

Capítulo 3.3.

Descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión



[3] Contenidos y tareas para la elaboración de un plan hidrológico 1

[3.3]	Descripción general de la cuenca o unidad.....	1
[3.3.1]	Sistemas de información	1
[3.3.2]	Ámbito territorial.....	10
[3.3.3]	Geomorfología y relieve	11
[3.3.4]	Suelos y cobertura vegetal	12
[3.3.5]	Geología e hidrología	14
[3.3.6]	Contexto climatológico	15
[3.3.7]	Hidrología y red fluvial	16
[3.3.8]	Redes de monitoreo	17
[3.3.9]	Patrimonio hidráulico	24
[3.3.10]	Delimitación y caracterización de los cuerpos o masas de agua.....	25
[3.3.11]	Inventario de los recursos hídricos.....	28

[3] Contenidos y tareas para la elaboración de un plan hidrológico

[3.3] Descripción general de la cuenca o unidad

Definición: La descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión se refiere a la caracterización integral del espacio geográfico sobre el cual se aplicará el plan hidrológico. Incluye sus límites físicos y administrativos, principales rasgos naturales y socioeconómicos, así como su relevancia en términos de recursos hídricos y dinámicas de uso del agua. Esta descripción sirve de marco espacial y contextual para todas las acciones del plan.

Objetivo: Establecer un conocimiento sintético pero comprensivo del territorio de planificación, identificando sus principales características físicas, sociales, ambientales y económicas. Esto permite adaptar las estrategias del plan a las condiciones específicas de la cuenca o unidad territorial.

Utilidad:

- Delimita el ámbito de aplicación del plan, facilitando la organización del análisis y la implementación.
- Permite definir y entender el ciclo hidrológico (balance hídrico natural) y las variables que lo integran y disponer de la información para definir parámetros de modelación.
- Aporta una visión sistémica del territorio, integrando aspectos biofísicos y humanos clave para la gestión del agua.
- Permite reconocer heterogeneidades internas (zonas urbanas/rurales, altas/bajas, húmedas/áridas) que afectan la planificación.
- Sirve de referencia común para todos los actores involucrados en el proceso de planificación.
- Facilita la comparación entre unidades similares y el monitoreo de cambios territoriales a lo largo del tiempo.

La descripción territorial debe facilitar la generación de parámetros de entrada para los modelos utilizados, lo que exige **articular la caracterización física con el modelo de datos estructurado del plan**. Se recomienda utilizar matrices de vinculación entre capas geográficas y variables modelo (p. ej., tabla que relacione tipo de suelo con parámetros de infiltración o uso del suelo con coeficientes de escorrentía).

[3.3.1] Sistemas de información

Definición: La gestión y planificación eficaz de los recursos hídricos requiere contar con una base de información sólida, estructurada y actualizable. En este contexto, la tarea de revisión, obtención y organización de la información básica, junto con la generación de un modelo de datos, constituye una etapa crítica dentro de cualquier proceso de planificación hidrológica. Su adecuada ejecución garantiza que las decisiones se tomen sobre una base objetiva, trazable y técnicamente sólida.

Objetivo: Esta sección de la Guía tiene como objetivo proporcionar una metodología clara y operativa para abordar esta tarea, orientando a los equipos técnicos responsables del diseño y ejecución del plan hidrológico. Se ofrece una secuencia estructurada de pasos que permite desde la conceptualización del modelo hasta su implementación y mantenimiento, adaptada a distintos niveles de capacidad institucional y disponibilidad de datos.

Utilidad: La elaboración de un modelo de datos bien estructurado permite organizar de forma coherente toda la información disponible y anticipar la que será necesaria para el desarrollo del plan. Este modelo debe abarcar tanto datos existentes como aquellos que deban generarse, y debe incluir diferentes tipos de información:

-  **Datos alfanuméricos:** series temporales de variables meteorológicas e hidrométricas (precipitación, caudales, temperatura), consumos por uso del agua, estadísticas de calidad, información socioeconómica, etc.
-  **Datos geográficos:** localización de cuencas y subcuencas, red hidrográfica, estaciones de monitoreo, zonas protegidas, puntos de captación y vertido, usos del suelo, etc.
-  **Información documental:** antecedentes normativos, planes previos, estudios técnicos, informes de consultorías y diagnósticos, entre otros.

Capítulo 3.3.

Descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión

Tareas

Paso 1: Definición del modelo conceptual de datos

Antes de iniciar con la revisión, obtención y organización de la información básica, se recomienda definir un modelo conceptual de datos. Este modelo representa a grandes rasgos, la estructura lógica del sistema hídrico y los elementos clave que deben ser considerados en el plan.



Descripción Metodológica:

- Identificar las entidades clave: masas de agua, estaciones de control, usos del agua, usuarios, actuaciones, zonas territoriales.
- Determinar atributos esenciales para cada entidad: tipo, ubicación, variable medida, volumen, fecha, fuente.
- Establecer las relaciones entre entidades: un usuario usa una fuente; una actuación se aplica sobre una zona; una estación mide una variable.
- Representar estas relaciones mediante un diagrama entidad-relación (E-R), tabla conceptual o esquema gráfico comprensible.



Recomendación:

Emplear herramientas sencillas (dibujos, tablas, esquemas en procesadores de texto o presentaciones -Word, PowerPoint o diagramadores online-) y compartirlos con los equipos técnicos antes de avanzar al diseño del modelo físico.



Importante:

No debe confundirse con el modelo geográfico o de base de datos. Este paso es conceptual y busca alinear la comprensión de los datos entre todos los actores, antes de cualquier digitalización o análisis técnico.

Paso 2: Definición del esquema general de información necesaria

Con el **paso 1** se establece el modelo conceptual que permite **saber** qué elementos forman el sistema y cómo se relacionan entre sí. El paso 2 se centra en obtener una lista estructurada y priorizada de datos a buscar, por tipo y temática.



Descripción Metodológica:

Se identifican todos los tipos de datos requeridos en el plan, agrupándolos por categoría y tipo de información.

- **Alfanumérica:** series temporales (caudales, precipitaciones, demandas), estadísticas de calidad del agua, datos socioeconómicos.
- **Geográfica:** cuencas, ríos, estaciones de monitoreo, zonas protegidas, coberturas de uso del suelo, etc.
- **Documental:** planes previos, normativas, estudios técnicos, diagnósticos previos.

Capítulo 3.3.

Descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión



Recomendación:

Estrategias en contexto de información limitada

- Usar entrevistas a actores clave para identificar variables críticas.
- Elaborar un listado de variables mínimas por tema (ej. 'uso del suelo', 'captaciones').
- Clasificar los datos en tres niveles: esenciales, deseables, complementarios.
- Aplicar enfoque progresivo: se empieza con lo disponible, se amplía en fases.

Paso 3: Revisión y registro de fuentes de información

Llegados a este punto ya se deben conocer los datos que se necesitan, ahora toca preguntarse: **¿existen? ¿dónde están?** Se realiza una revisión exhaustiva de instituciones y actores que podrían disponer de datos relevantes.



Descripción Metodológica:

- Contactar con autoridades del agua, institutos meteorológicos, instituciones y organismos relacionados con la gestión del agua y el medio ambiente, departamentos u oficinas implicadas en la planificación hidrológica, universidades, etc.
- Recolectar documentación previa de planes, informes de consultorías, bases de datos, publicaciones, etc.
- Registrar la información en una **ficha estandarizada por fuente** (tipo, cobertura temporal y espacial, calidad, acceso).
- Además de identificar qué fuentes existen, es importante **registrar quién es el responsable institucional** de cada conjunto de datos, bajo qué condiciones puede accederse a ellos (público, técnico interno, confidencial) y en qué formato se encuentran.



Recomendación:

- Crear un catálogo digital que sirva como base para otras tareas y pueda actualizarse progresivamente.
- **Estrategias en contexto de información limitada**
 - Realizar un mapeo rápido de instituciones locales y actores comunitarios.
 - Usar formularios simples para entrevistas técnicas.
 - Consultar archivos físicos (actas, informes impresos, registros manuales).
 - Utilizar fuentes indirectas como proyectos anteriores o informes de prensa.



Importante:

Verificar la **vigencia** y **fiabilidad técnica** de cada fuente antes de integrarla al modelo de datos.

Paso 4: Identificación de vacíos o limitaciones de información

Se contrastan los datos necesarios con los disponibles, para identificar lo que falta o tiene baja calidad.



Descripción Metodológica:

- Cruce (comparación) de la información deseada vs. la disponible.
- Mapa de disponibilidad geográfica y temática.
- Diagnóstico de calidad de los datos.
- Detectar qué variables, zonas o periodos **no tienen datos**, o los tienen en forma **incompleta, poco confiable o desactualizada**.

Capítulo 3.3.

Descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión

- Documentar claramente los vacíos de información detectados.



Recomendación:

Prioriza los vacíos críticos según su relevancia para el diagnóstico y las decisiones del plan (por ejemplo, ausencia de datos de caudal en zonas con alta presión por riego).

Paso 5: Estrategias para suplir la ausencia de información

En este punto, se pasa del análisis del problema (falta de datos) al diseño de soluciones prácticas y adaptadas al contexto. No siempre se pueden cubrir todos los vacíos, pero sí definir cómo manejarlos con base técnica.



Descripción Metodológica:

- Uso de estimaciones por similitud (cuencas de similar comportamiento hidrológico, estaciones análogas).
- Modelos de simulación hidrológica o interpolación espacial.
- Participación comunitaria para validación o levantamiento de datos.
- Imágenes satelitales y productos de observación remota (para uso del suelo, humedad, NDVI).



Importante:

No sobrecargar el análisis con datos estimados sin validación; indicar claramente el grado de incertidumbre.



Recomendación:

En algunos casos, los datos existen pero no están disponibles públicamente. Se recomienda explorar acuerdos de colaboración, convenios interinstitucionales o mecanismos de acceso controlado, especialmente cuando se trata de datos sensibles (como vertidos industriales, extracciones privadas, etc.).

Paso 6: Definición del modelo de datos

En este paso se debe decidir cómo organizar toda la información en una estructura que sea coherente, accesible y escalable, permitiendo la incorporación futura de nuevos datos o capas temáticas. Para ello, se recomienda diseñar una estructura lógica que pueda ser implementada en una base relacional, hoja de cálculo o sistema SIG, según las capacidades disponibles



Descripción Metodológica:

- Definir las entidades (objetos de información) y sus atributos (características).
- Establecer las relaciones entre entidades (uno a muchos, muchos a muchos).
- Incorporar metadatos: fuente, unidad, frecuencia, cobertura, calidad, fecha de actualización.
- Garantizar la compatibilidad con herramientas de análisis, consulta y visualización.



Recomendación:

No es necesario partir directamente con una base compleja. Un modelo de datos puede empezar con plantillas en hojas de cálculo (Excel o Google Sheets), con pestañas por entidad (ej. estaciones, series, usos) y columnas bien definidas.

Capítulo 3.3.

Descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión

Una vez diseñada esta estructura, es importante aplicar **principios de homogeneización y modularidad** para asegurar su aplicabilidad en diferentes contextos institucionales. Las siguientes recomendaciones orientan ese proceso:

- **Núcleo mínimo común de datos:** Incorporar entidades básicas como cuerpos de agua, estaciones de monitoreo, usuarios, usos y variables hídricas, para facilitar la comparabilidad y garantizar un modelo funcional básico.
- **Estandarización de definiciones y atributos:** Utilizar listas controladas para unidades, tipos de uso y variables, promoviendo la interoperabilidad entre instituciones.
- **Diseño modular y escalonado:**
 - *Nivel 1 – Básico:* Hojas de cálculo estandarizadas para datos hidrológicos simples.
 - *Nivel 2 – Intermedio:* Base de datos relacional con variables adicionales (calidad, infraestructura, usos).
 - *Nivel 3 – Avanzado:* Integración con SIG, análisis de escenarios y modelado.
- **Formatos abiertos y estándares comunes:** Usar WaterML, GeoJSON, CSV, y servicios OGC (WMS/WFS) para favorecer el intercambio y la reutilización de datos.
- **Gobernanza y sostenibilidad:** Establecer roles claros de carga, validación y actualización de datos. Impulsar acuerdos interinstitucionales, por ejemplo con institutos meteorológicos e instituciones u organismos que por la distribución de competencias, puedan respaldar la alimentación continua del sistema.

Paso 7: Implementación del sistema de almacenamiento y consulta

Es necesario poner en funcionamiento un sistema de información que permita cargar, almacenar, consultar, actualizar y mantener la información generada y recopilada en el plan hidrológico, de forma estructurada, accesible, escalable y segura.

Un sistema de información es un conjunto organizado de recursos humanos, tecnológicos y metodológicos diseñado para gestionar datos de manera eficiente y segura. En el contexto del plan hidrológico, su objetivo principal es centralizar y administrar toda la información relacionada con los recursos hídricos, facilitando así la toma de decisiones, la planificación y el seguimiento de las acciones.



Descripción Metodológica:

Este paso **convierte el modelo de datos diseñado en el paso anterior en una herramienta operativa**. Implica decidir el tipo de sistema más adecuado según el contexto, crear la estructura de datos y asegurar su sostenibilidad técnica e institucional.

1. Selección del tipo de sistema

La elección dependerá del nivel de capacidades locales, volumen y complejidad de datos, conectividad, y necesidad de colaboración.

Nivel	Herramienta recomendada	Características
Básico	Hoja de cálculo estructurada (Excel, Google Sheets)	Sin requerimientos técnicos, útil en contextos locales.
Intermedio	Base de datos relacional (Access, PostgreSQL)	Permite mayor control, consultas avanzadas y consistencia.
Avanzado	SIG con base de datos conectada (QGIS + PostGIS)	Ideal para integrar información espacial, analizar y visualizar.
Colaborativo	Plataforma web (GeoNode, CKAN, PowerBI, dashboards)	Facilita publicación, consulta y edición compartida.

2. Diseño e implementación de la estructura técnica

La estructura del sistema debe reflejar **el modelo lógico definido previamente**, e incluir:

- Tablas o capas temáticas (entidades): estaciones, usos, vertidos, medidas, zonas.

Capítulo 3.3.

Descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión

- Campos bien definidos (atributos): nombre, ubicación, tipo, valor, fecha, fuente, coordenadas.
- Claves únicas y relaciones entre tablas (ej. un uso pertenece a un usuario, una estación mide variables).
- Reglas de validación de datos (formatos, dominios, integridad referencial).

3. Carga e importación de datos

- Se realiza una **depuración y validación previa** de los datos: formato, coherencia, cobertura, duplicados.
- Se importan al sistema mediante cargas masivas (CSV, Excel, shapefile, SQL scripts).
- Se verifican **relaciones cruzadas** entre entidades (ej. estación sin serie, uso sin cuerpo de agua vinculado).

4. Prueba y validación operativa del sistema

- Verificar si el sistema **responde correctamente a consultas básicas**:
 - ¿Se puede filtrar por fecha, variable, zona?
 - ¿Se puede consultar por tipo de uso, calidad del agua u otras variables relevantes?
 - ¿Se pueden exportar datos correctamente?
- Validar la **integridad de relaciones** (ej. no deben existir registros huérfanos).
- Detectar errores en datos cargados, formatos o estructuras.

Además de la funcionalidad interna del sistema, es recomendable que el diseño contemple desde el inicio su compatibilidad con estándares técnicos internacionales. Esto favorece la interoperabilidad, facilita el intercambio de información con otros actores y garantiza la sostenibilidad técnica a largo plazo.

- **Estándares del OGC** (Open Geospatial Consortium): Se recomienda que los sistemas desarrollados puedan operar o exportar información compatible con servicios web como WMS/WFS (para capas geográficas) y con formatos como WaterML (para series de tiempo hidrológicas), ampliamente adoptados por organismos internacionales.
- **INSPIRE Hydrography** (UE): Aunque diseñado para Europa, el modelo de datos INSPIRE ofrece especificaciones útiles para estructurar información de redes hidrográficas, cuerpos de agua y cuencas, que pueden adaptarse a contextos latinoamericanos.
- **Modelo conceptual HY_Features**: Proporciona una estructura lógica para vincular entidades hidrológicas (cuencas, tramos, estaciones) de forma jerárquica y compatible, ideal para sistemas que deban crecer en complejidad o escalar a nivel regional.
- **Integración en IDE (Infraestructuras de Datos Espaciales)**: Incluir el modelo de datos del plan hidrológico dentro de una IDE nacional o sectorial permite conectar la información hídrica con otras capas clave (uso del suelo, clima, población) y facilita su difusión pública.
- **Buenas prácticas de la OMM – WHOS**: Para países que compartan datos hidrológicos a nivel regional o global, se recomienda contemplar la publicación mediante servicios compatibles con el World Hydrological Observing System (WHOS), que promueve el uso de WaterML y APIs estandarizadas.

Estas consideraciones no implican una complejidad adicional inmediata, pero su incorporación desde el diseño evita futuras limitaciones técnicas y posiciona al sistema dentro de un ecosistema más amplio de datos ambientales.

5. Capacitación y entrega a la institución responsable

- Capacitar al personal técnico en:
 - Uso del sistema (consultas, edición, exportación).
 - Carga de nuevos datos.
 - Criterios de control de calidad.
- Entregar documentación básica del sistema: estructura de tablas, manual de usuario, glosario de campos.
- Asignar responsables por temática o tipo de dato (ej. una persona para calidad, otra para usos).

6. Plan de mantenimiento y sostenibilidad

- Establecer un **protocolo de actualización**: periodicidad, responsables, validación.

Capítulo 3.3.

Descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión

- Implementar **rutinas de respaldo de la base de datos** (en local y nube si es posible).
- Definir canales de soporte técnico o institucional.
- Evaluar si se requiere migración futura a un sistema más robusto o compartido.



Recomendación:

En contexto de información limitada

- Utilizar una carpeta digital con servicio en la nube (Google Drive o OneDrive) con subcarpetas por tema.
- Nombrar archivos y versiones de forma coherente y cronológica.
- Crear un documento resumen con vínculos a los principales archivos o tablas.
- Respalidar copias digitales en discos duros externos al menos mensualmente.



Importante:

- No implementar sistemas que superen la capacidad operativa local: **mejor una hoja de cálculo (Excel) bien estructurada que una base de datos abandonada.**
- Evitar que el conocimiento del sistema quede concentrado en una sola persona.
- Controlar el acceso y las ediciones para mantener la integridad de los datos.
- El sistema debe contemplar **perfiles de acceso diferenciados**, definidos desde su diseño, que permitan gestionar distintos niveles de uso: personal técnico, responsables institucionales y, cuando corresponda, público general. Esta configuración debe alinearse con las políticas internas de acceso, garantizando seguridad y gobernanza de los datos. Para los mecanismos de publicación de datos abiertos y criterios de acceso ciudadano, se remite al **Paso 9**, donde se detallan los enfoques y herramientas recomendadas.

Paso 8: Documentación y mantenimiento del modelo de datos

Es necesario asegurar que sea comprensible, práctico, reproducible y sostenible en el tiempo. Sin documentación, el sistema se convierte en una “caja negra” que nadie más puede usar o mantener cuando cambia el personal técnico.



Descripción Metodológica:

- Se genera una guía técnica del modelo, que incluya:
 - La estructura de entidades, atributos y relaciones.
 - El contenido de cada tabla o capa (definiciones, unidades, fuentes).
 - Protocolos de carga, validación, actualización y control de calidad.
 - La trazabilidad de los datos (origen, fecha, nivel de confianza).
 - Control de versiones de la estructura del modelo, documentando cambios y responsables.
- Se crean ejemplos prácticos de carga, validación y consulta para facilitar la formación y la continuidad operativa.
- Toda la documentación debe mantenerse organizada en un repositorio técnico institucional digital, accesible y actualizado, que incluya fichas de datos, manuales, catálogos, esquemas gráficos, scripts de carga y versiones anteriores del modelo.
- Se designan responsables por temática o componente del sistema, con roles claros en la revisión y mantenimiento de la documentación y del propio modelo.
- Se establecen rutinas de respaldo digital (local y en la nube) y de validación periódica del sistema de datos.
- Como parte del aseguramiento de calidad, se recomienda programar auditorías externas o revisiones técnicas por parte de universidades o agencias especializadas al menos una vez por ciclo de planificación.

Capítulo 3.3.

Descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión



Importante:

Esta tarea constituye la base informacional sobre la cual se sustentará todo el análisis del plan hidrológico. La calidad, organización e interoperabilidad de los datos condicionarán la solidez del diagnóstico, la formulación de medidas y la implementación de sistemas de seguimiento. Por ello, se recomienda revisar y actualizar el modelo de datos a lo largo del proceso de planificación, adaptándolo a nuevas necesidades y fortaleciendo su capacidad de integración con otros sistemas de información sectoriales o nacionales.

Otro aspecto importante a considerar es la necesidad de personal técnico especializado para ese mantenimiento.



Recomendación:

Para asegurar la sostenibilidad operativa, puede ser útil definir una matriz RACI (Responsable, Aprobador, Consultado, Informado) para cada categoría de datos o módulo del sistema.

Paso 9: Información pública y acceso ciudadano

El modelo de datos y el sistema de información resultante deben considerar desde su diseño la dimensión del acceso público. Esto no solo favorece la transparencia y la rendición de cuentas, sino que también fortalece la participación ciudadana informada en los procesos de planificación del agua.



Descripción Metodológica:

- Identificar qué conjuntos de datos son de interés público (ej. delimitación de cuencas, series de caudales, puntos de monitoreo, mapas de uso del suelo).
- Establecer criterios para su publicación: formato abierto, frecuencia de actualización, metadatos asociados.
- Definir canales de publicación: portales web institucionales, sistemas de datos abiertos, infraestructuras de datos espaciales.
- Diseñar perfiles de acceso diferenciados dentro del sistema: público general, técnicos, instituciones colaboradoras.
- Evaluar necesidades de visualización pública: tableros, visores interactivos, informes periódicos comprensibles.



Recomendación:

Se recomienda articular esta dimensión con los principios de gobierno abierto y las políticas de acceso a la información vigentes en el país o región. Además, facilitar el acceso a datos puede generar sinergias con comunidades locales y otros actores clave.

