

Capítulo 3.4.

Uso del agua, balances y asignación de recursos



[3]	Contenidos y tareas para la elaboración de un plan hidrológico.....	1
[3.4]	Uso del agua, balances y asignación de recursos	1
[3.4.1]	Descripción general de usos y demandas de agua	1
[3.4.2]	Inventario de presiones sobre el medio hídrico	28
[3.4.3]	Definición de caudales ecológicos	34
[3.4.4]	Balance de recursos-demandas y la asignación y reserva de recursos hídricos	75

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

[3.4] Uso del agua, balances y asignación de recursos

[3.4.1] Descripción general de usos y demandas de agua

Definición: El análisis de los usos y demandas de agua es el proceso técnico mediante el cual se identifican, cuantifican y caracterizan los diferentes tipos de utilización del recurso hídrico en una cuenca, territorio o sistema, considerando tanto el uso actual como las proyecciones futuras bajo determinados escenarios socioeconómicos y climáticos. Este análisis incluye la evaluación de todos los sectores que utilizan agua, como:

- Abastecimiento urbano y rural.
- Usos ambientales y ecosistémicos.
- Agricultura de riego.
- Industria y energía.
- Otras utilizaciones: turismo, minería, acuicultura y otros usos específicos.

La consideración de los caudales ecológicos como un tipo de uso o como una restricción previa a la utilización de las aguas condicionando las disponibilidades ha sido tratada en el apartado de **definición de caudales ecológicos**.

El concepto de «uso», referido a los fines de la utilización, se completa con el de «demanda», que expresa la cantidad de agua que los usuarios esperan poder utilizar porque se encuentra disponible a un precio asequible y cuenta con unas condiciones de calidad adecuadas para el fin en el que se desea usar.

Objetivo: El objetivo principal del análisis es conocer con precisión cuánta agua se utiliza y cuánta se prevé utilizar en el futuro, dónde, para qué, por quién y con qué eficiencia, con el fin de:

- Diagnosticar la presión que ejercen los distintos usos sobre los recursos disponibles.
- Evaluar el equilibrio (balance) entre oferta y demanda de agua en el presente y en el futuro.
- Identificar posibles conflictos, ineficiencias o necesidades de mejora en la asignación del recurso.
- Sustentar la toma de decisiones en la planificación hidrológica con información técnica fiable.

Utilidad: El análisis de usos y demandas cumple una función clave dentro de los planes hidrológicos, ya que:

1. **Permite cuantificar la demanda hídrica total** del territorio y por sector, lo cual es esencial para establecer balances hídricos (oferta vs demanda) en distintos horizontes temporales.
2. **Apoya la priorización de usos** y la definición de políticas de asignación del agua en contextos de escasez.
3. **Informa la planificación de infraestructuras** (como presas, redes de distribución o sistemas de riego) para mejorar la oferta, así como otras medidas de eficiencia.
4. **Contribuye a la gestión de riesgos**, al proyectar la evolución de la demanda en escenarios futuros de previsible crecimiento poblacional, desarrollo económico o cambio climático.
5. **Facilita la identificación de medidas de gestión**, como el control de extracciones, las mejoras en eficiencia o el diseño de instrumentos económicos que contribuyan a la mejor utilización.
6. **Refuerza la participación y gobernanza**, al poner a disposición de los actores del agua información transparente y territorializada.

Contenidos que deben abordarse en un plan hidrológico

Como contenidos a considerar en el plan hidrológico en relación con el estudio de los usos y las demandas de agua, se destacan los siguientes:

Capítulo 3.4.

Uso del agua, balances y asignación de recursos

1. Identificación, clasificación y caracterización de los usos del agua.
2. Distribución espacial de las demandas.
3. Estimación de las demandas de agua y distribución temporal.
4. Requisitos de calidad del agua para atender las demandas.
5. Condiciones de garantía o criterios de déficits.
6. Proyecciones y escenarios futuros.
7. Validación, documentación y comunicación de resultados.

Identificación, clasificación y caracterización de usos del agua

Desarrollo del contenido en *Tarea 1 Identificación, clasificación y caracterización de usos del agua*

El plan debe identificar de forma clara los distintos tipos de uso del agua presentes en el territorio, considerando tanto los usos consuntivos (que implican una extracción netamente superior a sus retornos e infiltraciones) como los no consuntivos (como la hidroenergía, donde la extracción puede ser semejante al retorno). Además, debe clasificarlos según su naturaleza y finalidad (urbano, ambiental, agrícola y ganadero, industrial, acuicultura, recreativo, etc.), e incluir una caracterización general de cada uno, detallando su importancia relativa, localización, fuentes de agua utilizadas (superficiales, subterráneas, alternativas), requisitos de calidad, patrones de consumo, y relación con el entorno económico y social.



Recomendación:

En caso de que se disponga de un catálogo formal de tipos de utilización del agua que pueda estar recogido en la legislación aplicable del país, y que no necesariamente será semejante en todos los países de la región, se recomienda que sea tomado en consideración. En particular, interesará determinar el papel de los caudales que se destinen a satisfacer necesidades ambientales porque pueden haber quedado jurídicamente excluidos de la relación de usos que compiten entre sí, por haberse definido como restricción previa. También es común que el uso de abastecimiento, y especialmente el abastecimiento urbano, haya sido objeto de determinada regulación específica que le otorgue cierto carácter prevalente, cuestión que no debe quedar ignorada. En consecuencia, este apartado debe ir acompañado por una explicación de las peculiaridades jurídicas que la legislación aplicable establece para cada tipo de uso.

Distribución espacial de las demandas

Desarrollo del contenido en *Tarea 2 Distribución espacial de las demandas*

Este análisis permite obtener una visión detallada de la distribución del consumo de agua en el ámbito de la cuenca, identificando las zonas donde se concentran las mayores presiones por extracción. Para ello, se consideran los siguientes aspectos clave:

- **Zonificación de la cuenca:** identificación de áreas con elevada demanda hídrica y su correspondencia con la disponibilidad del recurso.
- **Estacionalidad:** análisis de las variaciones mensuales en la demanda, especialmente relevantes en usos como el riego o el abastecimiento urbano.
- **Cambio climático:** incorporación de proyecciones sobre posibles alteraciones en la disponibilidad del recurso y, especialmente, en los patrones de demanda.

Además de aportar una comprensión espacial y temporal de las demandas, este análisis constituye un insumo esencial para fases posteriores de la planificación, particularmente para el **cálculo de los balances entre recursos y demandas**. En función de la metodología aplicada, de las características del área de estudio y de las necesidades del país, puede ser necesario agrupar las demandas por tipo

Capítulo 3.4.

Uso del agua, balances y asignación de recursos

de uso en entidades homogéneas que faciliten su representación en los esquemas gráficos del plan (recursos disponibles, demandas, infraestructuras, red hidrográfica, vertidos o retornos).

Estas agrupaciones, comúnmente denominadas **unidades de demanda**, deben estar georreferenciadas, vinculadas tanto a su fuente o fuentes de suministro como a sus puntos de vertido o retorno, permitiendo su incorporación a la esquematización gráfica del sistema sobre el que se efectúa el balance. La correcta definición de dichas unidades es un elemento crítico, ya que serán la base para la **asignación de recursos hídricos** que se establezca en el plan hidrológico. (**Balances entre demandas y recursos disponibles y asignación de recursos**).

Estimación de las demandas de agua y distribución temporal

Desarrollo del contenido en *Tarea 3 Estimación de la demanda* y *Tarea 4 Distribución temporal de las demandas*

El plan debe incluir un desglose de las demandas de agua actuales por los grandes sectores de uso antes identificados, permitiendo dimensionar el peso relativo de cada uno en el consumo total. Entre los sectores clave a abordar están:

- Demanda urbana: incluye el abastecimiento para consumo humano, servicios y actividades urbanas atendidas por redes municipales. En su estimación se consideran, por un lado, la **demanda neta** (población, dotación y variación estacional) y, posteriormente, la **demanda bruta**, incorporando las pérdidas en red y otros condicionantes de la infraestructura.
- Demanda ambiental (en caso de que el caudal ecológico haya tenido la consideración de demanda): Corresponde al volumen de agua necesario para mantener los ecosistemas acuáticos y su funcionalidad, generalmente representada mediante caudales ecológicos. Su papel, así como su cuantificación, se tratan en el apartado de **definición de caudales ecológicos**.
- Demanda agrícola y ganadera: Considera el volumen de agua utilizado en el riego de cultivos, incluyendo aspectos como tipo de cultivo, superficie y eficiencia de uso; así como la atención de las necesidades de suministro a la cabaña ganadera, en general muy vinculada a explotaciones agrarias.
- Demanda industrial: Abarca el uso de agua en procesos productivos, incluyendo la refrigeración, limpieza y otros usos industriales, considerando su intensidad y localización.



Recomendación:

La demanda de agua para la generación de energía, aunque habitualmente englobada en la de usos industriales, conviene analizarla separadamente dadas sus peculiaridades y los grandes caudales que suele movilizar, varios rangos de magnitud mayores que los de los usos dirigidos a atender a la industria manufacturera o, en general, la industria productora de bienes de consumo.

- Otras demandas: Se considerarán demandas para todos los tipos de uso identificados conforme a la identificación realizada. Ignorar algún tipo de demanda, especialmente si es de magnitud significativa, puede desvirtuar los balances.

Cada tipo de demanda debe caracterizarse de forma específica, incluyendo: (i) su localización espacial, (ii) su magnitud total y (iii) su **variabilidad temporal** a lo largo del año. Este último aspecto es esencial para representar adecuadamente el comportamiento de la demanda a lo largo del ciclo hidrológico anual, identificar **épocas de máxima presión sobre el recurso**, y garantizar la coherencia con la disponibilidad de agua en términos temporales.

En aquellos casos donde las demandas hayan sido calculadas inicialmente en valores **anuales**, el plan debe incluir una **distribución temporal mensual** basada en coeficientes específicos por tipo de uso, cultivo o actividad, asegurando la compatibilidad con los análisis de balance, garantía y operación de los sistemas hídricos.

Requisitos de calidad del agua para atender las demandas

Según el uso al que se destinen las aguas, habrá unas determinadas **condiciones de calidad** que, si no se alcanzan, pueden resultar limitantes para la utilización. (**Evaluación del estado de la calidad de las aguas y objetivos de calidad**) Este es un aspecto importante a la hora de llevar a cabo el estudio de demandas porque, aunque existen técnicas de tratamiento que pueden ayudar a superar este tipo de dificultades, su coste puede hacer inviable la utilización de las aguas brutas.

Aunque el plan hidrológico adopte como objetivo el alcanzar la buena calidad de las aguas, no se puede dar por hecho su logro. Además, aguas con buena calidad, es decir, en condiciones próximas a las naturales, pueden resultar inapropiadas para atender determinados usos particularmente exigentes, por ello se ha de ser consciente de los requisitos particulares que respecto a la calidad presentan los distintos tipos, o incluso unidades, de demanda.

Según los tipos de uso:

- En el caso del **uso para abastecimiento**, es común que existan ciertas normas reguladoras de las condiciones que tienen que reunir las aguas para destinarlas a la potabilización. Estas normas son, en general, comunes para cada país y aplicarían en cada plan hidrológico sobre todas las demandas de esta naturaleza, según el marco legal vigente. En cualquier caso, el plan deberá describir esas condiciones para las demandas urbanas, señalando en su caso las posibles excepciones o variaciones de la regla general que puedan admitirse.
- En el caso de las **demandas agropecuarias** puede abrirse un abanico más diverso, que dependerá de los tipos de cultivo, la naturaleza de los suelos, los sistemas de drenaje y otros condicionantes agronómicos. Será importante que cada unidad de demanda incluya una referencia a las condiciones mínimas de calidad admisibles.
- En cuanto a **demandas industriales**, también pueden requerir unas condiciones de calidad muy variables y a veces altamente exigentes. Las instalaciones industriales pueden tener cierta capacidad para incorporar sistemas de tratamiento previos que, de no ser muy sencillos, difícilmente resultan viables para el caso del regadío.
- Pueden presentarse otros usos con requerimientos específicos y será necesario conocerlos. El caso, por ejemplo, de la **acuicultura** continental resulta paradigmático, en este caso pueden aparecer requisitos diversos de acuerdo con las especies (peces, moluscos, artrópodos...) o fases de desarrollo de las especies, que se produzcan en la instalación.

Entre los aspectos cualitativos de las demandas también habrá que ver si existen o deben imponerse condiciones generales o específicas (por unidad de demanda) para el vertido de los retornos. Este hecho puede ser importante cuando dichos vertidos se reciben en zonas de captación de agua para su potabilización, y en otras diversas circunstancias, donde los retornos de un aprovechamiento o conjunto de aprovechamientos pueden condicionar la utilización del recurso aguas abajo.

Condiciones de garantía o criterios de déficits

Desarrollo del contenido en Tarea 5; Garantía de las demandas

Un aspecto relevante, que de manera general puede fijarse para cada tipo de uso y particularmente para cada unidad de demanda, son las condiciones que permiten identificar objetivamente cuando una demanda está cuantitativamente bien atendida o satisfecha. Este es uno de los elementos clave en la caracterización de las demandas, que resultará fundamental para evaluar los resultados de los balances recursos/demandas.

En términos generales, la cuestión se resuelve aplicando unos concretos criterios de garantía o de déficits, de carácter estadístico, basados en identificar lo que se considerará fallo en el suministro (por ejemplo, haber suministrado menos del 50% de la demanda anual u, otro ejemplo, menos del 80% de la demanda mensual) y en conocer cuál será el número de fallos que resultará admisible (uno cada 20 años, por ejemplo). Lo que se pretende es, al realizar los balances, poder discriminar los suministros estructuralmente mal atendidos de aquellos otros que, aunque tengan déficits ocasionales, no puedan considerarse como inadecuados. Este tema, de gran importancia a la hora de elaborar el plan, se trata en el punto; **criterios para evaluar la atención de las demandas**.

En el caso de las demandas de agua hay criterios técnicos de garantía de este tipo, definidos para los distintos tipos de uso en distintos países y situaciones. Será necesario que el plan hidrológico, cuando

Capítulo 3.4.

Uso del agua, balances y asignación de recursos

caracterice las demandas explique el criterio de garantía que se aplicará a cada tipo de uso y en cada caso. Para el caso de los abastecimientos urbanos e industriales estos criterios suelen ser bastante exigentes, en el caso de las demandas agrarias, sin embargo, dependen mucho del tipo de cultivo, ya sea anual o perenne, por ejemplo.

