de datos históricos para predecir resultados futuros. Estos modelos se basan en la idea de patrones y tendencias identificados en los datos pasados que pueden ayudar a predecir el comportamiento futuro. Son herramientas poderosas que pueden ayudar a las organizaciones a anticipar eventos, optimizar recursos y tomar decisiones.

Se utilizan modelos informáticos sofisticados para predecir el estado futuro de la atmósfera. Modelos de predicción global más utilizados:

GFS	Global Forecast System de la NOAA
ECMWF	European Center for Medium-Range Weather Forecasts
UKMO	United Kingdom Met Office
AROME	Meteo France
ICON	Icosahedral Nonhydrostatic Model
GEM	Modelo Global Multiescala Ambiental
ARPEGE	Action de Recherche Petite Echelle Grande Echelle

Tabla 2. Modelos de Predicción Globales

GFS

El Sistema Global de Predicción (Global Forecast System) es un modelo numérico de predicción meteorológica creado y utilizado por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica estadounidense. Combina cuatro modelos separados (atmósfera, modelo oceánico, modelo tierra y hielo marino) que trabajan juntos para representar con precisión las condiciones climáticas.



Realiza sus modelizaciones en dos partes: la primera de ellas, con una mayor resolución, que llega hasta 192 horas (8 días), con mapas cada 6 horas y una segunda que presenta una resolución menor, y que abarca de 204 a 348 horas (16 días) con mapas cada 12 horas ejecutándose cuatro veces al día.[31]

ECMWF

Centro Europeo de Pronósticos Meteorológicos a Plazo Medio. El ECMWF es denominado oficialmente como “Integrated Forecast System” (IFS). Para llevar a cabo las actividades combina pronósticos numéricos globales cuatro veces al día, análisis de la calidad del aire, monitoreo de la composición atmosférica, monitoreo del clima, análisis de la circulación oceánica, predicciones hidrológicas y predicciones de riesgo de incendio.

Las previsiones abarcan una amplia gama de plazos:

- Medio, con hasta 15 días por delante.
- Alcance extendido, con hasta 46 días por delante.
- Largo alcance, con hasta un año por delante.

Se clasifica como el mejor modelo meteorológico global de un servicio meteorológico nacional con las puntuaciones más altas. Utiliza algoritmos sofisticados y técnicas de asimilación de datos de alta resolución para generar pronósticos altamente precisos. El modelo ECMWF opera a escala global, proporcionando cobertura global con un enfoque en Europa y las regiones circundantes.

En marzo de 2016, ECMWF aumentó la resolución de su modelo a una resolución récord de 9 km, que es actualmente el modelo global de mayor resolución disponible. Los datos del ECMWF tienen un costo de adquisición muy alto, y esta es la razón por la que muchos sitios web meteorológicos no los utilizan ampliamente y, tradicionalmente, solo los han utilizado los mejores equipos de regatas y meteorólogos. [32]



UKMO

El modelo de la Oficina Meteorológica del Reino Unido (UKMO) se centra en proporcionar pronósticos del tiempo precisos para las Islas Británicas y las regiones circundantes. Este modelo utiliza técnicas computacionales avanzadas y asimilación de diversos datos observacionales para producir predicciones detalladas de los fenómenos climáticos en el Reino Unido. El modelo es conocido por su salida de alta resolución, que permite pronósticos precisos para regiones localizadas y mejora la capacidad de predicción de condiciones meteorológicas severas.

El modelo UKMO incorpora técnicas numéricas sofisticadas para simular los procesos atmosféricos. La salida de alta resolución del modelo es especialmente útil para capturar fenómenos climáticos locales, como precipitaciones convectivas, efectos costeros y variaciones de temperatura en diferentes paisajes.[33]

AROME

Es un modelo de predicción numérica a pequeña escala, operativo en Météo-France desde diciembre de 2008. Fue diseñado para mejorar las predicciones a corto plazo de eventos severos como precipitaciones intensas en el Mediterráneo, tormentas severas, niebla, calor urbano durante el calor. ondas.[34]

ICON

El modelo Icosahedral No Hidrostático (ICON) fue desarrollado conjuntamente por el Servicio Meteorológico Alemán (DWD) y el Centro Aeroespacial Alemán (DLR). Está diseñado específicamente para la predicción numérica del tiempo a alta resolución. Con un énfasis particular en la predicción regional, ICON proporciona predicciones detalladas para áreas más pequeñas, incluyendo ciudades y terrenos locales. Este modelo utiliza técnicas avanzadas para generar pronósticos precisos, lo que lo hace especialmente útil para predicciones a corto plazo y del clima convectivo.

ICON opera a varias resoluciones, desde escalas globales hasta regionales, lo que permite capacidades flexibles de pronóstico. Incorpora esquemas de física sofisticados, incluyendo parametrizaciones para radiación, nubes y turbulencia, para simular con precisión el comportamiento de la atmósfera. La capacidad del modelo para capturar características a



pequeña escala lo hace valioso para predecir fenómenos climáticos localizados, como tormentas eléctricas, niebla y otros eventos convectivos.

La capacidad de ICON para manejar diversas condiciones atmosféricas, como capas límite estables e inestables, lo hace valioso para predecir fenómenos climáticos asociados con terrenos complejos, como regiones montañosas. Sus capacidades de alta resolución son especialmente útiles para áreas urbanas, donde los efectos locales y los microclimas pueden influir significativamente en los patrones climáticos.[33]

GEM

Operado por el Ministerio del Medio Ambiente y Cambio Climático de Canadá, el Modelo Global Multiescala Ambiental se centra en proporcionar pronósticos meteorológicos integrales para Canadá y América del Norte. Incorpora métodos avanzados para ofrecer predicciones precisas de diversos fenómenos climáticos en el continente. GEM es especialmente valioso por su capacidad para manejar características geográficas complejas, como terrenos montañosos y regiones costeras, lo que permite pronósticos precisos para áreas localizadas.

GEM opera a escala global, proporcionando cobertura más allá de Canadá y América del Norte. Utiliza una combinación de técnicas de asimilación de datos, incluyendo 3D-Var y 4D-Var, para incorporar datos observacionales y mejorar la precisión de los pronósticos. [33]

ARPERGE

Desarrollado por Météo-France, el modelo ARPEGE es reconocido por su excelencia en la predicción numérica de tiempo a alta resolución. Cubre todo el globo terráqueo con una cuadrícula que va desde los 5 km de Europa hasta 24 km. Se utiliza para pronosticar hasta 10-15 días.

Utiliza técnicas numéricas avanzadas para simular procesos atmosféricos, proporcionando pronósticos precisos a escala regional. ARPEGE es conocido por su capacidad para capturar



características meteorológicas meso escalares y dinámicas atmosféricas, lo que lo hace valioso para pronósticos a corto plazo y eventos climáticos severos.

ARPEGE incorpora esquemas de física avanzados y métodos numéricos para simular con precisión los procesos atmosféricos. La salida de alta resolución del modelo permite la predicción de fenómenos climáticos localizados, como tormentas eléctricas, líneas de ráfagas y frentes atmosféricos.[33]

4.1.4 RADARES METEOROLÓGICOS

Herramienta esencial para prever el tiempo. Se utiliza para detectar la presencia de precipitaciones en la atmósfera. Funciona mediante el envío de ondas de radio a alta frecuencia en diferentes direcciones. Cuando estas ondas chocan con una partícula, como una gota de lluvia o un copo de nieve, se reflejan de vuelta hacia el radar. La cantidad de energía reflejada por las partículas es medida por el radar y se utiliza para crear un mapa de la precipitación de la zona.

Consta de varias partes, incluyendo una antena, un transmisor, un receptor y un procesador de datos. La antena es responsable de enviar y recibir las ondas de radio. El transmisor genera las ondas de radio y las envía a través de la antena. El receptor recibe las ondas de radio reflejadas y las convierte en señales eléctricas que son enviadas al procesador de datos. El procesador utiliza estas señales para crear un mapa de precipitación de la zona.[35]

4.1.5 SAIH

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.

Se puede definir 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.

Proporciona información relativa a los niveles y caudales circulantes por los principales ríos y afluentes, el nivel y el volumen embalsado en las presas, el caudal desaguado por los aliviaderos, válvulas y compuertas de estas, la lluvia en numerosos puntos y los caudales detraídos por los principales usos del agua en la cuenca.[36]



OBJETIVOS

Los principales objetivos del SAIH son:[36]

- Proporcionar en tiempo real información sobre variables climáticas, hidrológicas y de estado de la infraestructura hidráulica.
- Hacer previsiones a corto plazo generando alarmas que permitan adoptar las medidas oportunas para minimizar los daños causados por las inundaciones y las avenidas.
- Previsiones a medio plazo sobre la disponibilidad de recursos hídricos.
- Controlar y optimizar la operación de los embalses, captaciones, canales y conducciones principales de la cuenca.

FUNCIONAMIENTO

Cada SAIH funciona de manera autónoma en cada una de las Confederaciones Hidrográficas. En cualquier caso, atendiendo al esquema básico, puede decirse que el SAIH de cada cuenca hidrográfica capta los datos por medio de distintos dispositivos sensorizados y los transmite a través de una red de comunicaciones. El esquema básico que incluye los elementos de un SAIH es:[36]

1. Puntos de control.
2. Puntos de concentración/explotación.
3. Centro de proceso.

PUNTOS DE CONTROL

Son las ubicaciones dónde 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 la cuenca.

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



- Pluviómetros (instrumento para recogida y medición de las precipitaciones).
- Embalses, presas y azudes (niveles de embalse, posición de compuertas, posición de válvulas y potencia turbinada)
- Ríos, canales y conducciones (nivel y caudal en ríos y canales y caudal en conducciones).
- Estaciones meteorológicas (temperatura, humedad, radiación solar, evaporación, velocidad del viento, dirección del viento y presión atmosférica).
- Señales integradas.
- Alarmas de nivel.
- Nivel y densidad de nieve acumulada.

PUNTOS DE CONCENTRACIÓN/ CENTROS DE EXPLOTACIÓN

Los puntos de concentración son aquellos que transmiten la información recibida desde sus puntos de control al centro de proceso de la cuenca.



Ilustración 33. Puntos de concentración/ Centros de explotación [36]

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, 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 disponen salas para la explotación, operación y mantenimiento de los SAIH, para reuniones, especialmente en situaciones de crisis y para el alojamiento de sistemas informáticos.

ALMACENAMIENTO DE DATOS

Los datos enviados desde las estaciones o recibidos de otros organismos se almacenan para su posterior tratamiento. Se abandona la idea tradicional de alojar servidores físicos en las oficinas y se pasa a contar con un espacio virtual en la nube para almacenar y procesar los datos.

La computación en nube está compuesta por servidores que ofrecen sus recursos físicos (memoria, procesador, etc.) mediante un proceso de virtualización para crear varios servicios virtuales alojados en la nube. Gracias a esto, se alcanzan grandes tasas de disponibilidad, ya que los recursos son proporcionados por varios servidores.

La implementación de sistemas SAIH en la nube permite que los datos se envíen automáticamente desde la propia estación a un servidor disponible donde se automatiza el proceso de los datos y cálculos posteriores. Permitiendo así una mayor eficiencia y flexibilidad y por lo tanto, si se produjera un fallo en uno de los servidores, los servicios estarían prestados por otro servidor de la red.[37]

5. SISTEMAS DE AYUDA A LA DECISIÓN

Los Sistemas de Ayuda a la Decisión (SAD) constituyen un conjunto de modelos y herramientas informáticas cuyo objetivo es ayudar a los decisores en la utilización de datos y modelos para resolver problemas en ambiente de incertidumbre. Este sistema permite identificar zonas inundables en una precipitación y adelantarse para poder aplicar medidas protectoras, con el objeto de alcanzar la solución óptima que minimice los efectos perniciosos de dichos caudales.
[39]



5.1. OBJETIVOS

El sistema predice los caudales que van a circular durante los próximos días tras las precipitaciones por los ríos principales de la cuenca, así como simular sus efectos sobre los cauces, antes de tener que ejecutarlas.

Los objetivos son servir de ayuda en situaciones de crisis por avenida y una mayor rapidez a la hora de identificar una avenida y sus posibles efectos.[40]

5.2 DATOS DE ENTRADA

El sistema se alimenta de:[40]

1. Las previsiones meteorológicas (precipitación y temperatura) generadas por la Agencia Estatal de Meteorología.
2. Los datos hidrometeorológicos observados por el Sistema Automático de Información Hidrológica SAIH (pluviómetros, termómetros, aforos y embalses).

5.3 SIMULADOR DEL SISTEMA SAD

[6] El tratamiento de la información corre a cargo varios modelos matemáticos y herramientas informáticas dentro de un entorno GIS (sistema de información geográfica). Estos modelos se basan en la modelización de la respuesta hidrológica de la cuenca a dos/tres niveles:

- **Modelo hidrológico:** simula el ciclo del agua en cada cuenca o subcuenca a partir de las precipitaciones observadas o previstas.
- **Modelo hidráulico:** simula el transporte de las escorrentías calculadas por el modelo hidrológico a través de los principales cursos del agua.



5.4 DATOS DE SALIDA

Diariamente los técnicos del SAD incorporan datos de entrada y ejecutan los modelos para obtener las previsiones hidrológicas correspondientes. Como resultados de salida del Sistema de Ayuda a la Decisión se obtienen:[40]

- Caudales previstos en los distintos cauces, tanto en estaciones de aforo como en otros puntos de interés.
- Volúmenes de agua almacenada en los distintos depósitos modelizados (suelo, subsuelo, etc.) que se utilizan a su vez como condiciones iniciales para la siguiente modelización, constituyendo un sistema que funciona en continuo.
- Zonas de desbordamiento (áreas cercanas a los ríos que se inundan cuando el agua de los ríos se desborda debido a las lluvias intensas).