Ejemplos de modelos de América Latina

México: La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) opera el *Sistema Nacional de Información del Agua (SINA)*, establecido por ley para integrar datos sobre **cantidad, calidad, usos y conservación del agua** gob.mx. El SINA consolida una base de datos *estadística y geográfica* que difunde información hídrica mediante reportes, gráficas y mapas interactivos gob.mx. Por ejemplo, el SINA reúne indicadores de disponibilidad, uso del agua por sectores, calidad del agua y obras hidráulicas, presentándolos en una plataforma única de libre acceso. Este modelo de datos integral ha permitido a México contar con productos informativos robustos (ej. Atlas del Agua, anuarios estadísticos) y satisfacer diversas necesidades de información del sector hídrico ine.gov.py pyine.gov.py. La evolución del SINA –desde datos básicos hacia informes especializados– muestra cómo un sistema bien

Capítulo 3.3.

Descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión

establecido puede ampliarse progresivamente manteniendo la coherencia de los datos ine.gov.py pyine.gov.py.

Brasil: La Ley de Aguas de Brasil (1997) creó el *Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH)* como instrumento de la Política Nacional de Aguas. El SNIRH, coordinado por la Agencia Nacional de Águas e Saneamento (ANA), tiene por objetivo **reunir, dar consistencia, compartir y actualizar permanentemente datos** sobre la cantidad y calidad de los recursos hídricos gov.br. Este sistema provee información sobre la disponibilidad y demanda de agua en todo el país, sirviendo de insumo para la elaboración de planes de recursos hídricos gov.br. Para lograrlo, **integra subsistemas informáticos, bases de datos unificadas, infraestructura tecnológica y recursos humanos especializados** gov.br. Brasil adapta su modelo de datos a una escala continental, incorporando redes hidrometeorológicas extensas, registros de usos (otorgamiento de derechos de agua) e incluso alertas de eventos hidrológicos, todo interoperable bajo el paraguas del SNIRH. La fortaleza institucional de ANA ha permitido un sistema robusto, pero también modular, donde distintos módulos (cantidad, calidad, usuarios, monitoreo) se integran gradualmente según avanzan las capacidades técnicas.

Argentina: La Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica implementa el *Sistema Nacional de Información Hídrica (SNIH)* como **base de datos hidrológica integrada** a nivel nacional bibliotecasredam.wordpress.com. Su objetivo es **recolectar, procesar y almacenar datos básicos** de la Red Hidrológica Nacional, incluyendo registros históricos de estaciones hidrométricas propias y de otros organismos adheridos bibliotecasredam.wordpress.com. El SNIH brinda acceso libre a series de caudales, niveles y precipitaciones, unificando décadas de observaciones de múltiples fuentes en un solo repositorio argentina.gob.ar/bibliotecasredam.wordpress.com. Asimismo, Argentina ha desarrollado herramientas de *cartografía digital y sistemas georreferenciados* para estructurar la información hídrica y vincularla a datos espaciales bibliotecasredam.wordpress.com. Un ejemplo práctico es el portal público del SNIH, donde usuarios pueden visualizar y descargar datos históricos diarios y mensuales de cientos de estaciones en todo el país. Este modelo de datos integrado facilita el **conocimiento del estado y dinámica de los recursos hídricos** (en cantidad y calidad) como base para planes de infraestructura y gestión sostenible bibliotecasredam.wordpress.com. Argentina demuestra que, aun con capacidades técnicas en desarrollo, es posible unificar datos hidrológicos dispersos mediante estándares comunes y ofrecer una plataforma central de información.

Perú: La Autoridad Nacional del Agua (ANA) del Perú encabeza el *Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos (SNIRH)*, concebido como una **red tecnológica e institucional** para dar soporte a la toma de decisiones en la gestión del agua ana.gob.pe. En la práctica, Perú ha desarrollado el *Observatorio del Agua*, una plataforma web interactiva que integra múltiples conjuntos de datos: estadísticas de **demanda de agua por cuenca**, inventarios de **pozos** con sus características, registros históricos de **embalses**, información sobre proyectos de formalización de derechos de uso de agua, entre otros datosabiertos.gob.pe. Esta plataforma presenta la información de forma amigable, accesible tanto al público general como a autoridades locales y usuarios organizados datosabiertos.gob.pe. El modelo de datos peruano está organizado por componentes (cantidad, calidad, infraestructura, usuarios) y emplea visores geográficos para mapear cuencas y fuentes hídricas. Se adapta a una realidad institucional donde diversas direcciones de ANA y otros sectores aportan datos; por ello, el SNIRH peruano enfatiza la *articulación interinstitucional* y la capacitación técnica para alimentar un sistema único. El enfoque modular le permite crecer en etapas: por ejemplo, iniciando con datos de oferta hídrica y ampliando luego a incluir calidad del agua y ecosistemas según se fortalezcan las capacidades.

Chile: La Dirección General de Aguas (DGA) de Chile ha desarrollado sistemas de información enfocados en sus prioridades legales: la administración de derechos de agua y el monitoreo hidrometeorológico. Si bien Chile no cuenta aún con un solo portal nacional integrado como otros países, sí dispone de **bases de datos especializadas**. Por ejemplo, la DGA mantiene un *Catastro Público de Aguas* (registro unificado de derechos de aprovechamiento de aguas) y opera una red nacional de estaciones hidrométricas cuyos datos (caudales de ríos, niveles de aguas subterráneas, calidad de aguas) son publicados regularmente en informes y plataformas en línea. En la última década, Chile ha avanzado en la **infraestructura de datos espaciales (IDE)** del sector hídrico, integrando capas de información geográfica de cuencas, cauces y obras hidráulicas en visores oficiales. El modelo

Capítulo 3.3.

Descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión

de datos chileno se ha adaptado a **capacidades técnicas altas en monitoreo**, pero con cierta dispersión institucional: distintos departamentos de la DGA manejan bases de datos que ahora tienden a interconectarse bajo el enfoque GIRH. Un desafío identificado es evolucionar desde sistemas aislados (e.g. archivo de datos hidrológicos, registros administrativos) hacia un sistema integrado de planificación hídrica; para ello Chile está fortaleciendo la estandarización interna y la interoperabilidad de sus sistemas existentes.

Colombia: En Colombia, la gestión de la información hídrica está distribuida entre varias entidades. El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) centraliza gran parte de los **datos hidrometeorológicos** (red nacional de estaciones de lluvia y caudal) y elabora evaluaciones periódicas sobre oferta y demanda de agua. A su vez, el Ministerio de Ambiente, a través del *Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC)*, integra datos de calidad del agua, ecosistemas acuáticos y reportes de las autoridades ambientales regionales. Este enfoque multinodal ha significado que el **modelo de datos hídricos colombiano** deba coordinar diferentes fuentes: bases de datos del IDEAM, sistemas regionales de corporaciones autónomas, registros sectoriales (por ejemplo, del sector agrícola y energético en uso de agua) y las cuentas nacionales de agua que prepara la autoridad estadística. La experiencia colombiana muestra la adaptación a **capacidades institucionales fragmentadas**: en lugar de un único sistema central, se avanza en la interoperabilidad entre subsistemas. Por ejemplo, Colombia impulsa estándares comunes para el intercambio de datos entre IDEAM y entidades regionales, y utiliza la plataforma de *datos abiertos* nacional para publicar indicadores hídricos. No obstante, este modelo enfrenta retos similares a otros países con información dispersa: la heterogeneidad de métodos y formatos dificulta la consolidación en una sola base unificada ine.gov.py. Para superarlo, se está reforzando la coordinación institucional y la adopción de procedimientos estandarizados, reconociendo que la calidad de los datos mejora cuando todos usan **definiciones y clasificaciones uniformes** en el país ine.gov.py.

España: En España se dispone de diversos sistemas de información de datos hidrológicos y de planificación hidrológica según sus fines específicos, aunque a efectos de presentar uno especialmente desarrollado como herramienta de apoyo para la preparación de un plan hidrológico se sugiere ver el ejemplo que ofrece: MÍRAME-IDEDuero. Se trata de un sistema de base de datos que combina una infraestructura de datos espaciales acorde con los principios INSPIRE, con una potente base de datos alfanumérica en la que se reúne información sobre los elementos naturales, las infraestructuras y la socioeconomía de la parte española de la cuenca del Duero. El sistema también ofrece diversos tipos de servicios para la visualización, consulta y descarga de los datos. Dispone de una parte privada y de otra pública accesible en: <https://mirame.chduero.es/chduero/public/home>

Otras experiencias: Además de los países mencionados, otras naciones han desarrollado soluciones ajustadas a sus realidades. Por ejemplo, *Uruguay* ha creado el sistema “Sistema Nacional de Agua” apoyado en su red hidrológica y meteorológica, con énfasis en alertas tempranas, mientras *Honduras* y *El Salvador* han recibido apoyo internacional para establecer bases de datos de cuencas y balances hídricos básicos. Cada caso muestra distintos niveles de sofisticación técnica: desde simples hojas de cálculo estandarizadas y SIG de escritorio en instituciones con recursos limitados, hasta sistemas web centralizados con servicios en la nube en instituciones más avanzadas.

La adaptación a diferentes capacidades es evidente: países con mayores recursos han implementado modelos de datos integrales en tiempo casi real, mientras que otros comienzan unificando datos históricos y meta-datos de fuentes diversas como primer paso.

[3.3.2] Ámbito territorial

El objetivo de la delimitación del ámbito territorial es establecer con precisión el ámbito geográfico sobre el que aplica el plan hidrológico, definiendo los límites físicos e institucionales que lo configuran. Esta caracterización espacial constituye la base para el análisis técnico, la articulación interinstitucional y la planificación operativa.

✓ Contenidos clave:

A continuación, se enumeran los elementos fundamentales que deben considerarse para una adecuada caracterización de la delimitación territorial dentro del plan hidrológico:

Capítulo 3.3.

Descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión

1. Identificación del ámbito geográfico del plan:

- Determinar si el plan se aplica sobre una **cuenca hidrográfica**, una **subcuenca**, un **sistema hídrico interconectado**, o un conjunto de unidades territoriales adyacentes con gestión compartida.
- Señalar si se trata de una unidad física-natural (por ejemplo, cuenca endorreica, exorreica, transfronteriza) o de una unidad funcional (por ejemplo, región de gestión integrada del agua, zona de planificación prioritaria).
- Incluir un **mapa de referencia** con límites hidrográficos principales y secundarios.

2. Descripción del modelo de división administrativa:

- Listado y localización de las unidades político-administrativas comprendidas total o parcialmente en el territorio del plan: **provincias, departamentos, municipios, comunas u otras subdivisiones oficiales**, con atención en su caso a la cuestión transfronteriza.
- Relación entre límites administrativos y límites naturales (correspondencias, superposiciones o disyunciones).
- Identificación de autoridades administrativas relevantes en cada nivel.
- Notar si existen **zonas con gobernanza compartida o disputada** entre jurisdicciones.



Recomendación:

Incorporar una matriz de correspondencia entre unidades hidrológicas y divisiones administrativas, que facilite la implementación y seguimiento del plan.



Importante:

En cuencas compartidas entre distintas jurisdicciones, es clave identificar mecanismos de cooperación interinstitucional ya existentes o que deban establecerse, con énfasis en la gestión coordinada de recursos y competencias.

[3.3.3] Geomorfología y relieve

El análisis geomorfológico y del relieve permite comprender la forma y dinámica del terreno, lo cual es esencial para interpretar el comportamiento hidrológico del territorio, definir zonas de riesgo y orientar decisiones de infraestructura, conservación y uso del suelo.

Los siguientes aspectos deben ser considerados:

✓ Contenidos clave:

- **Caracterización de unidades geomorfológicas:**
 - Identificación y delimitación de las principales unidades del paisaje (valles, planicies aluviales, terrazas fluviales, montañas, piedemontes, depresiones, etc.).
 - Relación entre las formas del relieve y los procesos hidrológicos, como la retención de agua, la generación de escorrentía o la recarga de acuíferos.
 - Evaluación del grado de modificación antrópica de las unidades geomorfológicas (urbanización, canalización, deforestación, minería).
- **Análisis de pendientes:**
 - Clasificación de las pendientes según intervalos de inclinación y su distribución espacial.
 - Evaluación de su influencia sobre la velocidad de escurrimiento, la erosión superficial, la retención de humedad y la acumulación de sedimentos.
 - Identificación de áreas críticas para la implantación de prácticas de manejo del suelo o soluciones basadas en la naturaleza (SBN).
- **Zonas de riesgo geomorfológico:**
 - Delimitación de áreas propensas a procesos de remoción en masa (deslizamientos, flujos de lodo), erosión acelerada o formación de cárcavas.
 - Consideración de factores desencadenantes como tipo de suelo, pendiente, cobertura vegetal y régimen de lluvias.

Capítulo 3.3.

Descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión

Relevancia de estos riesgos para la infraestructura hídrica, la población expuesta y la planificación territorial.



Importante:

La comprensión del relieve es particularmente crítica en cuencas de montaña o con fuerte gradiente altitudinal, donde pequeñas intervenciones pueden generar impactos hidrológicos significativos aguas abajo.



Recomendación:

Incluir mapas de relieve sombreado, curvas de nivel, y pendientes clasificadas, idealmente generados a partir de modelos digitales de elevación (MDE), que permitan un análisis espacial detallado y fácilmente interpretable.

[3.3.4] Suelos y cobertura vegetal

El análisis de los suelos y de la cobertura del suelo es esencial para entender los procesos de escorrentía, infiltración, recarga de acuíferos y erosión, así como para evaluar la interacción entre usos del territorio y el ciclo hidrológico. La calidad, uso y manejo del suelo influye directamente en la sostenibilidad de los recursos hídricos.

Se deben considerar los siguientes elementos clave:

✓ Contenidos clave:

- **Clasificación de tipos de suelo:**
 - Identificación y mapeo de las principales clases de suelo presentes en la unidad territorial, según su textura, estructura, capacidad de infiltración y retención hídrica.
 - Evaluación de propiedades relevantes para la dinámica hídrica: profundidad efectiva, capacidad de campo, conductividad hidráulica, contenido de materia orgánica.
 - Determinación de la vulnerabilidad a procesos de degradación como compactación, salinización o pérdida de fertilidad.
- **Distribución de usos del suelo:**
 - Análisis espacial de la cobertura del suelo actual: áreas agrícolas, forestales, urbanas, industriales, naturales o degradadas.
 - Evolución histórica de los usos del suelo y su relación con cambios en la oferta o calidad del recurso hídrico.
 - Identificación de prácticas de manejo del suelo que favorezcan o afecten la infiltración y la retención de humedad (por ejemplo, labranza conservacionista, forestación, urbanización no planificada), en particular zonas impermeabilizadas por desarrollo urbano o asimilable que puedan provocar concentraciones o puntas de escorrentía.
- **Impacto sobre el régimen de escorrentía y recarga de acuíferos:**
 - Evaluación de cómo los distintos tipos y usos del suelo modifican la escorrentía superficial, la infiltración y la generación de escurrimientos concentrados.
 - Identificación de zonas de recarga natural de acuíferos y su relación con la cobertura actual del suelo.

Relevancia de áreas con cobertura vegetal densa (bosques, pastizales naturales) en la regulación del ciclo hidrológico y la protección del suelo frente a la erosión.



Importante:

Las intervenciones sobre el suelo pueden tener efectos acumulativos o irreversibles sobre el recurso hídrico. Por ello, es clave vincular esta caracterización con medidas de gestión territorial, restauración ecológica y conservación del suelo.

Capítulo 3.3.

Descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión



Recomendación:

Integrar datos de suelos y cobertura en sistemas de información geográfica (SIG) que permitan superponer esta información con mapas de pendiente, uso del agua y recarga, facilitando una visión integrada del comportamiento hidrológico del territorio.

Erosión y sedimentación

Los procesos de erosión y sedimentación constituyen variables geomorfológicas críticas que inciden directamente en la dinámica hidrológica y la calidad de los recursos hídricos en las cuencas hidrográficas. La aceleración antropogénica de estos procesos, sumada a los efectos del cambio climático, provoca impactos adversos como la colmatación de embalses, degradación del hábitat acuático y alteración de la capacidad de almacenamiento, afectando la provisión de servicios ecosistémicos y el funcionamiento hidráulico tanto en infraestructuras como en redes de drenaje naturales. Por lo tanto, su consideración en el plan hidrológico es imprescindible para garantizar la sostenibilidad de los recursos hídricos y la integridad ambiental.

Aspectos a considerar para su estudio, caracterización y evaluación:

Caracterización Integral de procesos erosivos y sedimentarios

- a) Inventario y cartografía
 - Compilación de datos geológicos, edáficos, climatológicos, geomorfológicos e hidrológicos.
 - Análisis de la información de las redes de monitoreo sedimentométrico.
 - Uso de tecnologías de teledetección y Sistemas de Información Geográfica (SIG) para identificar zonas de erosión activa y potencial, así como áreas de acumulación sedimentaria.
 - Clasificación del grado de erosión considerando variables como topografía, tipo de suelo, cobertura vegetal y régimen climático.
- b) Modelación de la erosión y el transporte Sedimentario:
 - Aplicación de modelos matemáticos para la cuantificación de la pérdida de suelo y el mapeo espacial del transporte de sedimentos.
 - Integración de análisis hidrológicos y geomorfológicos para la simulación del régimen sedimentario en función de eventos hidrológicos.
- c) Evaluación morfológica y estado de hábitats acuáticos
 - Estudio de la geomorfología fluvial para identificar procesos de colmatación, cambios en el perfil longitudinal y su efecto en la biodiversidad acuática.
- d) Análisis de Presiones Antropogénicas
 - Documentación y evaluación de intervenciones antrópicas que alteran el régimen natural sedimentario (presas, obras lineales, actividades extractivas, cambio de uso del suelo).

Evaluación de Impactos sobre los cuerpos de agua

- Evaluación cuantitativa y cualitativa del impacto de la sedimentación en la calidad del agua (turbidez, contenido de nutrientes y contaminantes asociados).
- Determinación del impacto sobre la capacidad y operatividad de embalses y su vida útil, mediante análisis de colmatación y balance sedimentario.
 - Cuantificación precisa de la carga sedimentaria mediante muestreos y análisis granulométricos, cálculo del balance sedimentario y uso de modelos hidrosedimentológicos para simular la evolución de la colmatación.
 - Monitoreo regular mediante batimetrías y estaciones sedimentológicas, con énfasis en la detección temprana de pérdida de capacidad.
- Análisis de la afectación a los ecosistemas acuáticos y riparios, incluyendo pérdida de hábitats y alteración de la biodiversidad.

Capítulo 3.3.

Descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión

Análisis Predictivo y Escenarios de Cambio Climático

- Integración de escenarios hidrológicos y sedimentológicos futuros, incorporando proyecciones de cambio en el uso del suelo y escenarios climáticos regionalizados.
- Modelación dinámica para anticipar tendencias de erosión y sedimentación bajo condiciones variables, facilitando la planificación proactiva y resiliente.

Necesidad de medidas actuaciones y medidas para su gestión

- a) Medidas en la cuenca
 - Implementación de prácticas conservacionistas que reduzcan la erosión (reforestación, terrazas, agricultura sostenible).
 - Ordenación territorial enfocada en minimizar la escorrentía sedimentaria.
- b) Medidas en embalses

Desarrollo de estrategias operativas para mantenimiento y prolongación de la vida útil del embalse, incluyendo dragado y manejo hidráulico para la evacuación controlada de sedimentos.

 - Intervenciones estructurales: dragado, liberación controlada de sedimentos, drenaje de fondo.
 - Incorporación de dispositivos para la captura y retención sedimentaria en embalses nuevos (trampas sedimentarias).
- c) Medidas no estructurales
 - Programas de educación ambiental, capacitación técnica para usuarios agropecuarios y comunitarios, y fortalecimiento institucional para manejo sostenible del suelo y agua.
- d) Plan de monitoreo y gestión adaptativa
 - Instalación y operación de estaciones hidrométricas equipadas para medición de caudales y concentración de sedimentos en suspensión y arrastre sólido.
 - Desarrollo de protocolos para el seguimiento continuo de variables hidrosedimentológicas. Realización de análisis granulométricos periódicos y levantamientos batimétricos en cauces y embalses para evaluar la evolución sedimentaria.
 - Evaluación periódica de la eficacia de las medidas implementadas, con capacidad de ajuste en función de los resultados.

[3.3.5] Geología e hidrología

La geología y la hidrogeología del territorio definen las características estructurales y dinámicas del subsuelo, las cuales determinan el almacenamiento, circulación y disponibilidad de los recursos hídricos subterráneos. Este análisis es clave para comprender la relación entre el sistema hídrico superficial y el subterráneo, así como para planificar un uso sostenible del agua en el largo plazo.

A continuación, se presentan los componentes esenciales que deben abordarse:

✓ **Contenidos clave:**

- **Cartografía de formaciones geológicas principales:**
 - Identificación de unidades litológicas dominantes (rocas ígneas, sedimentarias, metamórficas) y su disposición espacial.
 - Análisis de estructuras geológicas relevantes: pliegues, fallas, fracturas, diaclasas.
 - Relación entre la geología y las propiedades hidrológicas del terreno (retención, filtración, drenaje natural).
- **Identificación de acuíferos y unidades hidrogeológicas:**
 - Delimitación de acuíferos libres, confinados y semiconfinados presentes en el territorio.
 - Caracterización de su extensión, profundidad, capacidad de almacenamiento, recarga natural y conectividad con fuentes superficiales.
 - Localización de zonas de recarga y descarga, así como su grado de vulnerabilidad ante contaminación.
- **Características estructurales del subsuelo:**
 - Evaluación de parámetros hidrogeológicos como la permeabilidad, porosidad efectiva, transmisividad y coeficientes de almacenamiento.
 - Presencia de fracturas o discontinuidades geológicas que faciliten el flujo subterráneo o actúen como barreras hidráulicas.

Capítulo 3.3.

Descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión

- Influencia de las condiciones del subsuelo en la viabilidad de pozos, captaciones, infraestructura de recarga artificial u obras subterráneas.



Importante:

La geología no solo condiciona la oferta subterránea, sino también la calidad del agua. Formaciones ricas en sales, minerales o materiales orgánicos pueden afectar los usos posibles del recurso (abastecimiento, riego, industria).



Recomendación:

Utilizar mapas hidrogeológicos actualizados, perfiles geológicos transversales y datos de sondeos o perforaciones, que permitan estimar con precisión la disponibilidad y sostenibilidad del agua subterránea.