También pueden considerarse garantías volumétricas, expresadas como el porcentaje del caudal servido frente al demandado, en un periodo de tiempo determinado (habitualmente un mes o un año), y a lo largo de un número de años suficientemente representativo de las condiciones de suministro.

Proyecciones y escenarios futuros

Desarrollo del contenido en *Tarea 6: Proyecciones y escenarios futuros*

El plan debe contener una previsión de cómo evolucionará la demanda en los próximos años, considerando factores como el crecimiento poblacional, la expansión agrícola o industrial, el desarrollo urbano, las políticas públicas, y los efectos del cambio climático. Estos escenarios deben permitir evaluar la sostenibilidad del sistema a futuro y anticipar medidas de gestión.

Es fundamental que el contenido exponga los distintos horizontes temporales y escenarios de desarrollo contemplados, que serán coherentes con generales del plan hidrológico (sobre horizontes temporales del plan ver **definición de horizontes temporales y periodo de revisión** para los que deberán quedar cuantificadas las magnitudes de las unidades de demanda, considerando también la posible desaparición de algunas de las actuales o la inclusión de otras nuevas en horizontes futuros.

Además de horizontes temporales a corto y medio plazo, convendrá también establecer una estimación de las demandas de agua a largo plazo, para estudiar su viabilidad tomando en consideración los efectos del cambio climático sobre los recursos hídricos y, si fuera posible y necesario, sobre la propia magnitud de las demandas.



Importante:

En general, esta estimación de demandas futuras, además de tener en cuenta los factores determinantes para su evolución antes indicados, deberá ser consistente con las planificaciones sectoriales que impulse el país a través de sus administraciones nacionales, regionales o locales; en particular, aunque no exclusivamente, sobre sectores como el abastecimiento urbano, la agricultura de regadío o la energía, tipos de uso especialmente demandantes de agua. Es decir, el plan hidrológico deberá tomar en adecuada consideración esos instrumentos sectoriales, con cuyos promotores se deberá establecer un diálogo imprescindible.

Validación, documentación y comunicación de resultados

Desarrollo del contenido en la *Tarea 7: Validación, documentación y comunicación de resultados*

El plan debe presentar cómo se ha garantizado la solidez y legitimidad del análisis de usos y demandas. Este contenido debe describir los procesos de validación técnica y participación de actores clave, así como la documentación de los supuestos utilizados, señalando fuentes de datos, limitaciones encontradas y resultados obtenidos. También debe describir cómo se comunican los hallazgos de forma clara y accesible a la ciudadanía mediante mapas, gráficos, resúmenes ejecutivos y portales web.



Importante:

En el proceso de planificación, la identificación y cuantificación de las demandas de agua debe ser un trabajo que se materialice en las primeras fases del proceso. De esta forma será posible someter la información a escrutinio público y, tras su revisión y consolidación, alimentar otros trabajos del plan que deberán desarrollarse más tarde, como es el caso de los balances y de la asignación de recursos.

Tareas

La metodología aquí descrita se estructura en una serie de etapas progresivas que **pueden adaptarse tanto a contextos con información completa como a aquellos otros con limitaciones de datos**. El enfoque se basa en los principios de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH), priorizando la equidad, la sostenibilidad ambiental, la eficiencia y la participación de los usuarios.

Las etapas de esta metodología incluyen:

1. Identificación, clasificación y caracterización de los usos del agua.
2. Distribución espacial de las demandas.
3. Estimación de la demanda.
4. Distribución temporal de las demandas.
5. Requisitos de calidad para atender a las demandas.
6. Proyecciones y escenarios futuros.
7. Garantía de las demandas.
8. Validación, documentación y comunicación de resultados.

En cada etapa se proponen métodos alternativos que permiten su aplicación tanto en regiones con datos robustos, como en aquellas otras con información escasa, apoyándose en métodos indirectos, conocimiento local, coeficientes estimativos y herramientas accesibles.

Tarea 1: Identificación, clasificación y caracterización de los usos del agua

El primer paso en el análisis de usos y demandas consiste en reconocer, clasificar y describir de forma clara los diferentes usos del agua en una cuenca. Esto implica entender **quién usa el agua, para qué fin, con qué medios, en qué cantidad y en qué momentos del año**, con el objetivo de fundamentar las decisiones de planificación hidrológica y gestión integrada del recurso.



Descripción Metodológica:

Paso 1: Identificación de los usos

Tipos de uso

La diferenciación de los usos del agua por tipos o categorías tendrá que ver con las atribuciones especiales o requisitos generales que para cada aprovechamiento vayan a corresponder por el hecho de quedar adscrito a este determinado tipo de uso y no a otro. Por ejemplo, se puede considerar de manera genérica que todos los aprovechamientos dirigidos al abastecimiento de núcleos de población consolidados merecen unas garantías o privilegios frente a otras clases de utilización que los diferencian; o que un uso industrial que genera un impacto socioeconómico importante en términos de empleo y riqueza pueda ser preferido a otro uso, del tipo que sea, que no genere ese impacto.

Es por ello habitual que las legislaciones de los países cataloguen diferenciadamente distintos tipos de uso atendiendo a las peculiaridades del país, aspecto que evidentemente deberá tenerse en cuenta para la catalogación que incorpore el plan hidrológico.

A falta de criterio prevalente, **el plan deberá adoptar una catalogación de usos pensando en la organización jerárquica o particular que pueda hacer de ellos**. En la tabla que se incluye a continuación se sugiere, a modo de ejemplo, un esquema de tipos de utilización que, en cada caso, deberá acomodarse a las particularidades de la región, el país o cuenca de que se trate.

Capítulo 3.4.

Uso del agua, balances y asignación de recursos

Tipo	Subtipo	Categoría	Ejemplo
Abastecimiento de la población	De núcleos urbanos		Suministro de una ciudad
	De instalaciones singulares		Suministro de un complejo penitenciario, un colegio, hospital, etc, aislado de las redes de suministro urbanas.
	Fuera de núcleos urbanos		Abastecimiento de viviendas en despoblado.
	Otros usos de abastecimiento		Suministro fuera de la red urbana para atender servicios urbanos, tales como una estación de tratamiento de aguas residuales.
Agropecuario	Regadío		Cultivos en regadío
	Ganadería		Granjas
	Otros usos agrarios		Riego antihelada
Industria	Productora de energía	Fuerza motriz	Molino tradicional
		Hidroeléctrica	Central de generación
		Fotovoltaica	Instalación flotante
		Almacenamiento de energía	Central reversible
		Refrigeración de centrales térmicas convencionales	Central térmica de carbón, gas o fuel
		Refrigeración nuclear	Central termonuclear
	Extractiva / Minería		Procesos de lavado o beneficio
	Productora de bienes de consumo		Refrigeración de máquinas
Otros usos	Acuicultura		Piscifactoría de agua dulce
	Transporte fluvial	Comercial	Alimentación de un canal o esclusas
	Navegación		
	Otros usos	Recreativa / deportiva	Punto de suministro para bomberos forestales

Paso 2: Clasificación de los usos

Una vez que los tipos de uso hayan quedado identificados, puede ser de interés su clasificación pensando en organizar la información que va a servir de referencia para el desarrollo de otros contenidos del plan, como pueden ser los mecanismos de asignación de recursos (**tarea de Balances entre demandas y recursos disponibles y asignación de recursos**) o el (**análisis económico del sector del agua**), por ejemplo.

En una primera etapa, se recomienda agrupar los usos del agua en dos grandes categorías:

Tipo de uso	Ejemplos comunes
Consuntivos	Abastecimiento urbano, riego agrícola, ganadería, industria, minería.
No consuntivos	Generación hidroeléctrica, recreación.

- **Usos consuntivos:** aquellos en los que el agua es extraída y consumida, es decir, no retorna en su totalidad al sistema hídrico puesto que una parte se consume por evapotranspiración o incorporación a los productos. La parte no consumida retorna, bien de forma directa como vertido o de forma indirecta como infiltraciones, pérdidas, etc.
- **Usos no consuntivos:** aquellos donde la extracción es semejante al retorno en los que el agua es utilizada sin una reducción significativa de su volumen o calidad. El ejemplo típico de uso no consuntivo es el de la generación de energía en centrales hidroeléctricas; sin embargo, en ciertas circunstancias la evaporación asociada a estas instalaciones, por evaporación desde embalses, por ejemplo, dista de resultar despreciable.

Para organizar la información de manera sistemática, se sugiere clasificar los usos del agua de acuerdo con varios criterios complementarios:

- **Por sector económico:** primario (agricultura, ganadería, pesca), secundario (industria, minería), terciario (servicios, turismo, recreación), al objeto de poder relacionarlos con datos de producción.

- **Por fuente de agua:** aguas superficiales, subterráneas, reutilizadas o desalinizadas.
- **Por intensidad del uso:** estacional (ej. agricultura de temporada) o permanente (ej. abastecimiento urbano).
- **Por localización geográfica:** áreas urbanas, rurales, zonas críticas de disponibilidad o zonas protegidas.
- **Por tipo de usuario:** individual (doméstico), colectivo (comunidades de regantes), institucional (municipalidades, empresas públicas), privado (industrias, agricultores, operadores turísticos).

Paso 3: Caracterización de los usos

La caracterización de los usos debe incluir los siguientes aspectos fundamentales:

a) Marco normativo

- Revisión de legislación nacional y local aplicable a los distintos tipos de uso del agua identificados.
- Derechos de uso y concesiones, prioridades establecidas por ley, requisitos con respecto al caudal ecológico y, en su caso, límites o condiciones de extracción por zona o cuenca.

b) Calidad del agua requerida

- Determinación de la calidad mínima exigida para cada tipo de uso (potable, agrícola, industrial, recreativo). La calidad requerida condiciona el **tratamiento previo o posterior** al uso (por ejemplo, agua potable para consumo humano frente a agua salobre para riego). Este aspecto permite vincular el análisis de usos con la evaluación de la calidad del recurso disponible en la cuenca. **Requisitos de calidad de agua para tender a las demandas.**

c) Grandes magnitudes de utilización y demanda

- **Volumen autorizado o concesionado:** volumen anual de agua autorizado legalmente para un uso determinado.
- **Volumen utilizado:** estimación del volumen real consumido o utilizado en el año, que puede diferir del volumen concesionado por diversas razones (ineficiencias, subutilización, captaciones ilegales).
- **Volumen retornado:** estimación del volumen anual que regresa al sistema (total o parcial, tratado o no). Esto permite analizar consumos netos y balances hídricos.

d) Información socioeconómica

- Población atendida y alcance de las redes urbanas. Actividades productoras vinculadas a las redes urbanas (industria, comercio, turismo). Valor añadido del agua utilizada a través de las redes urbanas en términos de producción y empleo.
- Papel de la industria no conectada a las redes urbanas, diferenciando los sectores que puedan tratarse individualmente según las situaciones de cada región, por ejemplo, el sector energético.
- Estudio del agua en el sector agropecuario. Producciones en secano y en regadío, dimensión de la cabaña ganadera.
- Cualquier otra información que, de acuerdo con los tipos de uso identificados, permita reconocer su importancia objetiva en el marco del país o del ámbito territorial del plan.

e) Problemática asociada al uso: Para cada tipo de uso se deberán explicar los principales problemas a afrontar en el ámbito del plan hidrológico; problemas que razonablemente se pueda esperar resolver mediante la planificación GIRH.

- Problemas de cantidad y de regulación de caudales
- Problemas de calidad
- Problemas de compatibilidad de usos
- Otros problemas.

d) Localización geográfica

- Inventario georreferenciado de puntos de captación (presas, pozos, tomas superficiales), zonas regadas, instalaciones industriales, etc.
- Mapas temáticos o bases de datos espaciales que permitan representar la distribución de los usos.

e) Infraestructuras de captación y distribución

- Tipología de captaciones: presas, galerías, pozos, tomas directas de ríos.
- Sistemas de conducción: canales, tuberías, acequias.
- Infraestructura asociada: estaciones de bombeo, tanques, plantas de tratamiento, redes de distribución.

f) Temporalidad del uso

- Estacionalidad: ciclos mensuales o estacionales de uso (ej. cultivos de temporada, turismo en periodos determinados).
- Variaciones por tipo de actividad: (ej. uso industrial con turnos, recreación de fin de semana).
- Eventos extremos (ej. reducción por sequía, aumento por ola de calor).
- Políticas o restricciones (por ejemplo, cortes programados o campañas de ahorro).

Tarea 2: Distribución espacial de las demandas

La distribución espacial de las demandas es crítica en planificación hidrológica porque condiciona directamente la eficiencia, sostenibilidad y equidad en la gestión del agua. Su análisis permite identificar conflictos, optimizar infraestructuras, evaluar impactos locales y definir medidas específicas.



Descripción Metodológica:

Paso 1: Identificación de zonas críticas y patrones de distribución

El análisis de las demandas debe partir de una lectura territorial precisa que permita localizar las zonas con mayor presión sobre los recursos, identificar incompatibilidades entre oferta y demanda, y reconocer patrones espaciales que condicionen la gestión del agua. Esta caracterización espacial constituye la base estructural sobre la que se apoyarán los balances y la asignación de recursos.

Para ello, se requiere:

- Obtener cartografías de usos del suelo, de captaciones, retornos, concesiones y población.
- Superponer mapas de demanda con mapas de disponibilidad hídrica.
- Identificar zonas críticas con sobreexplotación, conflictos de uso o estrés hídrico estructural.

Paso 2: Delimitación operativa de unidades de demanda

Con el sistema espacial ya caracterizado, es necesario contar con una forma operativa de representar y modelar las demandas dentro de los balances hídricos y esquemas del plan. Para ello, **se pueden definir unidades de demanda**, entendidas como agrupaciones homogéneas de aprovechamientos del agua del mismo tipo de uso que comparten características funcionales y que pueden ser representadas de forma simplificada, sin perder coherencia con la realidad territorial.

Para realizar este paso, es necesario agrupar captaciones por tipo de uso (urbano, agrícola, industrial, etc.) y por similitud en su fuente de suministro, estacionalidad y punto de retorno.

Cada unidad de demanda debe estar georreferenciada, vinculada explícitamente a sus fuentes de recurso (ríos, acuíferos, embalses) y a sus vertidos o retornos.



Descripción metodológica:

Creación de unidades de demanda

1. **Mapeo de fuentes de suministro:** Identificar, georreferenciar las fuentes de agua disponibles en la cuenca (ríos, embalses, pozos, sistemas de riego).
2. **Identificación de usuarios:** Determinar los usuarios o sectores que dependen de cada fuente, considerando su ubicación y características de uso.