5.5 INCERTIDUMBRE

La medición de la precipitación desempeña un papel fundamental en el análisis hidrológico. Este fenómeno se considera un proceso aleatorio, es decir, que tiene un cierto nivel de incertidumbre y por lo tanto está gobernado por las leyes de la probabilidad. A estos procesos gobernados por las probabilidades se les denomina estocásticos.

Los datos deben de ser lo más exactos posibles ya que hay que reducir los rasgos de incertidumbre para evitar problemas futuros como por ejemplo los gastos que supone, un ejemplo de esto que se mencionó al comienzo del documento es la evacuación de un hospital por la mala previsión.

En resumen, no sabemos lo que va a suceder, necesitamos observar aquello que ya ha pasado y a partir de ahí comenzamos a valorar nuestra propia teoría. El objetivo fundamental es generar unos datos a partir de los cuales vamos a trabajar siendo conscientes de que tenemos incertidumbre y que no son datos exactos.

El estudio de la incertidumbre es el objetivo fundamental en el que tenemos que apoyarnos en la inteligencia artificial intentando reducir siempre ese margen que hay entre la realidad y lo simulado.



5.6 MODELOS HIDROLÓGICOS

Los modelos hidrológicos son herramientas para la planificación y gestión de los recursos hídricos y del medio ambiente. En las últimas décadas se han desarrollado diversos modelos, cada uno con características y parámetros específicos, con el objetivo fundamental de conocer que caudal hay en cada momento a lo largo de un río.

Un modelo puede ser definido como una representación simplificada de un fenómeno o un proceso del mundo real, es caracterizado por un conjunto de variables y ecuaciones que describen la relación entre estas variables. En hidrología, el modelo busca representar los diferentes procesos involucrados en el flujo de la energía de la energía, la humedad u otras materias a través del dominio (típicamente la cuenca hidrográfica), como la distribución de la precipitación y la generación de caudales en una cuenca determinada.

Para la elección del modelo más adecuado es necesario seguir unos pasos:

1. Establecer con claridad el propósito del estudio.
2. Identificar los procesos y flujos presentes el sistema que se quiere modelar en cuanto a condiciones climáticas.
3. Identificar los modelos hidrológicos disponibles, datos de entrada requeridos y su solución espaciotemporal.
4. Realizar un análisis de confiabilidad para determinar cuál es el más apropiado.

5.6.1 CLASIFICACIÓN

Se pueden clasificar desde tres puntos de vista, la primera según el tipo de representación espacial del modelo, la segunda en la forma de presentar los procesos hidrológicos que ocurren en la cuenca y la última en la extensión temporal en la que se puede aplicar el modelo.[41]



MODELOS HIDROLÓGICOS	
REPRESENTACIÓN	MODELOS
Espacial	<p>Agregados (distribución uniforme)</p> <p>Semidistribuidos (distribución con cierta variabilidad)</p> <p>Distribuidos (distribución variable)</p>
Procesos hidrológicos	<p>Métricos (usan datos observados mediante métodos de extracción)</p> <p>Conceptuales (representación conceptual)</p> <p>Físicamente basados (uso de ecuaciones de continuidad)</p>
Extensión temporal	<p>De episodio (simulaciones de corto intervalo)</p> <p>Continuos (intervalos mayores de tiempo con el objetivo de simulación del balance de humedad total)</p>

Tabla 3. Clasificación modelos hidrológicos [42]

En función de la **representación espacial**:

- Modelos agregados son aquellos que consideran una distribución espacial uniforme de la cuenca, utilizando como variable la precipitación media. Supone que los parámetros de los diferentes submodelos son globales para toda la cuenca a lo largo de un episodio.
- Modelos semidistribuidos son aquellos que permiten una cierta variabilidad espacial de la lluvia y de los parámetros de los submodelos que lo componen, mediante la división de la cuenca en multitud de pequeñas subcuencas con lluvia y parámetros constantes en cada uno de ellos.
- Modelos distribuidos son aquellos que permiten la variabilidad espacial de la lluvia y de los parámetros, mediante la división de la cuenca en celdas, en las que se simulan los diferentes procesos hidrológicos.

En función de la representación de los **procesos hidrológicos**:

- Modelos métricos son aquellos con dependencia respecto a los datos observados, realizando una búsqueda de estos para caracterizar la respuesta del sistema, mediante un método de extracción de la información a partir de los datos existentes. Estos modelos



se construyen con una consideración pequeña o nula de los procesos físicos que ocurren en el sistema hidrológico.

- Modelos conceptuales son aquellos que representan los procesos hidrológicos más importantes mediante una base de conocimiento inicial en forma de representación conceptual de los mismos. La representación hidrológica se realiza mediante relaciones simplificadas con parámetros que no se pueden medir físicamente en la realidad, por tanto, para aplicar estos modelos los datos observados deben de ser calibrados.
- Modelos físicamente basados son aquellos que utilizan los conocimientos más recientes del comportamiento físico de los procesos hidrológicos, realizando la simulación del comportamiento mediante el uso de las ecuaciones de continuidad clásicas. Son necesariamente del tipo distribuido, y por tanto, permiten la descripción de los fenómenos en cada una de las celdas del sistema. Una de las ventajas es que permite una representación matemáticamente ideal de un fenómeno real, aunque, por otra parte, requiere una cantidad muy elevada de datos que son difíciles de medir en la realidad y a su vez, requiere mayor tiempo de computación.

En función de la **extensión temporal**:

- Modelos de episodio son aquellos para simulaciones de cortos intervalos de tiempo, normalmente de un único episodio de lluvia. Se centran en la simulación de los procesos de infiltración y escorrentía superficial, ya que su principal objetivo es la evaluación de la escorrentía directa.
- Modelos continuos son aquellos que permiten la simulación durante intervalos de tiempo mayores a un episodio de lluvia como pueden ser: diarios, mensuales o estacionales. Consideran todos los procesos que influyen en la generación de escorrentía, tanto la de superficie como la de flujo subterráneo. Se centran en la simulación de la evapotranspiración y de los procesos que influyen a largo plazo en la recuperación de la humedad durante los episodios en los que no hay ocurrencia de precipitación. Por lo tanto, el objetivo principal es la simulación del balance de humedad total de la cuenca durante períodos largos de tiempo.

5.6.2 EJEMPLOS

Los modelos hidrológicos se centran en la simulación de la cantidad y calidad del agua en las cuencas. En la siguiente tabla se muestran los modelos utilizados por país:



PAÍS	MODELOS HIDROLÓGICOS
Estados Unidos	HEC-HMS SWMM (sist. drenaje urbano) EPA (se centran en gestión de aguas superficiales)
Alemania	HBV (modela la respuesta de la cuenca a la precipitación y la escorrentía)
Japón	TOPMODEL (para paisajes montañosos y colinas)
Reino Unido	FEH (para estimar las descargas de inundaciones)
Italia	TOPKAPI
Francia	GR4J (similar flujo y evaluar respuesta) SIM (desarrollado en Francia para simular la distribución)
España	SIMPA (modelo propio) TETIS

Tabla 4. Modelos hidrológicos usados por país

HEC-HMS

Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System. Desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (USACE). Se enfoca en la modelización hidrológica de cuencas fluviales y de drenaje, simulando la escorrentía y los procesos hidrológicos en la parte superior del sistema. Útil en estudios de gestión de inundaciones entre otros reduciendo así los daños.[43]

Se utiliza para simular la respuesta hidrológica de una cuenca. Incluye los modelos de cuenca, modelos meteorológicos, especificaciones de control y datos de entrada. El programa crea una corrida de simulación, combinando los modelos y las especificaciones.

Los resultados se pueden ver en el mapa de la cuenca. Se generan tablas que incluyen la información sobre el flujo máximo y el volumen total. Además, cuenta con una tabla de serie de tiempo, el gráfico por elementos, resultados de múltiples elementos y corridas de simulación.

Este modelo permite establecer varias subcuencas en las cuales se realizan los siguientes cálculos:



- Separación de la lluvia neta, es decir, calcula qué parte va a producir escurrimiento directo.
- Cálculo de esa lluvia neta.
- Suma del escurrimiento directo y el base, si existía previamente.

A continuación, suma todos los caudales generados y transitados del recorrido proporcionando el diagrama de salida.[44]

SWMM

Storm Water Management Model. Este modelo hidrológico distribuido de precipitación-escurrimiento permite modelar y analizar el comportamiento de las aguas pluviales en un entorno urbano. Este tipo de modelo se aplica primordialmente al estudio de eventos de tormentas, con lo que es posible analizar el impacto hidrológico que estas tienen sobre procesos tales como inundaciones, transporte de sedimentos, transporte de contaminantes e hidráulica de alcantarillado.

Simula la respuesta de la cuenca a partir de los datos de precipitación y parámetros físicos y numéricos relevantes. Conceptualiza los diversos procesos dentro del dominio del balance hídrico a manera de comportamientos. La conceptualización se basa en entidades tipo:

- Vectorial, líneas (cauces).
- Nudos (pozos de registro, cambios de pendiente).
- Polígonos (microcuencas o áreas tributarias).

Una vez que el SWMM genera la respuesta de la cuenca a un determinado evento de precipitación, esta se expresa a manera de hidrograma el cual representa la evolución temporal de la tasa de flujo en el punto de descarga de la cuenca. No obstante, debe ser calibrada contra registros reales de flujo.[45]

HBV

Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdelning. Es un modelo semi-distribuido desarrollado por el Instituto Meteorológico e Hidrológico sueco. El modelo simula la descarga a escala de tiempo diario, basado en series de precipitaciones, temperatura y evapotranspiración potencial diaria. Consta de cuatro módulos principales:

- Deshielo y acumulación de nieve.
- Precipitación efectiva (fracción de la precipitación total utilizada; quedan por lo tanto excluidas la infiltración profunda, la escorrentía superficial y la evaporación de la superficie del suelo) y humedad del suelo.
- Evapotranspiración.
- Respuesta de escorrentía.

La respuesta de la escorrentía en la salida de la cuenca se representa mediante depósitos conceptuales unos encima de otros. El depósito superior modela el flujo superficial y sub-superficial, mientras que el otro simula el flujo base (aporte de agua subterránea).[46]

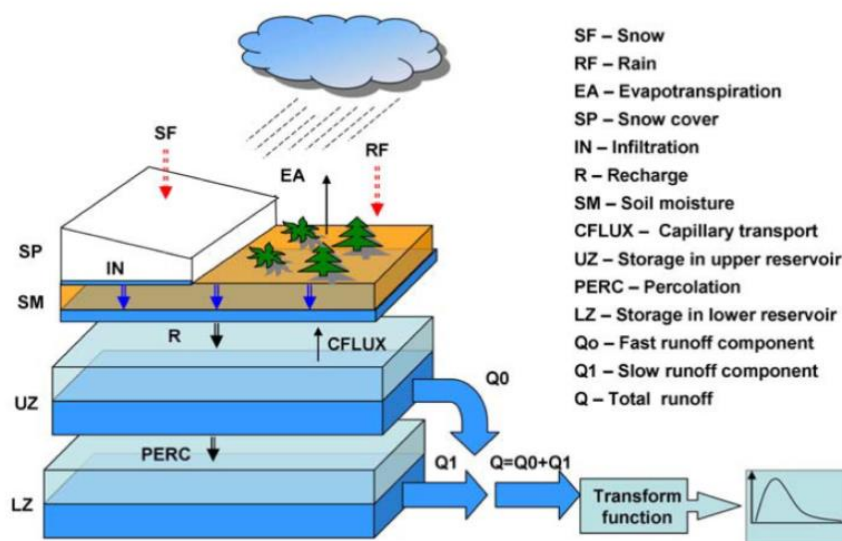


Ilustración 34. Esquema de funcionamiento HBV [47]



TOP MODEL

Es un modelo de lluvia escurrentía semidistribuida. Este modelo utiliza un número reducido de parámetros. Consta de una estructura simplificada, que reduce los requisitos de datos. Así, este modelo integra la capacidad de simular la distribución espacial de sus resultados en cualquier paso del tiempo.

Predice la saturación, infiltración, exceso de escurrentía y flujo subsuperficial con un número pequeño de parámetros. El objetivo principal es calcular el déficit del embalse o la profundidad del nivel freático en un punto dado.[41]

FEH

Flood Estimation Handbook. Conjunto de métodos y datos asociados que permiten disponer de métodos nacionales normalizados reconocidos para la estimación de precipitaciones e inundaciones y la modelización de precipitaciones-escurrentías. Se basan en la calibración de grandes conjuntos de datos hidrometeorológicos procedentes de aforos de todo el Reino Unido.

Los datos sirven para estimar la frecuencia de las inundaciones fluviales y las precipitaciones de diseño en Inglaterra, Escocia y Gales. Estos métodos se utilizan en la cartografía nacional de inundaciones, como la Evaluación Nacional del Riesgo de Inundación.[48]

TOPKAPI

Topographic Kinematic Aproximation and Integration. Es un modelo hidrológico de base física distribuido que puede proporcionar información de alta resolución sobre el estado hidrológico de una cuenca. El modelo puede utilizarse tanto como programa autónomo como dentro de sistemas operativos de previsión de inundaciones en tiempo real.

El modelo se basa en la idea de combinar el enfoque cinemático y la topografía de la cuenca; esta última se describe mediante un Modelo Digital de Elevación, que subdivide el dominio de aplicación mediante celdas cuadradas. A cada celda se le asigna un valor para cada uno de los parámetros físicos. Además de los flujos superficial, terrestre y fluvial, TOPKAPI incluye componentes que representan la infiltración, evapotranspiración y deshielo.[49]



GR4J

Es un modelo de lluvia-escorrentía agregado, de 4 parámetros y resolución diaria. En el modelo la precipitación y la evapotranspiración son calculadas según los registros de las estaciones más cercanas, empleando un método de interpolación espacial. El modelo utiliza cuatro parámetros para describir las características de la cuenca:

- X1 representa la capacidad de almacenamiento del suelo y la velocidad de recarga de agua en el suelo.
- X2 describe la eficiencia del almacenamiento en la cuenca.
- X3 define la eficiencia en la generación de la escorrentía, teniendo en cuenta la escorrentía directa y base.
- X4 representa la tasa de transferencia de agua desde el almacenamiento en el suelo a la escorrentía.