[3.3.6] Contexto climatológico

El contexto climatológico de la unidad territorial de planificación constituye un elemento esencial para comprender la disponibilidad, distribución temporal y variabilidad del recurso hídrico. Esta primera aproximación es especialmente relevante en la definición del modelo conceptual que sirve como base para la elaboración del **inventario de recursos hídricos**. Las condiciones climáticas determinan los patrones de precipitación, evapotranspiración, temperaturas extremas y eventos hidrometeorológicos, los cuales tienen efectos directos sobre el régimen hidrológico y los riesgos asociados.

✓ Contenidos clave:

A continuación, se describen los elementos clave que deben ser considerados para una adecuada caracterización climática del territorio:

- **Caracterización del clima predominante:**
 - Clasificación del territorio según sistemas climáticos reconocidos (como Köppen-Geiger, Holdridge u otros), con una breve descripción de las condiciones propias de cada zona.
 - Delimitación de zonas climáticamente homogéneas y detección de gradientes o transiciones que puedan generar contrastes hídricos internos importantes (por ejemplo, entre zonas húmedas y semiáridas dentro de una misma cuenca).
- **Precipitación:**
 - Análisis de la distribución espacial y temporal de las lluvias, incluyendo promedios anuales, variaciones estacionales y distribución intraanual.
 - Evaluación de la frecuencia e intensidad de eventos extremos de precipitación (lluvias intensas o concentradas), así como de años secos o húmedos según registros históricos.
 - Identificación de zonas que presentan déficit hídrico persistente o excesos puntuales que afectan el balance hídrico y el diseño de infraestructuras hidráulicas.
- **Temperatura y evapotranspiración:**
 - Descripción de las temperaturas medias anuales, así como de los rangos térmicos extremos durante el año, especialmente en relación con los cultivos, la salud humana y el consumo de agua.
 - Estimación de la evapotranspiración potencial (ETP) y real (ETR), fundamental para calcular la demanda hídrica ambiental, agrícola y urbana.
 - Relación entre temperaturas altas, evaporación superficial de cuerpos de agua y estrés térmico en ecosistemas o actividades productivas.
- **Eventos hidrometeorológicos extremos: Fenómenos Extremos**
 - Registro de sequías meteorológicas, hidrológicas y agrícolas recurrentes, con énfasis en su duración, severidad y áreas más afectadas.
 - Análisis de eventos de inundaciones relacionadas con precipitaciones intensas o mal drenaje natural, incluyendo sus impactos históricos en infraestructuras, asentamientos y ecosistemas.

Capítulo 3.3.

Descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión

- Evaluación de la capacidad de respuesta del territorio ante estos eventos, considerando aspectos como sistemas de alerta temprana y medidas de prevención.
- **Tendencias y escenarios de cambio climático:** **Cambio Climático**
 - Revisión de estudios o escenarios regionalizados de cambio climático disponibles para la zona de planificación, considerando diferentes horizontes temporales (Ej.: 2030, 2050, 2100).
 - Análisis de las principales variables proyectadas: aumento o disminución de la precipitación, incremento de temperaturas, cambios en la estacionalidad o en la frecuencia de eventos extremos.

Implicaciones sobre la gestión del agua, tales como disminución de caudales base, mayor competencia por el recurso, necesidad de adaptación de cultivos o infraestructura resiliente.

[3.3.7] Hidrología y red fluvial

La hidrología y la red fluvial constituyen el esqueleto funcional del sistema hídrico superficial de la unidad territorial. Su estudio permite comprender los flujos de agua a través del paisaje, su variabilidad temporal, los mecanismos de recarga y descarga, así como los riesgos y oportunidades asociados a su gestión. Este conocimiento es clave para definir estrategias de uso, conservación y adaptación frente a la variabilidad climática.

✓ **Contenidos clave:**

A continuación, se detallan los elementos fundamentales que deben abordarse en esta sección:

- **Estructura de la red hidrográfica**
 - **Identificación de cursos de agua:** Se debe elaborar un inventario detallado de los ríos, arroyos, quebradas y otros cauces —permanentes o estacionales— presentes en el territorio, indicando su longitud, caudal medio estimado y ubicación en el sistema de drenaje.
 - **Jerarquización de la red:** Utilizar sistemas de codificación como el orden de Strahler o Shreve para clasificar los cauces según su posición jerárquica. Esto permite entender la complejidad y conectividad de la red fluvial. (**tarea de Inventario de los recursos hídricos**).
 - **Delimitación de subcuencas:** Dividir la cuenca principal en unidades menores de análisis (subcuencas y microcuencas) según criterios hidrológicos. Estas unidades permiten desagregar el análisis y facilitar la planificación descentralizada.
 - **Análisis de conectividad fluvial:** Evaluar el grado de continuidad del sistema fluvial, identificando interrupciones o fragmentaciones producidas por presas, derivaciones, encauzamientos, obras de paso o infraestructura urbana. La conectividad es clave para la migración de especies, el transporte de sedimentos y la regulación natural del caudal.



Recomendación:

Utilizar modelos digitales de elevación (MDE) y sistemas de información geográfica (SIG) para representar la red de drenaje y su relación con otros elementos físicos del territorio.

- **Régimen hidrológico**
 - **Variabilidad temporal del caudal:** Analizar las series de caudal histórico en estaciones hidrométricas disponibles, identificando caudales medios mensuales, caudales máximos (crecidas) y mínimos (estiajes). Este análisis permite establecer la estacionalidad y estabilidad del régimen.
 - **Estacionalidad e indicadores hidrológicos:** Determinar la duración, intensidad y regularidad de los períodos húmedos y secos. Identificar los meses de mayor vulnerabilidad para cada uso del agua (agrícola, doméstico, ecológico).
 - **Eventos extremos:** Evaluar la frecuencia, magnitud y recurrencia de eventos de inundación o sequía. Determinar su impacto potencial sobre infraestructura, poblaciones, ecosistemas y productividad económica.
 - **Alteraciones del régimen natural:** Identificar las principales causas de modificación del flujo (embalses, captaciones, cambios de uso del suelo, urbanización), así como su impacto en el comportamiento hidrológico y en los caudales ecológicos.

Capítulo 3.3.

Descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión



Recomendación:

Incluir gráficos comparativos de caudales, coeficientes de escorrentía y curvas de permanencia, para facilitar el análisis técnico y la comunicación con actores locales.



Importante:

Un régimen hidrológico saludable no solo sostiene el abastecimiento humano y productivo, sino que mantiene los procesos ecológicos esenciales en los ríos y humedales. El análisis debe considerar tanto la oferta hídrica como la resiliencia del sistema frente al cambio climático.

[3.3.8] Redes de monitoreo

Definición: Las redes de monitoreo son sistemas estructurados de observación que permiten registrar de forma sistemática, representativa y continua una o varias variables relacionadas con el recurso hídrico, en términos de cantidad, calidad o uso. Están conformadas por un conjunto de estaciones fijas o móviles, manuales o automáticas, distribuidas espacialmente en la demarcación hidrográfica, y diseñadas para captar información útil sobre el estado y la dinámica de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos, así como de las condiciones climáticas e hidrogeológicas que los afectan.

Objetivo: El objetivo de las redes de monitoreo es generar información técnica fiable, trazable y continua sobre el estado de los recursos hídricos y sus presiones asociadas, que permita sustentar el diagnóstico, seguimiento y evaluación del plan hidrológico. Esto incluye la cuantificación del recurso disponible, el control de la calidad del agua, el análisis del uso y explotación del recurso, así como la detección temprana de alteraciones relevantes (naturales o antrópicas), con el fin de facilitar la gestión integral, la toma de decisiones y el cumplimiento de los objetivos ambientales y normativos establecidos.

Utilidad: Las redes de monitoreo constituyen la base operativa del sistema de información hidrológica del país o la cuenca. Su utilidad principal radica en:

- Apoyar la elaboración y actualización de los planes hidrológicos, mediante diagnósticos basados en datos empíricos.
- Respalda la evaluación del estado de las masas de agua y el cumplimiento de objetivos de calidad y cantidad.
- Sustentar los balances hídricos y análisis de riesgos, incluyendo sequías, avenidas, contaminación y sobreexplotación.
- Validar y alimentar modelos hidrológicos y de calidad del agua, aumentando la robustez de las proyecciones y escenarios.
- Facilitar la toma de decisiones públicas y privadas, mediante indicadores verificables y registros históricos.
- Garantizar la transparencia, trazabilidad y confiabilidad de la información técnica.

Contenidos que deben incluirse en un plan hidrológico

El plan hidrológico debe reflejar **las características técnicas de la red de monitoreo**, presentando de forma sintética las redes de monitoreo existentes, la justificación de su diseño y los datos que produce en términos de cantidad y calidad del agua. Esta información es esencial para respaldar los diagnósticos del estado del recurso hídrico, orientar las decisiones de gestión y evaluar el cumplimiento de los objetivos ambientales.

El plan hidrológico debería incluir como contenidos mínimos:

1. **Tipos de redes de monitoreo**
2. **Diagnóstico técnico del estado de la red de monitoreo existente**
3. **Diseño y justificación de la red**

Tipos de redes de monitoreo

La gestión integrada de los recursos hídricos requiere de información precisa, continua y confiable sobre las distintas dimensiones del agua: su disponibilidad, calidad, uso y evolución en el tiempo. Para ello, el plan hidrológico debe apoyarse en un conjunto de **redes de monitoreo** que cubran diversos aspectos del ciclo hidrológico y las interacciones socioambientales asociadas.

Estas redes constituyen la base técnica sobre la cual se sustenta el diagnóstico, la evaluación de presiones e impactos, y el diseño de medidas de gestión. Si bien la configuración exacta de las redes puede variar entre países o regiones, existen cuatro tipos principales de redes que suelen ser imprescindibles en cualquier planificación hidrológica.

1. **Red meteorológica:** Esta red proporciona información climática esencial, como precipitación, temperatura, humedad relativa, radiación solar o velocidad del viento. Estos datos son fundamentales para entender la dinámica del ciclo hidrológico, calcular balances hídricos, modelar escenarios de escasez o inundación, y analizar impactos del cambio climático.
 - **Responsables típicos:** Servicios meteorológicos nacionales o regionales. En muchos casos, estas redes son operadas por entidades distintas a las autoridades del agua, lo que exige mecanismos de coordinación e intercambio de datos.
2. **Red hidrológica:** Se encarga de monitorear las variables cuantitativas del agua: caudales en ríos y canales, niveles en lagos o embalses, y niveles piezométricos en acuíferos. Los datos registrados en esta red pueden ser usados para estimar la disponibilidad del recurso en tiempo real y a largo plazo, evaluar la recarga de sistemas subterráneos y modelar el comportamiento de cuencas hidrográficas.
 - **Responsables típicos:** Autoridades del agua (nacionales, regionales o de cuenca), a menudo con el apoyo de instituciones técnicas o científicas.
3. **Red de calidad de las aguas y control de vertidos:** Esta red tiene por objetivo recopilar datos que sirvan para evaluar la calidad de las aguas superficiales y subterráneas. A través del muestreo de parámetros fisicoquímicos, químicos y biológicos, permite detectar contaminación, clasificar masas de agua según su estado y verificar el cumplimiento de los objetivos ambientales establecidos en la normativa.
 - **Responsables típicos:** Autoridades del agua. En algunos casos, también se utilizan datos generados por operadores del servicio de abastecimiento, saneamiento o actividades industriales con sistemas de autocontrol.
4. **Red de uso del agua:** Monitorea el volumen de agua extraída y utilizada en los distintos sectores (abastecimiento urbano, agricultura, industria, energía, etc.), así como los retornos al medio hídrico. Este seguimiento permite realizar balances de oferta y demanda, estimar niveles de presión sobre el recurso y verificar el cumplimiento de derechos de uso o concesiones.
 - **Responsables típicos:** Autoridades del agua y concesionarios. La información puede provenir de medidores instalados, declaraciones de usuarios o sistemas de control volumétrico automatizado.

En función del contexto territorial o institucional, pueden existir **otras redes auxiliares o especializadas**, como redes de monitoreo de zonas protegidas, humedales, calidad del sedimento o intrusión salina. Además, muchas redes están parcialmente automatizadas, con estaciones de transmisión en tiempo real, lo que permite desarrollar programas de alerta o mejorar la eficiencia de la toma de decisiones.

El análisis detallado de estas redes se complementará en otros apartados de la guía, en particular los relacionados con el modelo de datos, el inventario de recursos, la calidad de las aguas y los usos y demandas.

El conocimiento detallado de los distintos tipos de redes y de la información que generan permite establecer la base técnica sobre la cual se apoya la planificación hidrológica. Sin embargo, no basta con identificar su existencia: es necesario evaluar su estado actual, funcionamiento real, grado de cobertura y adecuación frente a los objetivos del plan. Por ello, a continuación, se desarrolla los principales elementos que debe contener un diagnóstico técnico de la red de monitoreo existente, que permitirá identificar fortalezas, limitaciones y posibles necesidades de mejora para garantizar una gestión del agua basada en información confiable y suficiente.

Capítulo 3.3.

Descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión

Diagnóstico técnico del estado de la red de monitoreo existente

El conocimiento detallado de los distintos tipos de redes y de la información que generan permite establecer la base técnica sobre la cual se apoya la planificación hidrológica. Sin embargo, no basta con identificar su existencia: es necesario evaluar su estado actual, funcionamiento real, grado de cobertura y adecuación frente a los objetivos del plan. Por ello, en el presente apartado se desarrolla los principales elementos que debe contener un **diagnóstico técnico de la red de monitoreo existente**, que permitirá identificar fortalezas, limitaciones y posibles necesidades de mejora para garantizar una gestión del agua basada en información confiable y suficiente.

A continuación, se presentan los contenidos técnicos que se recomienda que se contemple en el plan hidrológico respecto al estado actual de la red, su nivel de confianza, detección de carencias y las actuaciones necesarias para su fortalecimiento.

Caracterización de la red actual

El primer paso para una correcta planificación hidrológica basada en datos es realizar una **caracterización detallada de las redes de observación y registro existentes**. Este análisis debe ofrecer una visión clara, completa y sistemática de la configuración actual del sistema de monitoreo en el ámbito territorial del plan, abarcando los distintos tipos de redes que generan información relevante para la gestión integrada de los recursos hídricos.

Elementos clave a considerar en la caracterización:

- **Cantidad y ubicación de estaciones:** Localización geográfica y distribución espacial de los puntos de monitoreo, diferenciando entre aguas superficiales y subterráneas, redes automáticas o manuales, y estaciones activas o inactivas.
- **Variables medidas y tipos de parámetros:** Debe incluirse una clasificación de los parámetros registrados, distinguiendo entre:
 - Variables hidrológicas (caudales, niveles, piezometría).
 - Variables meteorológicas (precipitación, temperatura, humedad, etc.).
 - Parámetros de calidad (físicoquímicos, químicos, biológicos).
 - Datos sobre el uso del agua (extracciones, retornos, consumos).
- **Frecuencia y calidad de los datos recolectados:** Análisis de la resolución temporal (horaria, diaria, mensual) y la disponibilidad histórica de los datos. También se debe valorar la existencia de vacíos, inconsistencias o necesidad de calibración.
- **Responsable de la red, operador y disponibilidad de la información:** Identificación de las entidades responsables de la operación, mantenimiento y gestión de los datos (organismos públicos, operadores privados, agencias meteorológicas, etc.), así como la accesibilidad y el formato en que se dispone la información.

La caracterización de la red actual no es un fin en sí mismo, sino un insumo básico para otros componentes del plan, como:

- El **modelo de datos y la base de información hidrológica**.
- El **inventario de recursos hídricos disponibles**.
- El análisis de la **calidad de las aguas**.
- La evaluación de los **usos y demandas del agua**.

Además, esta caracterización permitirá identificar posibles debilidades en la red que requieran **acciones de mejora o expansión**, las cuales se deben considerar dentro del Programa de Medidas del plan hidrológico

Evaluación del nivel de confianza de la red

Para que los datos generados por una red de monitoreo sean útiles en el contexto de la planificación hidrológica, es imprescindible conocer y documentar el grado de confianza que ofrecen. Esto implica evaluar la representatividad espacial y temporal de las mediciones, y a través de los responsables de las redes, la precisión técnica de los equipos y procedimientos, y el nivel de incertidumbre asociado a las observaciones.

Capítulo 3.3.

Descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión

Un alto nivel de confianza en los datos respalda la validez de diagnósticos, balances hídricos (**Balance demandas-recursos y asignación de recursos**), evaluaciones de la calidad de las aguas (**Evaluación de calidad de aguas**) y modelaciones predictivas, mientras que un bajo nivel de confiabilidad puede comprometer las decisiones de gestión y planificación.

El plan hidrológico debe incluir una descripción clara de la **metodología utilizada para evaluar la confiabilidad de las redes de monitoreo**, independientemente de su tipología (cuantitativas, cualitativas, de uso, meteorológicas, etc.). Esta evaluación permite verificar si la información generada por las redes es técnicamente robusta, representativa y adecuada para sustentar el diagnóstico, el diseño de medidas y la toma de decisiones.

La metodología puede estar basada en un conjunto de **indicadores cualitativos y/o cuantitativos**, que valoren aspectos clave del funcionamiento y calidad de las redes, tales como:

- **Cobertura espacial suficiente** para cada tipo de variable medida (cantidad, calidad, uso del agua, clima), garantizando representatividad geográfica en función de la heterogeneidad del territorio.
- **Densidad de estaciones y ubicación estratégica**, considerando la localización de las masas de agua, las zonas de presión o interés prioritario, y los puntos críticos del sistema hidrológico.
- **Continuidad y completitud de las series de datos históricas**, incluyendo la existencia de registros con suficiente antigüedad, baja proporción de lagunas o interrupciones, y consistencia temporal.
- **Aplicación de protocolos estandarizados de medición y muestreo**, de acuerdo con normativas técnicas reconocidas o guías nacionales e internacionales.
- **Trazabilidad y validación de los datos**, es decir, la capacidad para conocer el origen, condiciones y proceso de generación de los datos, incluyendo registros de calibración y mantenimiento.
- **Capacidad institucional y técnica de los operadores**, laboratorios y entidades responsables, lo cual influye directamente en la calidad y sostenibilidad del sistema de monitoreo.

En ausencia de una **metodología nacional estandarizada**, se recomienda adaptar **marcos de referencia internacionales** (como los propuestos por la OMM, UNESCO, UE, entre otros) y construir una **valoración técnica específica** mediante un conjunto de indicadores seleccionados, con **niveles de cumplimiento definidos** (por ejemplo: alto, medio, bajo), asociados a criterios verificables y medibles.

La documentación del **nivel de confianza de las redes** debe incorporarse al **registro técnico del plan**, asegurando que todas las decisiones apoyadas en datos observados puedan ser **auditadas y reconstruidas** sobre una base de información trazable, consistente y técnicamente justificada.

Detección de potenciales carencias

Como parte del diagnóstico del nivel de confianza de la red de monitoreo, es importante identificar posibles carencias que afecten la calidad, representatividad o continuidad de los datos. Estas carencias pueden estar relacionadas con una cobertura insuficiente en ciertas zonas del territorio, frecuencias de medición inadecuadas, equipos obsoletos o falta de medición de ciertos parámetros relevantes. Reconocer estas limitaciones permite orientar acciones de mejora específicas y justificar técnicamente la necesidad de ajustes en el diseño o la operación de la red. Hay que ser conscientes de que el plan hidrológico deberá redactarse, fundamentalmente, con la información disponible y que, todas estas oportunidades de mejora que se identifiquen podrán causar efectos en las siguientes revisiones del plan.

Fortalecimiento y propuestas de mejora

Con base en el diagnóstico técnico, el plan hidrológico debe plantear medidas o actuaciones para optimizar la red de monitoreo, asegurando una mejor cobertura, representatividad y utilidad de los datos generados. Estas propuestas deben incluir:

- **Identificación de vacíos o duplicaciones:** detección de zonas sin cobertura o con redundancia innecesaria de estaciones, que permitan una redistribución eficiente de recursos.

Capítulo 3.3.

Descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión

- **Recomendaciones para ampliación, actualización tecnológica o reubicación:** propuesta de nuevas estaciones en puntos críticos, mejora o automatización de estaciones existentes, y traslado de estaciones mal ubicadas o poco representativas.
- **Inclusión en el programa de medidas del plan:** todas las acciones de fortalecimiento propuestas deben integrarse en el programa de medidas del plan hidrológico, con una priorización temporal (corto, medio y largo plazo) y estimación de recursos técnicos y económicos requeridos.

Este apartado constituye el puente entre el diagnóstico técnico de la red de monitoreo y la planificación operativa de sus mejoras. Las actuaciones propuestas deben trasladarse al **Programa de actuaciones** del plan hidrológico, acompañadas de su correspondiente justificación técnica, cronograma, coste estimado y fuentes de financiación.

Diseño y justificación de la red

Este apartado presenta los elementos técnicos que sustentan la configuración de la red de monitoreo utilizada en el plan hidrológico, basada en la red actualmente operativa y los resultados del diagnóstico de su estado y confiabilidad.

El propósito no es definir una “nueva red ideal”, sino consolidar la red disponible como punto de partida, identificar sus limitaciones y, en su caso, proponer mejoras específicas que permitan aumentar su representatividad, cobertura y utilidad para los objetivos del plan.

Se parte del principio de que la planificación debe ajustarse a las condiciones reales de monitoreo, trabajando con la red existente, pero planteando un diseño funcional progresivo que permita su fortalecimiento en fases sucesivas. Este diseño técnico debe reflejar criterios hidrológicos, operativos e institucionales, orientados a garantizar la viabilidad, sostenibilidad y utilidad de la red en el marco de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos.



Importante:

El diseño debe mantener un enfoque funcional y realista, considerando la información disponible, las capacidades operativas y los recursos técnicos e institucionales del país o demarcación, evitando modelos normativos inalcanzables o descontextualizados.

Elementos técnicos del diseño funcional de la red

El diseño funcional de una red de monitoreo hidrológico debe responder a un enfoque sistemático y proporcional, alineado con los objetivos del plan hidrológico y con criterios técnicos que garanticen la generación de datos útiles, representativos y comparables. A continuación, se enumeran y desarrollan, de forma sintética, los principales elementos técnicos que sustentan un diseño funcional de una red de monitoreo de la red de monitoreo:

1. **Determinación de los objetivos del monitoreo:** Todo diseño debe partir de una delimitación clara de los fines que se busca cumplir con la red. En función de estos, se establecerán las variables a medir, la tecnología a emplear y la organización del sistema. Algunos de los objetivos más comunes incluyen:
 - Evaluar la **disponibilidad del recurso hídrico**, a través del seguimiento de caudales, niveles de embalses y piezometría.
 - Controlar la **calidad del agua**, midiendo parámetros fisicoquímicos, biológicos y microbiológicos.
 - Supervisar el **uso del agua**, mediante el control de extracciones y retornos.
 - Monitorear **variables climáticas** asociadas al ciclo hidrológico, como precipitación, temperatura o evapotranspiración.
 - Verificar el **cumplimiento normativo** o la eficacia de las **medidas de gestión adoptadas**.
 - Detectar y anticipar **eventos extremos** o alteraciones relevantes, como sequías, avenidas, intrusión salina o contaminación puntual.