3. **Agrupación de usos homogéneos:** Clasificar los usos según su tipo y características similares, agrupándolos en zonas geográficas coherentes. Se recomienda clasificar las unidades de demanda en categorías de diferencias según el tipo de uso, tales como: urbana, agrícola, industrial, o uso múltiple.
4. **Delimitación espacial:** Utilizar herramientas, como Sistemas de Información Geográfica (SIG), para trazar los límites de cada unidad de demanda, asegurando una representación suficientemente precisa y actualizada.



Importante:

A cada unidad de demanda se le deben asignar **atributos clave**, como:

- Nombre y código identificador.
- Tipo de uso predominante, entendiendo que por estar en este uso se le otorgan unas categorías especiales.
- Factor descriptivo de la magnitud de la demanda, según convenga. Por ejemplo: habitantes abastecidos para demandas urbanas, superficies para las agrarias, potencia para las industriales...
- Caudal esperado anual y mensual, y caudal realmente utilizado.
- Fuente de suministro principal, es decir, punto de origen del agua destinada a atender la demanda.
- Infraestructura asociada, tales como conducciones, depósitos, estaciones de tratamiento...
- Factor de consumo, que permita estimar la cantidad que retornará al sistema tras la utilización.
- Puntos de vertidos o retorno.

Paso 3: Análisis de la estacionalidad de la demanda

Las demandas hídricas suelen presentar importantes variaciones mensuales o estacionales que deben considerarse para caracterizar adecuadamente los momentos de mayor y menor presión sobre el sistema. Este análisis permite identificar periodos críticos (como el estiaje) y evaluar la capacidad del sistema para atender las demandas reales en distintas épocas del año.

Para su realización, se requiere:

- Recopilar series temporales de consumo mensual por tipo de uso.
- Utilizar calendarios de cultivo y coeficientes de demanda estacional (Kc, litros/hab/día, etc.).
- Construir perfiles mensuales de demanda por unidad de demanda.
- Ajustar la demanda según factores locales como turismo, estacionalidad industrial o temperatura.

Paso 4: Incorporación de trayectorias de cambio climático

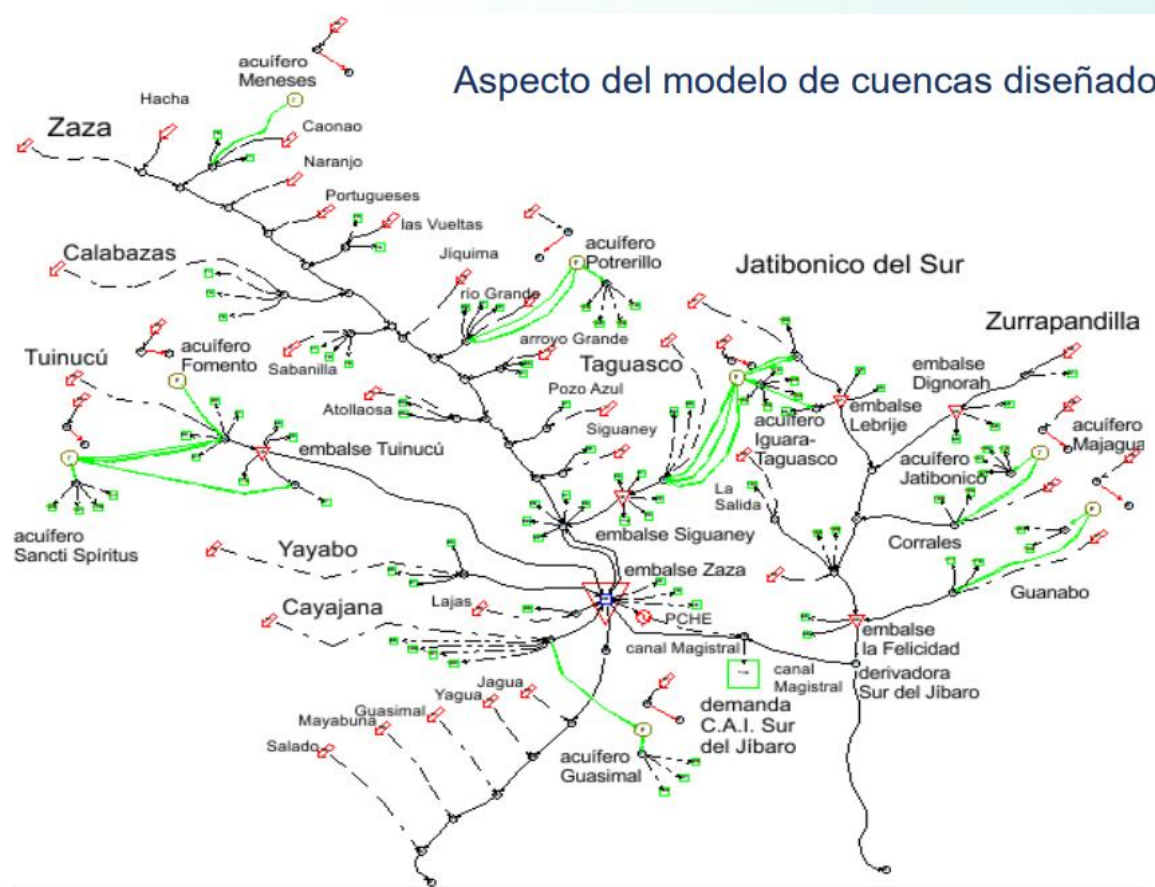
La incorporación de trayectorias de cambio climático permite anticipar alteraciones en los patrones de disponibilidad y demanda, fortaleciendo el enfoque preventivo y adaptativo del plan. Este análisis es especialmente relevante en regiones con alta variabilidad climática o donde ya se identifican impactos observables, al menos, sobre el régimen hidrológico.

Para integrarlo, se requiere:

- Seleccionar escenarios regionalizados basados en las trayectorias del IPCC AR6, combinando modelos con rutas socioeconómicas (e.g., SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP5-8.5) o niveles de calentamiento global.
- Utilizar proyecciones regionalizadas de variables clave (temperatura, precipitación, evapotranspiración, caudales) obtenidas a partir de modelos climáticos globales y su escalamiento regional (ej., CORDEX-LAC).

- Analizar la sensibilidad de los distintos tipos de demanda (agrícola, urbano, ambiental) frente a las condiciones proyectadas, considerando cambios en necesidades de riego, consumo humano o evaporación en embalses.
- Ajustar las curvas de estacionalidad y los volúmenes anuales previstos por unidad de demanda en función de los escenarios climáticos seleccionados.
- Incluir los resultados en los balances prospectivos, diferenciando horizontes temporales (por ejemplo, 2030–2050 y 2050–2100) y cuantificando incertidumbres asociadas.

El análisis espacial y temporal debe materializarse en una representación coherente del sistema de explotación, que conecte visualmente las unidades de demanda, las fuentes de recurso, las infraestructuras hidráulicas, los retornos y demás elementos relevantes. Esta esquematización constituye el soporte gráfico y funcional de los balances y del conjunto del plan hidrológico. A continuación, se muestra un ejemplo de dicha esquematización, en la siguiente figura de modelización para mejorar la calidad ambiental y la gestión integral de los recursos hídricos en dos cuencas fluviales de la región central de Cuba.



Tarea 3: Estimación de la demanda de agua

Se recomienda que el cálculo de la demanda se realice **mes a mes** con idea de definir un año tipo que pueda cubrir las necesidades de los usos, y que pueda ser trasladado a la caracterización de unidades de demanda para su posterior modelización en los balances.

Resultará imprescindible documentar, para cada unidad de demanda, los atributos clave antes indicados.

La estimación de la demanda de agua consiste en calcular los caudales mensuales requeridos por cada tipo de uso (urbano, agrario, industrial, ambiental (si aplica), utilizando métodos directos, indirectos o modelos, según la disponibilidad de datos. En esta etapa, el objetivo es estimar los volúmenes actuales de consumo por tipo de uso y unidad de demanda, sin considerar aún su distribución temporal.

Capítulo 3.4.

Uso del agua, balances y asignación de recursos

Método	Requiere datos históricos	Requiere modelación	Adecuado para...
Consumo histórico real	✓ Sí	✗ No	Áreas urbanas con medidores
Coeficientes técnicos	✗ No	✗ No	Uso industrial, agrícola
Modelos de simulación	✗ No	✓ Sí	Proyecciones agrícolas, urbanas
Estimaciones participativas	✗ No	✗ No	Contextos sin datos



Importante:

La estimación se debe expresar en unidades compatibles con los balances hídricos del plan, pudiendo utilizarse m³/día para demandas puntuales o m³/mes para planificación general. La suma de las demandas sectoriales permite conocer la presión total sobre los recursos disponibles por unidad de demanda y por cuenca.

Demandas urbanas

La demanda de agua urbana depende de varios factores determinantes, entre los que destacan la población y sus hábitos culturales, el tipo de vivienda, las industrias y servicios conectados y los planes de crecimiento urbano. La demanda urbana, según se haya definido, puede incluir el consumo doméstico, no doméstico (comercial e industrial), los servicios (baldeo de calles, riego de zonas ajardinadas y otros) así como las pérdidas en el sistema de distribución, que en algunos casos llegan a ser muy significativas.

Considerando todo ello, las dotaciones medias en Latinoamérica varían entre países, por ello, con carácter meramente indicativo pueden considerarse los valores que se indican en la siguiente tabla:

País	Dotación (l/hab/día)	Observaciones	Fuente
Argentina	250-300	Valor para grandes ciudades. En zonas rurales cae hasta 100 l/hab/día.	ENOHSA
Bolivia	80-200	Mayores dotaciones en grandes ciudades	
Brasil	150-200	Promedio nacional 155 l/hab/día.	Sistema Nacional de Información sobre Saneamiento
Chile	120-200	Santiago: 180 l/hab/día	Norma NCh 819 y estudios DGA.
Colombia	100-300	Bogotá: aprox. 170 l/hab/día	RAS 2000
Costa Rica	150-250		Instituto Costarricense de Acueductos
Ecuador	120-220	En zonas rurales menos de 100 l/hab/día. Quito: 160-180 l/hab/día	
El Salvador	100-200		ANDA
España	180-340	Dotación suministrada a efectos de cálculo de la demanda	Instrucción de Planificación Hidrológica
Guatemala	100-180	Valores estimados en planificación urbana	SEGEPLAN
Honduras	100-180		
México	150-300		Normativa - CONAGUA
Nicaragua	100-150	120-130 l/hab/día en zonas urbanas	ENECAL
Panamá	200-300	Ciudad de Panamá: aprox. 250 l/hab/día	
Paraguay	150-200		
Perú	120-250	Lima: 170-220.	SEDAPAL
Portugal	150-200	Incluye pérdidas	ERSAR
República Dominicana	150-250	Santo Domingo: 180 l/hab/día	INAPA
Uruguay	180-250	Promedio ciudades, aprox: 220 l/hab/día	
Venezuela	200-300	Con deficiencias en suministro.	

Independientemente de estos valores de referencia, puede afrontarse un cálculo específico, para ello se sugiere un procedimiento que se estructura en cinco pasos:



Descripción Metodológica:

A falta de la estimación que pueda proporcionar la autoridad competente se podría usar la metodología propuesta.

Paso 1: Estimar la población urbana; Población urbana permanente y estacional y su crecimiento

- **Población permanente:** Número de personas que residen de manera constante en una ciudad o municipio. Se recomienda utilizar cifras actualizadas de censos nacionales, registros o padrones municipales y estimaciones basadas en el crecimiento poblacional para los horizontes temporales futuros.
- **Población estacional:** En zonas turísticas o agrícolas, la población puede variar a lo largo del año según la temporada. Es necesario estimar cuántas personas adicionales se encuentran en la ciudad en ciertos períodos del año, pudiendo utilizar para ello factores de multiplicación basados en estadísticas históricas de movilidad, número de plazas hoteleras, segundas residencias...
- **Crecimiento de la población:** En el ámbito de la CODIA las ciudades experimentan un crecimiento urbano acelerado, en parte de naturaleza interna (crecimiento vegetativo) y en parte a costa de las zonas rurales que pueden ver mermada su población. Por ello no sorprende que San Pablo, Ciudad de México o Buenos Aires se encuentren entre las 20 ciudades más pobladas del planeta. Es importante estimar cómo se evolucionará la población en los próximos años. Esto ayudará a calcular la demanda de agua en el futuro y a planificar la infraestructura necesaria. En este sentido hay que tener en cuenta los planes urbanísticos y de expansión de la ciudad, como nuevos desarrollos residenciales, industriales o comerciales, ya que aumentan la demanda de agua. Se trata de un dato proyectado que estima el crecimiento de la población, por lo que un método para su cálculo puede ser el uso de la tasa de crecimiento anual media histórica (r). A tal efecto se podría usar la siguiente fórmula:

$$P_t = P_0 \times (1+r)^t$$

Donde:

- P_t = población proyectada t años más allá del actual.
- P_0 = población actual.
- r = tasa de crecimiento anual (obtenida de proyecciones demográficas).
- t = número de años en el futuro.

Paso 2: Estimar consumo doméstico

Para estimar el consumo doméstico es indispensable determinar los tipos de vivienda y dotaciones hídricas:

- **Tipos de vivienda:** Diferenciar entre viviendas principales (residencia habitual) y secundarias (ocupadas en ciertas épocas del año).
- **Consumo por persona:** Determinar el consumo medio de agua por habitante al día (C_p), el cual puede variar según el nivel de desarrollo del área y los hábitos de consumo. Este valor se puede obtener de normativas locales o estudios de consumo anteriores.
- **Consumo total doméstico:** Se calcula multiplicando el consumo por persona por la población.

Se podría usar la siguiente fórmula:

$$D_{dom} = P \times C_p$$

Donde:

- D_{dom} = Demanda total doméstica ($m^3/día$).
- P = Población total (permanente y estacional).
- C_p = Consumo promedio per cápita ($m^3/persona/día$).

Paso 3: Estimación de demanda No doméstica (comercial e industrial)

Para estimar la demanda **No** domestica es necesario calcular la población equivalente industrial y sumar el consumo de agua de las industrias conectadas. Para ello es necesario la:

- **Identificación de sectores:** Identificar los principales sectores que requieren agua, tales como la industria, comercio y servicios.
- **Población equivalente (P.E.):** Calcular la población equivalente para cada sector utilizando el siguiente enfoque:

$$P.E.=C_p/Ds_{sector}$$

Donde:

- Ds_{sector} = Demanda de agua del sector industrial o comercial.
- C_p = Consumo promedio per cápita.