Una vez recopilada la información se procede a realizar la simulación de caudales en las estaciones con registro en cada una de las subcuencas. Esta fase de calibración permite obtener los parámetros del modelo, para los cuales la serie simulada representa con mayor precisión la serie observada. El calibrado es necesario antes de utilizar GR4J.[50]

SIM (SAFRAN-ISBA-MODCOU)

Cadena Safran-Iba-Modcou simula los flujos de agua y energía en la superficie de Francia, así como los cambios en el caudal de los ríos y las principales capas freáticas. Se compone de 3 modelos:

- Safran es un sistema de las variables atmosféricas cercanas a la superficie. Utiliza las observaciones combinadas con datos para producir los parámetros horarios necesarios para el funcionamiento de la ISBA en un paso de tiempo horario. Estos parámetros (humedad, temperatura, viento, precipitaciones sólidas y líquidas, radiación solar e infrarroja incidente) se analizan en pasos de 300m de altitud.

- Isba simula los intercambios de agua y energía entre el suelo y la atmósfera. Utiliza 3 capas de suelo (superficie, zona radicular, zona profunda), y dos temperaturas (temperatura global de la superficie del continuo suelo-vegetación y temperatura profunda). Isba simula todos los flujos del agua con la atmósfera y el suelo con un paso de 5 minutos.
- Modcou es un modelo hidrológico distribuido. Combina flujos superficiales y subterráneo. Utiliza la escorrentía y el drenaje de ISBA como entradas para calcular las capas freáticas (actualmente sólo están representadas las capas freáticas del Sena y del Ródano) y el caudal de los ríos (actualmente 900 puntos simulados). La malla de cálculo varía en función de los límites de las cuencas hidrográficas y de la red hidrográfica. Su paso temporal es de tres horas.[51]

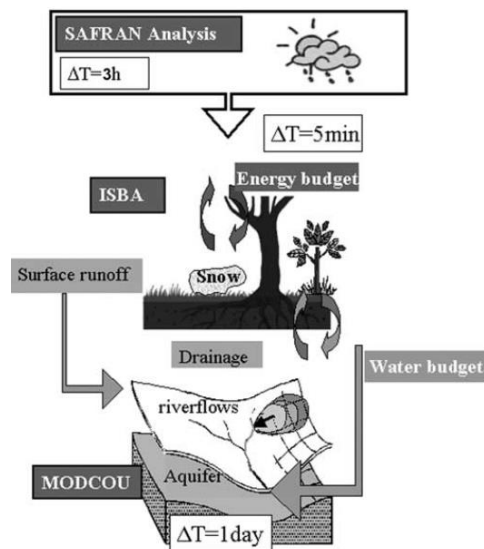


Ilustración 35. Estructura del SIM [52]

SIMPA

Sistema Integrado de Modelación Precipitación Aportación. Desarrollado sobre el sistema de información geográfica GRASS y con capacidades para el tratamiento estadístico de series temporales, parametrización de cuencas, simulación hidrológica orientada al estudio de recursos y crecidas, generación y transporte de nutrientes a escala de cuenca, etc. Este modelo se ha utilizado, entre otras cosas, para la realización de los trabajos de evaluación de recursos hídricos a escala nacional en España.



TETIS

Modelo de simulación hidrológica de tipo distribuido en el espacio mediante una subdivisión de la cuenca en celdas regulares. Es un modelo integral, pudiendo así resolver problemas tanto de crecidas y erosión (discretización de minutos y horas) como de recursos hídricos (temporal diario). Las principales ventajas de modelo son:

- Mejor representación de la variabilidad espacial de los fenómenos involucrados dentro del Ciclo Hidrológico, a través de inputs y parámetros.
- La obtención de resultados en cualquier punto de la cuenca, sin prefijarlos a priori y sin necesidad de metodologías de interpolación.
- La explotación de toda la información espacial disponible.

Está basado en una estructura de tanques en cada celda, interconectados vertical y horizontalmente, representando los procesos de ladera y acuífero. El proceso del acuífero está representado por un único tanque, mientras que para los procesos de ladera se subdivide en cinco tanques: manto de nieve, interceptación, almacenamiento en superficie y almacenamiento capilar y gravitacional del suelo superior.

La escorrentía directa, el interflujo y el flujo base se conectan a la red fluvial mediante la definición de dos áreas umbrales. La red fluvial se divide en cárcavas y cauces. Las laderas (escorrentía directa e interflujo), se conectan a la red de cárcavas, y sólo cuando existe flujo base, el acuífero se conecta a la red de cauces.

La información de entrada necesaria para la ejecución del modelo se basa en series temporales de precipitación, evapotranspiración potencial y temperatura (para el submodelo de fusión de nieve). En cuanto a la información cartográfica, se emplea el formato tipo ráster. Se requiere de un modelo de elevación digital y de los mapas con las características del suelo y subsuelo. Estos últimos se obtienen a partir de estudios de suelos, cobertura vegetal, mapas geológicos, información edafológica, mapas hidrogeológicos y demás temas ambientales que puedan ser de interés y que se encuentren disponibles para la zona de estudio.

El modelo TETIS presenta una estructura separada de sus parámetros efectivos, de esta forma, el valor efectivo en una celda de un parámetro es el resultado de la multiplicación del valor del mapa correspondiente por un factor corrector, que es común para todas las celdas y diferente para cada parámetro. Por tanto, el número de variables a calibrar se reduce a 9 (ocho procesos de ladera y

acuífero y uno de propagación en la red fluvial). Estos factores correctores son los valores que deben tomar encontrarse mediante la calibración automática.

El resultado es la representación de la mayoría de los procesos hidrológicos: interceptación, fusión de nieve, evapotranspiración, infiltración, escorrentía directa, percolación, interflujo, flujo base y flujo subterráneo profundo.[53]

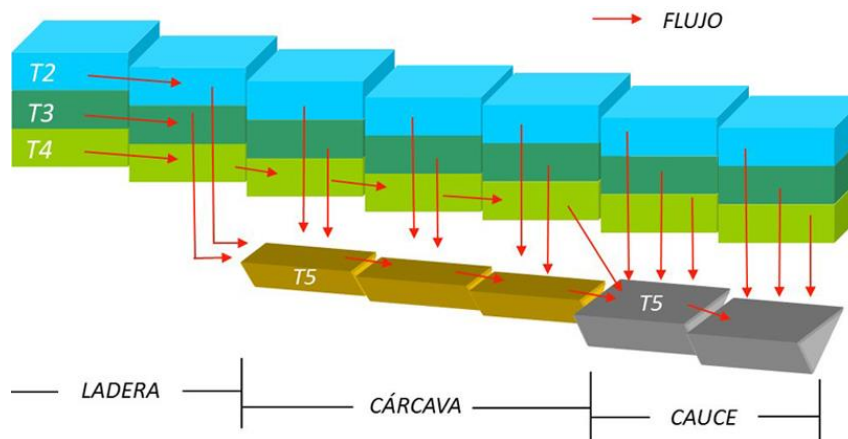


Ilustración 36. Esquema del movimiento horizontal propuesto por el modelo TETIS [54]

5.7 MODELOS HIDRÁULICOS

Modelo que describe matemáticamente el flujo en canales abiertos, ríos, lagos, estuarios y zonas costeras. Además, se usan para describir el flujo sobre las planicies de inundación. Con esta herramienta de modelación se pueden hacer cálculos hidráulicos que de lo contrario será demasiado complejo realizar. [57]

5.7.1 CLASIFICACIÓN

Existen distintos tipos de modelos hidráulicos, entre los que destacan los modelos unidimensionales y los bidimensionales.

El modelo unidimensional es un tipo de modelo matemático que se utiliza para describir la conducta de las redes de distribución hídrica, principalmente en caudales que circulan dentro de un caudal regular. En estos, un río se representa como una serie de secciones repartidas a lo largo de un eje. De manera que:

- El flujo se supone en la dirección del eje (perpendicular a la sección)
- Se obtiene un único valor de cota de agua y velocidad en toda la sección.

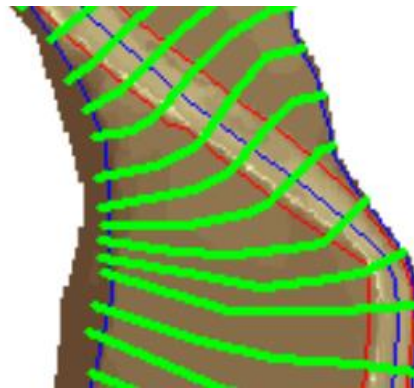


Ilustración 37. Modelo 1D (definición de la geometría en función del número y trazado de las secciones) [58]

Por otra parte, los modelos hidráulicos bidimensionales son un tipo de modelo matemático y son bastante útiles debido a que se supone una única velocidad media en la dimensión vertical, siendo así una simplificación de la complejidad numérica del problema. Los resultados básicos son la cota de agua y velocidad en las dos direcciones.[59]

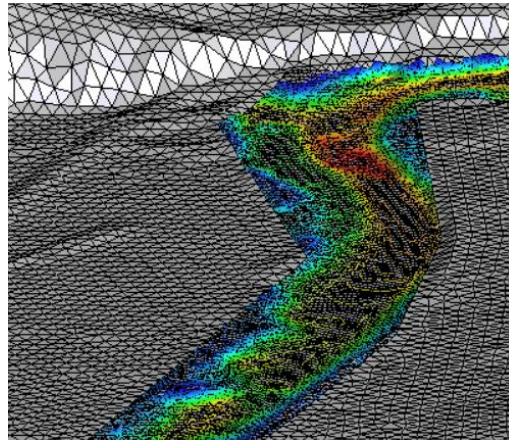


Ilustración 38. Modelo 2d (definición de la geometría mediante archivos MDT) [60]

MODELOS HIDRÁULICOS	
MODELOS	CLASIFICACIÓN
FÍSICOS	Geoméricamente semejantes (semejanza de todas las variables geométricas)
	Geoméricamente distorsionados (semejanza con el prototipo)
	Contorno fijo (deformabilidad del contorno no es relevante)
	Contorno móvil (deformabilidad del contorno relevante)
MATEMÁTICOS	Determinísticos (valores concretos)
	Estocásticos (variables aleatorias gobernadas por probabilidades)
	Simulaciones numéricas (ecuaciones diferenciales)

Tabla 5. Clasificación de los Modelos Hidráulicos [61]

Los modelos analógicos no se incluyen en la tabla ya que su uso no es frecuente en la actualidad. A continuación, una breve explicación de la clasificación general de los modelos:

- Modelo físico: es la simulación física de un fenómeno hidráulico. Según las características propias de los modelos se pueden clasificar en:
 - Clasificación respecto de la semejanza geométrica con el prototipo:



- Modelos geoméricamente semejantes: se conserva la semejanza de todas las variables geométricas. Existe un único factor de reducción o amplificación, llamado escala, de todas las magnitudes geométricas y las que se derivan de ellas, además de la igualdad de ángulos correspondientes entre el modelo y el prototipo.
- Modelos geoméricamente distorsionados: conserva la semejanza con el prototipo, pero los factores a usar de reducción o ampliación son distintos para diferentes dimensiones de este. Este tipo de modelos es usual en estructuras marítimas.
- Clasificación respecto de la movilidad y deformabilidad del contorno:
 - Contorno fijo: hay casos en que la deformabilidad del contorno no es relevante al fenómeno estricto, por tanto, puede representarse simplificada en el modelo como si fuera fijo o indeformable.
 - Contorno móvil: existen situaciones en que el modelo debe representar el contorno móvil en una forma fiel y confiable, ya que los fenómenos que ocurre, caso del escurrimiento vienen determinados por la movilidad y deformabilidad de la sección.
- Modelo analógico: reproducción de un fenómeno en estudio de un prototipo en un sistema físico diferente al original, pero que aprovecha la similitud de las leyes matemáticas que gobiernan el fenómeno en ambos sistemas.
- Modelo matemático: se hace uso de ecuaciones matemáticas que definen de una manera simplificada el fenómeno en estudio que ocurre en el prototipo. Se diferencian tres modelos:
 - Determinístico: se expresan a través de relaciones funcionales determinísticas en los que no se considera la probabilidad de ocurrencia del fenómeno.
 - Estocástico: los procesos físicos que representan haciendo uso de variables aleatorias, pirobalísticas que involucran el fenómeno en estudio.
 - Simulación numérica: modelos en los que se utilizan ecuaciones diferenciales y condiciones iniciales de borde, que son resueltos utilizando técnicas de análisis numérico, tales como métodos diferenciales finitos y elementos finitos.



5.7.2 EJEMPLOS

Estos modelos se centran en el flujo de agua en ríos, así como la evacuación de inundaciones y sistemas de control de inundaciones. En la siguiente tabla se pueden observar diferentes modelos según el país:

PAÍS	MODELOS HIDRÁULICOS
Estados Unidos	HEC-RAS (Modelar corrientes y ríos)
Alemania	DHI MIKE (incluye MIKE FLOOD para simular inundaciones y flujos en ríos) TUFLOW (modelar flujos en ríos con un enfoque detallado en la simulación de inundaciones)
Japón	Flood Modelling System (inundaciones como HEC-RAS)
Reino Unido	HEC-RAS MIKE FLOOD INFOWORKS
Italia	TELEMAC
Francia	TELEMAC HEC-RAS
España	IBER

Tabla 6. Modelos Hidráulicos utilizados en cada país

HEC-RAS

Desarrollado por la USACE, es un modelo hidráulico unidimensional utilizado para el análisis de corrientes y ríos. Se utiliza para modelar el flujo de agua, la erosión de riberas y la inundación de áreas adyacentes a ríos y arroyos. Cuenta con cuatro tipos de análisis: flujo en régimen permanente, no permanente, modelización del transporte de sedimentos y análisis de calidad de aguas.