Capítulo 3.3.

Descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión

Una red eficaz debe diseñarse con un propósito definido, evitando configuraciones genéricas o sobredimensionadas que comprometan su operatividad o sostenibilidad.

2. **Identificación de zonas estratégicas:** La ubicación de las estaciones no debe ser aleatoria ni uniforme, sino orientada por criterios de relevancia hidrológica, ambiental y de gestión. Deben priorizarse:

- **Cabeceras de cuenca**, zonas de recarga de acuíferos y otras áreas de importancia funcional en el ciclo del agua.
- **Ecosistemas sensibles o protegidos**, donde la calidad o cantidad del agua es determinante para la biodiversidad.
- **Zonas con fuertes presiones antrópicas**, como vertidos industriales, captaciones intensivas o usos agrícolas extensivos.
- **Áreas de interés social o potencial conflictividad**, por la competencia de usos o escasez estructural del recurso.
- **Puntos obligatorios por normativa**, como estaciones de control en masas de agua protegidas, zonas de baño o cuerpos de agua en riesgo.

La selección estratégica de sitios de observación optimiza la representatividad y permite focalizar recursos donde más se necesitan.

3. **Selección de tipo de red y parámetros a medir:** La red de monitoreo se compone de distintos subsistemas, que deben coordinarse entre sí:

- Redes de cantidad: estaciones hidrométricas, piezómetros, aforos.
- Redes de calidad: puntos de muestreo de parámetros fisicoquímicos, biológicos o microbiológicos.
- Redes de control de uso: monitoreo de captaciones, retornos y volúmenes consumidos.
- Redes meteorológicas: estaciones climáticas para seguimiento de precipitación, temperatura, humedad, etc.

Para cada red deben definirse los parámetros específicos a registrar, en función del tipo de cuerpo de agua (superficial, subterráneo, costero), los usos predominantes en la zona y los riesgos o presiones identificadas en el diagnóstico del plan.

4. **Frecuencia de observación:** a periodicidad de las mediciones debe justificarse con base en:

- La **variabilidad temporal esperada** de los parámetros.
- El **objetivo del monitoreo** (seguimiento rutinario, alerta temprana, validación de medidas).
- La **capacidad operativa disponible**.

A modo orientativo:

- **Caudales:** medición diaria o subdiaria (varias mediciones dentro del mismo día) mediante sensores automáticos. ([Inventario recursos hídricos](#))
- **Niveles piezométricos:** semanal o mensual, dependiendo de la variabilidad. ([Inventario recursos hídricos](#)).
- **Calidad fisicoquímica:** mensual a trimestral. ([Evaluación de calidad de las aguas](#))
- **Bioindicadores:** estacional o anual, según ciclos ecológicos. ([Evaluación de calidad de las aguas](#)).
- **Usos del agua:** mensual, o conforme a la frecuencia de control de concesiones. ([Usos y demandas](#)).



Importante:

Es recomendable establecer rangos orientativos de frecuencia según tipo de variable, medio monitoreado y relevancia para los objetivos del plan.

5. **Capacidades mínimas de detección y precisión operativa:** El diseño debe garantizar que los datos recogidos tengan la resolución, sensibilidad y exactitud adecuadas para su uso técnico y normativo. Esto implica establecer umbrales mínimos según el tipo de variable:

Capítulo 3.3.

Descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión

- **Calidad del agua:** límites de detección acordes con valores guía o normativos (p. ej. para nitratos, metales pesados, coliformes). ([Evaluación de calidad de las aguas](#)).
- **Caudales:** sensores con capacidad para registrar tanto caudales bajos como picos súbitos. ([Inventario recursos hídricos](#)).
- **Niveles piezométricos:** equipos con resolución fina y estabilidad frente a interferencias externas. ([Inventario recursos hídricos](#)).
- **Clima:** pluviómetros sensibles a precipitaciones ligeras, termómetros con registros horarios.
- **Extracciones:** medidores capaces de detectar volúmenes mínimos definidos por la regulación o el tipo de uso. ([Usos y demandas](#)).



Importante:

Estas exigencias deben alinearse con estándares nacionales o internacionales aplicables, pero pueden adaptarse progresivamente a las capacidades locales mediante planes de mejora tecnológica, actualización de sensores o incorporación de métodos indirectos de medición.

Justificación de la red

La definición de una red de monitoreo no debe limitarse a la enumeración de puntos de medición, sino que debe estar respaldada por una justificación técnica clara y coherente. Este apartado del plan hidrológico debe explicar de forma concisa los criterios empleados para mantener, modificar o ampliar la red existente, así como su adecuación a los objetivos estratégicos del plan. A continuación, se enumeran elementos a considerar en la justificación:

- **Mantenimiento de componentes existentes:** Se debe explicar qué estaciones o dispositivos de la red actual se conservan, señalando su valor operativo, ya sea por la continuidad de las series históricas que ofrecen, su ubicación estratégica dentro de la cuenca, o la calidad y estabilidad de los datos que generan.
- **Ajustes propuestos y su fundamento técnico:** Toda modificación (instalación de nuevas estaciones, reubicación de puntos existentes, eliminación de estaciones obsoletas o redundantes) debe estar debidamente justificada. Las razones pueden incluir cambios en los patrones de uso del agua, necesidad de cubrir zonas sin monitoreo, evitar duplicidades o responder a nuevas presiones ambientales identificadas.
- **Detección de vacíos o redundancias en la red:** El análisis debe identificar si existen áreas críticas sin cobertura suficiente (vacíos espaciales o temáticos), o si hay puntos de monitoreo que no aportan valor adicional significativo (redundancia). En ambos casos, deben plantearse soluciones proporcionales, como la implantación progresiva de estaciones, la priorización por fases, o el uso complementario de métodos indirectos (teledetección, modelación, aforos móviles).
- **Alineación con los objetivos del plan hidrológico:** El diseño propuesto debe estar claramente vinculado con los fines que persigue el plan. Debe explicarse cómo la red permite:
 - Diagnosticar la disponibilidad y calidad del recurso.
 - Hacer seguimiento de medidas e intervenciones previstas.
 - Verificar el cumplimiento de objetivos ambientales o normativos.
 - Monitorear zonas sensibles, cuerpos de agua en riesgo o áreas prioritarias.
 - Detectar y anticipar impactos derivados del cambio climático o eventos extremos.

En conjunto, esta justificación técnica permite asegurar que la red de monitoreo no solo es técnicamente sólida, sino también relevante, eficiente y orientada a las necesidades reales del sistema de gestión del agua.



Importante:

Todas las decisiones derivadas del diseño técnico deben trasladarse al [Programa de actuaciones](#), con indicación de su prioridad, recursos necesarios y cronograma de implementación.

Capítulo 3.3.

Descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión

[3.3.9] Patrimonio hidráulico

Además de los elementos naturales, la cuenca cuenta con infraestructura y herencia cultural en la gestión del agua, su 'patrimonio hidráulico'. El patrimonio hidráulico comprende el conjunto de infraestructuras actuales que permiten el aprovechamiento de las aguas, así como los sistemas tradicionales y elementos culturales relacionados con el manejo del agua que han sido construidos, utilizados o conservados a lo largo del tiempo en la unidad territorial de planificación. Su reconocimiento permite no solo valorar su importancia histórica y funcional, sino también integrar sus aprendizajes, valores y potenciales en la gestión actual del recurso hídrico.

✓ **Contenidos clave:**

A continuación, se describen los elementos fundamentales que deben ser considerados para caracterizar el patrimonio hidráulico de la cuenca o región:

• **Infraestructura hidráulica actual**

- Obras de regulación (embalses) y de transporte (canales y conducciones) que desempeñen un papel significativo en el aprovechamiento de los recursos.
- Obras de captación (azudes, campos de pozos, etc) que faciliten la integración de los recursos en los sistemas de explotación.
- Obras de recogida y tratamiento de las aguas.

En todos estos casos, además de su localización, se requerirá disponer de la información requerida por las herramientas numéricas con las que se vayan a realizar los **balances de recursos-demandas**. Básicamente se tratará de capacidades máximas y mínimas de almacenamiento, transporte o producción; curvas volumen embalsado versus superficie de lámina de libre, y toda otra información que pueda tener significado a la hora de simular el comportamiento del sistema de aprovechamiento.

• **Infraestructura hidráulica histórica**

- Inventario de obras relevantes construidas en diferentes épocas (acueductos, represas, canales, molinos, norias, cisternas, puentes hidráulicos, etc.) que hayan contribuido al desarrollo territorial.
- Descripción de su diseño, materiales, antigüedad y estado de conservación.
- Análisis de su funcionalidad actual (en uso, en abandono, en proceso de restauración) y su vinculación con usos contemporáneos del agua.
- Valoración de su integración en el paisaje y su relevancia como testimonio del conocimiento hidráulico tradicional.

• **Sistemas tradicionales de gestión del agua**

- Identificación de prácticas comunitarias e indígenas relacionadas con la captación, almacenamiento, distribución y uso del agua (acequias, albarradas, jagüeyes, andenes, terrazas, etc.).
- Análisis de su lógica de funcionamiento, estructura organizativa, reglamentación consuetudinaria y mecanismos de control social.
- Relevancia de estos sistemas en la gestión sostenible, la equidad y la resiliencia hídrica local.
- Estado actual: activos, en riesgo de desaparición, adaptados a nuevos contextos, integrados a sistemas modernos.

• **Elementos culturales y simbólicos asociados al agua**

- Registro de expresiones culturales vinculadas al agua: rituales, festividades, creencias, toponimia, arte popular o patrimonio oral.
- Reconocimiento de sitios sagrados o espirituales relacionados con fuentes de agua, especialmente en contextos indígenas o rurales.
- Relevancia del agua como eje articulador de la identidad territorial y del vínculo entre comunidades y naturaleza.

• **Conservación y valorización del patrimonio hidráulico**

- Evaluación de los riesgos de deterioro, pérdida o desvalorización del patrimonio material e inmaterial vinculado al agua.
- Propuestas de conservación, restauración, uso educativo, turístico o comunitario.
- Integración del patrimonio hidráulico en estrategias de gestión integrada del recurso hídrico, ordenamiento territorial y desarrollo sostenible.

Capítulo 3.3.

Descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión



Recomendación:

Incluir un inventario georreferenciado del patrimonio hidráulico, fichas descriptivas de elementos relevantes, y relatos comunitarios que complementen la información técnica con saberes locales.



Importante:

Reconocer y proteger el patrimonio hidráulico no es solo un acto cultural, sino una herramienta de planificación que fortalece la gobernanza del agua rescata soluciones adaptativas probadas y promueve una gestión con identidad territorial.

[3.3.10] Delimitación y caracterización de los cuerpos o masas de agua

La delimitación y caracterización de los cuerpos de agua constituye una tarea esencial para comprender la disponibilidad hídrica, su distribución espacial, calidad, funciones ecosistémicas y grado de presión o vulnerabilidad. Incluye tanto cuerpos de agua superficiales (tramos de río, de lagos, embalses, humedales) como cuerpos de agua subterráneos (acuíferos), cuya interacción define el comportamiento integral del sistema hídrico territorial.

El concepto de «cuerpo de agua», ya sea superficial o subterráneo, lleva a la identificación de unidades discretas de análisis sobre las que se realizarán los diagnósticos y se acumulará información. A la hora de delimitar o identificar los cuerpos o masas de agua, habrá que tener en cuenta lo siguiente:

- Su dimensión debe ser adecuada para responder a los objetivos y al detalle perseguido con el plan hidrológico, racionalizando los esfuerzos de planificación conforme a los resultados perseguidos.
- Como criterio general debe considerarse que un cuerpo de agua responderá a un diagnóstico, si se requiere diferenciar su situación por zonas es más simple dividir el cuerpo de agua en tantas partes como zonas con diagnóstico diferenciado se identifiquen.
- Análogamente, puede no tener sentido considerar dos cuerpos de agua contiguos con caracterización y diagnóstico similares. Esto es importante para no llegar a una subdivisión tal que sea incompatible con una adecuada gestión.

✓ Contenidos clave:

Este análisis permite identificar recursos estratégicos, zonas prioritarias de conservación, riesgos de sobreexplotación y oportunidades para el manejo sostenible del agua.

1- Cuerpos de agua superficial

- **Inventario general:** Realizar un listado georreferenciado de los cuerpos de agua presentes en la unidad territorial, diferenciando entre naturales (tramos de río, ríos, lagos, lagunas, humedales) y artificiales (embalses, represas, canales regulados).
- **Caracterización morfométrica:**
 - Superficie, profundidad media y máxima, volumen estimado, estacionalidad (permanente o temporal).
 - Descripción del régimen de llenado y vaciado en el caso de embalses regulados.
 - Cuencas de aporte directo y principales fuentes de alimentación (precipitación directa, escorrentía, afluentes, recarga subterránea).
- **Usos predominantes y funciones:**
 - Destinar los cuerpos de agua a su uso actual o planificado: abastecimiento humano, riego, generación de energía, recreación, conservación, pesca o múltiples usos.
 - Evaluar su rol en la regulación hídrica natural: amortiguación de crecidas, recarga de acuíferos, regulación térmica y depuración natural.
- **Estado de conservación y amenazas:**
 - Identificar signos de degradación: eutrofización, sedimentación, pérdida de biodiversidad, invasiones biológicas, contaminación puntual o difusa.

Capítulo 3.3.

Descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión

- Evaluar presiones antrópicas actuales: extracción excesiva, ocupación del borde, vertidos no tratados, urbanización acelerada.
- Relación con zonas de riesgo: cuerpos de agua en áreas propensas a desbordamientos, colmatación o pérdida de conectividad.



Recomendación:

Usar imágenes satelitales de distintas épocas para observar evolución de superficie y condiciones. Incluir fichas técnicas por cuerpo de agua con variables clave y fotografías de referencia.

2- Cuerpos de agua subterránea (acuíferos)

- **Delimitación hidrogeológica:**
 - Identificar y mapear las cuerpos de agua subterránea existentes en el área: acuíferos libres, confinados o semiconfinados, y zonas de transición.
 - Establecer sus límites espaciales (areal y vertical), condiciones geológicas, y conexión con cuerpos superficiales o entre acuíferos.
- **Características físico-hidrogeológicas:**
 - Tipo de material geológico (rocas fracturadas, gravas, arenas, materiales finos).
 - Parámetros esenciales: porosidad, permeabilidad, transmisividad, almacenamiento específico.
 - Capacidad de recarga: directa (por precipitación o riego) o indirecta (por escorrentía o filtración desde cuerpos superficiales).
- **Captaciones y usos actuales:**
 - Localización de pozos, galerías, perforaciones y norias existentes.
 - Volumen extraído anual, niveles piezométricos, balance hídrico estimado.
 - Usos principales: consumo humano, agrícola, industrial o ecosistémico.
 - Detección de pozos ilegales o usos no regulados.
- **Estado y riesgos:**
 - Identificar acuíferos en situación de sobreexplotación, descenso de niveles freáticos, subsidencia o salinización.
 - Análisis de calidad del agua subterránea: conductividad, nitratos, metales pesados, contaminación por agroquímicos u origen geogénico.
 - Vulnerabilidad a la contaminación superficial, en función del tipo de suelo, profundidad del acuífero, prácticas agrícolas y disposición de residuos.



Recomendación:

Utilizar mapas hidrogeológicos regionales, estudios técnicos, datos de perforaciones y redes de monitoreo piezométrico. Incorporar participación de usuarios del agua subterránea para validar la información de usos y detectar conflictos.

3- Interacción entre aguas superficiales y subterráneas

- Analizar la relación funcional entre ríos, humedales y acuíferos: zonas de recarga y descarga, flujos cruzados, retroalimentación durante estiajes o crecidas.
- Identificar tramos de ríos con pérdida o ganancia de caudal por interacción subterránea.
- Evaluar el impacto de la explotación de aguas subterráneas sobre humedales, manantiales o cursos de agua permanente.
- Considerar medidas de gestión integrada y restauración ecológica para mantener el equilibrio hidrológico entre sistemas.

Tipificación de cuerpos de agua

La tipificación de cuerpos de agua constituye una etapa esencial dentro del proceso de planificación hidrológica, al permitir agrupar unidades superficiales y subterráneas con características físicas, hidrológicas y ecológicas homogéneas. Esta clasificación funcional posibilita establecer objetivos de

Capítulo 3.3.

Descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión

calidad técnicamente coherentes, definir condiciones de referencia para la evaluación ecológica, diseñar redes de monitoreo representativas y aplicar medidas de gestión diferenciadas por tipo de cuerpo de agua. Para llevar a cabo esta tipificación el Plan deberá tener en cuenta:

1. Diferenciación por tipo hidrológico-funcional

Clasificación inicial por tipo genérico:

- **Aguas superficiales:** ríos, arroyos, lagos, lagunas, embalses, humedales, aguas costeras.
- **Aguas subterráneas:** acuíferos confinados, libres, semiconfinados, manantiales.

Esto define las categorías base para aplicar criterios específicos de tipificación.

2. Tipificación ecológica de aguas superficiales

Para cuerpos de agua superficiales, la tipificación debería basarse en atributos que determinan la estructura ecológica esperada y las condiciones de referencia.

Variables mínimas sugeridas:

Variable	Tipo	Justificación ecológica
Altitud	Abiótica	Condiciona temperatura, oxígeno, comunidades
Geología	Abiótica	Influye en conductividad, hábitat, sedimentos
Orden fluvial / tamaño	Hidrográfica	Relacionado con conectividad y caudal
Régimen hidrológico	Hidrológica	Permanente / intermitente / efímero
Tipo de lecho / sustrato	Morfológica	Influye en disponibilidad de hábitats
Clima / temperatura media	Climática	Afecta la biota esperada
Uso del suelo circundante	Presión antrópica	Indica grado de alteración potencial

3. Tipificación funcional de acuíferos

Para cuerpos de agua subterráneos, la tipificación considera aspectos hidrogeológicos y de funcionamiento hidráulico:

- Tipo de acuífero (libre, confinado, semiconfinado)
- Litología (rocas fracturadas, arenas, calizas, etc.)
- Profundidad y espesor saturado
- Tipo de recarga (directa, indirecta)
- Vulnerabilidad a la contaminación
- Conectividad con cuerpos de agua superficiales

La combinación de estos criterios permite diferenciar unidades hidrogeológicas con distinta sensibilidad a presiones externas y distintos objetivos de calidad requeridos.

4. Asignación de unidades tipológicas

Cada cuerpo de agua debe ser asociado a una **tipología codificada**, que se utilizará para:

- Definir objetivos de calidad adaptados al tipo.
- Establecer condiciones de referencia ecológica (para evaluación biológica).
- Agrupar tramos o masas de agua en la red de monitoreo.
- Diseñar indicadores e índices específicos (según tipo de masa de agua).

Por ejemplo, un río de montaña alta, permanente, con sustrato rocoso y sin alteración significativa podría codificarse como **R-MH-P-R-SIN-A**.

Sería deseable obtener como resultado:

- Un **listado tipificado** de todos los cuerpos de agua inventariados.

Capítulo 3.3.

Descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión

- Una **asociación explícita** de cada masa de agua a una tipología definida.
- Un **sistema de codificación estandarizado** dentro de la base de datos del plan hidrológico.

[3.3.11] Inventario de los recursos hídricos

Definición: El Inventario de Recursos Hídricos es un proceso técnico mediante el cual se identifica, cuantifica y caracteriza la **disponibilidad, calidad, distribución y estado** de los recursos hídricos en una cuenca o unidad de planificación. Incluye tanto las **aguas superficiales como las subterráneas**, así como las **fuentes no convencionales** derivadas de la acción humana. Este inventario constituye un **conjunto ordenado de información** que sirve como base técnica para la **planificación, asignación y protección** del recurso hídrico.

Objetivo: El objetivo del inventario de recursos hídricos es explicar el funcionamiento cuantitativo del ciclo del agua en el ámbito territorial de planificación, proporcionando una base cuantitativa y espacialmente explícita con la que sustentar la planificación, gestión y asignación del agua en una cuenca o unidad de gestión, identificando la disponibilidad del recurso en diferentes condiciones y momentos del tiempo.

Utilidad: La utilidad del inventario de recursos hídricos radica en que permite evaluar la disponibilidad y distribución del agua para diferentes fines, apoyar la toma de decisiones en la planificación hidrológica, calcular balances hídricos para identificar déficits o excedentes y, entre otros fines, facilitar la gestión sostenible del recurso en el territorio.

Si no se realiza un inventario de recursos, se corre el riesgo de tomar decisiones basadas en información incompleta o errónea, lo que puede generar impactos negativos como la sobreexplotación, la degradación ambiental y la pérdida de oportunidades para el desarrollo sostenible.



Importante:

En el marco de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH), el inventario constituye la referencia base para comprender el sistema hídrico, evaluar presiones actuales y futuras, y fundamentar la toma de decisiones sobre usos, protección de las aguas y adaptación al cambio climático.

El inventario de recursos hídricos ha de servir como conjunto de datos de entrada para diversos trabajos del plan hidrológico, los cuales podrán abordarse con mayor o menor nivel de precisión, en función de la calidad y el grado de detalle con que haya sido elaborado el inventario. Por tanto, su nivel de detalle y alcance debe estar alineado con los usos previstos de la información que este inventario proporciona.

Contenidos que deben abordarse en un Plan Hidrológico

El inventario de recursos hídricos en un plan hidrológico debe explicar, en términos areales, cualitativos y cuantitativos, cómo se manifiesta el ciclo hidrológico en el ámbito territorial de planificación correspondiente. Además, su elaboración puede aportar datos de entrada para otros análisis a realizar en el propio plan hidrológico, tales como:

- Balances recursos/demandas, que requieren de información sobre aportaciones, disponibilidad y demandas (**Balances recursos-demandas y Asignación y reserva de recursos**).
- Determinación de los regímenes de caudales ecológicos (**caudales ecológicos**).
- Estimación de los caudales de avenida (**Fenómenos extremos y Cambio Climático**).
- Caracterización de sequías (**Fenómenos extremos y Cambio Climático**).
- Cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos para determinar la demanda agrícola utilizando la estimación de la ETP realizada en la elaboración del inventario de (**Descripción general de usos y demandas**).