Importante:

Además del consumo doméstico y comercial, debe considerarse el consumo institucional, correspondiente a instalaciones como escuelas, hospitales, oficinas públicas y centros deportivos; servicios de limpieza y baldeo de calles, riego de zonas ajardinadas, etc, lo que puede tener un peso considerable en ciudades grandes o zonas administrativas. Este tipo de consumo, aunque muchas veces se agrupa con el sector público, tiene características propias que conviene estimar por separado cuando los datos lo permiten.

Paso 4: Análisis las pérdidas en el sistema de distribución

Es necesario tener en cuenta las pérdidas en el sistema de distribución y ajustar la demanda de acuerdo con la eficiencia del sistema. La comparación entre el caudal servido y el finalmente vertido después de su utilización puede ayudar a evaluar estas pérdidas. A tal efecto, se puede diferenciar entre:

- **Pérdidas técnicas:** Se refiere a las fugas debido a defectos en la infraestructura (tuberías rotas, envejecimiento de la red). Se puede estimar como un porcentaje del volumen total de agua distribuido.
- **Pérdidas no técnicas:** Incluyen fraudes, errores de medición o usos no registrados. Se deben estimar con base en estudios de eficiencia histórica de la red.
- **Estimación de pérdidas total:** Considerar un porcentaje de pérdida estándar para el área o ciudad en estudio, que generalmente variará dependiendo de la eficiencia de la red.

Paso 5: Ajuste de la demanda con perdidas

La demanda deberá ajustarse sumando las pérdidas al volumen neto calculado. Para ello se puede recurrir a la siguiente formula:

Demanda ajustada: La demanda ajustada por pérdidas es:

$$D_{ajustada}=D_{total}\times(1+Perdida\%)$$



Recomendación:

En ausencia de información

- Usar rangos de dotación (ej. 100–200 L/hab/día según tipología)
- Estimar población con censos y tasas de crecimiento locales
- Aplicar coeficientes de pérdidas del sistema tipo (20%–50%)

Demanda agraria

El proceso de estimación de la demanda agraria se divide en varias etapas, cada una con metodologías específicas que permiten obtener resultados precisos y aplicables en planificación. A falta de la estimación que pueda proporcionar la autoridad competente se podría usar la metodología seguidamente propuesta.



Descripción Metodológica:

Paso 1: Identificación de cultivos y superficies cultivadas

El primer paso para estimar la demanda hídrica agraria es identificar qué cultivos se siembran en la cuenca y cuánta superficie ocupan. Esta información es clave, ya que cada tipo de cultivo tiene diferentes requerimientos de agua dependiendo de su ciclo de crecimiento, su eficiencia en la captación del agua y las condiciones climáticas de la zona. Para llevar a cabo esta tarea, se pueden utilizar diversas fuentes de información:

- **Registros oficiales:** Los ministerios de agricultura, los censos agropecuarios y las asociaciones de agricultores suelen disponer de datos actualizados sobre los cultivos predominantes en una región y su extensión.
- **Imágenes satelitales y cartografía:** Herramientas de observación remota, como Landsat, MODIS u otros, permiten identificar el uso del suelo a partir de firmas espectrales que diferencian entre usos del suelo, cultivos, áreas forestales y otros usos.
- **Trabajo de campo y encuestas:** Las visitas a la zona de estudio y las entrevistas con agricultores pueden complementar la información documental y ayudar a detectar cultivos emergentes o prácticas de riego que no están registradas oficialmente.

Con estos datos, se pueden generar mapas de uso agrícola del suelo mediante **Sistemas de Información Geográfica (SIG)**, lo que permitirá visualizar la distribución espacial de la agricultura en la cuenca.

Paso 2: Determinación de los requerimientos hídricos de los cultivos

Una vez identificados los cultivos y su extensión, el siguiente paso es calcular cuánta agua necesitan para su desarrollo. La demanda hídrica de un cultivo se determina en función de su **evapotranspiración (ET_c)**, que es la cantidad de agua que se consume por incorporación en el producto, evaporación del suelo y transpiración de las plantas. Las autoridades agrarias, nacionales o regionales, pueden tener estimaciones específicas de estas necesidades hídricas, que lógicamente deberán ser tenidas en cuenta en el plan hidrológico. A falta de esta información de referencia, será preciso realizar su estimación.

Para estimar la evapotranspiración del cultivo, puede seguirse un procedimiento estándar basado en dos variables principales:

1. **Evapotranspiración de referencia (ET₀):** Se calcula utilizando, por ejemplo, la ecuación de **Penman-Monteith**, (■ **Guía metodológica 3**) que considera factores climáticos como temperatura, humedad, radiación solar y velocidad del viento. Esta información se obtiene de estaciones meteorológicas o bases de datos climáticas como **FAO CLIMWAT**.

2. **Coefficiente del cultivo (Kc):** Cada cultivo tiene un coeficiente específico que varía según su etapa de crecimiento. Multiplicando ET_0 por el coeficiente Kc correspondiente, se obtiene la evapotranspiración real del cultivo (**ETc**).



Importante:

En zonas donde exista precipitación significativa durante el ciclo del cultivo, debe estimarse la precipitación efectiva (Pef), es decir, la parte de la lluvia que realmente es aprovechada por el cultivo para su desarrollo. Esta se resta a la evapotranspiración estimada para obtener la demanda neta real del cultivo:

$$ET_n = ET_c - P_{ef}$$

Donde:

- ET_n = Evapotranspiración neta ($m^3/día$ o $mm/día$).
- ET_c = Evapotranspiración del cultivo.
- P_{ef} = Precipitación efectiva.

Esta corrección es especialmente relevante en regiones donde las lluvias aportan un volumen sustancial durante el ciclo de cultivo, reduciendo así la necesidad de riego artificial. Así, las necesidades hídricas netas pueden calcularse para una determinada probabilidad de precipitación efectiva que, por ejemplo, cubra necesidades en el 80% de los años.

Paso 3: Cálculo de la demanda bruta de riego

No toda el agua aplicada a los cultivos es utilizada eficientemente por las plantas. Parte del recurso **se pierde** por escorrentía, evaporación o percolación profunda. La eficiencia del sistema de riego influye directamente en la cantidad de agua que realmente debe extraerse de la fuente para satisfacer la demanda agrícola. Esta eficiencia global del sistema se distribuye clásicamente en tres categorías o factores: eficiencia en el transporte, eficiencia en la distribución y eficiencia de aplicación.

La eficiencia de transporte se refiere a las pérdidas que ocurren durante el traslado del agua desde la fuente (río, embalse, pozo, canal principal) hasta el punto de entrada al sistema de distribución parcelaria. Estas pérdidas pueden deberse a filtraciones en canales, evaporación en cauces abiertos, fallas estructurales o manejos inadecuados del sistema principal.

- Valores típicos (**Manual FAO 56, 1998: Crop Evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements**):
 - Canales de tierra sin revestimiento: 60–80%
 - Canales revestidos o tuberías cerradas: 90–98%

En contextos rurales con infraestructura deteriorada, estos valores pueden descender significativamente.

La eficiencia de distribución considera las pérdidas entre el sistema de transporte y los puntos de entrega a nivel de parcela o lote agrícola. Aquí se incluyen fugas en redes secundarias, maniobras incorrectas, tiempos de respuesta lentos o mal dimensionamiento de las redes de reparto.

- Valores típicos (**Manual FAO 56, 1998: Crop Evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements**):
 - Redes secundarias abiertas: 70–85%
 - Redes presurizadas o modernizadas: 85–95%

En cuanto a la aplicación, este parámetro representa la fracción del agua que, una vez en la parcela, es efectivamente aprovechada por el cultivo. Depende del tipo de sistema de riego instalado y de su manejo.

Capítulo 3.4.

Uso del agua, balances y asignación de recursos

Algunos valores de eficiencia de aplicación típicos de los sistemas de riego son (**Guía metodológica 1**):

- **Riego por gravedad:** 40-60%
- **Riego por aspersión:** 60-80%
- **Riego por goteo:** 90-95%

Para ajustar la demanda de riego considerando estas pérdidas, se usa la fórmula:

$$D_b = ET_c / E_r$$

Donde:

- **D_b** = Demanda bruta de riego (m³/día).
- **E_r** = Eficiencia del riego (porcentual).



Recomendación:

En ausencia de información

- Usar imágenes satelitales para estimar superficies.
- Aplicar dotaciones por cultivo (m³/ha/año).
- Validar con agricultores o técnicos locales.

Demanda ganadera

La demanda ganadera representa el volumen de agua requerido para el consumo directo de los animales (abrevadero), la limpieza de las instalaciones (granjas) y otros servicios asociados.

A falta de la estimación que pueda proporcionar la autoridad competente se podría usar la metodología propuesta, con un enfoque por pasos basado en el **número de cabezas de ganado por categoría productiva**, multiplicado por **coeficientes de consumo promedio diario** y ajustado por **condiciones climáticas y manejo**.

Paso 1: Identificación de las categorías ganaderas

Para cada unidad se deben identificar las principales especies y categorías productivas relevantes obtenidas de censos agropecuarios, registros oficiales del sector ganadero, encuestas productivas locales.:

- **Bovinos:** leche, carne, doble propósito.
- **Porcinos:** crianza, engorde.
- **Ovinos y caprinos.**
- **Avícola:** pollos de engorde, gallinas ponedoras, otras aves.
- **Cunícola:** conejos de cría y asimilados.
- **Equinos, búfalos u otros** (si aplican localmente).

Paso 2: Determinación de la población ganadera por unidades de análisis

Debe establecerse la cantidad de animales por especie y categoría, por unidad espacial (cuenca, municipio, distrito de riego, etc.).

- En contextos sin datos detallados, se puede estimar por densidad ganadera (cabezas/km²) y superficie ganadera identificada en cartografía de uso del suelo.
- En zonas extensivas, se pueden usar relaciones típicas de carga ganadera: ha/UGG (unidad ganadera grande).

Paso 3: Aplicación de coeficientes de consumo de agua

Multiplicar el número de animales por coeficientes estándar de consumo medio diario (litros/animal/día), ajustado por tipo de explotación (intensiva/extensiva) y condiciones climáticas (templado/cálido/árido).

Capítulo 3.4.

Uso del agua, balances y asignación de recursos

Categoría	Rango típico de consumo (L/día)	Observaciones
Bovino de leche	60–120	Según producción y temperatura
Bovino de carne	40–70	En pastoreo, menor extremo
Porcino (engorde)	10–20	Depende de edad/peso
Ovino/Caprino	3–8	Mayor en clima seco
Aves (pollos/ponedoras)	0,2–0,4	Por cabeza
Equino	30–45	Intensivo o trabajo

FAO (2011), CONAGUA (2015), estudios de SENASA (Argentina), INTA, EMBRAPA, ICA (Colombia).

Paso 4: Cálculo del volumen anual y mensual de demanda ganadera

El volumen total por especie se calcula como:

$$\text{Demanda anual o mensual (m}^3\text{)} = N \times C \times D \div 1000$$

Donde:

- **N** = número de animales
- **C** = consumo medio diario (L/día)
- **D** = días de permanencia en el sistema (normalmente 365, o 30 para estimaciones mensuales)
- **1000** = factor de conversión a m³

Demanda industrial

El cálculo de la demanda industrial requiere una aproximación flexible en función de la información disponible. En contextos donde no existen datos reportados, se recomienda una metodología por pasos basada en la combinación de fuentes secundarias, clasificación industrial y aplicación de coeficientes técnicos de consumo. No obstante, el uso del agua en el sector energético suele responder a necesidades específicas según las características de las instalaciones. En sectores críticos, como la generación de energía térmica, se requiere un tratamiento específico debido a su volumen y tipología de uso del agua.

A falta de la estimación que pueda proporcionar la autoridad competente se podría usar la metodología propuesta seguidamente:



Descripción Metodológica:

Paso 1: Identificación y caracterización de la industria en la cuenca

El primer paso es identificar las industrias presentes en la cuenca y clasificar su actividad productiva. Este análisis permite definir los tipos de procesos que consumen agua y las fuentes de abastecimiento utilizadas (aguas superficiales, subterráneas o redes públicas). Para ello, se pueden utilizar diversas fuentes de información:

- **Registros oficiales:** Datos de ministerios de industria, registros de concesiones de agua, catastros industriales y censos económicos.
- **Informes de entidades ambientales:** Estudios de impacto ambiental y auditorías hídricas de las empresas.
- **Trabajo de campo y encuestas:** Visitas a las industrias y entrevistas con operadores para obtener información detallada sobre su consumo de agua y estrategias de eficiencia hídrica.

También deberá preverse la previsible evolución del sector industrial para estimar su demanda en los distintos horizontes temporales de planificación. Una vez recopilada esta información, se pueden clasificar las industrias según su consumo de agua en tres categorías principales:

1. **Industrias de bajo consumo:** Usan agua principalmente para servicios generales (oficinas, refrigeración, limpieza). Ejemplos: fábricas de productos electrónicos, ensamblaje de vehículos.
2. **Industrias de consumo moderado:** Usan agua en procesos productivos, pero con posibilidades de recirculación y reutilización. Ejemplos: industria textil, manufactura de alimentos.
3. **Industrias de alto consumo:** Requieren grandes volúmenes de agua y generan efluentes significativos. Ejemplos: minería, refinamiento de petróleo, siderurgia, papelería.

Con esta clasificación, se puede generar un mapa de distribución industrial en la cuenca utilizando **Sistemas de Información Geográfica (SIG)** para visualizar zonas de alta demanda.

Paso 2: Determinación del consumo específico por tipo de industria

El siguiente paso es cuantificar la demanda de agua de cada industria. Idealmente, esto puede estimarse a partir de registro de datos reales de utilización y consumo de agua por tipo de industria. A falta de esta información, se puede trabajar con **coeficientes de consumo** unitario obtenidos de fuentes bibliográficas, que representan el volumen de agua requerido por unidad de producción o por empleado. Estos coeficientes pueden obtenerse de:

- **Normativas internacionales:** Datos de la FAO, la OMS o estudios de la OCDE sobre eficiencia en el uso del agua en la industria.
- **Estudios nacionales y sectoriales:** Informes de ministerios de industria o medio ambiente.
- **Registros de consumo reportados por las industrias:** Información directa de facturación de agua o auditorías hídricas.