Nos permite simular flujos en cauces naturales o canales artificiales para determinar el nivel del agua, incluso se puede incluir la existencia de obras hidráulicas, siendo así su objetivo principal el estudio de inundabilidad y determinar las zonas inundables.



Los resultados que ofrece son: resultados por secciones, en formas de tablas, gráficos, visualización sobre imágenes georreferencias entre otras.

Una de las ventajas es que es un método bastante aproximado en problemas de gran escala con una velocidad de cálculo muy elevada. [62]

MIKE DHI

Cuenta con programas útiles para la modelización de inundaciones en llanuras fluviales.

El modelado de inundaciones fluviales con MIKE FLOOD combina con el componente de modelo fluvial MIKE 11, y el de modelado de superficie 2D, MIKE 21, siendo una gran ventaja ya que permite escoger entre el cálculo bidimensional y unidimensional ahorrando tiempo de cálculo y memoria. Además, se puede llevar a cabo la modelización con componentes hidrológicos detalladas y la interacción de las aguas subterráneas y superficiales con MIKE SHE. Todos estos sirven para un mejor conocimiento de los impactos de las inundaciones visualizando la dinámica de las inundaciones en los ríos y llanuras.

MIKE FLOOD es un modelo de flujo bidimensional desarrollado por el Instituto Hidráulico Danés. Este modelo trabaja con un esquema numérico que soluciona de forma completamente dinámica las ecuaciones básicas, algo fundamental en simulación de inundaciones.

Permite calcular de manera exacta las velocidades en la zona inundable, el calado y la duración. Las inundaciones son causadas por una multitud de causas: lluvia con gran intensidad, gran duración de tormenta, escasa sección de transporte, atasco en los elementos de drenaje, etc. Todas estas causas las simula MIKE FLOOD. [63]/[64]

TUFLOW

Conjunto de programas de modelización hidráulica para simulación 1D/2D/3D para inundaciones, drenaje urbano, hidráulica costera, transporte de sedimentos, seguimiento de partículas y calidad del agua. Reconocido por su gran precisión del modelado hidráulico, velocidad y eficiencia.

Los programas de modelización son los siguientes:



- La modelización 1D: ESTRY

Es un potente solucionador que maneja desde grandes sistemas de ríos/ llanuras hasta complejas redes de tuberías.

- Modelización 2D mediante mallas que se conocen como Classic y HPC.

Classic es un esquema para cálculo hidráulicos hasta 2010. TUFLOW HPC es el nuevo estándar, con su esquema de volúmenes finitos espaciales. Permitiendo la construcción de mallas de tamaño de celda variable en cuestión de minutos.

- Malla flexible 2D/3D es aplicable a todos los contornos de flujo medioambiental, desde zonas costeras y estuarios hasta embalses de suministro de agua en tierras altas.

El enfoque de malla flexible significa que la forma y la orientación de las celdas del modelo pueden ajustarse a la naturaleza.[65]

TELEMAC

Conjunto de programas informáticos:

- Telemac 2D, resuelve las llamadas ecuaciones de aguas poco profundas. Puede realizar las simulaciones en condiciones transitorias y permanentes. Se utiliza en particular en el ámbito marítimo.
- Telemac 3D permite ondas más cortas que las de un contexto de aguas poco profundas (donde se requiere que las longitudes de onda sean al menos veinte veces la profundidad del agua). Resuelve ecuaciones tridimensionales tales como las ecuaciones de flujo de superficie libre y las ecuaciones de transporte-difusión de las magnitudes intrínsecas (temperatura, salinidad, concentración). Sus principales resultados, en cada punto en la malla de resolución en 3D, son la velocidad en las tres direcciones y las concentraciones de cantidades transportadas. La profundidad del agua es el principal resultado en lo que respecta a la malla de superficie 2D.[66]



IBER

Iber es una herramienta de modelización bidimensional del flujo en lámina libre en aguas poco profundas, es decir, sirve para calcular niveles de agua y velocidades en ríos, estuarios, canales, llanuras de inundación, obras hidráulicas, etc.

Iber es bidimensional o 2D. Esto significa que los resultados son la cota de agua y la velocidad del agua en las dos direcciones horizontales del espacio (x , y). El desarrollo de modelos bidimensionales se justifica para superar algunas limitaciones de los modelos unidimensionales.

Cuenta con 3 módulos de cálculo que trabajan sobre una malla no estructurada de volúmenes finitos formada por elementos triangulares o cuadriláteros:[58]

- Hidrodinámico (velocidad y calado). Para resolver la hidrodinámica, Iber resuelve ecuaciones que se deducen de dos leyes de conservación elementales que son la conservación de la masa y conservación de la cantidad de movimiento. Estas leyes físicas se traducen en unas expresiones matemáticas que son las ecuaciones de Navier- Stokes (gobiernan el movimiento de un fluido en tres dimensiones del espacio). De estas se deducen las ecuaciones de Saint Venant en dos dimensiones, que son las ecuaciones básicas que resuelven el módulo hidrodinámico de Iber.
- Transporte de sedimentos (cargas en suspensión y carga de fondo).
- Turbulencia (viscosidad turbulenta y disipación).

Adicionalmente a los módulos anteriores, Iber cuenta con una serie de capacidades que lo convierten en una herramienta útil para la resolución de problemas que abarcan distintos campos como:[58]

- Dinámica fluvial.
- Evaluación y la gestión del riesgo de inundación.
- Diseño de obras hidráulicas.
- Restauración de ríos.



- Flujo en estuarios.
- Drenaje urbano.

Se pueden obtener resultados de toda clase de parámetros (calados, velocidades, número de Froude, caudal específico, etc.) y cuenta con múltiples opciones de visualización como gráficos, animaciones, tablas, resultados por secciones..., pero además presenta la ventaja de ser compatible con diferentes sistemas de información geográfica ya que permite exportar los resultados de cada variable en formato ráster lo que nos facilita el manejo de la información y nos permite mejorar su representación visual.[67]

INFORWORKS

InfoWorks ICM es un software integrado y avanzado de modelado de las cuencas vertientes con funciones en la nube para crear elementos complejos de forma rápida y precisa en un entorno de colaboración. Diseñado con el objetivo de mejorar la planificación y la gestión de aguas pluviales y residuales. [55]

Es un modelo hidrodinámico con las siguientes características: [56]

- Emplea ecuaciones de Navier-Stokes para movimiento de un fluido incompresible poco profundo (eliminando la componente vertical de estas).
- Mallado triangular sin estructura, posibilidad de incluir líneas de rotura.
- Mallado “inteligente”, con la posibilidad de limitar el desnivel máximo entre vértices del triángulo para lograr mayor densidad en zonas con mayor desnivel.

Una de las mayores ventajas con las que cuenta el modelo es la simulación y bases de datos en la nube, esto reduce el tiempo de inactividad de los proyectos con simulaciones rápidas para la ayuda de decisiones claras y firmes. Además, agiliza la creación de modelos y la introducción de datos ganando así el tiempo necesario para la interpretación de los resultados.[55]

Los parámetro que utiliza son:[56]



- Datos geométricos con definición del contorno por medio de un MDT (modelo digital del terreno).
- Datos hidráulicos (estos pueden estar suministrados como hidrogramas en la entrada del cauce o como lluvia directa).
- Condiciones de contorno. Las condiciones posibles son:
 - Condición “seca” aguas abajo, presupone que en la sección final el agua vierte saliendo del contorno definido.
 - Condición “normal”, es decir que la pendiente del flujo será igual a la pendiente media del terreno en esa zona.
 - Sección crítica, considera que en la sección final se produce un régimen crítico (muy similar a la condición seca).
 - Nivel conocido, cuando se supone que en la sección de salida se conoce el nivel.
 - Curva de caudal/ calado conocida.

Las soluciones que ofrece son modelar, simular y gestionar una variedad de aspectos contribuyendo al diseño y operación efectiva de infraestructuras hídricas.

6. SISTEMAS DE AVISO A LA POBLACIÓN

[6]Es indispensable un buen sistema de aviso que consista en advertir a la población para que se tomen las medidas necesarias, conozcan la situación creada y sigan las instrucciones de seguridad que se les indiquen las autoridades competentes.

6.1 SERVICIO DE SEGUIMIENTO Y ALERTA

La alerta es el estado que se declara poco antes de la presencia de un fenómeno que afectará a un determinado territorio con el fin de que las instituciones ejecuten los planes de respuesta a emergencia. De esta forma la población estará informada y tomará las precauciones necesarias que garanticen su seguridad personal y la de sus bienes materiales. [68]



La alerta se realiza normalmente mediante sirenas y/o megafonía fija. Pueden considerarse otros sistemas como telefónicos, medios de comunicación, paneles de mensaje variable, redes sociales o megafonía móvil entre otros. Estos se acompañan de divulgación, con las que se informa de cómo actuar ante las diversas situaciones que se pueden producir.[6]

6.2 TRANSMISIÓN DE DATOS

La información se adquiere desde las estaciones en intervalos de cinco minutos y se transmite mediando tecnologías como GSM-R (sistema de comunicación digital inalámbrico específicamente para la comunicación ferroviaria) o satélite (utilizado SIM) hacia un servidor, el cual puede estar ubicado físicamente o en la nube. En este servidor, programas automatizados ejecutan simulaciones de forma continua, utilizando los datos que obtiene. En el caso de que algunas de esas simulaciones sobrepasen los umbrales de peligrosidad (amarillo, naranja y rojo) se activarán los procedimientos establecidos.

6.3 CAPACIDAD DE RESPUESTA

Es de gran importancia que las comunidades comprendan el riesgo que corren, respeten el servicio de alerta y sepan cómo reaccionar. Los programas de educación y preparación desempeñan un papel esencial. Asimismo, es indispensable que existan planes de gestión de desastres que hayan sido objeto de prácticas y sometidas a prueba. La población debe de estar muy bien informada sobre las opciones cuanto a una conducta segura, las rutas de escape existentes y la mejor forma de evitar daños y pérdidas de bienes.[69]

7. CLIMATOLOGÍA Y OROGRAFÍA EN EL NORTE

La meseta central es la unidad de relieve más antigua ocupando una gran superficie a una altura media de 600 m sobre el nivel del mar. Se encuentra rodeada de macizos montañosos de los cuales depende la distribución de las precipitaciones siendo más abundantes en el norte y este.[70]

La orografía de la meseta favorece el desarrollo de tormentas en algunas zonas. El borde oriental de la submeseta sur, dónde se produce una convergencia entre los vientos del suroeste y los del



este. Estos vientos se ven forzados a descender por el relieve, lo que genera nubes de desarrollo vertical que pueden dar lugar a precipitaciones intensas y granizo. Sin embargo, esta suele ser de corta duración y rápido desplazamiento, debido a la alta radiación solar que caracteriza la meseta.[71]

Por otro lado, las tormentas formadas en el Cantábrico son la interacción entre el mar y la montaña. El mar Cantábrico es de las zonas más expuestas debido al paso de frecuentes borrascas que traen fuertes vientos. Estas cuando llegan al Cantábrico, se encuentran con la barrera orográfica de la cordillera Cantábrica, que obliga que el aire húmedo y frío ascender y condensarse, formando nubes y precipitaciones. Este proceso es conocido como Föhn que provoca un contraste entre las zonas de barlovento (donde sopla el viento) y las de sotavento (donde el viento pierde fuerza).[72]

En el Cantábrico, la singularidad temporal es mayor que en la meseta, ya que el tiempo meteorológico depende mucho de la influencia del mar y la montaña, que son factores dinámicos y cambiantes. Mientras que, en la Meseta, el tiempo está más determinado por la continentalidad, es decir, la distancia al mar, que es un factor más estático y uniforme.

Además, en el Cantábrico pueden darse fenómenos extremos como las galernas, que son temporales súbitos y violentos con fuertes ráfagas de viento del oeste al noroeste que suelen azotar algunas zonas del mar Cantábrico. Estas pueden provocar cambios bruscos de temperatura, presión y oleaje en cuestión de minutos, lo que dificulta más aún la predicción meteorológica.[73] [74]

8. APLICACIÓN EN EL CANTÁBRICO

Tras un exhaustivo análisis de las opciones disponibles en la actualidad y considerando las características singulares de la cuenca cantábrica, surge la iniciativa de diseñar un Sistema de Ayuda a la Decisión (SAD) basado en las herramienta previamente estudiadas. Se propone una solución de una estación que se adapte a las necesidades específicas de esta región.

Esta se fundamenta en la revisión de diversas agencias meteorológicas, modelos hidráulicos y modelos hidrológicos, seleccionando aquellos más adecuados para el caso de estudio en las cuencas del Cantábrico. Las siguientes agencias y modelos seleccionados, además de presentar notables ventajas, destacan por su enfoque local.



8.1 AGENCIA METEOROLÓGICA ELEGIDA

La agencia Meteorológica escogida es AEMET. Es la agencia encargada de la predicción, observación, vigilancia y divulgación meteorológica en España. Además, cuenta con múltiples ventajas:

- Proporciona información detallada sobre el tiempo y el clima incluyendo predicciones, avisos, observaciones y anuncios.
- Ofrece servicios climáticos para una amplia gama de sectores, incluyendo agricultura, energía, transporte, turismo y medio ambiente.
- Proporciona acceso a datos meteorológicos y climatológicos abiertos y gratuitos a través de su portal de datos abiertos.
- Lleva a cabo proyectos de investigación y desarrollo para mejorar la predicción meteorológica y climatológica.