Para la elaboración efectiva del inventario de recursos hídricos de un Plan hidrológico, este debe contemplar el siguiente **contenido**:

- a) Modelo conceptual y esquematización y zonificación de los recursos hídricos naturales
- b) Descripción e interrelación de las variables hidrológicas: modelización numérica.

Capítulo 3.3.

Descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión

- c) Estadísticos de las series hidrológicas
- d) Características básicas de calidad de las aguas en condiciones naturales
- e) Evaluación del efecto del cambio climático

Modelo conceptual, esquematización y zonificación de los recursos hídricos naturales

Desarrollo del contenido en Tarea 1: Modelo conceptual, esquematización y zonificación de los recursos hídricos naturales

El **modelo conceptual** describe el funcionamiento del ciclo del agua en el ámbito territorial de estudio, lo que permite identificar las zonas de generación de recursos hídricos y las áreas de salida o descarga natural. También facilita la localización de los aprovechamientos existentes y la caracterización de la evolución de la calidad del agua a lo largo de su recorrido dentro del área de planificación. Comprender estos aspectos es fundamental para preparar adecuadamente las tareas posteriores de simulación y cálculo numérico.

Aunque la **zonificación** no es un requisito imprescindible para comprender y representar el modelo conceptual de la cuenca en estudio, constituye una herramienta de apoyo útil. Ya sea aplicando una zonificación o adoptando un enfoque integral, es necesario, antes de iniciar los cálculos numéricos (basados en bibliografía y datos disponibles), tener claridad sobre los siguientes aspectos:

- La distribución espacial de la precipitación en el área de estudio, incluyendo la posible influencia de la nieve y el hielo, así como el tratamiento de la estacionalidad anual.
- Los factores locales que afectan la distribución de precipitaciones y temperaturas, como la altitud.
- Las principales zonas generadoras de recursos hídricos y las áreas propicias para la infiltración y recarga natural de acuíferos.
- La interacción río-acuífero, identificando tramos fluviales que actúan como ganadores o perdedores de caudal, en función de su conexión con la escorrentía subterránea.

Este análisis conceptual permitirá tomar decisiones clave de diseño para el cálculo del inventario, ajustadas a la disponibilidad de información, tales como:

- La resolución temporal del estudio (paso y rango temporal).
- La configuración espacial a utilizar (modelo discreto o distribuido).
- El tipo de resultados esperados, en función del uso previsto del inventario dentro del plan hidrológico.

Para establecer la delimitación hidrográfica de la zona de estudio, idealmente coincidente con un cuenca o agrupación de cuencas hidrográficas, y habiendo tenido en cuenta la problemática de esa división expuesta en **definición del ámbito territorial**, se recomienda llevar a cabo cuatro actividades:

- 1) identificación de límites administrativos,
- 2) identificación de aguas superficiales,
- 3) identificación de aguas subterránea y
- 4) zonificación de las áreas hidrográficas sobre las que construir el inventario.

Límites administrativos

En el inventario de recursos hídricos se debe incluir una descripción de los límites administrativos de la unidad de gestión hídrica de la que es objeto dicho plan y, por tanto, del inventario de recursos hídricos naturales. Este marco administrativo y de gestión incluye la superficie total de la cuenca o unidad de gestión hídrica elegida, así como aspectos relacionados con la distribución y porcentaje de representación de los diferentes territorios con competencias propias dentro de la misma.

Capítulo 3.3.

Descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión



Importante:

La dimensión transfronteriza, presente en la mayoría de las cuencas iberoamericanas, puede ser un aspecto clave, especialmente cuando el área de estudio se ubica aguas abajo de otro Estado del cual proviene una parte significativa de las aportaciones hídricas, ya sean superficiales o subterráneas. En estos casos, es fundamental considerar este contexto para una adecuada delimitación y evaluación de los recursos. (**Cuestión transfronteriza**).

También es recomendable establecer el número de habitantes de la cuenca y número de núcleos urbanos de tal manera que, en caso de resultar precisas determinadas ponderaciones, quede representado el peso de la contribución de cada territorio involucrado en términos de superficie y población.

Identificación de aguas superficiales

El inventario de recursos hídricos naturales debe incorporar una descripción detallada de la red de drenaje de la cuenca objeto del plan hidrológico. Esta descripción debe comprender la identificación y descripción de los cursos de agua principales y secundarios, sus afluentes, lagos, lagunas, humedales, y demás cuerpos de agua naturales presentes en el territorio.

Asimismo, debe incluir información sobre la jerarquía y el orden de los cauces, los patrones de flujo, la dirección del escurrimiento superficial, así como la localización de zonas de confluencia y divisorias de aguas.

Cuando la información esté disponible, se recomienda la recopilación de los hidrogramas característicos de este tipo de flujo, estimando magnitudes y coeficientes de escorrentía que puedan ser utilizados como información de referencia a la hora de plantear la simulación numérica.

Glaciares

Como reservas naturales de agua dulce, los glaciares y la nieve desempeñan un papel central en la regulación del ciclo hidrológico en regiones de montaña. Almacenan agua en forma sólida durante los meses fríos y la liberan gradualmente en temporadas secas o estivales, amortiguando la escasez hídrica. Esta función es especialmente relevante en cuencas que carecen de embalses de cabecera, donde los glaciares actúan como reguladores naturales del caudal.

Su dinámica influye directamente en la disponibilidad de agua, la estabilidad de los ecosistemas, la calidad del recurso hídrico y la gestión del riesgo. Por lo tanto, su estudio de los glaciares debe ser considerado como parte integral de la caracterización y el diagnóstico de una cuenca, deben incluirse en los programas de monitorización y en el modelo de gestión hídrica y tenerlos en cuenta a la hora de definir el programa de actuaciones, si fuera necesario.

Al plantearse el estudio, caracterización y monitorización de los glaciares, se debe de determinar la tipología del glaciar y por lo tanto, su funcionamiento. Un ejemplo concreto es la distinción entre los glaciares fríos y templados, los cuales poseen comportamientos distintos. Este comportamiento debe de ser analizado teniendo en cuenta el cambio climático.

Aspectos a considerar para su estudio, caracterización y evaluación:

Inventario y Cartografía Glaciar

- **Objetivo:** Identificar, delimitar y cuantificar la extensión y volumen actual de los glaciares presentes en la cuenca.
- **Metodología recomendada:** Uso de imágenes satelitales (Landsat, Sentinel), fotografías aéreas, cartografía geológica y topográfica, y validación en terreno.
- **Comparación temporal:** Se recomienda realizar comparaciones con datos históricos para identificar tendencias de retroceso o avance glaciar.

Capítulo 3.3.

Descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión

Caracterización Física y Dinámica

Determinación del balance de masa glaciar, pendientes, exposición solar, altitud, procesos de acumulación y ablación. Estos parámetros condicionan la dinámica de cada glaciar y su aporte potencial a los caudales. Para el balance de masa, se recomienda realizar dos campañas anuales in situ, una campaña de acumulación y otra de ablación. Estas campañas sirven para calibrar y validar los modelos hidrológicos.

Evaluación del aporte hídrico glaciar

- **Modelación hidrológica:** Aplicación de modelos que integren temperatura, radiación solar y volumen de hielo para estimar el caudal derivado del deshielo.
- **Estimaciones estacionales:** Relevancia del aporte glaciar en ríos de régimen nival-glaciar, especialmente durante el verano.
- **Calidad del agua:** Evaluación de parámetros físico-químicos y sedimentarios asociados al deshielo, incluyendo turbidez y presencia de sedimentos.
- **Identificación de riesgos:** Monitoreo de lagos proglaciares, desprendimientos y posibles eventos de vaciamiento súbito (GLOFs).

Evaluación del Impacto del Cambio Climático

Cuantificación del Retroceso Glaciar

Mediante la comparación entre inventarios históricos y actuales, se puede determinar la pérdida de masa y superficie glaciar, observando tendencias de reducción que varían según altitud, pendiente y orientación.

Incidencia en el Régimen Hidrológico

Se recomienda modelizar el efecto del retroceso glaciar sobre los caudales estacionales, destacando la disminución del aporte durante el verano y sus implicancias para los usos del agua y los ecosistemas asociados.

Escenarios Futuros

Se sugiere aplicar modelos climáticos regionalizados para proyectar la evolución futura de los glaciares y su impacto en la disponibilidad de agua, utilizando como referencia experiencias y marcos internacionales ajustados a zonas montañosas.

Estrategias de Adaptación

Es fundamental incorporar medidas como:

- Desarrollo de sistemas de alerta temprana ante riesgos asociados a glaciares.
- Monitoreo continuo del retroceso glaciar.
- Incorporación de criterios de resiliencia climática en obras e infraestructura hídrica.
- Fomento de la investigación y cooperación interinstitucional.

Brechas de información y necesidades de gestión

En muchas cuencas de montaña existe una limitada disponibilidad de información sobre el estado actual y funcionamiento de los glaciares. Esta carencia dificulta la validación de modelos hidrológicos y reduce la certeza de las proyecciones. Se recomienda:

- Reforzar las redes de monitoreo.
Las redes de monitoreo permiten contrastar datos observados y simulados, mejorar la precisión de los modelos de balance hídrico y anticipar cambios relevantes en la oferta hídrica estacional.
 - Estaciones meteorológicas y fluviométricas asociadas a cauces de origen glaciar.
 - Redes glaciológicas y rutas de nieve, útiles para calcular acumulaciones estacionales.

Capítulo 3.3.

Descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión

- Estaciones en lagos glaciares y zonas de permafrost, orientadas al seguimiento de riesgos y transformaciones en el paisaje de alta montaña.
- Mejorar la precisión de los modelos.
- Aumentar la inversión en estudios específicos de glaciares y nieves.
- Promover estrategias de gestión adaptativa frente a la incertidumbre climática.

Identificación de aguas subterráneas

El inventario de recursos hídricos naturales debe incluir una descripción detallada de las aguas subterráneas en la cuenca objeto del plan hidrológico. Esta descripción debe contemplar la identificación y caracterización de los acuíferos presentes, sus límites geográficos e hidráulicos, su estructura geológica, los tipos de materiales permeables que los componen y su espesor saturado.

Asimismo, se debe documentar la dinámica de recarga y descarga, las direcciones del flujo subterráneo, la situación de la superficie piezométrica, la interrelación con los cuerpos de agua superficiales, y los niveles piezométricos observados.

A estos efectos, es esencial contar con mapas que indiquen la localización de manantiales y zonas de rezume representativas del afloramiento de las aguas subterráneas. Igualmente, es importante identificar los tramos de río influentes que permitan estimar la localización de las zonas de recarga.

Será igualmente importante registrar, cuando estén disponibles, los parámetros hidrogeológicos fundamentales, como la transmisividad, la conductividad hidráulica y el almacenamiento específico, su vulnerabilidad a la contaminación y el estado de explotación de los acuíferos.

Zonificación y criterios para delimitación

En la realización del inventario de recursos hídricos naturales, la cuenca hidrográfica objeto de trabajo se podrá dividir en zonas y subzonas, siempre que su dimensión así lo aconseje, para compartimentar el territorio en unidades que guarden ciertas analogías y que por sus dimensiones resulten comparables. La división se hará en cada caso atendiendo a criterios hidrográficos, hidrogeológicos, administrativos, socioeconómicos, medioambientales u otros que en cada supuesto se estime conveniente tomar en consideración.



Importante:

Esta zonificación debe facilitar el uso de los resultados del inventario de recursos hídricos en otros aspectos de la planificación hidrológica como, por ejemplo, el cálculo de **caudales ecológicos**, el cálculo de **balances recursos-demandas** o la **asignación y reserva de recursos**.

Descripción e interrelación de las variables hidrológicas: modelización numérica

Desarrollo del contenido en Tarea 2: Descripción e interrelación de las variables hidrológicas: modelización numérica

El propósito de este segundo apartado es construir el inventario de recursos hídricos mediante la simulación numérica de la transformación precipitación–aportación, contrastando los resultados con datos observados en estaciones de aforo y piezómetros.

El objetivo final es generar **series temporales homogéneas**, con igual longitud y resolución temporal, de las variables clave que explican el ciclo hidrológico en el ámbito territorial de planificación. Estas variables serán la base para el desarrollo de otros componentes del plan hidrológico, en coherencia con el nivel de detalle y alcance que se pretenda dar al propio plan.

Para alcanzar este resultado, se recomienda llevar a cabo tres actividades:

- 1) Estudio de la disponibilidad de información, afrontando el relleno y completado de las series.
- 2) Selección del método de estimación y cálculo del inventario.

Capítulo 3.3.

Descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión

3) Presentación de resultados.

Estudio de la disponibilidad de información: relleno y completado de series

El apartado de disponibilidad de información en el inventario de recursos hídricos debe identificar y describir las fuentes de datos existentes, incluyendo las series históricas de las variables de la fase atmosférica y de la fase terrestre. Como elementos de partida se ha de disponer de dos conjuntos de datos homogéneos:

- 1) Conjunto con los componentes primarios del ciclo, básica y necesariamente precipitación y temperatura.
- 2) Conjunto con resultados para el contraste de los datos modelados en forma de hidrogramas de caudal y piezometría.

Las estaciones utilizadas en el estudio deberán quedar perfectamente identificadas y localizadas espacialmente (longitud, latitud y altitud), indicando la ventana o ventanas temporales con datos y el tipo de datos disponible.

En cuanto a los componentes primarios del ciclo hidrológico:

Se debe incluir la descripción de los datos disponibles de las diferentes variables de la fase atmosférica que sean necesarios. Entre los elementos que deben describirse se encuentran:

- **Precipitación:** Datos de precipitación acumulada (mensual, diaria o de menor paso temporal) obtenidos de estaciones meteorológicas o productos climáticos interpolados. Se debe indicar el número de estaciones disponibles, la duración de las series y la calidad de los datos (homogeneidad, continuidad, correcciones aplicadas).
- **Temperatura:** Registros de temperatura media, máxima y mínima. Su análisis permite estimar procesos como la evapotranspiración potencial o el deshielo en cuencas de alta montaña. Se deben especificar las fuentes de datos, resolución temporal y posibles métodos de interpolación.

Otros datos climatológicos relevantes pueden limitarse a zonas de interés, entre estos se pueden considerar:

- la evaporación en lámina libre en tanques o evaporímetros será de interés donde este factor intervenga en los cálculos. Por ejemplo, en lagos o embalses con amplio espejo, sobre los que la evaporación pueda suponer una salida significativa de recursos, o
- el régimen de vientos o de la radiación solar, de interés para un cálculo de la ETP que vaya más allá de los métodos más básicos o para evaluar la fusión y acumulación de nieve y hielo, condicionando la posible utilización de modelos de cálculo más o menos sofisticados.

Por otro lado, también habría que recoger y describir los datos de caudales observados en estaciones de aforo e indicar si corresponden, o no, a cursos de agua en régimen natural los, es decir, aquellos registros no alterados significativamente por regulaciones, derivaciones o usos consuntivos. Se debe detallar:

- La localización de las estaciones.
- El periodo de registro disponible.
- La resolución temporal de los datos (mensual, diaria o menor paso temporal)
- La calidad y continuidad de las series.

Además, debe evaluarse la representatividad de los aforos respecto a las condiciones hidrológicas naturales de la cuenca, identificando posibles limitaciones o la necesidad de ajustes para su uso en el cálculo de las aportaciones.

Adicionalmente, deberán recogerse y analizarse los **datos piezométricos** disponibles desde el punto de vista espacial y temporal.

Completado y relleno de series:

El relleno de lagunas en las series de datos es un paso fundamental imprescindible para dar continuidad a la modelización hidrológica. El funcionamiento del modelo numérico seleccionado requerirá de series de datos meteorológicos continuas.

Capítulo 3.3.

Descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión

Interesa que la longitud de las series sea, al menos, de 30 años, siguiendo las recomendaciones de la Organización Meteorológica Mundial para la caracterización del clima.

El ámbito territorial en que se localicen estas estaciones interesa que sea algo mayor que el de planificación, puesto que, para el relleno de datos, el trazado de isoyetas u otros análisis, convendrá disponer de información de apoyo situada más allá de las divisorias hidrográficas de las zonas de estudio. Hay que tener en cuenta que en este caso el problema transfronterizo puede ser importante y condicionar el trabajo a realizar.

Al margen de las necesidades especiales de los estudios de avenidas, sería deseable contar con datos a nivel diario. Este paso temporal se considera suficiente para la mayor parte de los trabajos que requiere el plan hidrológico.



Importante:

La información primaria, como precipitación y temperatura, suele estar más disponible y puede completarse con métodos relativamente simples o mediante interpolación espacial. En cambio, otros datos como caudales o niveles piezométricos presentan mayores dificultades, ya que reflejan el comportamiento integrado del sistema y pueden estar alterados por usos antrópicos. Su restitución al régimen natural es más compleja, requiere mayor precaución metodológica y está sujeta a un grado de incertidumbre mayor.

Programa de seguimiento cuantitativo de los recursos hídricos

En el marco de la elaboración de los planes hidrológicos, resulta fundamental disponer de una red cuantitativa sólida y bien mantenida que permita representar de forma adecuada el ciclo hidrológico. Esta red constituye la base para el análisis del estado cuantitativo de las masas de agua, el cálculo del inventario de recursos hídricos y la proyección futura del balance entre oferta y demanda.

En los contextos en que dicha red no esté consolidada o se encuentre incompleta, se recomienda establecer una hoja de ruta para su desarrollo progresivo, en coordinación con los ciclos sucesivos de planificación. En este sentido, se sugiere vincular el diseño del programa de seguimiento con las acciones del plan hidrológico o bien incorporarlo como parte de la adaptación frente al cambio climático, dado que el monitoreo sistemático también es clave para detectar tendencias y variabilidad en la disponibilidad hídrica.

Este programa debería centrarse en las variables clave para la estimación de recursos, tanto superficiales como subterráneos, y orientarse hacia la mejora de la cobertura espacial y temporal, la calidad de los datos y la coordinación institucional para el mantenimiento de las redes. Los elementos básicos de su estructura serían:

1. Identificación y sistematización de redes existentes

- Catalogación de las redes de estaciones meteorológicas, hidrológicas y piezométricas operativas en el territorio.
- Verificación de la cobertura espacial y temporal de las series disponibles.
- Evaluación de la calidad, frecuencia de actualización, grado de automatización y mantenimiento de cada estación.

2. Evaluación de la representatividad y cobertura de las variables clave

- Verificar que las redes cubren adecuadamente los principales gradientes climáticos, fisiográficos y usos del suelo de la cuenca.
- Identificar vacíos de información que comprometan la caracterización espacial o temporal de variables como precipitación, temperatura, caudal o nivel piezométrico.

3. Protocolo de integración de fuentes complementarias

- Incorporar datos de satélite, reanálisis climáticos o modelos regionales como apoyo a las redes físicas, especialmente en áreas sin observaciones directas.
- Definir criterios de validación cruzada y fusión de datos multifuente.

4. Coordinación institucional y operativa

Capítulo 3.3.

Descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión

- Identificar a los organismos responsables del mantenimiento y operación de las redes (p. ej., servicios meteorológicos, autoridades hidráulicas, organismos de cuenca).
- Establecer protocolos de intercambio de datos y estándares comunes de formato, frecuencia y control de calidad.

5. Salida esperada

- Inventario actualizado y georreferenciado de estaciones operativas, con sus principales características técnicas.
- Diagnóstico de la capacidad del sistema de monitoreo para sostener la modelización hidrológica y la planificación de recursos.
- Base técnica para definir futuras inversiones o refuerzos en el seguimiento del ciclo hidrológico.

Selección del método de estimación y cálculo del inventario

La disponibilidad de datos directos de aportaciones, provenientes de las redes de control de aforos existentes, salvo casos muy excepcionales, siempre serán insuficientes para garantizar un inventario de recursos hídricos con una resolución espacial y temporal suficiente para que sea de utilidad. Por ello, para la elaboración de este, se requiere del uso de diferentes metodologías para estimar la disponibilidad del agua en una cuenca.

Es necesario que en el plan hidrológico se seleccionen **y justifiquen** los métodos que se han utilizado para el cálculo de las aportaciones y demás variables requeridas. Esta justificación se basará en criterios como:

- La disponibilidad de información y
- capacidad del método para estimar las variables necesarias.



Recomendación:

La experiencia dice que los **modelos de Precipitación-Escorrentía** son los que más ampliamente se han usado y han dado resultados satisfactorios. No obstante, es recomendable complementar los resultados con el uso de otros métodos como, por ejemplo:

- **Análisis directo a partir de series históricas de hidrometría**
- **Modelización numérica del flujo subterráneo**

Las herramientas de simulación más sencillas realizan el balance de agua en el suelo a partir de pocos datos, modelos más sofisticados llegan a requerir mucha más información de entrada. Los elementos básicos necesarios para realizar la modelización de la transformación precipitación en aportación que se requiere conocer para abordar este trabajo son:

- La geometría tridimensional de la cuenca.
- Los datos de precipitación y temperatura.
- Los datos de aforo y piezometría para contraste de resultados y calibración del modelo.

Una **decisión clave** es determinar si se opta por trabajar con modelos distribuidos o discretos:

- Los **modelos distribuidos** cubren todo el territorio a partir de una malla, en cada celda de la malla se calcula el modelo. Los resultados de caudal se acumulan hacia aguas abajo con el apoyo de un modelo ráster de elevaciones y pendientes (modelo de acumulaciones). Este procedimiento de trabajo ofrece la gran ventaja de producir información homogénea sobre todo el territorio, pudiendo finalmente obtener resultados por acumulación en cualquier punto que se desee (**herramientas**).
- Los **modelos discretos** requieren la definición previa de los recintos de cálculo, llevar esos resultados a otros puntos no inicialmente considerados puede ser de diversa complejidad, desde una sencilla interpolación a otros procedimientos más complejos (**herramientas**).

Independientemente de que la solución por la que se opte sea el uso de técnicas distribuidas o agregadas, el modelo de cálculo del balance requerirá, además de los datos climáticos, información

Capítulo 3.3.

Descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión

paramétrica que permitirá explicar los mecanismos del balance. Según la sofisticación del modelo, esta información puede ser escasa (superficie de la unidad en estudio, espesor del suelo y algunos coeficientes de escorrentía y reparto) o mucho más completa. Esta información, que, a diferencia de los datos temporales hidrometeorológicos, puede considerarse fija, requiere una estimación previa con resultados iniciales que habitualmente se presentan en forma de mapas; no obstante, en muchas ocasiones estos parámetros terminan siendo un factor de ajuste en el proceso de calibración de los resultados.

Los resultados que se obtienen con estos procedimientos, independientemente del método de simulación utilizado, son series temporales con datos de:

- Aportación total asimilable a la que, de acuerdo con el modelo conceptual imaginado, miden las estaciones de aforo con datos de contraste disponible.
- Infiltración profunda, con efecto de recarga en los acuíferos que, de acuerdo al modelo conceptual, se deberá apreciar en los registros piezométricos disponibles para su contraste.

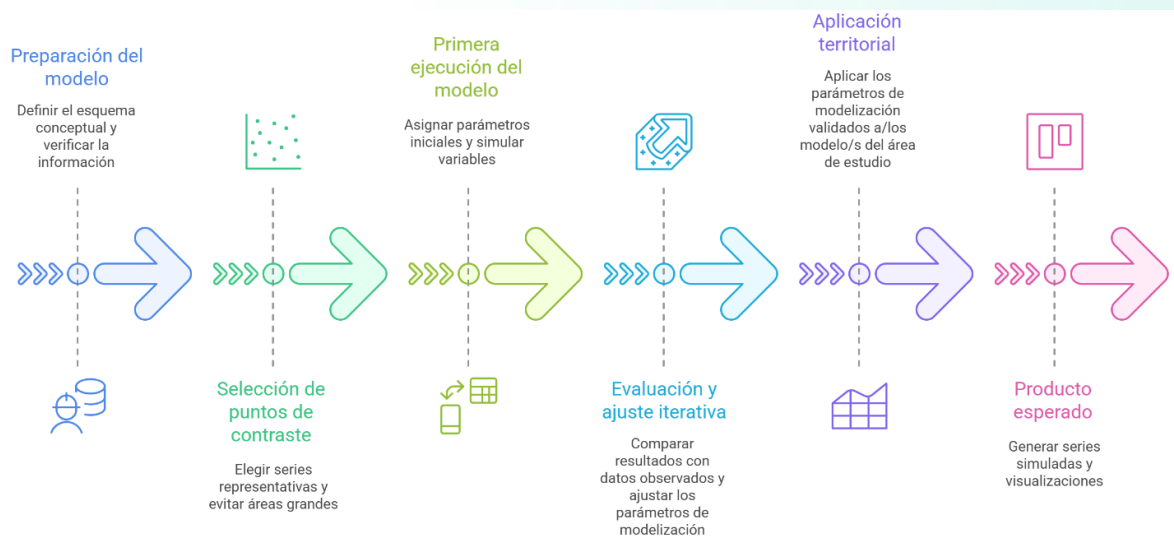
Además, el balance habrá producido datos intermedios de ETP y ETR, que complementariamente resultarán explicativos de las necesidades de agua para los cultivos y de las posibles situaciones de escasez hídrica.



Importante:

El plan hidrológico puede requerir otra información que no se obtiene del balance general previamente explicado; por ejemplo, tasas de evaporación en lámina libre, caudales diarios en régimen natural o caudales máximos. Todo ello requiere análisis específicos, casi puede decirse que estudios caso a caso, que difícilmente pueden realizarse de manera general para todo el ámbito territorial.

El proceso general de ejecución de modelos hidrológicos para la obtención del inventario de recursos hídricos se detalla en el **Paso 3 de la Tarea 2: Descripción e interrelación de las variables hidrológicas: modelización numérica**. A continuación, se muestra una imagen resumen del procedimiento habitual.



Contraste de aportaciones calculadas y registros

Aunque durante la labor de la modelización de la transformación precipitación-aportación para configurar el inventario de recursos ya se habrá trabajado el contraste entre los datos modelados y los registrados para afinar los resultados que se van produciendo mediante la calibración del modelo, una vez dado por finalizado el trabajo conviene documentar y explicar el grado de bondad alcanzado, comparando datos calculados con los registros disponibles en aquellos puntos de control en que esta información resulte más explicativa.

Capítulo 3.3.

Descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión

Para comprobar la bondad de las series obtenidas a partir del método de estimación de las aportaciones utilizado se debe llevar a cabo un proceso de contraste entre los resultados de dicho cálculo y los registros de caudales medidos disponibles en periodos de tiempo equivalentes. Esto se debe aplicar en varios puntos de la red hidrográfica de la cuenca que sean asimilables al régimen natural o que hayan podido ser restituidos con un alto grado de confianza.

Este análisis debe estar constituido por tablas con estadísticos de contraste (error medio absoluto, relativo y cuadrático u otros) y unos gráficos de los puntos de control más relevantes.

Distribución espacial de las principales variables hidrológicas

Este apartado debe describir la distribución espacial de las principales variables hidrológicas relevantes para el inventario de la fase atmosférica y terrestre. Se presentarán mapas con los valores medios interanuales de las series de precipitación, ETP y ETR, recarga a los acuíferos y escurrimiento total.

Se debe identificar la fuente de los datos (observaciones puntuales, interpolaciones, modelos hidrológicos o climáticos) y el método utilizado para su representación espacial (capas ráster, mallas regulares, mapas temáticos). También se debe detallar la resolución espacial de los datos, su cobertura geográfica y su adecuación para representar las condiciones hidrológicas de la cuenca.

El objetivo es disponer de una caracterización espacial que permita analizar la variabilidad del recurso hídrico en la totalidad de la cuenca y fundamentar los cálculos de aportaciones y disponibilidad de agua.



Importante:

El inventario de recursos hídricos debe proporcionar los datos de entrada necesarios para desarrollar otros componentes del plan hidrológico, en particular los estudios de balance entre recursos disponibles y demandas. Para ello, y según la configuración del sistema de aprovechamiento considerado, se requerirá información detallada sobre las aportaciones totales, la recarga de acuíferos y la evaporación en lámina libre, de acuerdo con los requisitos específicos de la herramienta de simulación utilizada.

La localización espacial de estos datos deberá definirse una vez conocida la esquematización y configuración de los sistemas de utilización a simular. Otros análisis del plan, como la determinación de caudales ecológicos, podrán requerir una distribución espacial distinta.

En este sentido, la flexibilidad de los modelos distribuidos, mencionada en el apartado 0, **o se encuentra el origen de la referencia.**, resulta especialmente ventajosa, ya que permite obtener resultados en cualquier punto del territorio, facilitando así la generación de salidas adaptadas a las distintas necesidades del plan hidrológico.

Estadísticas de las series hidrológicas

Desarrollo del contenido en Tarea 3: Estadísticos de las series hidrológicas

El objetivo del apartado de estadísticos de las series hidrológicas es mostrar la distribución espacial y temporal de las aportaciones estimadas, así como del resto de variables calculadas.

Los resultados del cálculo de estos estadísticos deben ofrecerse para las **series anuales y mensuales**, para el periodo o periodos temporales elegidos. Además, se deben mostrar los valores correspondientes para la **totalidad de la cuenca y la zonificación llevada a cabo**.

A la hora de interpretar los resultados de estos estadísticos es necesario valorar, y tratar de explicar, la posible diferencia que se observe entre los correspondientes a datos obtenidos por modelización y los referidos a datos reales. Estos últimos suelen incorporar una mayor variabilidad que, con frecuencia, desaparece o queda laminada al trabajar con datos resultado de modelos.

Capítulo 3.3.

Descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión

Series anuales

Entre los estadísticos que pueden ser calculados cabe destacar estimadores centrales (promedio y mediana) y estimadores de la forma de la distribución (percentiles, desviación típica, coeficiente de variación y sesgo), finalmente se incluyen descriptores de la persistencia de las series (coeficientes de autocorrelación).

La serie anual de aportaciones también es una información propicia para el estudio de posibles tendencias, en particular aquellas que puedan guardar relación con el impacto del cambio climático sobre los recursos hídricos, y para la identificación de sequías prolongadas o de periodos particularmente húmedos, que quizá puedan relacionarse con determinadas situaciones climáticas (fenómeno «El Niño»).

El inventario debe incluir una caracterización de variabilidad climática mediante el cálculo de tendencias y análisis de cambios. Es especialmente útil la identificación de los años de precipitación tipo medios, húmedos y secos. También se pueden identificar los años extremos de precipitación y temperatura mínimo junto con estadísticas de sequías e inundaciones que caractericen la duración y frecuencia de los eventos.

Series mensuales

En el caso de la representación de las series mensuales es recomendable realizar tablas en función de la zonificación llevada a cabo, así como su representación gráfica. El análisis estadístico de las series mensuales ha de permitir caracterizar la variabilidad intraanual y, en su caso, la estacionalidad intraanual que puede seguir patrones claramente distintos en las diversas zonas.

Características básicas de calidad de las aguas en condiciones naturales

El análisis de la calidad del agua en condiciones naturales tiene como objetivo caracterizar el estado químico, físico del agua disponible en el medio natural, es decir, antes de cualquier alteración significativa derivada de vertidos, captaciones, infraestructuras u otras actividades antrópicas.

El inventario de recursos hídricos debe contemplar cuáles deberían ser las características hidroquímicas naturales de las aguas, como consecuencia de las características geológicas de la cuenca hidrográfica vertiente.

En el marco del inventario de recursos, la descripción cualitativa de las aguas ha de ayudar a comprender el modelo conceptual de la cuenca 0, con el que lógicamente los datos de calidad del agua habrán de resultar coherentes. La marca hidroquímica del agua puede ser especialmente significativa, debiendo resultar explicativa de los terrenos por los que circulan las aguas y los tiempos de residencia con que cuentan, de los enriquecimientos por evaporación y de otras diversas situaciones sobre las que, esta información, ayudará a interpretar el modelo conceptual. Esta caracterización es especialmente importante en el caso del agua subterránea, dado que su permanencia en el medio poroso puede ser muy largo, permitiendo el equilibrio de las sales en disolución; es por ello que el uso de esta información ofrece aquí un amplio campo de posibilidades que van desde la estimación de tasas de recarga a los estudios sobre mezclas de aguas y otros.

A efectos de documentar este aspecto, será necesario recopilar la información correspondiente que habrá de incluir la localización de los puntos de control y los datos hidroquímicos y fisicoquímicos disponibles, siendo preciso analizar la robustez de esta información. No es raro que pasen desapercibidos serios problemas sobre la bondad de los datos, por lo que es conveniente que antes de iniciar el análisis se verifique -en la medida de lo posible- la calidad que ofrece la información de partida estudiando su balance de cargas (aniones/cationes) y realizando algunas estadísticas sencillas que faciliten la identificación de datos anómalos.

Evaluación del efecto del cambio climático

Desarrollo del contenido en *Tarea 4: Evaluación del efecto del cambio climático*

Capítulo 3.3.

Descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión

El inventario de recursos hídricos debe incluir un análisis de los potenciales efectos del cambio climático basada en modelos climáticos y metodologías hidrológicas que permitan traducir las proyecciones en escenarios hidrológicos.

Contenidos básicos a desarrollar:

- Selección de escenarios climáticos.
- Variables climáticas clave.
- Aplicación de modelos hidrológicos.
- Comparación entre escenarios futuros y condiciones actuales.

Tareas según contexto

En muchos países, la elaboración del inventario de recursos hídricos enfrenta importantes desafíos, como la **dispersión de datos**, la **escasez de series confiables** y la **limitada integración institucional**. Por ello, esta guía propone una metodología **flexible y escalable**, adaptada a diferentes niveles de disponibilidad de información y capacidad técnica.

El objetivo de estas tareas es identificar los pasos necesarios para estimar las **aportaciones totales de agua** en una cuenca o unidad de planificación y estructurarlas en forma de **inventario de recursos hídricos**. Este inventario constituye una herramienta fundamental para diversas etapas del proceso de planificación hidrológica, como la **determinación de caudales ecológicos**, la **asignación y reserva de recursos**, o la **evaluación de escenarios de gestión**.

La guía contempla dos escenarios metodológicos: uno aplicable cuando se dispone de información hidrológica suficiente, y otro diseñado para contextos con baja disponibilidad de datos, reconociendo que el cálculo de aportaciones requiere, idealmente, **series de calidad y representatividad** para obtener resultados técnicamente robustos.

Tareas a realizar en contextos con disponibilidad de datos suficiente

Tarea 1: Modelo conceptual, esquematización y zonificación de los recursos hídricos naturales

Paso 1: Construcción del modelo conceptual del ciclo del agua

El objetivo de este paso es construir un modelo conceptual del funcionamiento del ciclo hidrológico en el ámbito territorial de planificación. **Este modelo no es una simulación matemática, sino una representación cualitativa y estructural** que permite comprender las principales entradas, salidas, flujos e interacciones del agua en el territorio. Su desarrollo es fundamental para orientar la estimación de recursos hídricos, definir criterios de zonificación y preparar adecuadamente los trabajos de simulación y balance.

El modelo conceptual debe elaborarse a partir de la **información física disponible**, particularmente la recogida en el apartado de **Descripción general de la cuenca**, pero con una **orientación explícita hacia el inventario de recursos hídricos**. No se trata solo de describir el territorio, sino de identificar los elementos que explican cómo circula, se almacena y se transforma el agua, con el nivel de detalle necesario para apoyar el análisis cuantitativo posterior.

1. **Delimitar el ámbito de estudio**, preferentemente una cuenca o agrupación de cuencas hidrográficas, considerando también límites administrativos y funcionales si es necesario.
2. **Recopilar y analizar información cartográfica y temática**, utilizando preferiblemente un **Sistema de Información Geográfica (SIG)**. Esta información debe incluir, al menos:
 - a. Mapa base del relieve, red hidrográfica y divisorias de aguas (escalas entre 1:250.000 y 1:25.000).
 - b. Mapas geológicos e hidrogeológicos (zonas de infiltración, manantiales, estructuras).
 - c. Ubicación de estaciones meteorológicas, hidrométricas y piezométricas.
 - d. Infraestructuras hidráulicas relevantes (embalses, canales, plantas de tratamiento, captaciones).

Capítulo 3.3.

Descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión

- e. Puntos de retorno de aguas residuales, usos principales y zonas de presión sobre el recurso.
3. **Identificar los componentes clave del ciclo hidrológico en el territorio:**
 - a. Zonas de generación del recurso (precipitación neta, escorrentía, recarga).
 - b. Zonas de acumulación o salida del sistema (ríos principales, lagos, desembocaduras).
 - c. Áreas de recarga y descarga de acuíferos, incluidos tramos influentes y efluentes.
 - d. Factores condicionantes como altitud, gradiente térmico, cobertura vegetal, presencia de nieve o hielo.
4. **Integrar esta información en una representación estructurada**, que explique los principales flujos de agua en el sistema (superficiales y subterráneos), las conexiones entre ellos, y las condiciones naturales o antrópicas que los regulan.
5. **Orientar explícitamente el modelo conceptual al diseño del inventario de recursos**, es decir, identificar:
 - a. Qué tipo de variables se necesitarán calcular o estimar,
 - b. En qué zonas se concentrarán los análisis,
 - c. Qué relaciones clave deben representar los modelos numéricos posteriores.



Recomendación:

El modelo puede representarse mediante esquemas funcionales o mapas conceptuales superpuestos a capas SIG. Su nivel de detalle debe ser proporcional a la calidad de la información disponible y al uso que se dará en las etapas posteriores del inventario de recursos o de los instrumentos de planificación que lo requieran.



Producto esperado:

- Documento técnico del modelo conceptual del ciclo del agua.
- Mapa base del sistema hídrico local con capas clave: topografía, red de drenaje, geología, estaciones, usos e infraestructuras.
- Representación gráfica o esquemática del funcionamiento hidrológico.
- Listado estructurado de elementos del sistema: entradas, procesos internos, salidas, interacciones clave.
- Análisis preliminar de las zonas prioritarias para simulación y zonificación.

Paso 2: Delimitación administrativa

En primer lugar, se debe delimitar la unidad de gestión hídrica en términos administrativos, poblacionales y territoriales con el fin de contextualizar el inventario dentro de un marco político y social definido. Para ello, a continuación, se detallan acciones básicas recomendadas para llevarlo a cabo:

- Recolectar cartografía oficial de límites administrativos (nacional, regional, local).
- Digitalizar y georreferenciar en un SIG la superficie de la cuenca y sus unidades administrativas.
- Calcular la superficie y porcentaje de cada unidad dentro de la cuenca.
- Recopilar datos de población total y núcleos urbanos por unidad administrativa (censos). Esto permite identificar aquellas zonas que potencialmente tendrían una mayor demanda de recursos hídricos.
- Asociar datos poblacionales con la zonificación administrativa.



Recomendación:

La validación con instituciones locales permite asegurar coherencia con otros instrumentos de planificación territorial o ambiental.

Capítulo 3.3.

Descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión

Producto esperado:

- Mapa SIG con límites administrativos.
- Tabla de superficie, población y núcleos urbanos por unidad.

Paso 3: Identificación de aguas superficiales

El objetivo de este paso es caracterizar y representar detalladamente la red de drenaje superficial y los cuerpos de agua naturales de la cuenca para conocer su dinámica e interacción espacial.

En primer lugar, se debe identificar y caracterizar los ríos, arroyos, lagos, lagunas y humedales, mediante el uso de imágenes satelitales, cartografía hidrológica y bases de datos nacionales. No obstante, este trabajo se enmarca en los contenidos de **Hidrología y red fluvial**.

Una vez realizada la caracterización inicial de la red hidrográfica, se procede a su análisis, que incluye los siguientes pasos:

1. **Establecer jerarquía y orden de cauces:** Se clasifican los cursos de agua según su posición dentro de la red, generalmente utilizando el **método de Horton-Strahler**, Pfafstetter y otros. Esto permite identificar divisorias de aguas y zonas de confluencia entre cauces. Este proceso se realiza en etapas:
 - a. **Identificación de cauces:** Se mapean todos los cursos de agua visibles, desde los más pequeños (arroyos) hasta los más grandes (ríos principales).
 - b. **Asignación de orden:** Se aplica un método como el de *Horton-Strahler*, donde:
 - i. Los cauces sin afluentes se asignan como de orden 1.
 - ii. Cuando dos cauces del mismo orden se unen, el cauce resultante aumenta en un orden.
 - iii. Si se une un cauce de menor orden con uno de mayor orden, el cauce principal mantiene su orden.
 - c. **Representación jerárquica:** Con base en el orden asignado, se puede analizar la estructura jerárquica de la red hidrográfica, identificando cauces principales y secundarios.
2. **Analizar la dirección de escurrimiento y el patrón de drenaje:** Se estudia el sentido del flujo superficial en función del relieve, así como la forma del sistema de drenaje (dendrítico, paralelo, radial, etc.), mediante el uso de modelos digitales de elevación y herramientas geoespaciales.



Recomendación:

En zonas endorreicas o sin escurrimiento definida, se recomienda identificar cuencas cerradas internas y lagunas temporales, ya que su comportamiento difiere del drenaje clásico.

Producto esperado:

- Capa SIG y mapas de cuerpos de agua y red de drenaje.
- Ficha técnica de cada cuerpo de agua.
- Incorporación de la descripción e interpretación de la red hidrográfica al inventario de recursos.

Paso 4: Identificación de aguas subterráneas

En cuanto a las aguas subterráneas, es necesario identificar y describir los acuíferos presentes en la cuenca, su funcionamiento hidrogeológico y su relación con las aguas superficiales.

En primer lugar, se debe identificar y caracterizar los acuíferos, mediante el uso de la información geológica e hidrogeológica disponible. No obstante, este trabajo forma parte de los contenidos de **Geología e hidrología**. A continuación, se enumeran algunas de las características que son recomendables tener descritas:

- Caracterizar materiales permeables, espesor saturado y estructuras geológicas.
- Delimitar las unidades acuíferas (cuerpos de agua subterráneas) diferenciadas.

Capítulo 3.3.

Descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión

- Analizar la dirección del flujo subterráneo, zonas de recarga, descarga y localización de principales manantiales.
- Recoger datos sobre transmisividad, conductividad, almacenamiento, vulnerabilidad y explotación.
- Estudiar interacciones con aguas superficiales.

Producto esperado:

- Capa SIG de acuíferos/cuerpos de agua subterránea con límites y características.
- Base de datos de parámetros hidrogeológicos.
- Incorporación de la caracterización hidrogeológica al inventario de recursos.

Paso 5: Zonificación y criterios de delimitación

Una vez se tiene una imagen general de las características fundamentales de la cuenca, desarrollada en los pasos anteriores, es recomendable **dividir la cuenca en zonas homogéneas** para facilitar el análisis hidrológico e integración de los resultados del inventario de recursos hídricos en otros aspectos del proceso de planificación hidrológica. ( **Guía metodológica 1**).

- Definir criterios de zonificación: seleccionar uno o más criterios según los objetivos del estudio, incluyendo criterios hidrográficos (subcuencas, divisorias), administrativos (provincias, municipios), socioeconómicos (uso del suelo, demanda de agua) y/o ambientales (tipos de ecosistemas, zonas protegidas).
- Dividir la cuenca en zonas y subzonas homogéneas: aplicar los criterios seleccionados para delimitar unidades espaciales internamente coherentes desde el punto de vista hidrológico y funcional.
- Justificar cada criterio aplicado con base en utilidad para planificación y balances hídricos: explicar la selección de los criterios utilizados en función de su relevancia para el análisis hidrológico, el balance hídrico y los objetivos de planificación.
- Preparar capas de zonificación en SIG para su integración con análisis posteriores: generar y documentar las capas geoespaciales correspondientes, asegurando su compatibilidad con las bases de datos utilizadas en análisis y modelación posteriores



Importante:

La zonificación que se lleve a cabo debe aplicarse a la integración de resultados del inventario de recursos hídricos de tal manera que facilite el análisis e interpretación de este y su posterior uso en otros apartados del proceso de planificación hidrológica como por ejemplo el cálculo de **caudales ecológicos**, la elaboración de **balances recursos-demandas o la asignación y reserva de recursos**.