Para calcular el consumo total de una industria, se multiplica el coeficiente de consumo por la cantidad de producción:

$$D_i = C_i \times P_i$$

Donde:

- D_i = Demanda de agua de la industria ($m^3/día$ o $m^3/año$).
- C_i = Coeficiente de consumo específico ($m^3/unidad$ de producción).
- P_i = Producción total (unidades/año o toneladas/año).

A falta de mejor información, y siempre teniendo en cuenta la especificidad de cada caso, pueden tomarse como referencia o estimación indicativa los valores de dotación que se indican en la siguiente tabla (Fuente: Instrucción de Planificación Hidrológica – España, levemente modificado):

Subsector industrial	$m^3/empleado/año$	$m^3/1.000 \$ VAB$ (año 2000)
Alimentación, bebidas y tabaco	470	13,3
Textil, confección, cuero y calzado	330	22,8
Madera y corcho	66	2,6
Papel, edición y artes gráficas	687	21,4
Industria química	1.257	19,2
Caucho y plástico	173	4,9
Otros productos minerales no metálicos	95	2,3
Metalurgia y productos metálicos	563	16,5
Maquinaria y equipo mecánico	33	1,6
Equipo eléctrico, electrónico y óptico	34	0,6
Fabricación de material de transporte	95	2,1
Industrias manufactureras diversas	192	8,0

Las industrias del **sector energético térmico** requieren un enfoque separado, dado que el agua se utiliza como fluido de refrigeración, medio de intercambio térmico o vapor. El volumen depende del tipo de circuito (abierto o cerrado) y la tecnología empleada. A falta de estimaciones propias se pueden emplear las mostradas en la siguiente tabla, cuyos datos también proceden de la Instrucción española antes citada:

Combustible	Hm ³ /año/100 MW	
	Circuito cerrado	Circuito abierto
Nuclear	3,2-3,8	165-190
Ciclo combinado	1,2-1,5	60-100
Carbón o fuel	2,3-2,8	90-125
Termosolares	1,6-2,0	---
Fotovoltaica	---	---



Importante:

- Para cada planta se debe conocer la **potencia neta instalada** y el tipo de circuito.
- Si no se conoce la potencia, puede estimarse a partir de los balances energéticos nacionales (kWh producidos) y factores típicos de consumo por GWh.
- En circuitos abiertos, gran parte del agua es retornada al medio, aunque con impacto térmico. Solo se considerará como **demanda neta** la fracción no retornada, especialmente la pérdida por evaporación, si se dispone del dato.
- En industrias con recirculación interna o sistemas cerrados, debe diferenciarse entre el volumen de agua captado y el volumen efectivamente consumido, considerando las tasas de reutilización o tratamiento interno. Esta distinción permite estimar de forma más precisa la presión real sobre las fuentes de agua y es especialmente relevante en sectores industriales con altos niveles de eficiencia o gestión avanzada del recurso.



Recomendación:

En ausencia de información

- Estimar con coeficientes medios (litros/unidad producida o empleados).
- Comparar con cuencas o polígonos industriales similares.

Demanda ambiental

La demanda ambiental representa el caudal de agua necesario para preservar la integridad de los ecosistemas acuáticos y sus funciones ecológicas esenciales. Incluye tanto el caudal ecológico mínimo que debe mantenerse en los cursos de agua como otros requerimientos asociados al mantenimiento de humedales, lagunas, zonas inundables y procesos naturales como la recarga de acuíferos o, en su caso, la dilución de contaminantes.

No se establece en esta etapa si su manejo será tratado como un uso o como una restricción previa, ya que dicha definición dependerá de criterios normativos, institucionales y de participación del proceso de planificación. En cuanto a los métodos de estimación recomendados, estos se encuentran ampliamente desarrollados en las tareas de **definición de caudales ecológicos**.

Tarea 4: Distribución temporal de las demandas

En los casos en que la estimación de las demandas de agua esté disponible únicamente como volumen **anual**, resulta imprescindible su **desagregación temporal** a una escala adecuada para su aplicación en el análisis de balances hídricos, evaluación de garantías o planificación operativa.

Esta transformación desde la serie de datos anuales en una **serie temporal mensual** (o, en su caso, estacional o diaria) permite representar de forma más realista el comportamiento del uso del agua a lo largo del año, atendiendo a su estacionalidad y a la correspondencia con la disponibilidad del recurso.

Para el análisis de la distribución espacial de la demanda, deben seguirse los siguientes pasos.



Descripción Metodológica:

Paso 1: Establecer perfiles temporales de consumo por tipo de uso

Asignar un **patrón de distribución temporal** a cada uso del agua, con base en datos históricos o perfiles tipo.

Tipo de uso

Perfil de distribución temporal

Capítulo 3.4.

Uso del agua, balances y asignación de recursos

Riego agrícola	Alta demanda en temporada de cultivo
Abastecimiento urbano	Relativamente constante, con variaciones en periodos vacacionales o fines de semana según los movimientos de la población
Turismo	Picos en temporada alta
Industria	Constante o ligado al ciclo productivo



Recomendación:

- Los perfiles temporales pueden derivarse de datos históricos reales (si existen registros de consumo), de curvas promedio del sector, o construirse utilizando información climatológica que permita inferir la estacionalidad del uso (temperatura, lluvia, duración del ciclo productivo, etc.).
- En contextos con limitada información, la construcción de perfiles temporales debe realizarse con cautela y, cuando sea posible, validarse mediante entrevistas con usuarios, técnicos locales o entidades responsables de cada tipo de uso. Esto permite ajustar los perfiles teóricos a las condiciones reales del territorio.

Paso 2: Aplicar el perfil a la demanda anual

Distribuir el volumen total anual estimado por uso y unidad de demanda conforme al perfil definido. Se puede expresar como:

$$\text{Demanda mensual estimada} = \text{Demanda anual} \times \text{Porcentaje mensual del perfil}$$

Ejemplo (para uso agrícola):

Mes	% del total anual	Volumen mensual estimado (hm³)
Enero	5%	0.25
Febrero	10%	0.50
(resto de meses)		
Total	100%	5.00

Paso 3: Ajustes por condiciones climáticas o productivas

Incorporar variaciones interanuales si se tienen datos de:

- Años secos o húmedos.
- Campañas agrícolas atípicas.
- Eventos climáticos extremos.

Tarea 5: Garantía de las demandas

En un plan hidrológico, la **garantía de las demandas** se define como el grado de seguridad con que cada uso del agua recibirá los volúmenes y caudales que necesita en las condiciones, plazos requeridos. Sin unos criterios técnicos de garantía claros no es posible:

- **Evaluar** los resultados de los balances oferta–demanda.
- **Distinguir** déficits estructurales, asociados a la falta de recursos o de infraestructuras— de episodios de escasez coyuntural (sequías).
- **Priorizar** intervenciones: ampliaciones de capacidad, reducción de pérdidas, reasignaciones, restricciones temporales, etc.

Estos criterios se formulan identificando qué se considera “fallo” en el suministro y caracterizando cada fallo en **tres dimensiones**:

Capítulo 3.4.

Uso del agua, balances y asignación de recursos

1. **Magnitud** (intensidad del déficit).
2. **Duración** (período sobre el que se acumula el déficit).
3. **Frecuencia o probabilidad** (con qué recurrencia puede aceptarse el fallo).

Paso 1: Selección de criterios por tipo de uso

Cada uso del agua, urbano, agrícola, industrial, ambiental, energético, recreativo, presenta requerimientos muy distintos de continuidad y regularidad:

- Para un hospital o una central térmica, una interrupción breve puede ser inaceptable.
- Para un área verde urbana, un riego diferido unos días puede no comprometer su función.

Por ello se parte de la **normativa nacional o regional** aplicable (leyes de aguas, reglamentos de planificación, normas de servicio) y, cuando ésta no fija explícitamente los niveles de garantía, se recurre a **referencias técnicas consolidadas** como las que se exponen en el siguiente cuadro:

1. Ejemplo Uso	2. Ejemplo de criterio de garantía habitualmente aplicado	3. Fuente técnica
4. Abastecimiento urbano	5. <i>Criterio IPH (España)</i> – Déficit mensual $\leq 10\%$ – Déficit acumulado en 10 años $\leq 8\%$	6. Instrucción de Planificación Hidrológica (Orden ARM/2656/2008)
7. Riego y otros usos agrarios	8. <i>Criterio Utah-DWR / IPH</i> – Déficit anual $\leq 50\%$ – Déficit en 2 años consecutivos $\leq 75\%$ – Déficit en 10 años consecutivos $\leq 100\%$	9. Directrices Utah DWR (1965); IPH-2008
10. Ejemplo Latinoamérica (El Salvador)	11. <i>Criterio de fiabilidad volumétrica</i> Abastecimiento: $\geq 95\%$ de los meses sin déficit – Volumen servido $\geq 98\%$ de la demanda	12. PNGIRH



Recomendación:

Cuando un uso (p. ej. ganadero) está incluido dentro de una unidad de demanda mayor (agraria), los umbrales del criterio deben ajustarse para reflejar la sensibilidad real de ese sub-uso.

Paso 2: Parametrizar los criterios

Una vez elegido el criterio para cada uso, se asignan los **valores numéricos** que concretan los umbrales de aceptación.

En el caso *IPH (urbano)*:

- $\alpha = 10\%$ → déficit máximo admisible en cualquier mes.
- $\beta = 8\%$ → déficit máximo acumulado en 10 años.

En el caso *Utah-DWR / IPH (agrario)*:

- **D** = 50 % (1 año), **E** = 75 % (2 años), **F** = 100 % (10 años).

La parametrización puede modificarse para reflejar políticas de seguridad más estrictas (p. ej. reducir D a 40 % en zonas de cultivo de alto valor) o más flexibles (p. ej. elevar F a 120 % en cultivos de secano extensivo).

Paso 3: Formular indicadores operativos

Para comprobar de forma **objetiva y repetible** el cumplimiento de los criterios sobre los resultados del balance hidrológico se definen indicadores **binarios** (cumple / no cumple).

1. Indicadores para el criterio Utah-DWR / IPH (riegos)

Capítulo 3.4.

Uso del agua, balances y asignación de recursos

Calcular sobre la serie anual de resultados:

13.	Símbolo	14.	Definición	15.	Expresión
16.	I_1	17.	Déficit anual relativo máximo	18.	$I_1 = \max_a \frac{D_a}{Q_a} \times 100$
19.	I_2	20.	Déficit máximo en dos años consecutivos	21.	$I_2 = \max_a \frac{D_a + D_{a+1}}{Q_a + Q_{a+1}} \times 100$
22.	I_3	23.	Déficit máximo en diez años consecutivos	24.	$I_3 = \max_a \frac{\sum_{k=0}^9 D_{a+k}}{\sum_{k=0}^9 Q_{a+k}} \times 100$

Donde D_a es el déficit de año a y Q_a la demanda correspondiente. La demanda está garantizada si simultáneamente:

$$I_1 \leq D, I_2 \leq E \text{ y } I_3 \leq F.$$

2. Indicadores para el criterio IPH (urbano)

25.	Símbolo	26.	Definición	27.	Regla de aceptación
28.	I_4	29.	Déficit mensual relativo máximo	30.	$I_4 \leq 10 \%$
31.	I_5	32.	Déficit acumulado en diez años	33.	$I_5 \leq 8 \%$

Si **ambos** se cumplen, la demanda urbana se considera garantizada.

3. Indicadores de “meses sin déficit” (ejemplo El Salvador)

34.	Símbolo	35.	Definición	36.	Regla de aceptación
37.	I_6	38.	% de meses sin déficit	39.	$I_6 \geq 95 \%$
40.	I_7	41.	% de volumen servido en la serie	42.	$I_7 \geq 98 \%$

Paso 4: Verificación y formalización de la garantía de las demandas en el plan

Una vez parametrizados los criterios y calculados los indicadores, es imprescindible documentar su aplicación y consolidar los resultados dentro del propio Plan Hidrológico para garantizar trazabilidad y coherencia técnica.

1. verificación operativa

- **Ejecución del modelo de balance:** se simula la serie histórica y/o sintética seleccionada.
- **Cálculo de indicadores:** se obtienen los valores $I1_1, I1_2, \dots, I7_1, I7_2, \dots, I7_7$ definidos en el Paso 3.
- **Contraste con los umbrales:** se determina para cada unidad de demanda la condición cumple / no cumple.
- **Registro de evidencia técnica:** tablas de cálculo, series temporales y scripts se archivan en el repositorio técnico del Plan.

2. Incorporación formal en el Plan Hidrológico

El documento del Plan deberá incluir explícitamente:

43.	Elemento	44.	Contenido mínimo
45.	1. Matriz de criterios	46.	Tabla que relacione cada tipo de uso con su criterio de garantía (Utah-DWR/IPH, fiabilidad volumétrica, etc.) y sus parámetros (α , β , D , E , F).

47. 2. Definición de indicadores	48. Fórmulas y periodos de cómputo de $I_{11_1} \dots I_{11_n}$.
49. 3. Resultado de la verificación	50. Mapa y tabla “cumple / no cumple” por unidad de demanda, con referencia a los años/periodos de fallo.
51. 4. Implicaciones de gestión	52. Medidas o restricciones propuestas allí donde la demanda no cumple.

Con esta secuencia, criterios adecuados por uso, parámetros explícitos, indicadores formulados y verificación sistemática, el plan hidrológico obtiene un **diagnóstico robusto y trazable** de la suficiencia del suministro, indispensable para priorizar inversiones y medidas de gestión.

Tarea 6: Proyecciones y escenarios futuros

Una vez estimadas las demandas actuales y su distribución temporal, conviene proyectar cómo evolucionarán estas demandas en el horizonte temporal del plan hidrológico, para el que se tratarán de alcanzar los objetivos de la planificación y, en especial, la asignación de los recursos. La metodología propuesta se estructura en **cuatro etapas principales**, con aplicación específica en los sectores urbano, agrícola e industrial.