8.2 MODELO HIDROLÓGICO ELEGIDO

El modelo hidrológico escogido es el TETIS ya que cuenta con numerosas fortalezas entre las que cabe destacar: [75]

- Es un software libre sin ningún tipo de coste. Esta es una de las mayores ventajas ya que se puede utilizar en cualquier tipo de investigación, crear una mayor cantidad de usuarios, permitiendo una mayor cantidad de tutoriales, documentación y blogs en base de la comunidad de usuarios del programa.
- El modelo es completo al simular una serie de procesos del ciclo hídrico. Útil tanto como para la aplicación en climas áridos, zonas lluviosas y zonas de inviernos extremos.
- Permite simular la variación en los procesos físicos del ciclo hídrico. En este caso TETIS lo hace en un formato grillado.
- Al ser un modelo desarrollado en España, el manual en español es un buen soporte con una adecuada y precisa descripción del funcionamiento del sistema.



8.3 MODELO HIDRÁULICO ELEGIDO

El modelo hidráulico elegido es el IBER, una herramienta de simulación hidráulica que permite la simulación de flujos. Resuelve hidrodinámica, turbulencia, transporte de sedimentos, procesos de calidad el agua y hábitat. Ventajas con las que cuenta este modelo: [76]

- Es un software libre permitiendo así un fácil acceso tanto por parte del sector público como el privado.
- Modelos en dos dimensiones, esto ofrece grandes ventajas con respecto a los cálculos unidimensionales, ya sean en régimen variable o permanente, dando una mayor estabilidad y convergencia. Además, los modelos bidimensionales son capaces de simular con mayor ajuste a la realidad todas aquellas situaciones en que el flujo no es exclusivamente unidireccional, ampliándose por tanto enormemente su campo de utilización. [77]

9. PROPUESTA: INSTALACIÓN DE UNA ESTACIÓN SAIH

En este apartado, se presta una propuesta de estación que integra todos los elementos investigados, ofreciendo así una solución integral para la monitorización y gestión de recursos hídricos en la cuenca cantábrica.

Dentro de diseño del SAD para la cuenca cantábrica, es esencial abordar las diferentes partes que componen la instalación, la instrumentación necesaria y los aspectos presupuestarios asociados. A continuación, se detallan estos aspectos clave:

- **Instalación**
 1. Selección de ubicación (identificar las ubicaciones estratégicas basadas en el análisis topográfico y climático de la cuenca cantábrica).
 2. Diseño de caseta (desarrollo de una caseta resistente a las condiciones climáticas específicas de la región junto con la integración de sistemas de energía renovable para garantizar la autonomía energética).



3. Conectividad y transmisión de datos (implementación de tecnologías de transmisión en tiempo real para asegurar la entrega suficiente de datos a la nube).

- **Instrumentación**

1. Sensores meteorológicos (elección de aquellos que se adapten al clima del cantábrico, incluyendo medidores de precipitación, temperatura, humedad y velocidad del viento)
2. Sensores hidrológicos (instrumentación específica para la monitorización de caudales, niveles de agua y calidad del agua).
3. Sistemas de alimentación (integración de fuentes de energía sostenibles como paneles solares para asegurar la continuidad de las operaciones).
4. Dispositivos de transmisión (implementación de transmisión seguros y eficientes).

- **Presupuestos**

1. Costes unitarios/descompuestos de los diferentes materiales, maquinaria, mano de obra, costos operativos y mantenimiento (asociado al mantenimiento, monitorización remota y la gestión de datos).
2. Presupuesto total (presupuesto global que permita una gestión eficiente del proyecto).

9.1 PARTES DE LA ESTACIÓN

Dentro de la disposición de elementos propuesta para la estación SAIH podemos distinguir:

- Sistema de alimentación fotovoltaico: placas solares fotovoltaicas para alimentación de esta.
- Armario eléctrico general: armario general con datalogger y regulador de carga y batería.

- Instrumentación: transmisor de nivel tipo radar, pluviómetro y sonda de temperatura con protección de radiación solar.
- Cámara IP: para la toma de imágenes.

9.1.1 SISTEMA FOTOVOLTAICO

La estación estará alimentada por varios paneles solares fotovoltaicos debido a la baja irradiación del emplazamiento, por consiguiente, también se instalará un regulador de carga.



Ilustración 39. Planta solar fotovoltaica de 100 W



Ilustración 40. Regulador de carga solar



9. 1.2. ARMARIO ELÉCTRICO

De acuerdo con la disposición de elementos descrita anteriormente, habrá un armario eléctrico. El modelo de armario será de tipo poliéster reforzado con fibra de vidrio y un índice de protección IP66 por estar este a la intemperie.



Ilustración 41. Modelo de armario utilizado

Características del armario:

- Armario Polyester, reforzado con fibra de vidrio.
- Placa de montaje de baquelita.
- Carriles simétricos de 35mm.
- Dispositivos de ventilación para evitar condensaciones.
- Dispositivo de purga.
- Bloque de candado.
- Conjunto de fijación poste.
- IP66.

9.1.3. DATALOGGER CON GESTOR DE COMUNICACIONES GSM/GPRS

[78]

Se instalará un datalogger al cuál se cablearán las señales de la instrumentación para su posterior transmisión GSM/GPRS. Se trata de un sistema modular y escalable pero con facilidad de configuración y uso conocida y apreciada por los usuarios.



Ilustración 42. Datalogger M102 de Microcom

Características:

- Alimentación: 9 a 30 V y que proporcione al menos 10W. El consumo puede ser superior en función del número de entradas/salidas instaladas.
- Consumo:
 - En reposo: 40 mA a 12V.
 - Máximo: 500 mA a 12V.
- 8 entradas digitales con una tensión de activación de 5 a 30 v.
- 4 entradas analógicas de tipo 0/20 – 4/20 20mA.
- 1 salida digital de tipo colector abierto con una intensidad máxima de 500 mA.



9.1.4 TORRETA DE CELOSÍA

El conjunto de la estación ira montado sobre una torreta de celosía de tres metros de altitud que a su vez ira anclada sobre una zapata de hormigón dentro de un cerramiento metálico. Se utilizará una torreta de acero galvanizado, con una estructura de sección triangular de 360 mm de lado.

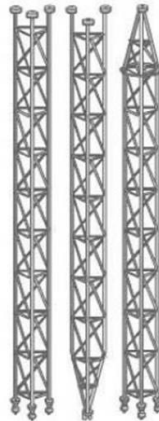


Ilustración 43. Torretas de celosías

9.2 INSTRUMENTACIÓN

9.2.1 MEDIDA DE NIVEL DEL RÍO [79]

Para la medida se contempla la instalación de un transmisor de nivel tipo radar para la medición continua de nivel de líquidos. El sensor representa una solución económica debido a sus posibilidades de montaje universales y fáciles. Su sistema de antenas encapsulado garantiza un régimen continuo sin mantenimiento.

Las ventajas con las que cuenta el producto son:

- Operación sin mantenimiento gracias al método de medición sin contacto.
- Gran disponibilidad de instalación gracias a la ausencia de desgaste y de mantenimiento.
- Resultados exactos de medición independientemente de las condiciones de proceso.

Funciona mediante impulsos de microondas extremadamente cortos emitidos por el sistema de antenas sobre el producto a medir, reflejados por la superficie del producto y captados

nuevamente por el sistema de antenas. El tiempo desde la transmisión hasta la recepción de la señal es proporcional al nivel en el depósito.

El transmisor es similar al que se muestra en la siguiente imagen:



Ilustración 44. Transmisor de nivel tipo radar



Ilustración 45. Instalación del transmisor de nivel tipo radar

Las características del producto son:



- Rango de medición de 35 m.
- Error de medición de $\pm 2\text{mm}$.
- Alimentación de 10-30 V DC.
- Salida analógica de 4-20 mA/ HART
- Grados de protección IP68
- Las carcasas son de material plástico.

9.2.2 PLUVIOMETRÍA [80]

Se instalará un pluviómetro de alta precisión para la medida de precipitación en el interior del cerramiento. La ubicación de este instrumento influye mucho en la medición de la precipitación (evitar lugares propensos a la contaminación por residuos).

En cuanto al mantenimiento:

- El pluviómetro debe inspeccionarse periódicamente.
- Las conexiones eléctricas deben inspeccionarse y limpiarse.
- Los tornillos de nivelación se deben de reajustar.
- Conveniente realizar una recalibración para garantizar la precisión de la medición.



Ilustración 46. Pluviómetro

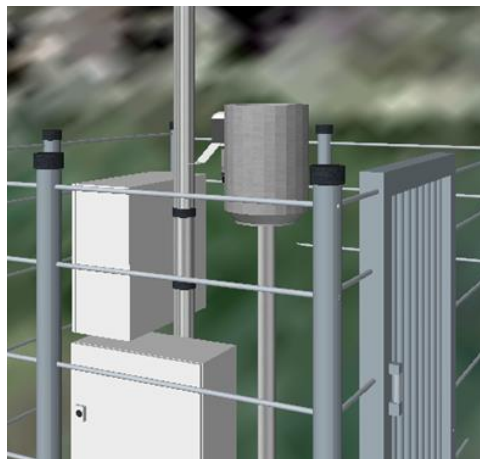


Ilustración 47. Instalación del pluviómetro en el interior del cerramiento de acuerdo al Modelo 3D

Características:

- Precisión: 0,1 mm
- Área de recolección: 200 cm²



9.2.3 MEDIDA DE TEMPERATURA [81]

Siguiendo el modelo del resto de estaciones SAIH de la red, se instalará una sonda de temperatura para la medida de esta, que ira montada en el mismo mástil que el pluviómetro.

El escudo contra la radiación protege los sensores de temperatura y humedad de la radiación solar y las precipitaciones ya que producen errores. Se basa en una combinación de material y ventilación natural para proporcionar un blindaje eficaz.

El producto está diseñado para montaje en áreas abiertas y para obtener un mayor rendimiento de este debe colocarse en un lugar con las siguientes características:

- Buena circulación de aire alrededor del escudo.
- Lejos de elementos metálicos, maquinarias, motores, aguas estancadas, fuentes de agua y aspersores.

Una de las ventajas con las que cuenta es que no requiere un mantenimiento regular en condiciones normales de uso. La acumulación de suciedad o polvo en las placas pueden limpiarse con agua y jabón (no utilizar disolventes). A continuación se puede observar una sonda de temperatura con protección:



Ilustración 48. Sonda de temperatura con protección de radiación solar

Características sonda de temperatura:



- Rango de medida: -50°C a +50°C.
- Precisión a 23°C: $\pm 0,3^\circ\text{C}$
- Tipo de sensor: RTD platino.
- Señal de salida: 4-20 20mA.

9.2.4 CÁMARA IP

Se instalará una cámara IP para recopilar mediciones, especialmente cuando se realiza en un ambiente al aire libre. En estos casos, factores externos como ramas, animales u otros pueden distorsionar los datos recopilados. Una característica importante es su capacidad para inspeccionar cualquier desviación sin que el operador tenga que visitar físicamente el lugar. Esta herramienta no solo facilita la identificación de posibles obstáculos, sino también permite realizar pruebas ambientales precisas permitiendo una evaluación más completa y precisa de las condiciones del sitio. Dicha cámara ira conectada a un modem 3G para la transmisión de las mismas el cual irá ubicado en el interior del armario eléctrico.



Ilustración 49. Cámara IP



Ilustración 50. Modem 3G para la transmisión de estas

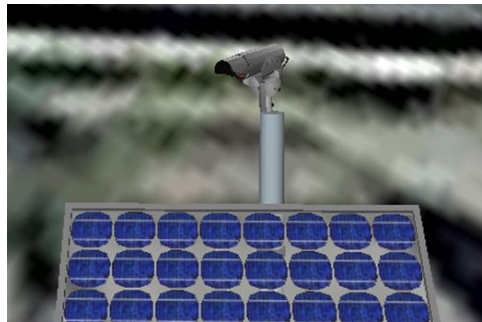


Ilustración 51. Cámara IP instalada en la parte superior del mástil de acuerdo al Modelo 3D



9. 3 PRESUPUESTO

9.3.1 PRECIOS UNITARIOS- MATERIALES

CÓDIGO	UD	DESCRIPCIÓN	PRECIO
ARMAP3	ud	Armario aislante, IP66, 747 x 536 x 300mm	265,52
BATPA7	ud	Batería recargable de plomo acido de 60 Ah	245,54
BLOQC1	ud	Bloqueo por candado para armario PLM	24,50
BORCX1	ud	Borne terminal pasante, sujeto con tornillo	1,16
BORTI1	ud	Borne de tierra, 2 vías, sujeto con tornillo	3,67
CABIN1	m	Cable apantallado trenzado 2x1 mm2	0,36
CAMIP1	ud	Cámara IP para meteorología	810,00
CANCB1	ud	Canaleta de panel ranurada (25 mm. / 2m.)	7,31
CARRS1	ud	Carril simétrico P/PLM - 54/64	2,98
CONCS2	ud	Controlador de carga solar 12/24V 10A	118,08
CONMC1	ud	Conmutador mando carril DIN	28,53
CONOP1	ud	Conjunto obturador posterior P/PLM-64/75/86	4,43
DATLO1	ud	Datalogger con gestor de comunicaciones	567,20
DISPP1	ud	Dispositivo purga	1,90
ARMAP3	ud	Armario aislante, IP66, 747 x 536 x 300mm	265,52
BATPA7	ud	Batería recargable de plomo acido de 60 Ah	245,54
BLOQC1	ud	Bloqueo por candado para armario PLM	24,50
BORCX1	ud	Borne terminal pasante, sujeto con tornillo	1,16
BORTI1	ud	Borne de tierra, 2 vías, sujeto con tornillo	3,67
CABIN1	m	Cable apantallado trenzado 2x1 mm2	0,36
CAMIP1	ud	Cámara IP para meteorología	810,00
CANCB1	ud	Canaleta de panel ranurada (25 mm. / 2m.)	7,31
CARRS1	ud	Carril simétrico P/PLM - 54/64	2,98
CONCS2	ud	Controlador de carga solar 12/24V 10A	118,08
CONMC1	ud	Conmutador mando carril DIN	28,53
CONOP1	ud	Conjunto obturador posterior P/PLM-64/75/86	4,43
DATLO1	ud	Datalogger con gestor de comunicaciones	567,20
DISPP1	ud	Dispositivo purga	1,90
PRTFS1	ud	Portafusible	5,18
PUERT1	ud	Puerta peatonal de 2 x 1 m, acabada en galvanizado	121,15
RU4G1	ud	Router 4G de comunicaciones	257,28
SHZP1	ud	Soporte horizontal para pluviometro	54,45
SONDT1	ud	Sonda de temperatura con sensor Pt 1000	708,00
SOPPS1	ud	Soporte de panel solar	81,97
TCQU1	ud	Taco químico 280 ml	10,25
TORRC1	ud	Torreta de celosía de 3 m. de altura	435,60