Recomendación:

- Se recomienda combinar distintos criterios de zonificación para mejorar la capacidad de análisis y toma de decisiones. Por ejemplo:
 - Zonificación hídrica primaria (subcuencas) y secundaria (uso del suelo, demanda, presión sobre el recurso).
 - Superposición de límites administrativos con unidades ambientales críticas (como humedales, áreas protegidas o zonas de recarga).
 - Asimismo, puede resultar útil clasificar las zonas según su **nivel de presión o vulnerabilidad hídrica** (alta, media, baja), lo cual facilita la posterior **priorización de medidas de gestión y protección** en el plan hidrológico.
- Muchos países carecen de mapeo detallado de acuíferos. En ausencia de estudios hidrogeológicos específicos, se recomienda utilizar mapas geológicos nacionales y realizar aproximaciones preliminares, documentando claramente los supuestos empleados.

Capítulo 3.3.

Descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión

Producto esperado:

- Mapa de zonificación de la cuenca.
- Documento técnico de criterios de zonificación.
- Tabla con características de cada zona/subzona.
- Mapa de zonas potencialmente vulnerables a la sobreexplotación o contaminación.

Tarea 2: Descripción e interrelación de las variables hidrológicas: modelización un numérica

Paso 1: Disponibilidad de información y programa de seguimiento cuantitativo

El primer paso para desarrollar la simulación hidrológica consiste en realizar un inventario exhaustivo de las fuentes de información disponibles, evaluando su calidad, representatividad, cobertura temporal y espacial, así como su utilidad para estimar las variables del ciclo hidrológico. Esta revisión inicial es clave para seleccionar la metodología adecuada y garantizar la fiabilidad de los resultados. A continuación, se enumeran las acciones recomendadas:

- Identificar fuentes de datos existentes: estaciones meteorológicas, hidrométricas, modelos y bases de datos climáticas.
- Recopilar series históricas de variables hidrológicas: precipitación, temperatura, ETP, ETR, escurrimiento, recarga, etc.
- Evaluar la calidad, continuidad, resolución temporal y espacial de las series.
- Clasificar datos por fase (atmosférica y terrestre) e identificar vacíos o limitaciones.

Aparte de las estaciones pluviométricas y termométricas identificadas y localizadas espacialmente, en su caso también se deberán incorporar los nivómetros y pértigas de acumulación de nieve que existan en la región. Y habrá que considerar todas las estaciones existentes que dispongan de registro, aunque lleven tiempo fuera de servicio.

Los modelos matemáticos requieren series de datos meteorológicos completas, por lo tanto, es necesario llevar a cabo un proceso de relleno de lagunas. En el caso de la información primaria como precipitación y temperatura, los métodos de relleno pueden ser sencillos, aunque también los hay muy sofisticados.

- 1) En una primera etapa se puede trabajar relleno precipitaciones y temperaturas diarias mediante la consideración de valores en estaciones cercanas, ponderadas por ejemplo mediante la técnica del inverso de la distancia, considerando además una posible corrección por altitud. Según la calidad del resultado obtenido, posiblemente mucho más incierto en precipitaciones que en temperaturas, se pueden obtener unas series mensuales relativamente robustas.
- 2) En un segundo paso, bien sea mediante procedimientos como los mapas de isoyetas e isotermas, los polígonos de Thiessen, o cualquiera otros, entre los que puede ser de gran interés el ajuste a una superficie mallada (raster), se puede extender la información de precipitaciones y temperaturas mensuales a todo el territorio.

A continuación, se enumeran las características ideales que debería tener el programa de seguimiento cuantitativo para asegurar la cantidad y calidad de información necesaria para la elaboración de un inventario de recursos.

1. Representatividad espacial

- La red de estaciones debe cubrir adecuadamente la diversidad fisiográfica, climática y de uso del suelo del territorio.
- Debe incluir puntos en cabeceras, zonas medias y bajas de cuenca, así como áreas clave de recarga y descarga de acuíferos.
- Es recomendable incluir tanto cuerpos de agua superficiales (ríos, embalses) como subterráneos (pozos piezométricos).

2. Variables clave a monitorear

- **Caudales fluviales**

Capítulo 3.3.

Descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión

- Medición en ríos, arroyos y canales principales.
- Registro continuo (diario o subdiario) para caracterizar escurrimiento base, crecidas y aportaciones.
- Necesarios para balances hídricos, validación de modelos y análisis de régimen natural o alterado.
- **Niveles piezométricos**
 - Observación del nivel freático en acuíferos mediante pozos de monitoreo.
 - Indicador directo del estado del recurso subterráneo y sus variaciones estacionales o por bombeo.
 - Requiere red piezométrica representativa y mantenimiento regular.
- **Volúmenes almacenados**
 - En embalses, lagos naturales y otros cuerpos de agua superficiales.
 - Requiere sensores de nivel, curvas de capacidad y datos operativos de presas.
 - Importante para evaluar regulación, almacenamiento útil y disponibilidad estacional.
- **Aportaciones naturales estimadas**
 - Escurrimiento directo, subsuperficial y recarga de acuíferos.
 - Puede derivarse mediante modelos hidrológicos calibrados o balance de masa.
 - Fundamental en zonas sin aforos o con alteración del régimen natural.

3. Fuentes de datos

- **Estaciones de aforo** (automáticas o manuales), operadas por organismos hidrológicos.
- **Pozos piezométricos** con registros manuales (cinta) o continuos (sensores).
- **Redes meteorológicas** para precipitación, temperatura y evapotranspiración.
- **Infraestructura hidráulica**: registros operativos de presas, canales y obras de toma.
- **Modelos hidrológicos**: usados en zonas sin monitoreo, para estimar escurrimiento y recarga.
- **Imágenes satelitales**: estimaciones de nivel y superficie de embalses (altimetría radar), y humedad del suelo.

4. Requisitos operativos

- **Resolución temporal**:
 - Continua (horaria o diaria) en estaciones clave.
 - Mensual o estacional para puntos complementarios o manuales.
- **Cobertura espacial**:
 - Puntos representativos en cada unidad de planificación (cuenca, subcuenca, acuífero).
 - En zonas sensibles (captaciones, áreas de recarga, embalses estratégicos).
- **Calidad de datos**:
 - Control de exactitud, precisión y frecuencia de mantenimiento.
 - Validación mediante métodos cruzados y verificación con observaciones independientes.

5. Productos esperados

- Series temporales homogéneas de caudales, niveles y volúmenes, listas para uso en balances y modelización.
- Información espacialmente distribuida para diagnóstico territorial de la disponibilidad hídrica.
- Base para estimar indicadores clave del estado cuantitativo:
 - Índice de explotación de acuíferos
 - Déficit o superávit hídrico
 - Capacidad de regulación existente
 - Tendencias de disminución o aumento del recurso

Producto esperado:

- Inventario de fuentes y series hidrológicas.
- Fichas técnicas de estaciones y modelos utilizados.
- Informe de evaluación de calidad de datos.

Paso 2: Selección del método de estimación

En esta fase se debe llevar a cabo un análisis de la información disponible para seleccionar y ejecutar el método que mejor permita simular las aportaciones totales en régimen natural de la cuenca y la

Capítulo 3.3.

Descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión

zonificación propuesta. A continuación, se enumera una sucesión lógica de acciones para ejecutar el trabajo que constituye el presente apartado.

- Analizar y seleccionar el método más adecuado a la disponibilidad de datos y condiciones de la cuenca.
- Ejecutar el/los métodos seleccionados (simulación, análisis estadístico o balance).
- Documentar los parámetros empleados, supuestos y calibraciones.
- Validar resultados preliminares con información de campo y/o registros históricos.



Importante:

Todo modelo debe calibrarse con datos locales disponibles. En ausencia de calibración, los resultados deben considerarse aproximaciones exploratorias con incertidumbre alta.



Producto esperado:

- Documento técnico con descripción de métodos aplicados, justificación y parámetros usados.
- Resultados de estimación en tablas (aportes totales, escurrimiento, recarga, etc.) por cuenca, zona y resolución temporal elegida.
- Informe de ejecución y validación de modelos.
- Archivos de salida de simulaciones, si aplica.



Consideraciones para la selección del método:

En un contexto de gran disponibilidad de datos, el mejor escenario posible sería disponer de una red de control de caudales con una distribución espacial suficientemente representativa de la cuenca hidrográfica y una serie histórica de aforos de al menos 30 años. Bajo este escenario, lo ideal, de cara al cálculo de las aportaciones totales sería hacer un **análisis directo a partir de series históricas de en estaciones de aforo**. Este análisis estaría compuesto de dos pasos fundamentales:

1. **Análisis estadístico** de las series históricas de hidrometría: caudales medios, máximos, mínimos y percentiles a distintas escalas temporales (mensual y anual).
2. **Restitución de datos al régimen natural**: dado que muchas mediciones están influenciadas por intervenciones humanas (presas, derivaciones), es necesario "restituir" los datos al régimen natural para estimar cuál habría sido la aportación hídrica sin estas alteraciones. Los principales métodos de corrección son:
 - Corrección por balance hidráulico: consiste en sumar o restar los caudales modificados por la acción humana (derivaciones, retornos, embalses) al caudal observado. Requiere conocer los volúmenes regulados o desviados.
 - Estaciones de referencia: se utiliza una estación cercana no alterada como referencia. A través de ratios o funciones de transferencia se estima el caudal natural en la estación alterada.
 - Modelos hidrológicos: se aplican modelos (**herramientas**) que simulan el régimen natural a partir de variables climáticas, fisiográficas y de uso del suelo. Requieren calibración y validación.

No obstante, la disponibilidad de datos directos de aportaciones, salvo casos muy excepcionales, siempre serán insuficientes para garantizar un inventario de recursos hídricos con una resolución espacial y temporal suficiente para que sea de utilidad. Por ello, para la elaboración de este, se requiere del uso de diferentes metodologías para estimar la disponibilidad del agua en una cuenca.

En este sentido, **los modelos de Precipitación – Escurrimiento** son los más utilizados para establecer la relación entre la precipitación y la escurrimiento en una cuenca. Su aplicación es especialmente útil en zonas sin abundancia de datos de aforo o para restituir caudales al régimen natural, simular escenarios futuros o evaluar respuestas del sistema hidrológico ante diferentes condiciones climáticas y de uso del suelo, sin perder de vista su finalidad como procedimiento para obtener series suficientemente largas y homogéneas de datos de aportaciones, teniendo en cuenta que lo más habitual es disponer de series meteorológicas (precipitación aportación) que una vez validadas y completadas podrán utilizarse en el modelo numérico seleccionado para obtener las aportaciones en régimen natural. Se basan en ecuaciones de transferencia y de balance hídrico de agua en el suelo que representan los principales procesos hidrológicos, como:

Capítulo 3.3.

Descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión

- ✓ Precipitación efectiva (agua disponible para generar escorrentía tras la infiltración y evapotranspiración).
- ✓ Intercepción por la vegetación.
- ✓ Infiltración y almacenamiento en el suelo.
- ✓ Escorrentía superficial, subsuperficial y flujo base.
- ✓ Percolación

Aunque todos se basan en el principio de conservación del cuerpo de agua y el balance hídrico, se clasifican según el nivel de detalle, complejidad y tratamiento espacial en dos grandes categorías: **discretos** (empíricos y conceptuales) y **distribuidos**.



Recomendación:

En contextos de disponibilidad de información media.

Los modelos conceptuales representan los componentes del sistema hidrológico como reservorios interconectados (almacenamientos), a los que se aplican ecuaciones de entrada y salida de agua. Simulan el comportamiento del sistema a lo largo del tiempo, con un número moderado de parámetros que deben ser calibrados.

✓ Ventajas:

- ✓ Capacidad de simular balances hídricos completos.
- ✓ Útiles para analizar escenarios climáticos y de gestión.
- ✓ Pocos datos necesarios comparados con los distribuidos.

⚠ Limitaciones:

- ✓ Requieren calibración con datos históricos.
- ✓ No captan la variabilidad espacial interna de la cuenca
- ✓ Mayor complejidad computacional.



Para ver ejemplos se puede consultar **herramientas**.



Recomendación:

La fiabilidad y representatividad de los resultados mejora significativamente cuando se complementan con otras metodologías que abordan distintos componentes del ciclo hidrológico, ya que esto permite **contrastar, validar y enriquecer los resultados**. Por esta razón, se recomienda adoptar un enfoque integrado que combine múltiples fuentes y métodos de estimación, como, por ejemplo:

- **Análisis directo a partir de series históricas de hidrometría:** aunque no se pueda aplicar a la totalidad de la cuenca, en aquellos lugares con disponibilidad de datos directos de aforos, resulta especialmente útil para calibrar y validar la bondad de los resultados obtenidos mediante la aplicación de los modelos hidrológicos.
- **Modelización numérica del flujo subterráneo (ej. MODFLOW):** dado que la componente subterránea puede ser una parte significativa de los recursos hídricos de una cuenca, la simulación del flujo subterráneo mediante modelos como MODFLOW permite estimar la recarga, el almacenamiento, y las interacciones con el agua superficial. Esto resulta particularmente importante en regiones donde los acuíferos constituyen la principal fuente de abastecimiento o donde existe una fuerte interdependencia entre aguas superficiales y subterráneas.

Paso 3: Ejecución del modelo para la obtención del inventario

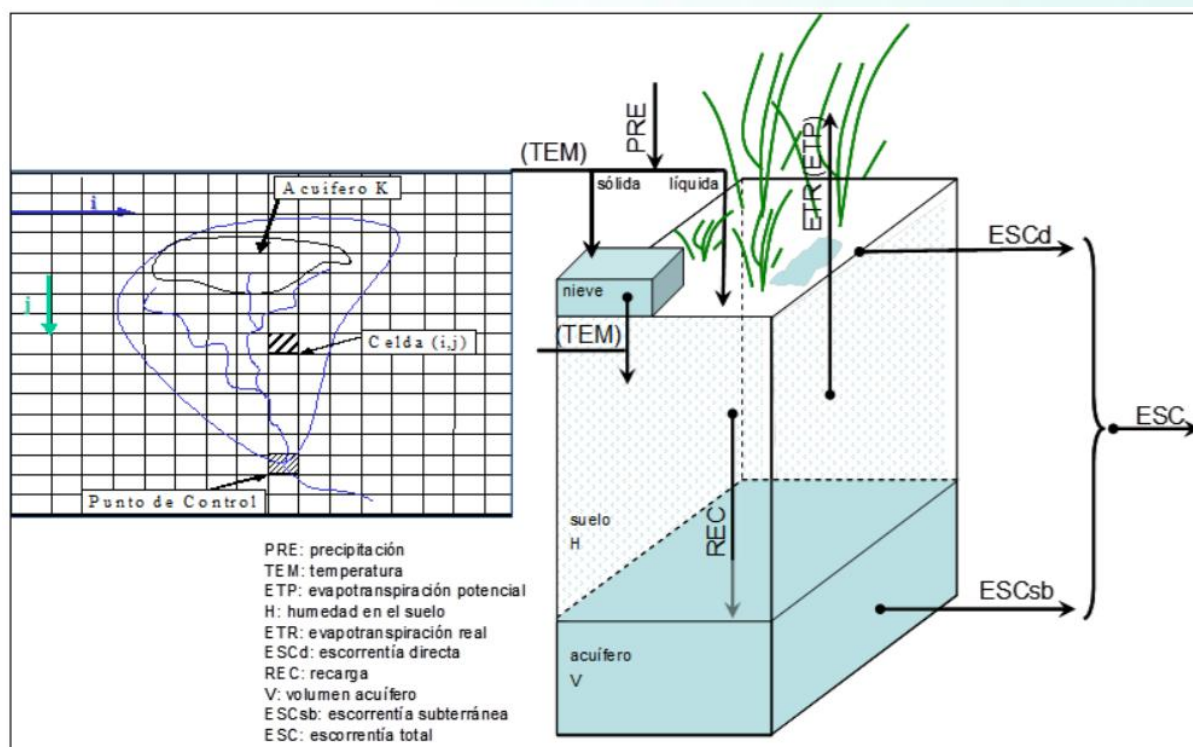


Consideraciones para la ejecución del método:

Capítulo 3.3.

Descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión

La ejecución del modelo hidrológico para la obtención del inventario requiere una adecuada correspondencia entre el esquema conceptual del modelo, la información disponible y la caracterización física e hidrológica de la cuenca. Esta etapa implica trasladar las condiciones del territorio a parámetros modelizables que permitan simular de forma representativa el comportamiento del sistema hídrico. La calidad de esta correlación determinará la solidez del análisis, especialmente en contextos con datos limitados o elevada complejidad territorial.



Ejemplo relación conceptual de parámetros de un modelo hidrológico (CEDEX, 2020)

Tanto si se recurre a modelos distribuidos, semidistribuidos o discretos, el cálculo se deberá empezar a tantear sobre puntos de contraste previamente seleccionados (series hidrológicas). El estudio de los problemas de ajuste entre los datos registrados y los calculados se podrá tratar mediante el análisis de sensibilidad de los factores de ajuste o parámetros de que disponga el modelo, objetivando la comparación con base en determinados estadísticos que expliquen la bondad de los ajustes. El objetivo es establecer una correspondencia coherente entre la caracterización del área de estudio y los parámetros del modelo, de manera que las condiciones físicas, climáticas y geográficas del territorio se vean reflejadas adecuadamente en la configuración del modelo hidrológico.

La selección de estos primeros puntos de contraste es un paso clave en el trabajo. Deben ser puntos en los que se disponga de series suficientemente largas y explicativas del régimen natural, bien por la falta de modificación de los regímenes o bien por haber sido restituidas. Interesa, además, que recojan las aportaciones de una superficie suficientemente grande, que englobe la variabilidad territorial, pero no en exceso impidiendo comprender con seguridad los fenómenos que acontecen.

Las series hidrológicas de referencia no pueden considerarse libres de error, por lo que resultará necesario verificar su calidad. Para ello, pueden calcularse estadísticos de estaciones encadenadas, coeficientes de escorrentía, tendencias, dobles masas... en fin, cualquier aspecto que pueda resultar relevante para el fin perseguido.

Como ejemplo, entre los criterios de contraste, se pueden usar: el error medio absoluto, el error medio relativo y el error cuadrático medio (recomendados por la Instrucción de Planificación Hidrológica en España). Complementariamente, se puede utilizar el índice de eficiencia o de Nash-Sutcliffe (recomendado por CEDEX, 2020). Los métodos sencillos de error explican las diferencias entre los volúmenes totales, registrado y simulado, mientras que el método de Nash-Sutcliffe analiza si el modelo reproduce bien la variabilidad observada. En este sentido, valores de error medio relativo de -10% a +10% indican que el ajuste es muy bueno, puede ser aceptable hasta el 25%, y si pasa de ese umbral, hay que asumir que el ajuste no es satisfactorio. Complementariamente, el índice de Nash se considera

Capítulo 3.3.

Descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión

que refleja un ajuste muy bueno cuando sus valores están entre 0,75 y 1; bueno entre 0,65 y 0,75; satisfactorio cuando es mayor de 0,5 y, si no satisfactorio cuando ofrece valores por debajo de 0,5.

El mapeo de estos resultados de contraste permite identificar las series y, en particular, las zonas con ajustes satisfactorios y deficientes. La correcta interpretación de estos problemas de ajuste ayudará a afrontar las posibles soluciones. Si la herramienta de simulación cuenta con factores o parámetros de ajuste habrá que empezar a tantear el comportamiento de los resultados manejando esos factores o parámetros. En este trabajo, la información paramétrica suele proceder de cartografías donde se habrá asociado un determinado valor a una categoría de la leyenda del mapa. Esto puede suponer que una corrección que aplica a toda la categoría puede hacer que se produzcan desajustes en zonas donde el modelo se comportaba adecuadamente. Es decir, este proceso debe asumirse como iterativo, donde el ajuste del modelo se realiza mediante ciclos sucesivos de prueba y error. Cada iteración permite refinar los parámetros del modelo en función de los resultados obtenidos, corrigiendo desviaciones, ajustando supuestos y mejorando la representación del comportamiento hidrológico real. Esta dinámica iterativa es esencial para alcanzar una configuración robusta del modelo, especialmente en contextos con alta variabilidad espacial o datos incompletos. No obstante, la experiencia de la persona modelista para realizar esta labor puede resultar esencial para alcanzar un resultado suficientemente bueno con un esfuerzo razonable.

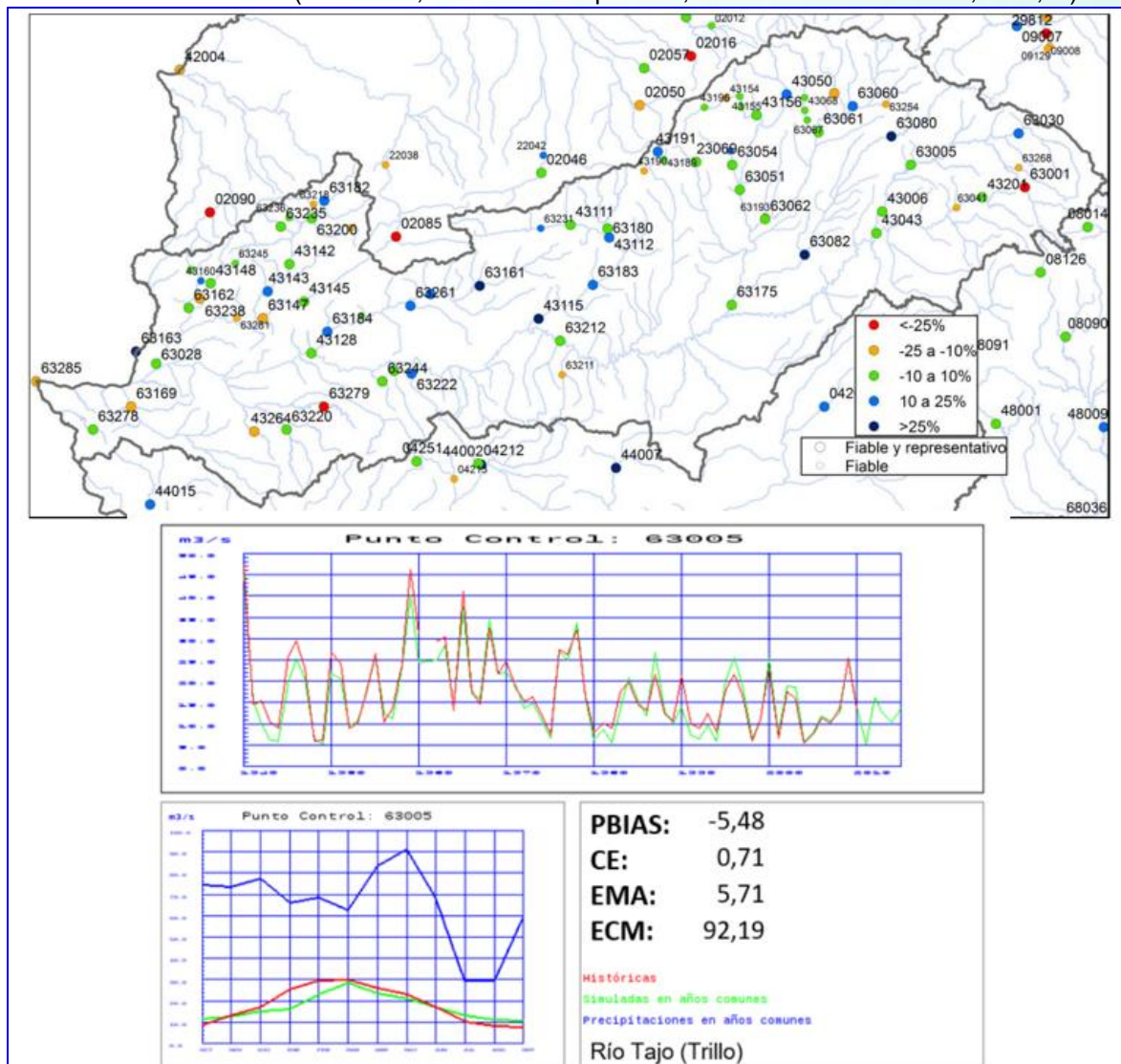
Una vez que los resultados se den por buenos en los puntos de contraste, el modelo se aplicará a todo el territorio, y se generarán los resultados con base en criterios de hidrología comparada, asumiendo que si la simulación explica los datos observados también ofrecerá aportaciones confiables en lugares sin datos.