Descripción Metodológica:

Paso 1: Recopilación y análisis de datos históricos

Antes de proyectar la demanda futura, es necesario comprender el comportamiento histórico de los consumos de agua. La recopilación de estos datos permite identificar patrones de crecimiento y variabilidad en la demanda de agua. Para ello, convendrá recopilar datos de las siguientes fuentes:

- **Demanda Urbana**
 - Registros de consumo de agua potable: Datos históricos de empresas de agua y saneamiento.
 - Estadísticas demográficas: Censos de población y tasas de crecimiento urbano.
 - Patrones de consumo per cápita: Variaciones por nivel socioeconómico, densidad urbana y estacionalidad.
- **Demanda Agrícola**
 - Superficie cultivada y cultivos predominantes: Datos de ministerios de agricultura y organismos sectoriales.
 - Coeficientes de riego por cultivo: Información técnica sobre requerimientos hídricos de cada tipo de cultivo.
 - Eficiencia de riego: Evaluación de pérdidas en los sistemas de distribución y aplicación del agua.
- **Demanda Industrial**
 - Consumo de agua por sector industrial: Minería, manufactura, generación de energía, etc.
 - Tecnologías de producción y eficiencia hídrica: Impacto de nuevas tecnologías en el consumo.
 - Tendencias económicas y crecimiento industrial: Proyecciones de expansión de los sectores industriales.



Recomendación:

La calidad y fiabilidad de las proyecciones dependerán directamente del nivel de resolución temporal (mensual, anual) y espacial (por unidad de demanda, cuenca o región) de los datos disponibles, por lo que se recomienda una revisión crítica de las series históricas antes de su uso.

Paso 2: Identificación de factores de cambio y tendencias

Entre los factores de cambio generales hay que considerar el posible impacto de las políticas públicas a lo largo del ciclo de planificación. Además, hay otros factores que pueden influir en la evolución de la demanda hídrica en cada sector.

- **Factores de Cambio en la Demanda Urbana**
 - Crecimiento poblacional y migración urbana.
 - Cambios en el consumo *per cápita* debido a la urbanización y hábitos de vida.
 - Eficiencia en la red de distribución y reducción de pérdidas.
- **Factores de Cambio en la Demanda Agrícola**
 - Cambio en la superficie agrícola, en las tierras dedicadas a regadío y en los tipos de cultivos.
 - Tecnificación y eficiencia en los riegos.
 - Impacto del cambio climático en la disponibilidad de agua y en las necesidades de riego.
- **Factores de Cambio en la Demanda Industrial**
 - Expansión de zonas industriales y nuevas inversiones.
 - Eficiencia en procesos productivos y uso de tecnologías de reciclaje.
 - Regulaciones ambientales y restricciones en el uso del agua.

Una vez identificados estos factores, se pueden establecer relaciones cuantitativas que permitan proyectar la demanda futura.



Recomendación:

Algunos de estos factores pueden presentar una alta incertidumbre, por lo que se recomienda considerar rangos de variación o sensibilidad en las proyecciones, especialmente en lo relativo a cambio climático y eficiencia tecnológica, así como al impacto de las políticas públicas.

Paso 3: Desarrollo de modelos de proyección de la demanda

Existen diversas metodologías para proyectar la demanda futura de agua, dependiendo del sector y la disponibilidad de datos. A continuación, se presentan los enfoques más utilizados.

- **Modelos para la demanda urbana**
 - Proyección basada en crecimiento poblacional: Se emplea la ecuación:
$$Du(t) = P(t) \times C$$

Donde:
 - $Du(t)$ = Demanda urbana en el año futuro t .
 - $P(t)$ = Población proyectada en t .
 - C = Consumo per cápita ajustado por eficiencia*(cambios esperados en eficiencia del uso del agua en el futuro. **Ajustado por eficiencia:** Implica que se incorporan posibles **reducciones del consumo** debido a:
 - Implementación de tecnologías más eficientes (grifos, inodoros, duchas, electrodomésticos).
 - Cambios en los hábitos de consumo (mayor conciencia del ahorro de agua).
 - Políticas de gestión de la demanda (tarifas, restricciones, educación).
- **Modelos para la demanda agrícola**
 - Modelo de balance hídrico en el suelo. (**tarea inventario de los recursos hídricos**).
 - Proyección según cambios en el uso del suelo: Se emplean modelos SIG para estimar la expansión o reducción de áreas agrícolas.
 - Modelos de simulación agro-hidrológica que permiten evaluar el cambio climático en la demanda de riego. AquaCrop (FAO).
- **Modelos para la demanda industrial**
 - Proyección por coeficientes sectoriales.
 - Modelos de eficiencia hídrica en la industria: Incorporan tendencias de reciclaje y reducción del consumo de agua en procesos industriales.

- Modelos de demanda energética: Relacionan la demanda de agua con la expansión de la industria.

Paso 4: Construcción de escenarios de demanda futura

La última etapa consiste en la elaboración de escenarios para evaluar distintas trayectorias de crecimiento y su impacto en la gestión del agua. La construcción de escenarios no solo permite explorar trayectorias técnicas posibles, sino que también sirve como herramienta de apoyo en procesos participativos, facilitando la comprensión de riesgos y alternativas por parte de actores institucionales y sociales. Se pueden considerar, por ejemplo, los siguientes escenarios de referencia:

- **Escenario tendencial**
 - Se proyecta la demanda futura manteniendo las tasas históricas de crecimiento.
 - No considera mejoras en eficiencia ni cambios estructurales.
- **Escenario de alta demanda**
 - Considera un crecimiento acelerado de la población y la industria.
 - Supone un bajo nivel de eficiencia hídrica y altas pérdidas en distribución.
- **Escenario de eficiencia y conservación**
 - Introduce mejoras en eficiencia en los sectores urbano, agrícola e industrial.
 - Incorpora políticas de ahorro y reducción de desperdicios de agua.
- **Escenario de impacto climático**
 - Evalúa los efectos de la variabilidad climática en la demanda de agua.
 - Considera cambios en la precipitación y temperatura que afectan la disponibilidad del recurso.



Herramientas:

Estos escenarios se pueden modelar con distintas herramientas ([■ Guía metodológica 1](#)) permitiendo visualizar los posibles impactos en la oferta y demanda de agua en la cuenca. Por ello, conviene limitar el número de escenarios y los horizontes temporales de cálculo para racionalizar el esfuerzo evitando que el trabajo cobre una excesiva dimensión.

Proyección de la oferta hidráulica

Además de proyectar la evolución de la demanda, es fundamental analizar cómo podría cambiar la oferta hídrica disponible como consecuencia del cambio climático, el cambio de uso del suelo, la presión sobre las fuentes y las posibles modificaciones del régimen hidrológico, en particular las posibles nuevas infraestructuras de regulación (embalses) y aprovechamiento (conducciones) u otras que afecten a la oferta de recursos y estén previstas en el programa de medidas a ese horizonte temporal. Esta metodología se encuentra parcialmente desarrollada en la tarea ([Inventario recursos hídricos](#)).

Este análisis debe integrarse con las proyecciones de demanda para evaluar los posibles desequilibrios futuros y orientar decisiones sobre regulación, protección de fuentes o reasignación del recurso.

Tarea 7: Validación, documentación y comunicación de resultados

Una vez finalizado el análisis de usos y demandas de agua, es fundamental realizar un proceso riguroso de **validación**, asegurar una adecuada **documentación del procedimiento seguido**, y diseñar estrategias eficaces de **comunicación** de los resultados a los actores clave y al público general.

Paso 1: Validación técnica y participativa

La validación tiene por objetivo verificar la solidez técnica del análisis y fortalecer la legitimidad social del mismo mediante la inclusión de actores relevantes en la evaluación de resultados.

- Validación interna (técnica).** Consiste en una revisión sistemática del análisis realizado, incluyendo:
 - Coherencia entre los distintos sectores (urbano, agrícola, industrial, etc.).
 - Verificación de cálculos de demandas y dotaciones.
 - Consistencia entre escenarios de proyección y balances hídricos.
- Validación externa (participativa).** Implica someter los resultados preliminares a revisión por parte de los actores del territorio, como mecanismo de transparencia y mejora técnica. Se recomienda:
 - Presentación de resultados a:

Capítulo 3.4.

Uso del agua, balances y asignación de recursos

- Organismos de gestión del agua.
- Representantes sectoriales (agricultura, abastecimiento, industria, etc.).
- Comunidades locales y organizaciones de base (usuarios).
- Métodos sugeridos:
 - Talleres participativos en cuencas o regiones.
 - Entrevistas semiestructuradas con expertos locales y gestores.
 - Mesas de diálogo multisectoriales.

Paso 2: Documentación del análisis

La documentación clara y sistemática es esencial para la trazabilidad, actualización futura y transferencia de conocimientos. Se recomienda:

a) Fichas por unidad de demanda, que incluyan:

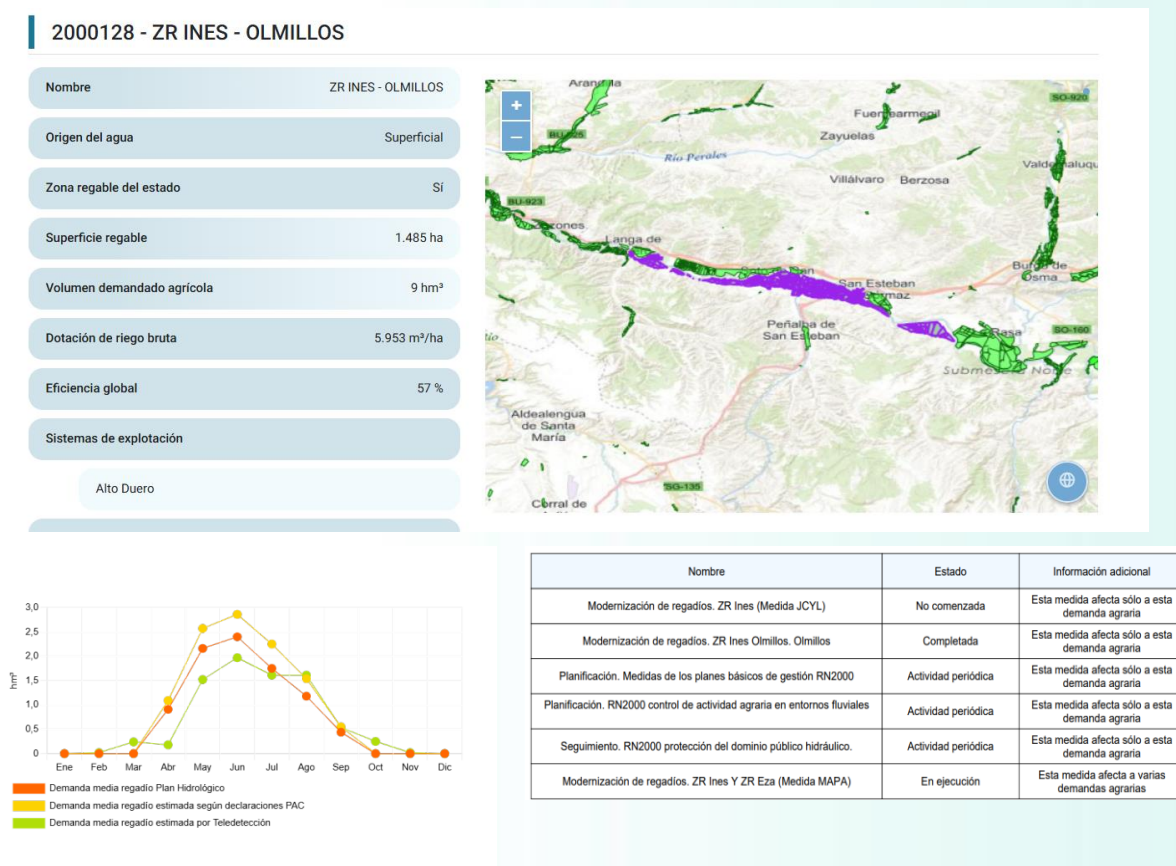
- Tipo de uso (urbano, agrícola, industrial, ambiental, etc.).
- Variables consideradas: población o superficie asociada.
- Supuestos técnicos aplicados: dotaciones, eficiencias, coeficientes de retorno, etc.
- Fuentes de información utilizadas (censos, catastros, encuestas, SIG, etc.).
- Resultados cuantificados: demanda total en m³/mes y m³/año por uso.

b) Registro de limitaciones y mejoras

- Describir limitaciones encontradas en disponibilidad de datos, supuestos técnicos, o validación.
- Identificar incertidumbres en los resultados y su posible impacto.
- Proponer acciones para mejorar la calidad del análisis en futuras actualizaciones.

Esta es una información, que, por su importancia como soporte para los trabajos del plan hidrológico, merece destacarse entre los contenidos que se despliegan en el **Sistema de Información**. Existen ejemplos que pueden tomarse como referencia para presentar este tipo de datos, tanto en sus detalles alfanuméricos como espaciales. Por ejemplo:

<https://mirame.chduero.es/chduero/public/demands/agrarianDemands>



Paso 3: Comunicación de resultados

La comunicación debe adaptarse a distintos públicos, utilizando formatos accesibles, visuales e integradores.

a) Productos recomendados:

- **Mapas temáticos:** distribución espacial de unidades de demanda, zonas con mayor presión hídrica, evolución por sector.
- **Gráficos y visualizaciones:**
 - Gráficos de barras por sector y escenario.
 - Series temporales de evolución de la demanda.
- **Infografías y resúmenes ejecutivos:**
 - Para tomadores de decisiones y ciudadanía.
 - Con lenguaje claro y mensajes clave.

b) Canales de difusión:

- Inclusión en documentos oficiales del plan hidrológico.
- Publicación en portales web institucionales.
- Informes de avance para consultas públicas o procesos de gobernanza.

GUÍAS

Guía 1: Manual para el cálculo de la eficiencia de riego. Dirección General de Infraestructura Agraria y Riego – DGIAR, Perú.

<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/7245218/6197883-manual-n-6-calculo-de-eficiencia-para-sistemas-de-riego.pdf>

Guía 2: Guía metodológica modelación hidrológica y de recursos hídricos con el modelo WEAP https://www.weap21.org/downloads/guia_modelacion_weap_espanol.pdf

Guía 3: Cálculo de ET0: MÉTODO DE PENMAN-MONTEITH. https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/gestion-sostenible-regadios/C%C3%A1culo%20ET0dic12_tcm30-82979.pdf

Casos prácticos

BRASIL: Plan Integrado de Recursos Hídricos de la Cuenca Hidrográfica del río Paraíba do Sul

[3.4.2] Inventario de presiones sobre el medio hídrico

Definición: El inventario de presiones e impactos constituye el instrumento diagnóstico mediante el cual un Plan Hidrológico, bajo enfoque de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH), localiza y caracteriza todas las actividades antrópicas capaces de modificar el régimen, la calidad o la morfodinámica de los cuerpos de agua. La información resultante permite cuantificar el riesgo que estas presiones representan para la calidad de las aguas y la integridad ecológica de los ecosistemas acuáticos y los servicios que prestan.