TRNTR1	ud	Transmisor de nivel, tipo radar. Rango de medición: 35 m.	2.039,53
TUBFL2	ud	Tubo flexible metálico con recubrimiento de plástico Pg 13,5 (8 m.)	30,72
TUBRP1	ud	Tubo rígido de PVC de 20 mm con manguito (5 m.)	2,25
UTSCM1	ud	Utillaje sujeción caja mástil	41,29

9.3.2 PRECIOS UNITARIOS - MAQUINARIA

CÓDIGO	UD	DESCRIPCIÓN	PRECIO
M01055	h	Retrocarga 71/100 CV, Cazo: 0,9-0,18 m ³	42,87
M02007	h	Bandeja vibrante manual	6,05
M02018	h	Vibrador hormigón	25,51
M06002	jor	Vehículo ligero 71-100 CV, sin mano de obra	40,36
M06011	jor	Vehículo todoterreno 86-110 CV, sin mano de obra	66,25

9.3.3 PRECIOS UNITARIOS – MANO DE OBRA

CÓDIGO	UD	DESCRIPCIÓN	PRECIO
O01001	h	Capataz	27,14
O01004	h	Oficial 1ª	24,45
O01005	h	Oficial 2ª	19,55
O01009	h	Peón régimen general	18,09
O03007	h	Titulado medio o grado de 5 a 10 años de experiencia	31,13
O03009	h	Titulado medio o grado de 1 a 3 años de experiencia	20,61
O03025	h	Jefe de proyecto	51,79
O03044	jor	Dieta completa dentro del territorio nacional	108,20
O03046	jor	Dieta manutención dentro del territorio nacional	39,15

9.3.4 PRECIOS UNITARIOS (cont.) – OTROS

CÓDIGO	UD	DESCRIPCIÓN	PRECIO
L01066	ud	Casco de seguridad ABS o PEAD con anagrama, blanco	7,01
L01087	ud	Gafas montura universal/Cubregafa incolora	6,05
L01134	par	Guantes piel protección riesgos mecánicos	1,41
L01156	par	Botas de seguridad goma o PVC Categoría SB+P	7,16
L01194	ud	Ropa de trabajo de alta visibilidad: chaquetilla y pantalón	19,70
L01237	ud	Cartel indicativo de riesgos general, colocado	7,31
L14032	m ³	Suplemento transporte de hormigón, D<= 15 km	3,76



9.3.5 PRECIOS UNITARIOS - PORCENTAJES

CÓDIGO	UD	DESCRIPCIÓN	PRECIO
%1.0CI	%	Costes indirectos 1,0 %	1,00
%2.5CI	%	Costes indirectos 2,5 %	2,50
%4.0GG	%	Gastos generales 4,0 %	4,00

9.3.6 PRECIOS DESCOMPUESTOS

Ord 1

CÓDIGO	CANTIDAD	UD	DESCRIPCIÓN	PRECIO	SUBTOTAL
1.1.1		ud	Estudio e ingeniería		
003025	1,00	h	Jefe de proyecto	51,79	51,79
003007	8,00	h	Titulado medio o grado de 5 a 10 años de experiencia	31,13	249,04
003009	32,00	h	Titulado medio o grado de 1 a 3 años de experiencia	20,61	659,52
%1.0CI	1,00	%	Costes indirectos 1,0%	960,35	9,60
%4.0GG	4,00	%	Gastos generales 4,0%	969,95	38,80

TOTAL PARTIDA				1.008,75
----------------------	--	--	--	-----------------

Ord2

CÓDIGO	CANTIDAD	UD	DESCRIPCIÓN	PRECIO	SUBTOTAL
2.1.1		ud	Fabricación e instalación de armario eléctrico		
003007	8,00	h	Titulado medio o grado de 5 a 10 años de experiencia	31,13	249,04
003009	16,00	h	Titulado medio o grado de 1 a 3 años de experiencia	20,61	329,76
001004	6,00	h	Oficial 1ª	24,45	146,70
003046	1,00	jor	Dieta manutención dentro del territorio nacional	39,15	39,15
003044	1,00	jor	Dieta completa dentro del territorio nacional	108,20	108,20
M06002	1,00	jor	Vehículo ligero 71-100 CV, sin mano de obra	40,36	40,36
%1.0CI	1,00	%	Costes indirectos 1,0%	913,21	9,13
%4.0GG	4,00	%	Gastos generales 4,0%	922,34	36,89
ARMAP3	1,00	ud	Armario aislante, IP66, 747 x 536 x 300mm	265,52	265,52
BLOQC1	2,00	ud	Bloqueo por candado para armario PLM	24,50	49,00
BORCX1	20,00	ud	Borne terminal pasante, sujeto con tornillo	1,16	23,20
BORTI1	2,00	ud	Borne de tierra, 2 vías, sujeto con tornillo	3,67	7,34
CANCB1	2,00	ud	Canaleta de panel ranurada (25 mm. / 2m.)	7,31	14,62
CARRS1	2,00	ud	Carril simétrico P/PLM - 54/64	2,98	5,96



CONMC1	1,00	ud	Conmutador mando carril DIN	28,53	28,53
CONOP1	1,00	ud	Conjunto obturador posterior P/PLM-64/75/86	4,43	4,43
DATLO1	1,00	ud	Datalogger con gestor de comunicaciones	567,20	567,20
DISPP1	2,00	ud	Dispositivo purga	1,90	3,80
DISPV1	2,00	ud	Dispositivo ventilación	3,35	6,70
PRTFS1	2,00	ud	Portafusible	5,18	10,36
FUSIB1	2,00	ud	Fusible	0,48	0,96
INTMT1	1,00	ud	Interruptor magnetotérmico 6A	46,88	46,88
LMTST1	1,00	ud	Limitador de sobretensiones 1P+N	149,47	149,47
P25208	10,00	m	Cable H07V-K 1x1,5 mm ² Cu (p.o.)	0,12	1,20
P25109	2,00	m	Cable RV-K 0,6/1 3x2,5 mm ² (Cu) (p.o.)	0,71	1,42
PLMAI1	1,00	ud	Placa de montaje aislante 600x400	37,02	37,02
PRENT1	4,00	ud	Prensaestopas	0,75	3,00
UTSCM1	1,00	ud	Utillaje sujección caja mástil	41,29	41,29

TOTAL PARTIDA				2.227,13
----------------------	--	--	--	-----------------

Ord 3

CÓDIGO	CANTIDAD	UD	DESCRIPCIÓN	PRECIO	SUBTOTAL
2.1.2		ud	Instalación torreta		
O01004	2,00	h	Oficial 1ª	24,45	48,90
%1.0CI	1,00	%	Costes indirectos 1,0%	48,90	0,49
%4.0GG	4,00	%	Gastos generales 4,0%	49,39	1,98
TCQU1	0,50	ud	Taco químico 280 ml	10,25	5,13
TORRC1	1,00	ud	Torreta de celosía de 3 m. de altura	435,60	435,60

TOTAL PARTIDA				492,10
----------------------	--	--	--	---------------

9.3.7 PRECIOS DESCOMPUESTOS (cont.)

Ord 4

CÓDIGO	CANTIDAD	UD	DESCRIPCIÓN	PRECIO	SUBTOTAL
2.2.1		ud	Instalación pluviómetro		
O03007	2,00	h	Titulado medio o grado de 5 a 10 años de experiencia	31,13	62,26
O01004	2,00	h	Oficial 1ª	24,45	48,90
O03044	0,25	jor	Dieta completa dentro del territorio nacional	108,20	27,05
O03046	0,25	jor	Dieta manutención dentro del territorio nacional	39,15	9,79
M06002	0,25	jor	Vehículo ligero 71-100 CV, sin mano de obra	40,36	10,09
%1.0CI	1,00	%	Costes indirectos 1,0%	158,09	1,58
%4.0GG	4,00	%	Gastos generales 4,0%	159,67	6,39
PLUVI2	1,00	ud	Pluviómetro de cazoletas basculantes. Resolución 0,1 mm.	878,46	878,46
			Carcasa de acero inoxidable		



SHZP1	1,00	ud	Soporte horizontal para pluviómetro	54,45	54,45
TUBFL2	0,40	ud	Tubo flexible metálico con recubrimiento de plástico Pg 13,5 (8 m.)	30,72	12,29
CABIN1	3,00	m	Cable apantallado trenzado 2x1 mm ²	0,36	1,08
TOTAL PARTIDA					1.112,34

Ord 5

CÓDIGO	CANTIDAD	UD	DESCRIPCIÓN	PRECIO	SUBTOTAL
2.2.2		ud	Instalación transmisor de nivel		
O03007	5,00	h	Titulado medio o grado de 5 a 10 años de experiencia	31,13	155,65
O01004	5,00	h	Oficial 1 ^a	24,45	122,25
O03044	0,50	jor	Dieta completa dentro del territorio nacional	108,20	54,10
O03046	0,50	jor	Dieta manutención dentro del territorio nacional	39,15	19,58
M06002	0,50	jor	Vehículo ligero 71-100 CV, sin mano de obra	40,36	20,18
%1.0CI	1,00	%	Costes indirectos 1,0%	371,76	3,72
%4.0GG	4,00	%	Gastos generales 4,0%	375,48	15,02
CABIN1	50,00	m	Cable apantallado trenzado 2x1 mm ²	0,36	18,00
P25008	20,00	m	Tubo flexible PVC ø 63 mm subterráneo (p.o.)	0,82	16,40
TRNTR1	1,00	ud	Transmisor de nivel, tipo radar. Rango de medición: 35 m.	2.039,53	2.039,53
TUBRP1	6,00	ud	Tubo rígido de PVC de 20 mm con manguito (5 m.)	2,25	13,50
TUBFL2	0,50	ud	Tubo flexible metálico con recubrimiento de plástico Pg 13,5 (8 m.)	30,72	15,36
TOTAL PARTIDA					2.493,29

Ord 6

CÓDIGO	CANTIDAD	UD	DESCRIPCIÓN	PRECIO	SUBTOTAL
2.2.3		ud	Instalación sonda de temperatura		
O03007	2,00	h	Titulado medio o grado de 5 a 10 años de experiencia	31,13	62,26
O01004	2,00	h	Oficial 1 ^a	24,45	48,90
O03044	0,25	jor	Dieta completa dentro del territorio nacional	108,20	27,05
O03046	0,25	jor	Dieta manutención dentro del territorio nacional	39,15	9,79
M06002	0,25	jor	Vehículo ligero 71-100 CV, sin mano de obra	40,36	10,09
%1.0CI	1,00	%	Costes indirectos 1,0%	158,09	1,58
%4.0GG	4,00	%	Gastos generales 4,0%	159,67	6,39
CABIN1	3,00	m	Cable apantallado trenzado 2x1 mm ²	0,36	1,08
PRORS1	1,00	ud	Protector de radiación solar con ventilación natural, para sondas de temperatura y humedad	228,00	228,00



SONDT1	1,00	ud	Sonda de temperatura con sensor Pt 1000	708,00	708,00
TUBFL2	0,50	ud	Tubo flexible metálico con recubrimiento de plástico Pg 13,5 (8 m.)	30,72	15,36

TOTAL PARTIDA				1.118,50
----------------------	--	--	--	-----------------

Ord 7

CÓDIGO	CANTIDAD	UD	DESCRIPCIÓN	PRECIO	SUBTOTAL
2.3.1		ud	Sistema fotovoltaico		
O03007	40000	h	Titulado medio o grado de 5 a 10 años de experiencia	31,13	124,52
O01004	40000	h	Oficial 1ª	24,45	97,80
O03046	0,5000	jor	Dieta manutención dentro del territorio nacional	39,15	19,58
O03044	0,5000	jor	Dieta completa dentro del territorio nacional	108,20	54,10
M06002	0,5000	jor	Vehículo ligero 71-100 CV, sin mano de obra	40,36	20,18
%1.0CI	10000	%	Costes indirectos 1,0%	316,18	3,16
%4.0GG	40000	%	Gastos generales 4,0%	319,34	12,77
BATPA7	10000	ud	Batería recargable de plomo acido de 60 Ah	245,54	245,54
CONCS2	10000	ud	Controlador de carga solar 12/24V 10A	118,08	118,08
P25103	50000	m	Cable RV-K 0,6/1 2x2,5 mm² (Cu) (p.o.)	0,52	2,60
PANSF3	20000	ud	Panel solar 100 W	413,62	827,24
TUBFL2	10000	ud	Tubo flexible metálico con recubrimiento de plástico Pg 13,5 (8 m.)	30,70	30,72
SOPPS1	10000	ud	Soporte de panel solar	81,97	81,97

TOTAL PARTIDA				1.638,26
----------------------	--	--	--	-----------------

Ord 8

CÓDIGO	CANTIDAD	UD	DESCRIPCIÓN	PRECIO	SUBTOTAL
2.4.1		ud	Instalación cámara IP		
O03007	2,00	h	Titulado medio o grado de 5 a 10 años de experiencia	31,13	62,26
O01004	2,00	h	Oficial 1ª	24,45	48,90
O03046	0,25	jor	Dieta manutención dentro del territorio nacional	39,15	9,79
O03044	0,25	jor	Dieta completa dentro del territorio nacional	108,20	27,05
M06002	0,25	jor	Vehículo ligero 71-100 CV, sin mano de obra	40,36	10,09
%1.0CI	1,00	%	Costes indirectos 1,0%	158,09	1,58
%4.0GG	4,00	%	Gastos generales 4,0%	159,67	6,39
CAMIP1	1,00	ud	Cámara IP para meteorología	810,00	810,00
RU4G1	1,00	ud	Router 4G de comunicaciones	257,28	257,28