Producto esperado:

Capítulo 3.3.

Descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión

- Series brutas calculadas (infiltración, escorrentía superficial, escorrentía subterránea, ETR,...)



Ejemplo de mapeo de resultados de contraste y junto con las gráficas de contraste de caudales en un punto representativo (CEDEX, 2020)

Paso 4: Contraste de aportaciones calculadas y registros históricos

El propósito de esta fase es validar los resultados de estimación de aportaciones mediante la comparación con registros reales de caudales, asegurando su fiabilidad y representatividad. Esta etapa corresponde al segundo paso de contraste, y solo debe iniciarse una vez ejecutado el modelo completo.



Descripción Metodológica:

- Comparar los resultados de modelos de aportación con caudales observados en estaciones en régimen natural.
La validación se realiza contrastando las simulaciones de caudal con **datos históricos en estaciones hidrométricas no alteradas por infraestructuras**, seleccionadas específicamente **para no coincidir con los puntos usados en la calibración del modelo**.
- El contraste debe aplicarse **al conjunto de las series obtenidas, excluyendo los puntos utilizados como contraste en la fase de ejecución del modelo**. Es decir, se prioriza la validación externa del modelo con datos independientes.
- Calcular indicadores de error (EMC, EMA, EMR): Se cuantifica la precisión de los modelos mediante indicadores estadísticos como el Error Medio Cuadrático (EMC), el Error Medio Absoluto (EMA) y el Error Medio Relativo (EMR).

Capítulo 3.3.

Descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión

- Representar gráficamente las comparaciones en puntos clave de control: Se elaboran gráficos (como curvas de caudal simulado vs observado o series temporales) en ubicaciones estratégicas de la cuenca para facilitar el análisis visual del ajuste del modelo.

Realizar contrastes adicionales en régimen real, comparando el caudal circulante obtenido en el modelo con el caudal registrado global en puntos de control o secciones principales.



Importante:

Muchos registros históricos presentan **sesgos o alteraciones** no documentadas (embalses, desvíos). Se debe verificar siempre la calidad del dato base de comparación.



Recomendación:

Para considerar aceptable una simulación, se recomienda que al menos uno de los indicadores de ajuste cumpla con valores mínimos de eficiencia (ej. NSE > 0.5, EMR < 20%).

Producto esperado:

- Tablas de contraste entre aportaciones y registros.
- Gráficos de validación por punto de control.
- Informe de ajuste y validación del modelo.



Herramientas recomendadas: Para el desarrollo completo de la tarea 3, en cada uno de los 4 pasos descritos, es recomendable el uso de software de análisis estadístico o herramientas de código abierto (como R o Python) para automatizar el procesamiento y visualización de datos.

Paso 5: Distribución especial de las principales variables hidrológicas

Una vez aplicada la metodología seleccionada y obtenidos los resultados, se procede a la **representación espacial de las aportaciones totales** junto con otras variables hidrológicas clave. El objetivo es analizar la **variabilidad espacial del recurso hídrico** dentro de la cuenca, lo que permite identificar áreas con distintos niveles de disponibilidad o comportamiento hidrológico.

- Generar mapas de distribución espacial (medias interanuales): se representan los resultados de aportaciones totales y resto de variables como precipitación, evapotranspiración potencial (ETP), evapotranspiración real (ETR), recarga y escorrentía superficial, utilizando valores medios interanuales.
- Verificar la cobertura geográfica y resolución espacial adecuada: se revisa que los mapas cubran completamente la cuenca y presenten un nivel de detalle suficiente para los fines de análisis y planificación.
- Evaluar consistencia de resultados y representar zonas con mayor variabilidad: Se comparan los patrones espaciales de las distintas variables y se identifican áreas con alta variabilidad interanual o espacial.

De manera complementaria, calculado el modelo, se precisará disponer de series homogéneas en puntos concretos para su utilización en otros trabajos del plan hidrológico; en particular, para la simulación de los balances entre recursos disponibles y demandas (**Balances recursos-demandas**). Para obtener estas nuevas series se precisará un proceso específico que puede fundamentarse en:

- Utilizar interpolaciones, modelos climáticos/hidrológicos o mallas regulares: Dependiendo de la fuente de datos y resolución disponible, se aplican métodos como interpolación espacial (kriging, IDW), salidas de modelos numéricos o resultados de modelos hidrológicos distribuidos.
- Si el modelo es distribuido, se precisará aplicar un proceso de agregación espacial para extraer las series en ubicaciones representativas.
- Si el modelo no es distribuido, puede ser necesario realizar una extrapolación de los resultados a diferentes zonas o subcuencas, justificando el criterio empleado.

Capítulo 3.3.

Descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión

Producto esperado:

- Series hidrológicas en puntos singulares (seleccionados en función necesidades específicas)
- Mapas temáticos en SIG de las series hidrológicas (en caso de no ser generados de manera automática por el modelo ejecutado, se recomienda su elaboración).
- Informe metodológico de ejecución del modelo
- Base de datos espacial de variables hidrológicas.

Tarea 3: Estadísticos de las series hidrológicas

Paso 1: Series anuales

Después de ejecutar el método de cálculo seleccionado y obtener unos resultados es el turno de analizar estadísticamente las series anuales de aportaciones totales y el resto de las variables hidrológicas obtenidas para identificar patrones, tendencias y características interanuales.

Descripción Metodológica:

- Calcular estadísticas anuales para aportaciones y otras variables: Se determinan parámetros como **media, mediana, percentiles, desviación estándar, coeficiente de variación y sesgo**, lo que permite describir la variabilidad y tendencia central de las series. También interesa ver la evolución de las medias móviles para periodos característicos del clima, por ejemplo, de 30 años, lo que exige disponer de series suficientemente largas.
- Analizar persistencia de las series mediante autocorrelación: Se evalúa el grado de dependencia temporal de las series anuales, lo que ayuda a identificar patrones cíclicos o de memoria en las aportaciones. Una manera de representarlo gráficamente es mediante un **correlograma**, que muestra los valores de autocorrelación para distintos lags, junto con líneas de significancia (por ejemplo, 95%). Si los valores están fuera de las bandas de confianza, son estadísticamente significativos.
- Aplicar análisis por zona de la cuenca: Se desagregan los resultados por subcuencas o áreas homogéneas, definidas previamente en el apartado de zonificación, para identificar diferencias espaciales en el comportamiento hidrológico.



Recomendación:

Se recomienda aplicar autocorrelación únicamente sobre series continuas y homogéneas en régimen natural o previamente corregidas.

Producto esperado:

- Tabla de estadísticos anuales por zona.
- Gráficos de distribución y tendencia anual.

Paso 2: Series mensuales

Después del análisis de las series anuales se debe calcular y representar los valores medios mensuales de las principales variables hidrológicas con el objetivo de estudiar la estacionalidad y la dinámica intraanual del recurso.

Descripción Metodológica:

- Procesar las series mensuales de precipitación, ETP, ETR, infiltración y aportaciones totales.
- Agrupar valores por zonas previamente definidas en la zonificación de la cuenca, con el fin de facilitar el análisis espacial intraanual.
- Elaborar representaciones gráficas mediante diagramas de barras, líneas o áreas para visualizar los patrones mensuales de cada variable y comparar entre zonas o años.
- Calcular **índices de estacionalidad** que cuantifiquen la concentración del recurso a lo largo del año. Estos indicadores permiten comparar la intensidad estacional entre zonas o periodos

Capítulo 3.3.

Descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión

y son útiles para identificar meses críticos desde el punto de vista de la disponibilidad o presión hídrica.

- Se recomienda el uso de coeficientes como:
 - El índice de variación mensual, que evalúa la dispersión de los caudales mensuales respecto al promedio anual.

Producto esperado:

- Tablas de valores medios mensuales por zona.
- Gráficos mensuales por variable y zona.

Paso 3: Identificación de variabilidad climática

De manera complementaria, utilizando al análisis estadístico de las series anuales y mensuales previo, se puede detectar y caracterizar los años extremos y tendencias climáticas que potencialmente pueden afectar la disponibilidad hídrica, identificando condiciones de sequía o exceso.



Importante:

Este paso no sustituye los análisis hidrológicos directos, sino que **aporta una visión adicional útil para contextualizar resultados, detectar patrones climáticos relevantes y anticipar situaciones de escasez o exceso**, reforzando la planificación frente a condiciones anómalas. Además, puede considerarse una fase previa, simplificada, que permite una primera aproximación exploratoria antes de aplicar herramientas más complejas de simulación climática ([Tarea 4: Evaluación del efecto del cambio climático](#)).



Descripción Metodológica:

- Identificar los años climatológicos tipo:
 - Años húmedos (años con precipitación (pp) media un 15% superior a la pp media del periodo histórico).
 - Años secos (años con pp media un 15% interior a la pp media del periodo histórico).
 - Años promedio. (años con pp media comprendida en el rango de +15% y -15% de la pp media del periodo histórico).
- Calcular tendencias de precipitación y temperatura (tests estadísticos como la prueba de Mann-Kendall o la regresión lineal).
- Identificar eventos extremos (sequías, inundaciones) y su frecuencia/duración.
- Complementar el análisis con **índices estandarizados de sequía climática**, ampliamente utilizados para caracterizar condiciones deficitarias de agua:
 - SPI (Standardized Precipitation Index): mide desviaciones de la precipitación respecto a su media histórica.
 - SPEI (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index): similar al SPI, pero incorpora la evapotranspiración, ofreciendo una visión más completa del balance hídrico.
 - PDSI (Palmer Drought Severity Index): evalúa sequías considerando almacenamiento de humedad en el suelo.
 - Estos índices permiten comparar entre regiones y periodos, y son especialmente útiles en cuencas sin suficientes registros de caudal.



Recomendación:

En contextos con fuerte variabilidad climática, se recomienda complementar con índices estandarizados como SPI o SPEI para evaluar sequías meteorológicas de manera objetiva.

Producto esperado:

- Tabla de años característicos y extremos.

Capítulo 3.3.

Descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión

- Gráficos de tendencias y eventos extremos.
- Informe de caracterización de la variabilidad.

Tarea 4: Evaluación del efecto del cambio climático

Como paso adicional, una vez estimados los recursos hídricos totales disponibles en la unidad de gestión, es necesario **analizar los posibles impactos del cambio climático** sobre dicha disponibilidad. Este análisis permite anticipar variaciones futuras en los aportes hídricos y apoyar la planificación a largo plazo. Para ello, se utilizan **escenarios climáticos y modelación hidrológica comparativa**, que permiten proyectar condiciones futuras y evaluar su efecto sobre el ciclo hidrológico.

En el capítulo de **Consideración del Cambio climático** se amplía esta temática y se trata, en concreto, la evaluación del cambio climático de los recursos hídricos en régimen natural. No obstante, a continuación, se describe un breve resumen.



Descripción Metodológica: (■ Guías metodológicas 4 y 5):

- Seleccionar escenarios climáticos representativos (RCP/SSP) del **IPCC**: Se eligen uno o varios escenarios de referencia, definidos por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), que representen diferentes trayectorias de emisiones y condiciones socioeconómicas futuras. Los más comunes incluyen los RCP (Representative Concentration Pathways) y los SSP (Shared Socioeconomic Pathways).
- Aplicar modelos climáticos e hidrológicos para simular escenarios futuros: Se utilizan modelos climáticos globales (GCM) o regionales (RCM) junto con modelos hidrológicos que permiten traducir las proyecciones climáticas en respuestas del sistema hidrológico, como escorrentía, infiltración o almacenamiento.
- Comparar condiciones actuales vs. proyectadas para distintas variables: Se contrastan los resultados del escenario actual (período base u observado) con los de los escenarios futuros. Las variables analizadas incluyen precipitación, temperatura media, caudales medios, caudales extremos, evapotranspiración, entre otras.
- Identificar impactos esperados en la disponibilidad hídrica: A partir de la comparación, se determinan posibles cambios en el volumen total disponible, en su distribución temporal (estacionalidad) y espacial, así como en la frecuencia e intensidad de eventos extremos (sequías o avenidas).



Importante:

Es fundamental validar previamente el modelo hidrológico frente al período histórico antes de aplicarlo a escenarios futuros, para asegurar que las proyecciones sean representativas.



Recomendación:

- En contextos más recientes, se recomienda trabajar con combinaciones de escenarios climáticos SSP-RCP del CMIP6, que permiten representar de forma integrada las condiciones físicas y socioeconómicas proyectadas.
- Para obtener resultados significativos, se recomienda utilizar horizontes de al menos dos proyecciones futuras (ej. 2030–2050 y 2070–2100) y, cuando sea posible, modelos regionalizados con resolución espacial inferior a 50 km².
- Dado que la incertidumbre climática puede ser considerable, se recomienda representar los resultados con intervalos o bandas de confianza (por ejemplo, valores mínimo, medio y máximo proyectado).



Producto esperado:

- Proyecciones hidrológicas por escenario.

Capítulo 3.3.

Descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión

- Mapas comparativos de condiciones actuales y futuras.
- Informe de evaluación del impacto climático.
- Resumen de impactos y recomendaciones para adaptación hídrica por zona.

Tareas a realizar en contextos con disponibilidad de datos insuficiente

En contextos con disponibilidad de datos insuficiente, el proceso de elaboración del inventario de recursos hídricos conserva la **misma estructura general** que en escenarios con disponibilidad de datos suficiente. Las tareas y pasos metodológicos siguen un orden lógico orientado a la obtención de un inventario útil para la gestión del agua. Sin embargo, **la diferencia clave radica en el origen y la calidad de los datos disponibles, así como en los métodos empleados para estimar las aportaciones totales**: se recurre con mayor frecuencia a modelos empíricos o regionales, uso de información indirecta, teledetección, y supuestos simplificados, dada la escasa presencia de mediciones directas y registros históricos.

En ausencia de información meteorológica suficiente, puede considerarse el uso de **motores meteorológicos capaces de generar series sintéticas de variables climáticas mediante técnicas estocásticas**. Estos generadores permiten simular series temporales de precipitación, temperatura y otras variables, especialmente útiles cuando no se dispone de registros suficientemente largos o continuos.

Aunque no constituyen la opción ideal, su uso está extendido en contextos con baja densidad de datos medidos, como ocurre en muchas regiones de Latinoamérica. Por ello, se recomienda **mencionar explícitamente esta posibilidad y justificar su aplicación** dentro de la metodología empleada. Estos motores permiten disponer de series largas y continuas, que pueden ser sustituidas progresivamente por datos reales a medida que se disponga de ellos en ciclos futuros de planificación.

En tales casos, es importante **documentar la incertidumbre asociada a los resultados**, subrayando la conveniencia de avanzar hacia una mayor base empírica en los siguientes ciclos de análisis hidrológico.

Algunos de los modelos de Precipitación-Escorrentía ampliamente utilizados ya incluyen este tipo de herramientas que permiten simular variables clave como precipitación, temperatura o radiación solar a nivel diario, y se han aplicado ampliamente en regiones con escasa cobertura de datos.



Importante:

El objetivo final debe ser **la obtención de las aportaciones totales en régimen natural** con una distribución espacial suficiente representativa de la cuenca y con una resolución temporal adecuada que permita su uso a lo largo del proceso de planificación hidrológica.

Los **modelos hidrológicos de Precipitación-Escorrentía de tipo empírico** constituyen una alternativa válida en contextos con información limitada. Estos modelos se basan en **relaciones matemáticas simplificadas** entre variables climáticas observadas (precipitación, temperatura) y la escorrentía generada, sin representar explícitamente los procesos físicos del ciclo hidrológico. Su ventaja principal radica en su facilidad de implementación y en que requieren una cantidad de información menor que los modelos físicamente distribuidos o semidistribuidos. Sin embargo, **su precisión dependerá en gran medida de la adecuada calibración de los parámetros empleados** y de su ajuste a las condiciones locales.

Uno de los métodos empíricos más utilizados es el del **Número de Curva del SCS (Servicio de Conservación de Suelos de EE.UU.)**, que permite estimar la escorrentía directa a partir de la precipitación efectiva y las características del suelo, la cobertura vegetal y el grado de humedad antecedente. Este método, desarrollado por el USDA, se aplica de forma generalizada en estudios hidrológicos y cuenta con numerosas tablas y herramientas de apoyo. (■ **Guía metodológica 6**).

Capítulo 3.3.

Descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión



Importante:

La variedad de métodos existentes para la estimación de escurrimiento en cuencas no aforadas es amplia. En la mayoría de los casos, será necesario realizar un análisis previo que permita seleccionar el método más adecuado a las **condiciones físicas, climáticas y de disponibilidad de datos** de la cuenca. En contextos como América Latina, caracterizados por la escasez de datos y la heterogeneidad territorial, pueden ser útiles los **métodos estocásticos y multivariados**, como se describe en la **Guía metodológica 7**, que aborda con detalle la estimación de caudales empleando enfoques empíricos ajustados a esta realidad.

A pesar de estas limitaciones, es posible alcanzar resultados representativos, siempre que se fundamente adecuadamente la metodología aplicada y se incluyan análisis de incertidumbre y validación cruzada mediante:

- Métodos simples de análisis de sensibilidad (por ejemplo, variar el número de curva en SCS).
- Expresar resultados en rangos (mínimo–medio–máximo).
- Validación cruzada con datos regionales, satelitales o conocimiento local.



Herramientas recomendadas:

- Hojas de cálculo, Sistemas de información geográfica abiertos, o herramientas de programación orientadas al análisis estadístico, tratamiento de datos y generación de gráficos.

Herramientas

Guías

Guía 1: Guía análisis y zonificación de cuencas hidrográficas para el ordenamiento territorial. CEPAL, 2013 (Chile)

<https://repositorio.cepal.org/entities/publication/5d64a954-42cf-4232-98e1-0fab226da2f2>

Guía 2: Regionalización y correlaciones de parámetros hidrológicos. DINAGUA-MVOTMA, 2012. Uruguay

<https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/sites/ministerio-ambiente/files/documentos/publicaciones/regionaliza2011.pdf>

Guía 3: Regionalización de estadísticas de caudales. DINAGUA-MVOTMA, 2019. Uruguay

https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/sites/ministerio-ambiente/files/documentos/publicaciones/Regionaliza_2019_07.pdf

Guía 4: Librería de publicaciones del IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)

https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_technical_papers.shtml

Guía 5: Guía de Apoyo Para el Desarrollo de Planes de Gestión de Riesgos Climáticos. Para Organismos Operadores de Agua y Saneamiento en México. 2022

<https://iki-alliance.mx/wp-content/uploads/Guidelines-for-developing-climate-risk-plans-MX.pdf>

Guía 6: Cálculo de la precipitación Neta mediante el método del SCS. Universidad de Salamanca, España.

https://hidrologia.usal.es/practicas/Pneta_SCS/Pneta_SCS_fundam.pdf

Guía 7: Estimación de caudales en cuencas no aforadas, empleando modelos estocásticos y multivariados. UNESCO Office Montevideo and Regional Bureau for Science in Latin America and the Caribbean. 2009

[Estimación de caudales en cuencas no aforadas, empleando modelos estocásticos y multivariados - UNESCO Biblioteca Digital](#)

Otras referencias:

Capítulo 3.3.

Descripción general de la cuenca o unidad territorial de gestión

1. Richardson, C. W., & Wright, D. A. (1984). *WGEN: A model for generating daily weather variables*. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service.
2. Jones, P. G., & Thornton, P. K. (2000). MarkSim: Software to generate daily weather data for Latin America and Africa. *Agronomy Journal*, 92(3), 445–453. <https://doi.org/10.2134/agronj2000.923445x>
3. Semenov, M. A., & Barrow, E. M. (1997). Use of a stochastic weather generator in the development of climate change scenarios. *Climatic Change*, 35(4), 397–414. <https://doi.org/10.1023/A:1005342632279>
4. USDA-ARS. (n.d.). *CLIGEN: Weather Generator for WEPP*. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, National Soil Erosion Research Laboratory. <https://www.ars.usda.gov/midwest-area/west-lafayette-in/nserl/docs/cligen/>
5. SWAT (Soil and Water Assessment Tool). (n.d.). *WeatherMan tool included in SWAT software*. Texas A&M AgriLife Research. <https://swat.tamu.edu/software/arcswat/>
6. Centro de Estudios Hidrográficos (2020): Evaluación de recursos hídricos en régimen natural en España (1940/41-2017/18). CEDEX [cedex-informeerh2019 tcm30-518171.pdf](https://cedex-informeerh2019.tcm30-518171.pdf)

Casos prácticos

[BRASIL: Plan Integrado de Recursos Hídricos de la Cuenca Hidrográfica del rio Paraíba do Sul](#)