Objetivo: Identificar y caracterizar todas las actividades humanas que afectan los recursos hídricos en la cuenca, cuantificando su impacto para fundamentar las medidas de gestión. En particular, este inventario busca.

- Identificar y ubicar actividades humanas que afectan negativamente los recursos hídricos.
- Estimar su magnitud, duración e impacto sobre los cuerpos de agua.
- Generar insumos clave para la definición de medidas correctoras, preventivas o de mitigación.
- Apoyar la toma de decisiones en la gestión sostenible del agua y el cumplimiento de objetivos ambientales y sociales.

Utilidad:

Capítulo 3.4.

Uso del agua, balances y asignación de recursos

- Sustenta el abastecimiento de agua segura al identificar focos críticos de contaminación o sobreexplotación.
- Garantiza la salud de los ecosistemas acuáticos, al proporcionar evidencia técnica sobre las presiones significativas que comprometen sus funciones.
- Refuerza la sostenibilidad de los usos productivos (agrícolas, industriales, urbanos) mediante la priorización de intervenciones que reduzcan riesgos de escasez o deterioro.
- Permite demostrar el cumplimiento de la normativa ambiental nacional y de los compromisos internacionales (ODS 6).



Recomendación:

La elaboración del inventario es más eficiente en países que disponen de registros administrativos consolidados (concesiones, licencias de vertido, catastros de infraestructuras). En contextos con información dispersa o inexistente, se requiere combinar **teledetección, prospecciones de campo y metodologías participativas**, lo que incrementa el esfuerzo técnico y presupuestario.

Desafíos regionales.

- **Institucionalidad frágil o fragmentada**, con competencias solapadas en la gestión del agua.
- **Déficit de información** sobre autorizaciones, caudales efectivamente extraídos y cargas vertidas.
- **Alta prevalencia de actividades informales o no reguladas**, especialmente en zonas rurales o periurbanas.
- **Control e inspección limitados** sobre infraestructuras que alteran cauces o zonas ribereñas.

Estos retos exigen un enfoque **adaptativo y gradual**, que combine fuentes de información heterogéneas, valide resultados con actores locales y priorice las presiones de mayor impacto para optimizar recursos y tiempos.

Contenidos que deben abordarse en un Plan Hidrológico

El inventario de presiones e impactos constituye un pilar esencial en el diagnóstico del plan hidrológico, ya que permite identificar y comprender las principales actividades humanas que afectan de forma directa o indirecta el estado de los recursos hídricos. Estas presiones pueden comprometer la calidad, cantidad o dinámica natural del agua, y, por tanto, condicionar el cumplimiento de los objetivos establecidos en el plan. A continuación, se presentan los contenidos fundamentales que deben abordarse en el marco del plan hidrológico:

- **Justificación e introducción conceptual.**
- **Síntesis de presiones identificadas.**
- **Evaluación de significancia.**
- **Evaluación de impactos.**
- **Resultados del inventario y síntesis operativa.**



Importante:

Es fundamental establecer una distinción clara entre los contenidos que deben integrarse en el cuerpo del plan hidrológico y aquellos que corresponden a la metodología empleada para elaborar el inventario de presiones. Este apartado no describe cómo realizar el inventario, ni aborda las herramientas, fuentes o procedimientos utilizados para su elaboración. Su finalidad es delimitar y desarrollar el contenido que debe reflejar el plan hidrológico respecto a las presiones existentes, en tanto que éstas constituyen un insumo técnico clave para:

- Comprender la calidad actual de las aguas.
- Fundamentar el diagnóstico de alteraciones hidrológicas, químicas y ecológicas.
- Identificar zonas prioritarias de intervención.
- Justificar la inclusión de medidas en el Programa de Actuaciones.

Por tanto, lo que se detalla a continuación es la **información que debe figurar en el Plan como resultado del análisis de presiones**, con el nivel de desarrollo necesario para respaldar las decisiones de planificación. La descripción completa del proceso metodológico (identificación, clasificación, matrices, validación) deberá documentarse en los **anexos técnicos correspondientes** o en informes de soporte.

El plan, como instrumento de planificación y gestión, **debe incluir los resultados del inventario de presiones e impactos** de forma estructurada y técnicamente fundamentada, de manera que:

- Se expongan las principales presiones identificadas sobre los cuerpos de agua, incluyendo su localización, naturaleza, intensidad y frecuencia.
- Se establezca el vínculo causal entre dichas presiones y la calidad de las aguas, en base a evidencias o diagnósticos integrados (impactos).
- Se delimiten zonas prioritarias para la intervención, ya sea por acumulación de presiones, alta vulnerabilidad o incumplimiento de objetivos.
- Se justifique técnicamente la inclusión de medidas específicas en el Programa de actuaciones, mostrando cómo estas medidas responden a las presiones detectadas.

El diseño del inventario debe estar sustentado en un marco metodológico riguroso. Es necesario incorporar:

- El uso del modelo DPSIR (*Driving forces – Pressures – State – Impact – Response*) como referencia conceptual para relacionar actividades humanas con impactos ecológicos y respuestas de gestión.
- Una secuencia metodológica clara que integre revisión documental, análisis espacial, levantamiento de información de campo, y validación participativa.
- Criterios para priorizar presiones relevantes cuando no sea viable inventariarlas todas (por ejemplo, magnitud de impacto, afectación a zonas protegidas o cuerpos de agua con mala calidad).

Justificación e introducción conceptual

En el apartado correspondiente del plan, es necesario comenzar con una explicación clara del concepto de “presión” hidrológica, contextualizado en la planificación hídrica. Este contenido debe abordar:

- La definición técnica-operativa de una presión, entendida como cualquier actividad o proceso de origen antrópico que tenga el potencial de modificar el estado natural del recurso hídrico, afectando su calidad, cantidad o régimen.

- La relevancia del inventario como herramienta base para el diagnóstico ambiental, la priorización de zonas críticas, y la toma de decisiones informadas en el diseño del programa de actuaciones.

Síntesis de presiones identificadas

Este subapartado resume, de manera sistemática y comprensible, los resultados esenciales del inventario de presiones que afectan a las de aguas. Su función es evidenciar **qué presiones existen, dónde se concentran y con qué severidad inciden**, de modo que se disponga de la información necesaria para entender las decisiones posteriores (prioridades, objetivos y actuaciones).

✓ Contenidos clave:

Tipología y magnitud

A continuación, se describen los tipos más relevantes que deben ser considerados en la planificación hidrológica:

- **Presiones por vertidos de fuente puntual:** descarga directa de aguas residuales (domésticas, industriales, mineras, agroindustriales), con localización georreferenciada, volumen, carga contaminante y frecuencia.
- **Presiones por contaminación difusa:** aportes no puntuales de contaminantes originados por escorrentía agrícola (pesticidas, fertilizantes), ganadería extensiva, escorrentía urbana no canalizada, etc.
- **Extracciones de agua:** captaciones superficiales y subterráneas (abastecimiento, riego, uso industrial o energético), volumen extraído, régimen temporal y relación con el estado del cuerpo de agua afectado.
- **Alteraciones hidromorfológicas:** infraestructuras que modifican la morfología y dinámica del sistema hídrico (presas, canalizaciones, desvíos, obras en cauce, ocupación de zonas de ribera).
- **Intervenciones en zonas ribereñas:** rellenos, urbanización, pérdida de vegetación de ribera, afectación de zonas de recarga o filtración natural.
- **Presiones emergentes o difíciles de cuantificar,** como contaminantes emergentes, microplásticos, lixiviados, actividades turísticas descontroladas.

La caracterización de cada presión debe incluir parámetros cuantificables siempre que sea posible. Este apartado debe contemplar:

- Caudal o volumen de agua extraído o vertido.
- Concentración estimada de contaminantes o carga total vertida.
- Superficie afectada por alteración (ej. hectáreas de agricultura intensiva, extensión canalizada de un río).
- Intensidad y frecuencia: continua, estacional, puntual o esporádica.
- Estado legal: autorizada, en trámite, ilegal o informal.
- Identificación del cuerpo de agua que directamente recibe la presión.

Para obtener los datos sobre las presiones, es necesario realizar las siguientes actividades:

- Revisión de registros administrativos: permisos de vertido, concesiones de uso, informes técnicos previos.
- Análisis SIG y teledetección: identificación de cambios de uso del suelo, trazado de infraestructuras, evaluación de áreas intervenidas.
- Campañas de campo: para identificación directa de presiones no registradas, especialmente en contextos rurales o informales.
- Entrevistas semiestructuradas y talleres participativos: valiosos en ausencia de información documental, para validar presiones existentes y sus efectos percibidos.

53. Categoría	54. Subtipos (ejemplos)	55. Parámetros clave*
56. Vertidos puntuales	57. Domésticos, industriales, mineros, agroindustriales...	58. Caudal vertido, carga (DQO, nutrientes, metales), frecuencia

Capítulo 3.4.

Uso del agua, balances y asignación de recursos

59. Contaminación difusa	60. Escorrentía agrícola, ganadera, urbana...	61. Superficie contribuyente, dosis N-P aplicada, estimación de carga
62. Extracciones de agua	63. Abastecimiento, riego, industria, energía, extracciones no reguladas...	64. Volumen anual, porcentaje del Q95/Q80, régimen temporal
65. Alteraciones hidromorfológicas	66. Presas, azudes, canalizaciones, desvíos, ocupación de ribera	67. Longitud/cauce afectado, altura presa, área inundada
68. Presiones por otras actividades	69. Microplásticos, efluentes hospitalarios, turismo intensivo	70. Indicadores de concentración o presión de uso



Recomendación:

Cuando no existan datos directos, se documentan estimaciones cualitativas (alto/medio/bajo) apoyadas en juicio experto o métricas participativas.

Distribución espacial

Las presiones no se reparten homogéneamente; el inventario debe indicar en qué tramos de río o subcuencas se concentra la mayor carga de presión. Se recomienda incluir mapas temáticos que muestren, por ejemplo, densidad de tomas de agua, ubicaciones de vertidos, zonas con mayor cambio de uso de suelo, etc. Estos mapas permiten visualizar:

- La distribución geográfica de las actividades humanas que generan presiones.
- Los cuerpos de agua afectados.
- Las coincidencias con zonas protegidas, reservas hídricas o áreas de especial sensibilidad ecológica.

Este análisis facilita la identificación de zonas críticas y la definición de ámbitos prioritarios de intervención.

Localización espacial y vinculación con cuerpos de agua

Todo inventario debe permitir la trazabilidad espacial de las presiones. En este punto se debe:

- Georreferenciar el punto de origen de cada presión y el cuerpo de agua receptor (incluyendo zonas de influencia difusa).
- Indicar los tramos fluviales, cuerpos de agua o acuíferos que reciben la presión.
- Incorporar mapas temáticos que muestren la distribución de presiones, facilitando la detección de áreas con acumulación.

Impactos

Al igual que ocurre con el inventario de presiones, el plan hidrológico debe incluir un análisis de impactos reconocidos, es decir detectado en la red de monitoreo, sobre los cuerpos de agua. La **caracterización de impactos** consiste en identificar, describir y evaluar los efectos que las presiones generan sobre la calidad del recurso hídrico y sus ecosistemas asociados. Cada presión se analiza en términos de su **efecto sobre el cuerpo de agua**. Esto incluye:

Tipo de impacto

- **Químico:** aumento de nutrientes, metales pesados, contaminantes orgánicos.
- **Biológico:** pérdida de biodiversidad, aparición de especies invasoras.
- **Hidromorfológico:** alteración del régimen de caudales, fragmentación del hábitat.
- **Físico:** aumento de la temperatura, turbidez, sedimentación.

Evaluación de significancia de las presiones

El Plan Hidrológico debe determinar **qué presiones son estratégicamente prioritarias**, es decir, las que concentran mayor riesgo de impedir el logro de los objetivos del Plan, de uso y de salud pública. Para ello se requiere una **evaluación sistemática de significancia**, basada en criterios técnicos verificables y alineada con la normativa nacional e internacional.

✓ Contenidos clave:

Este contenido debe permitir discriminar entre presiones más o menos relevantes desde el punto de vista de la planificación en función de los siguientes criterios:

- **Magnitud/intensidad:** volumen extraído o vertido, carga contaminante, superficie intervenida.
- **Frecuencia y duración:** actividad permanente, estacional o puntual.
- **Estado legal:** presiones autorizadas, informales o ilegales.

Se debe, por tanto:

- Establecer un umbral de significancia basado en la normativa nacional, valores guía internacionales (ej. OMS, FAO) o evidencia científica. En este caso hay que tener en cuenta que esta solución de los umbrales de significancia puede resultar inapropiada dada la variada susceptibilidad de los cuerpos de agua. Por ejemplo, un determinado vertido de foco puntual puede ser muy significativo en un río que cuente con escaso caudal, pero el mismo vertido puede resultar inapreciable en un río muy caudaloso.
- Proponer una matriz de evaluación **de impactos potenciales** sobre la calidad ecológica, químico o cuantitativo de los cuerpos de agua. La identificación de impactos es un aspecto clave de este análisis. En función de registros en las redes de medida se verificarán los impactos de determinadas presiones, así como la insignificancia de otras, y se tratará de realizar un análisis de riesgo que estime el potencial efecto de las presiones inventariadas sobre aquellos cuerpos de agua en los que, por falta de disponibilidad de datos, no se disponga de registros de impacto.
- Identificar presiones que comprometan el cumplimiento de los objetivos ambientales o de uso prioritario (abastecimiento, zonas protegidas, etc.).

Mediante los criterios anteriores, el Plan debe **listar explícitamente** las presiones que:

- Impiden o ponen en riesgo la calidad de los cuerpos de agua.
- Comprometen usos prioritarios (abastecimiento, riego estratégico, zonas de recreo o turismo).
- Afectan a **zonas protegidas**.
- Estos resultados se vincularán directamente con:
 - La **priorización de medidas** en el Programa de Actuaciones.
 - El **enfoque territorial** de las inversiones (subcuencas o tramos críticos).
 - El refuerzo de **vigilancia y control** en actividades ilegales o informales.

✓ Contenidos clave:

Este apartado debe consolidar la información recogida de manera operativa para la planificación. Se debe presentar:

- Tablas resumen por cuerpo de agua, indicando: presión, intensidad, legalidad, frecuencia.
- Mapas sintéticos de presión acumulada, permitiendo visualizar áreas críticas.
- Diagnóstico de información insuficiente y recomendaciones para reforzar la vigilancia, seguimiento o control; en particular sobre aquellos cuerpos de agua que reciben presiones importantes y carecen de identificación de impactos.
- Identificación de presiones susceptibles de intervención inmediata en el programa de medidas.