TOTAL PARTIDA				1.233,34
----------------------	--	--	--	-----------------



Ord 9

CÓDIGO	CANTIDAD	UD	DESCRIPCIÓN	PRECIO	SUBTOTAL
E02218		ud	Toma de tierra independiente con pica		
O01004	1,10	h	Oficial 1ª	24,45	26,90
O01005	1,10	h	Oficial 2ª	19,55	21,51
P25158	1,00	ud	Pica de toma de tierra 200/14,3 Fe+Cu (p.o.)	14,37	14,37
P25137	7,00	m	Conductor Cu desnudo 35 mm² (p.o.)	2,31	16,17
%2.5CI	2,50	%	Costes indirectos 2,5%	78,95	1,97
%4.0GG	4,00	%	Gastos generales 4,0%	80,92	3,24

TOTAL PARTIDA					84,16
---------------	--	--	--	--	-------

Ord 10

CÓDIGO	CANTIDAD	UD	DESCRIPCIÓN	PRECIO	SUBTOTAL
COLCE1		m	Colocación cerramiento exterior		
O01001	0,60	h	Capataz	27,14	16,28
O01004	0,60	h	Oficial 1ª	24,45	14,67
M06011	0,10	jor	Vehículo todoterreno 86-110 CV, sin mano de obra	66,25	6,63
O03046	0,20	jor	Dieta mantenimiento dentro del territorio nacional	39,15	7,83
%2.5CI	2,50	%	Costes indirectos 2,5%	45,41	1,14
%4.0GG	4,00	%	Gastos generales 4,0%	46,55	1,86
ESCCP1	0,40	ud	Poste escuadra para cerramiento simple torsión	27,23	10,89
MALLS1	1,00	m	Malla simple torsión 50x14	3,81	3,81
PUERT1	0,10	ud	Puerta peatonal de 2 x 1 m, acabada en galvanizado	121,15	12,12

TOTAL PARTIDA					75,23
---------------	--	--	--	--	-------

Ord 11

CÓDIGO	CANTIDAD	UD	DESCRIPCIÓN	PRECIO	SUBTOTAL
I03005		m3	Excavación mecánica zanja, terreno compacto		
M01055	0,074	h	Retrocarga 71/100 CV, Cazo: 0,9-0,18 m³	42,87	3,17
%2.5CI	2500	%	Costes indirectos 2,5%	3,17	0,08
%4.0GG	4000	%	Gastos generales 4,0%	3,25	0,13

TOTAL PARTIDA					3,38
---------------	--	--	--	--	------



Ord 12

CÓDIGO	CANTIDAD	UD	DESCRIPCIÓN	PRECIO	SUBTOTAL
I03018		m3	Relleno mecánico y apisonado manual de tierras en zanja		
M01055	0,067	h	Retrocarga 71/100 CV, Cazo: 0,9-0,18 m ³	42,87	2,87
O01009	0,400	h	Peón régimen general	18,09	7,24
P01001	0,100	m ³	Agua (p.o.)	0,92	0,09
M02007	0,400	h	Bandeja vibrante manual	6,05	2,42
%2.5CI	2500	%	Costes indirectos 2,5%	12,62	0,32
%4.0GG	4000	%	Gastos generales 4,0%	12,94	0,52

TOTAL PARTIDA					13,46
----------------------	--	--	--	--	--------------

Ord 13

CÓDIGO	CANTIDAD	UD	DESCRIPCIÓN	PRECIO	SUBTOTAL
I14013		m3	Hormigón para armar HA-25/spb/20/I-IIa, planta, D<= 15 km		
O01009	1400	h	Peón régimen general	18,09	25,33
P03006	1000	m ³	Hormigón estructural para armar	64,88	64,88
			HA-25/spb/20/I-IIa, árido 20 mm, planta		
M02018	0,100	h	Vibrador hormigón	25,51	2,55
%2.5CI	2500	%	Costes indirectos 2,5%	92,76	2,32
%4.0GG	4000	%	Gastos generales 4,0%	95,08	3,80
I14032	1000	m ³	Suplemento transporte de hormigón, D<= 15 km	3,76	3,76

TOTAL PARTIDA					102,64
----------------------	--	--	--	--	---------------

Ord 14

CÓDIGO	CANTIDAD	UD	DESCRIPCIÓN	PRECIO	SUBTOTAL
I15003		kg	Acero corrugado, ø 5-14 mm, B-500S/SD, colocado		
O01004	0,018	h	Oficial 1ª	24,45	0,44
O01009	0,018	h	Peón régimen general	18,09	0,33
P01048	1050	kg	Acero B500S/SD (500 N/mm ² límite elástico) (p.o.)	0,81	0,85
P01045	0,015	kg	Alambre (p.o.)	1,51	0,02
%2.5CI	2500	%	Costes indirectos 2,5%	1,64	0,04
%4.0GG	4000	%	Gastos generales 4,0%	1,68	0,07

TOTAL PARTIDA					1,75
----------------------	--	--	--	--	-------------



Ord 15

CÓDIGO	CANTIDAD	UD	DESCRIPCIÓN	PRECIO	SUBTOTAL
I16002		m2	Encofrado y desencofrado madera zapatas, vigas riostras y encepados		
O01004	0,290	h	Oficial 1ª	24,45	7,09
O01009	0,290	h	Peón régimen general	18,09	5,25
P01033	0,020	m³	Madera encofrar (p.o.)	210,65	4,21
P01044	0,150	kg	Puntas (p.o.)	2,29	0,34
P01045	0,100	kg	Alambre (p.o.)	1,51	0,15
P01041	0,020	l	Aceite de desencofrado, encofrados absorbentes (p.o.)	3,08	0,06
%2.5CI	2500	%	Costes indirectos 2,5%	17,10	0,43
%4.0GG	4000	%	Gastos generales 4,0%	17,53	0,70

TOTAL PARTIDA					18,23
----------------------	--	--	--	--	--------------

Ord 16

CÓDIGO	CANTIDAD	UD	DESCRIPCIÓN	PRECIO	SUBTOTAL
2.7.1		ud	Seguridad y Salud		
L01066	2,00	ud	Casco de seguridad ABS o PEAD con anagrama, blanco	7,01	14,02
L01087	2,00	ud	Gafas montura universal/Cubregafa incolora	6,05	12,10
L01156	2,00	par	Botas de seguridad goma o PVC Categoría SB+P	7,16	14,32
L01237	1,00	ud	Cartel indicativo de riesgos general, colocado	7,31	7,31
L01194	2,00	ud	Ropa de trabajo de alta visibilidad: chaquetilla y pantalón	19,70	39,40
L01134	2,00	par	Guantes piel protección riesgos mecánicos	1,41	2,82

TOTAL PARTIDA					89,97
----------------------	--	--	--	--	--------------



9.4 MEDICIONES

CAPÍTULO 01 – Estudio e ingeniería

Subcapítulo 1.1 – Estudio e ingeniería

1.1.1 ud Estudio e ingeniería

TOTAL SUBCAPÍTULO 1.1	1.008,75 €
TOTAL CAPÍTULO 01	1.008,75 €

CAPÍTULO 02- Instalación de nueva estación termopluviométrica de nivel o aforo

Subcapítulo 2.1 – Fabricación e instalación de armario eléctrico

2.1.1 ud Fabricación e instalación de armario eléctrico

2.1.2 ud Instalación torreta

TOTAL SUBCAPÍTULO 2.1	2.719,23 €
-----------------------	------------

Subcapítulo 2.2 – Instrumentación

2.2.1 ud Instalación pluviómetro

2.2.2 ud Instalación transmisor de nivel

TOTAL SUBCAPÍTULO 2.2	4.724,13 €
-----------------------	------------

Subcapítulo 2.3 – Sistema fotovoltaico

2.3.1 ud Sistema fotovoltaico

TOTAL SUBCAPÍTULO 2.3	1.638,26 €
-----------------------	------------

Subcapítulo 2.4 – Instalación cámara IP

2.4.1 ud Instalación cámara IP

TOTAL SUBCAPÍTULO 2.4	1.233,34 €
-----------------------	------------

Subcapítulo 2.5 – Instalación toma de tierra

E02218 ud Toma de tierra independiente con pica

TOTAL SUBCAPÍTULO 2.5	84,16 €
-----------------------	---------



Subcapítulo 2.6 – Obra Civil

COLCE1m	Colocación de cerramiento exterior
I03005 m3	Excavación mecánica zanja, terreno compacto
I03018 m3	Hormigón para armar HA-25/spb/20/I-IIa, planta, D<= 15 km
I04013 m3	Acero corrugado, ø 5-14 mm, B-500S/SD, colocado
I16002 m2	Encofrado y desencofrado madera zapatas, vigas riostras y encepados

TOTAL SUBCAPÍTULO 2.6	915,58 €
-----------------------	----------

Subcapítulo 2.7 – Seguridad y Salud

2.7.1 ud Seguridad y Salud

TOTAL SUBCAPÍTULO 2.7	11.404,67 €
TOTAL CAPÍTULO 02	11.404,67 €

9.5 RESUMEN GENERAL DEL PRESUPUESTO

CAPÍTULO	RESUMEN	IMPORTE
01	Estudio e ingeniería	1.008,75 €
02	Instalación de nueva estación termopluviométrica de nivel o aforo	11.404,67 €

PRESUPUESTO TOTAL	12.413,42 €
IVA (0,00 %) (s/12.413,42 €)	0,00 €
Total Presupuesto de Ejecución por ADMINISTRACIÓN	12.413,42 €



10. CONCLUSIONES

En el contexto actual, las condiciones meteorológicas cada vez más extremas y la creciente frecuencia de daños por inundaciones, es esencial contar con herramientas eficaces para la prevención de pérdidas materiales y humanas. Los Sistemas de Alerta temprana (SAT) desempeñan un papel crucial, permitiendo una respuesta rápida y eficiente ante eventos climáticos adversos.

Afortunadamente, los avances tecnológicos mencionados en el trabajo, como las agencias meteorológicas, combinación de modelos 1D y 2D, la deducción de datos, la automatización y potentes simulaciones hidráulicas proporcionan una gran herramienta para la preparación y prevención de las inundaciones contribuyendo a la construcción de comunidades más seguras y sostenibles. Con estas herramientas se alcanza la implantación de un Sistema de Ayuda a la Decisión y Alerta temprana que opera las 24 horas los 7 días de la semana, informes automáticos con observaciones meteorológicas, avisos automáticos por pronósticos meteorológicos, desarrollo de modelos hidrológicos para el pronóstico de caudales y generación de avisos automáticos por superación de los niveles.

Además, la propuesta de implementar una estación SAIH es un paso hacia una gestión más efectiva mejorando la prevención de las inundaciones, optimizando recursos y un paso en la construcción de comunidades más seguras frente a desastres naturales.



11. BIBLIOGRAFÍA

- [1] J.-D. Lopez-Garcia, Y. Carvajal-Escobar, y A.-M. Enciso-Arango, «Sistemas de alerta temprana con enfoque participativo: Un desafío para la gestión del riesgo en Colombia.», n.º 44, junio de 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/3217/321750362014.pdf>
- [2] «Sistemas de alerta temprana de inundación: Sensores de nivel de agua | Envira IOT». [En línea]. Disponible en: <https://enviraiot.es/sistemas-de-alerta-temprana-de-inundacion/>
- [3] D. Moreno, E. Quiñones Bolaños, y L. C. Tovar Garrido, «Los Sistemas de Alerta Temprana, SAT, una herramienta para la prevención de desastres por inundación y efectos del cambio climático», 2014, vol. 9, n.º 1, [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11227/5200>
- [4] «Proyecto de defensa de Arriondas frente a las avenidas. Fase 1 (Asturias)». [En línea]. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/gestion-de-los-riesgos-de-inundacion/planes-gestion-riesgos-inundacion/proyecto-defensa-arriondas-frente-avenidas-fase-1-asturias.html>
- [5] «Inundaciones de los ríos Sella y Piloña». [En línea]. Disponible en: <https://jairecanoas.com/inundaciones.php>
- [6] SICE, «SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA Y AYUDA A LA DECISIÓN».
- [7] «Sistemas de Alerta Temprana en México». [En línea]. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/845305/Tema_1__Sistemas_de_Alerta_Temprana.pdf
- [8] «Predicciones meteorológicas: cómo funcionan y por qué fallan». [En línea]. Disponible en: <https://hipertextual.com/2022/09/como-funciona-las-predicciones-meteorologicas-y-por-que-fallan>
- [9] «¿QUÉ ES LA METEOROLOGÍA? - METEOCULTURA - ESTACIONES METEOROLÓGICAS & METEOROLOGÍA». [En línea]. Disponible en: <https://estaciondemeteorologia.com/que-es-la-meteorologia/>
- [10] «Organización Meteorológica Mundial |». [En línea]. Disponible en: <https://public.wmo.int/es>
- [11] «National Oceanic and Atmospheric Administration». [En línea]. Disponible en: <https://www.noaa.gov/>



-
- [12] «6 tools our meteorologists use to forecast the weather | National Oceanic and Atmospheric Administration». [En línea]. Disponible en: <https://www.noaa.gov/stories/6-tools-our-meteorologists-use-to-forecast-weather>
- [13] «Wetter und Klima - Deutscher Wetterdienst - Startseite». [En línea]. Disponible en: https://www.dwd.de/DE/Home/home_node.html;jsessionid=B9B5243D6CF25058BEE051C3688E205F.live21071
- [14] «Wetter und Klima - Deutscher Wetterdienst - Messnetz». [En línea]. Disponible en: https://www.dwd.de/DE/derdwd/messnetz/messnetz_node.html
- [15] «COMET AMDAR Module Produced for WMO | World Meteorological Organization». [En línea]. Disponible en: <https://public.wmo.int/en/resources/meteoworld/comet-amdar-module-produced-wmo>
- [16] «915 MHz Radar Wind Profiler - Southern Great Plains | Flickr». [En línea]. Disponible en: <https://flickr.com/photos/armgov/4749007247>
- [17] «Observations - Met Office». [En línea]. Disponible en: <https://www.metoffice.gov.uk/weather/learn-about/how-forecasts-are-made/observations/observations>
- [18] «Altímetro Barigo 5000 m — Raig». [En línea]. Disponible en: <https://www.raig.com/altimetro-barigo-5000-m-bed8/>
- [19] «Doppler Wind LiDAR System WindCube Nacelle® vorgestellt | windmesse.de». [En línea]. Disponible en: <https://w3.windmesse.de/windenergie/news/35161-gwu-umwelttechnik-leosphere-vaisala-doppler-wind-lidar-windcube-nacelle-reichweite-messung-windfeld-windkraftanlage-lidar>
- [20] «Boya meteorológica - EBM-OC - Mediterráneo Señales Marítimas, S.L. - oceanográfica / de balizamiento / para alta mar». [En línea]. Disponible en: <https://www.nauticexpo.es/prod/mediterraneo-senales-maritimas-sl/product-64363-473412.html>
- [21] «Los flotadores oceánicos Argo logran 2 millones de perfiles en 20 años». [En línea]. Disponible en: <https://www.tiempo.com/ram/498641/los-flotadores-oceanicos-argo-logran-2-millones-de-perfiles-en-20-anos/>
- [22] «Japan Meteorological Agency». [En línea]. Disponible en: https://www.jma.go.jp/jma/en/Services/indexe_services.html
- [23] «Météo-France - Wikipedia, la enciclopedia libre». [En línea]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9t%C3%A9o-France>



-
- [24] «Le rôle de l'observation | Météo-France Le rôle de l'observation». [En línea]. Disponible en: <https://meteofrance.fr/missions/observer-et-prevoir/le-role-de-lobservation>
- [25] «CLS and METEO France install a 2.4m EOS-DB in Papeete, Tahiti | Orbital Systems». [En línea]. Disponible en: <http://www.orbitalsystems.com/installation-galleries/cls-meteo-france-papeete-tahiti/>
- [26] «Satellite | Meteo Aeronautica Militare». [En línea]. Disponible en: <https://www.meteoam.it/it/meteosat>
- [27] «Observación - Agencia Estatal de Meteorología - AEMET. Gobierno de España». [En línea]. Disponible en: <https://www.aemet.es/es/eltiempo/observacion>
- [28] «El Tiempo. Modelos Numéricos. HARMONIE-AROME en Áreas de Península y Baleares y Canarias. - Agencia Estatal de Meteorología - AEMET. Gobierno de España». [En línea]. Disponible en: https://www.aemet.es/es/eltiempo/prediccion/modelosnumericos/harmonie_arome
- [29] «Redes de observación de superficie y en altura - Agencia Estatal de Meteorología - AEMET. Gobierno de España». [En línea]. Disponible en: https://www.aemet.es/es/idi/observacion/observacion_convencional
- [30] «Observaciones de teledetección terrestre - Agencia Estatal de Meteorología - AEMET. Gobierno de España». [En línea]. Disponible en: <https://www.aemet.es/es/idi/observacion/teledeteccion>
- [31] «Global Forecast System (GFS) | National Centers for Environmental Information (NCEI)». [En línea]. Disponible en: <https://www.ncei.noaa.gov/products/weather-climate-models/global-forecast>
- [32] «ECMWF | Advancing global NWP through international collaboration». [En línea]. Disponible en: <https://www.ecmwf.int/>
- [33] «Una Guía Integral de los Modelos Globales de Tiempo». [En línea]. Disponible en: <https://www.meteosource.com/es/blog/modelos-globales-de-tiempo>
- [34] «¿Qué significa PWG / PWE / GFS / ECMWF / SPIRE / UKMO / HRRR/ NAM/ & AROME? | Centro de Aydua». [En línea]. Disponible en: <https://help.predictwind.com/es/articles/2884560-que-significa-pwg-pwe-gfs-ecmwf-spire-ukmo-hrrr-nam-amp-arome>
- [35] «Descubre la utilidad del radar meteorológico: pronóstico del tiempo en tiempo real - Tekmeteo». [En línea]. Disponible en: https://tekmeteo.com/radar-meteorologico-para-que-sirve?expand_article=1



- [36] «El programa S.A.I.H.: Descripción y funcionalidad. El presente y el futuro del sistema. (Ministerio del Medio Ambiente y Medio Rural y Marino)». [En línea]. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/content/dam/mitesco/es/agua/publicaciones/SAIH_WEB_MMA_V301109_tcm30-136204.pdf
- [37] J. M. LLavona Fernández *et al.*, «An automatic water information system in Northern Spain: the case of the Cantabrian Water Agency», junio de 2022.
- [38] «Sistemas de información y alerta temprana – Instituto Español para la Reducción de los Desastres». [En línea]. Disponible en: <https://ierd.es/sistemas-de-alerta-temprana/>
- [39] «Sistemas de Ayuda a la Decisión». [En línea]. Disponible en: <http://www.dia.fi.upm.es/masteria/sites/default/files/master/Descripciones/A1%20Sistemas%20de%20ayuda%20a%20la%20decisi%c3%b3n.pdf>
- [40] «Sistema de Ayuda a la Decisión - Portal CHEbro». [En línea]. Disponible en: <https://portal.chebro.es/web/guest/sistema-de-ayuda-a-la-decision>
- [41] O. S. Travisany Rodriguez y R. Méndez Rivas, «Aplicación de Modelos Hidrológicos», *Diciembre 2022*. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/365934637_Aplicacion_de_modelos_hidrologicos
- [42] «CLASIFICACIÓN DE LOS MODELOS HIDROLÓGICOS». [En línea]. Disponible en: <https://1library.co/article/clasificaci%C3%B3n-de-los-modelos-hidrol%C3%B3gicos.yeeo60ey>
- [43] L. S. Nanía, «Manual Básico de HEC-HMS 3.0.0 y HEC-GeoHMS 1.1», Universidad de Granada, Granada, 2007. [En línea]. Disponible en: https://www.ugr.es/~lnania/_private/ManualBasico_HEC-HMS300_HEC-GeoHMS11_Espanol.pdf
- [44] «VII. El modelo Hec-hms», Universidad de Sonora.
- [45] M. Mendez-Morales, «Calibración y validación del modelo hidrológico SWMM en cuencas hidrográficas de alta pendiente en Costa Rica», vol. 26, n.º 2, diciembre de 2012.
- [46] F. Ruiz Venegas, E. Muñoz Ortiz, J. Boll, y J. Arumi, «Análisis del funcionamiento del modelo HBV a partir de su aplicación a dos cuencas con diferentes características e información hidrometeorológica.», p. 13, ago. 2017.
- [47] «Chapter 17 Intro to Modeling - Getting Started with HBV | Hydroinformatics at VT». [En línea]. Disponible en: <https://vt-hydroinformatics.github.io/modelingintro.html>
- [48] «Flood Estimation Handbook (FEH) | UK Centre for Ecology & Hydrology». [En línea]. Disponible en: <https://www.ceh.ac.uk/our-science/projects/flood-estimation-handbook>



- [49] C. Mazzetti, «TOPographic Kinematic APproximation and Integration». enero de 2015. [En línea]. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/1nMqot2wemKj96miUNUU8-jHCHBUrFPiB/view?pli=1>
- [50] L. F. Carvajal y E. Roldán, «Calibración del modelo lluvia-escorrentía agregado GR4J. Aplicación: cuenca del río Aburrá», febrero de 2007. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/22381/912-4939-1-PB.pdf?sequence=1>
- [51] «Safran-Isba-Modcou - Centre National de Recherches Météorologiques». [En línea]. Disponible en: <https://www.umr-cnrm.fr/spip.php?article424&lang=fr>
- [52] «SAFRAN-ISBA-MODCOU (SIM) structure and links (DT is the time step). | Download Scientific Diagram». [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/figure/SAFRAN-ISBA-MODCOU-SIM-structure-and-links-DT-is-the-time-step_fig11_200472317
- [53] «IIAMA - TETIS». [En línea]. Disponible en: <https://www.iiama.upv.es/iiama/es/transferecia/software/tetis-e.html>
- [54] «El IIAMA lanza una nueva versión del modelo hidrológico distribuido TETIS». [En línea]. Disponible en: <https://www.aguasresiduales.info/revista/noticias/el-iiama-lanza-una-nueva-version-del-modelo-hidrologico-distribuido-tetis-20RYA>
- [55] «Autodesk InfoWorks ICM | Obtener precios y comprar el producto InfoWorks ICM 2024 oficial | Autodesk». [En línea]. Disponible en: <https://www.autodesk.es/products/infoworks-icm/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>
- [56] I. Martínez, «Análisis del efecto laminador del cauce utilizando modelos fluviales bidimensionales.» [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=115860>
- [57] «Desarrollo de Modelos Hidráulicos | Cersa». [En línea]. Disponible en: <https://cersa.org.pe/capacitaciones/?q=content/blog/desarrollo-de-modelos-hidr%C3%A1ulicos>
- [58] «Tema1. Presentación del modelo Iber». [En línea]. Disponible en: www.iberaula.com
- [59] «Modelación hidráulica: ¿Qué es y cuáles son sus beneficios? - KRAL - Ingeniería Hidráulica». [En línea]. Disponible en: <https://www.kralconsultores.cl/blog/modelacion-hidraulica-que-es-y-cuales-son-sus-beneficios/>
- [60] «Qué aprenderás en nuestro curso de Modelización Hidráulica Bidimensional con IBER y ArcGIS – Cursos GIS | TYC GIS Formación». [En línea]. Disponible en: <https://www.cursosgis.com/que-aprenderas-en-nuestro-curso-de-modelizacion-hidraulica-bidimensional-con-iber-y-arcgis/>



- [61] «Clasificación general de los modelos hidráulicos». [En línea]. Disponible en: <https://1library.co/article/clasificaci%C3%B3n-general-de-los-modelos-hidr%C3%A1ulicos.zgwxm8vy>
- [62] «¿Qué es HEC-RAS y para qué sirve? | Tutoriales HEC-RAS | GEASIG». [En línea]. Disponible en: <https://www.geasig.com/que-es-hec-ras-y-para-que-sirve/>
- [63] «Riverine flooding». [En línea]. Disponible en: <https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-flood/riverine-flooding>
- [64] A. J. García Conde, F. López Rodríguez, y F. Moral García, «Análisis de distribuciones estadísticas alternativas a las tradicionales para la optimización de los caudales de cálculo empleados en los estudios hidrológicos.», Universidad de Extremadura, Badajoz, 2013.
- [65] «TUFLOW Products». [En línea]. Disponible en: <https://www.tuflow.com/products/>
- [66] «TELEMAC Modelling System». julio de 2016. [En línea]. Disponible en: http://www.opentelemac.org/downloads/MANUALS/TELEMAC-3D/telemac3d_user_manual_v7p1.pdf
- [67] «¿Conoces Iber? | Tutoriales Iber | GEASIG». [En línea]. Disponible en: <https://www.geasig.com/conoces-iber/>
- [68] UNESCO, «SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA MANUAL INFORMATIVO Para estudiantes». febrero de 2012.
- [69] LSDR, «Desarrollo de Sistemas de Alerta temprana», *Marzo 2006*. [En línea]. Disponible en: https://www.unisdr.org/files/608_spanish.pdf
- [70] «Meseta castellana ▷ Información, Historia, Biografía y más.» [En línea]. Disponible en: <https://es.wikidat.com/info/meseta-castellana>
- [71] D. Cano Espadas, B. Téllez Jurado, I. Palacio García, y P. Arias Careaga, «ESTUDIO DE LAS ZONAS MÁS DESFAVORABLES PARA EL DESARROLLO DE TORMENTAS EN LA MESETA MERIDIONAL.» [En línea]. Disponible en: https://repositorio.aemet.es/bitstream/20.500.11765/5110/3/0028_PU-SA-II-2001-D_CANO.pdf
- [72] «El Cantábrico, una de las zonas del mundo más expuestas a temporales». [En línea]. Disponible en: <https://www.tiempo.com/noticias/actualidad/ciclogenesis-explosivas-y-temporales-del-cantabrico.html>
- [73] «Clima de Cantabria - Wikipedia, la enciclopedia libre». [En línea]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Clima_de_Cantabria



-
- [74] «Galerna - Wikipedia, la enciclopedia libre».
- [75] «Características y capacidades del modelo hidrológico distribuido TETIS — gidahatari». [En línea]. Disponible en: <https://gidahatari.com/ih-es/caracteristicas-y-capacidades-del-modelo-hidrologico-distribuido-tetis>
- [76] «Iberaula». [En línea]. Disponible en: <https://iberaula.es/1070/iber-model/about-the-model>
- [77] «¿Qué es “IBER”?» [En línea]. Disponible en: <https://blogdelagua.com/actualidad/iber-potente-software-libre-agua/>
- [78] «MICROCOM SISTEMAS MODULARES- GUÍA RÁPIDA». junio de 2015. [En línea]. Disponible en: www.microcom.es
- [79] «Guía del producto VEGAPLUS 61- Sensor de radar para la medición continua de nivel de líquidos». [En línea]. Disponible en: <https://www.vega.com/es-es>
- [80] «MODEL 52202/ 52202H/ 52203 TIPPING BUCKED RAIN GAUGE». [En línea]. Disponible en: R.M. YOUNG COMPANY
- [81] «MODEL 41003 MULTI-PLATE RADIATION SHIELD». [En línea]. Disponible en: R.M. YOUNG COMPANY