Resultados del inventario

Los resultados del inventario tienen una función directa en la definición del Programa de actuaciones, aportando:

- Argumentación técnica para la selección y priorización de medidas de mitigación o corrección.
- Identificación de necesidades de regulación, control o regularización de actividades.
- Base para el diseño de instrumentos de gobernanza y participación (por ejemplo, en zonas de uso intensivo o conflicto).
- Detección de áreas donde se requiere refuerzo del monitoreo o mejora del conocimiento.

[3.4.3] Definición de caudales ecológicos

Definición: El **caudal ecológico** es la cantidad de agua que necesitamos dejar en los ríos, lagos y humedales para que los ecosistemas acuáticos sigan funcionando de manera saludable. Este flujo de agua es vital para la conservación del hábitat, de modo que las especies acuáticas, que viven en estos ecosistemas, puedan sobrevivir y reproducirse, y también para que el río siga brindando servicios ambientales importantes, como purificación del agua y control de inundaciones.

Se trata de una medida de mitigación de los efectos que la actividad humana puede producir sobre los regímenes hidrológicos; en consecuencia, deberá quedar como tal registrada en el programa de medidas que acompañe al plan hidrológico.

Objetivo: Mantener de forma sostenible la funcionalidad y estructura de los ecosistemas acuáticos y de los ecosistemas terrestres asociados, contribuyendo a la conservación de la biodiversidad y la sostenibilidad de los recursos hídricos y preservando la calidad del agua.

Para alcanzar este objetivo general el régimen de caudales ecológicos deberá cumplir los requisitos siguientes:

- Proporcionar condiciones de hábitat adecuadas para satisfacer las necesidades de las diferentes comunidades biológicas propias de los ecosistemas acuáticos y de los ecosistemas terrestres asociados, mediante el mantenimiento de los procesos ecológicos y geomorfológicos necesarios para completar sus ciclos biológicos.
- Ofrecer un patrón temporal de caudales que permita la existencia, como máximo, de cambios leves en la estructura y composición de los ecosistemas acuáticos y hábitat asociados y permita mantener la integridad biológica del ecosistema.

Utilidad: la definición e implementación de caudales ecológicos en un plan hidrológico con visión de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) permite garantizar un flujo de agua suficiente para sostener los servicios ecosistémicos que los cuerpos de agua proporcionan. En una cuenca en la que las alteraciones de régimen suponen una presión significativa, **los caudales ecológicos facilitan:**

- Asegurar la preservación de los ecosistemas acuáticos y su biodiversidad, garantizando que los cuerpos de agua mantengan las condiciones necesarias para sustentar la vida acuática (flora y fauna) y los servicios ambientales.
- Equilibrar las necesidades humanas con la protección del medio ambiente, asegurando que el agua no solo se utilice para consumo humano, agricultura e industria, sino también para preservar la salud de los ecosistemas.
- Fortalecer la resiliencia de los ecosistemas frente a los efectos del cambio climático, como sequías y alteraciones en los patrones de precipitación.
- Facilitar el cumplimiento de normativas nacionales e internacionales sobre conservación del agua y de la biodiversidad.



Importante:

Si el caudal ecológico no se establece, los ecosistemas acuáticos pueden sufrir alteraciones graves, tales como la pérdida de biodiversidad, la degradación de los hábitats acuáticos, o la disminución de la calidad del agua, lo que afectaría directamente a las actividades humanas que dependen de estos recursos.

Contenidos que deben incluirse en un Plan Hidrológico

El primer planteamiento que hay que hacerse a la hora de abordar la consideración de los caudales ecológicos en un plan hidrológico es cómo se van a considerar. Hay dos opciones en cuanto a su carácter:

- **Como un uso del agua:** Esto significa tratar al caudal ecológico como una necesidad prioritaria para mantener la salud del ecosistema. Es una forma de garantizar que siempre haya suficiente agua en el río para mantener de forma sostenible la funcionalidad y estructura de los ecosistemas, compitiendo con otros intereses socioeconómicos.
- **Como una restricción al uso:** El caudal ecológico también puede ser visto como una limitación a cuánto se puede extraer del río para otros usos (por ejemplo, para riego o consumo humano). Así, se establece un límite a las extracciones para asegurar que el ecosistema no se vea afectado negativamente.

Implicaciones, ventajas e inconvenientes de su consideración:

- Considerarlo como **restricción** obliga a satisfacerlo en primer lugar, conforme haya quedado establecido en la legislación o reglamentación que, en cada país, regule esta situación. No obstante, será posible considerar, en dicha reglamentación, ciertas salvedades. Por ejemplo, la aplicación de un régimen de caudales ecológicos menos exigente para afrontar situaciones coyunturales de sequía, donde el abastecimiento de los núcleos de población pueda tener un carácter prioritario
- Establecer los caudales como **demanda** ambiental implica, a parte de su inclusión como una demanda más que detrae un recurso en el balance, una negociación junto con el resto de las demandas de los volúmenes para los diferentes usos y la implicación de las distintas administraciones con competencias en el medioambiente para representarlo en el proceso de concertación.



Importante:

El marco normativo del país **debería aclarar cuál será el papel de los caudales ecológicos** en el país, o en la cuenca, pensando si su carácter será el de una restricción general bajo determinadas condiciones, y que como tal se impone a los usos socioeconómicos del agua, o como uso individualizado que puede competir con otros.

Esto exige que el régimen de caudales ecológicos esté claramente definido, ya que su implementación afecta diversas decisiones del plan hidrológico. No se trata solo de un parámetro ambiental, sino de un elemento estructural que condiciona múltiples ámbitos de planificación y gestión, tales como, los balances entre recursos y demandas

Para una implantación efectiva del régimen de caudales ecológicos el plan hidrológico debe contemplar aspectos como:

- 1) Marco normativo y regulatorio de los caudales ecológicos
- 2) Necesidad de estudios técnicos
- 3) Proceso de concertación

4) Proceso de implantación y seguimiento

Marco Normativo y regulación de los Caudales Ecológicos

El plan hidrológico deberá hacerse eco del marco normativo existente en relación con el carácter, la definición e implementación de los caudales ecológicos. Esto implica indicar explícitamente leyes, reglamentos o cualquier normativa de menor rango que pueda regular tanto la definición de los caudales ecológicos como su implementación, monitoreo y seguimiento.

Se recomienda, en este apartado, estructurar la normativa en orden de mayor a menor rango, especificando, al menos:

- Implicaciones que el cumplimiento de esta normativa tiene para la cuenca/región.
- Fase del proceso de definición de caudales ecológicos a la que afecta.
- Relación con otros capítulos/artículos de la normativa y condicionantes que suponen.



Recomendación:

- El análisis de la normativa existente permitirá identificar debilidades y necesidades de complementación o desarrollo de nueva normativa, a tener en cuenta en fases posteriores del plan.
- La complejidad en cuanto a la definición e implementación de los caudales ecológicos en una cuenca se sustenta en la complejidad de atender intereses, entendidos en muchas ocasiones como contrapuestos, con importantes implicaciones sociales, medioambientales y económicas. De ahí la importancia de tener un marco regulatorio bien definido.
- En caso de que el tema de caudales ecológicos no esté regulado sería interesante hacer una primera reflexión sobre la pertinencia de su regulación y el alcance de la misma, aunque no se incluya en el plan hidrológico que se está elaborando. En ese caso sí pudiera citarse en este apartado normativas de países en situaciones similares o el marco jurídico internacional sobre cómo se aborda la consideración de los caudales ecológicos en otros países.
- Adicionalmente las metodologías aplicadas en países en similar situación podrían ayudar a desarrollar una metodología propia adaptada a la situación del país que está elaborando el plan.

Estudios técnicos destinados a determinar los elementos del régimen de caudales ecológicos en las aguas

Identificación de zonas de estudio para los caudales ecológicos

*Desarrollo del contenido para contextos con datos suficientes en la **Tarea 1: Identificación de la zona de estudio***

*Desarrollo del contenido para contextos con datos insuficiente en **Tarea 1 Delimitación y selección de tramos prioritarios***

El plan hidrológico deberá incluir los criterios que se han establecido para la identificación de zonas en las que se ha considerado necesario definir caudales ecológicos y la identificación de dichas zonas.

Se tratará de seleccionar aquellas áreas clave que reflejen la diversidad de ecosistemas acuáticos en la cuenca, asegurando que los caudales ecológicos protejan la biodiversidad. Una correcta definición

de estos territorios permitirá elegir la metodología más adecuada para el cálculo de los caudales ecológicos y focalizar los estudios en las áreas más críticas.



Recomendación:

Aun habiendo identificado estas zonas, dependiendo de los recursos técnicos, financieros y de otra índole disponibles, podría ser interesante empezar por una selección de tramos que se consideren prioritarios, al menos en el primer plan hidrológico que incorpore caudales ecológicos. Este número de tramos y las metodologías aplicadas se irán completando y mejorando en ciclos posteriores de planificación.

Métodos para la estimación de caudales ecológicos

*Desarrollo del contenido para contextos con datos suficientes en la **Tarea 2: Selección de métodos y determinación de componentes***

*Desarrollo del contenido para contextos con datos insuficiente en **Tarea 3: Métodos hidrológicos simplificados recomendados y su procedimiento técnico** y **Tarea 4: Análisis básico de especies indicadoras***

Es necesario que en el plan hidrológico se seleccionen **y justifiquen** los métodos que se han utilizado para el cálculo de los caudales ecológicos. Esta justificación se basará en criterios como:

- la importancia ambiental del área,
- la disponibilidad de información y
- los objetivos específicos a los que responde la definición de los caudales ecológicos.

En función de esos criterios se elegirá el método o métodos más adecuados, entre:

- **Métodos Hidrológicos (Basados en análisis estadísticos de caudales)**
 - Curva de duración de caudales: Identificación de percentiles de caudales naturales.
 - Índices hidrológicos: Q95, Q90, Q50, entre otros.
- **Métodos Hidráulicos (Evaluación de la relación entre caudal y hábitat disponible)**
 - Modelos de simulación hidráulica (**herramientas**).
 - Análisis de curvas HPU-Caudal para especies indicadoras.
- **Métodos Ecológicos (Determinación de necesidades ecológicas específicas)**
 - Requerimientos de hábitat para especies sensibles.
 - Análisis de caudales necesarios para procesos ecológicos clave.
- **Métodos Holísticos.** El enfoque holístico no es un método de cálculo en sí, es más un procedimiento o protocolo con el que deducir el caudal ecológico, buscando una solución consensuada a partir de un análisis independiente de la magnitud y distribución del caudal que necesitan los diferentes componentes del ecosistema fluvial objetivo, ya sean aspectos abióticos (geomorfología, calidad del agua, etc.), ecológicos (comunidades naturales), socioeconómicos o todos en conjunto.



Recomendación:

No puede descartarse la combinación de métodos, práctica que puede ser una solución racional para extender los métodos más sofisticados y costosos, aplicados en unos lugares especialmente escogidos, al resto de la zona en que deban definirse caudales ecológicos. Así, la combinación de métodos ecológicos (o hidrobiológicos), exigentes en información, puede completarse con métodos hidrológicos mucho menos costosos en datos de partida, siempre y cuando se verifique el ajuste de los resultados ofrecidos con los segundos con respecto a los resultados de los primeros.

Componentes del régimen de caudales ecológicos

Es necesario, a partir de la aplicación de los métodos empleados, definir los componentes específicos del régimen de caudales ecológicos para garantizar la conservación de los ecosistemas como son:

- **Caudal mínimo:** Es el caudal mínimo necesario para mantener la vida acuática. Este valor es crucial, ya que asegura que el río no quede "seco" y que los ecosistemas acuáticos sigan siendo funcionales. Puede incorporar algunos elementos auxiliares, como la definición de regímenes de caudales mínimos menos exigentes para su aplicación en situaciones de sequía.
- **Caudal máximo:** Caudales que no deben ser superados en la gestión ordinaria de las infraestructuras, con el fin de limitar los caudales circulantes y proteger así a las especies autóctonas más vulnerables a estos caudales, especialmente en tramos fuertemente regulados.
- **Distribución temporal:** Esta información puede servir de orientación o referencia de cara al despliegue de este contenido en el plan hidrológico. Los anteriores, caudales mínimos y máximos, con el objetivo de establecer una variabilidad temporal del régimen de caudales que sea compatible con los requerimientos de los diferentes estadios vitales de las principales especies de fauna y flora autóctonas presentes en la masa de agua.
- **Tasa de cambio máxima:** Se determina con objeto de evitar los efectos negativos de una variación brusca de los caudales, como pueden ser el arrastre de organismos acuáticos durante la curva de ascenso y su aislamiento en la fase de descenso de los caudales. Asimismo, debe contribuir a mantener unas condiciones favorables a la regeneración de especies vegetales acuáticas y ribereñas.
- **Caudales de crecida,** Tienen por objeto controlar la presencia y abundancia de las diferentes especies, mantener las condiciones fisicoquímicas del agua y del sedimento, mejorar las condiciones y disponibilidad del hábitat a través de la dinámica geomorfológica y favorecer los procesos hidrológicos que permiten la movilidad de los sedimentos, el mantenimiento de los canales de desagüe, y que controlan la conexión de las aguas de transición con el río, el mar y los acuíferos asociados.



Recomendación:

La implantación del régimen de caudales mínimos se debería extender a todos los cuerpos de agua de la zona de estudio. En cambio, el resto de las componentes del régimen de caudales ecológicos (caudales máximos, caudales de crecida y tasas de cambio) se establecerán asociadas a la infraestructura o elemento causante alteración del régimen hidrológico.

Análisis de consistencia técnica

Desarrollo del contenido en *Tarea 3: Análisis de consistencia técnica*

El plan hidrológico deberá incluir una revisión técnica ex ante del **régimen preliminar de caudales ecológicos definido en los estudios técnicos**, antes de su consolidación como propuesta operativa. Esta revisión tiene como finalidad **verificar su coherencia ecológica, hidrológica y operativa**, y ajustarlo en caso necesario antes de su adopción definitiva.

La validación debe permitir responder, de forma anticipada, a las siguientes preguntas clave:

1. **¿El caudal propuesto conduciría a condiciones ecológicas mínimas adecuadas?**
(Análisis funcional mediante simulaciones o comparaciones hidrológicas)
2. **¿El régimen definido es técnicamente consistente con la hidrología del sistema y los criterios utilizados en su cálculo?**
(Verificación de coherencia hidrológica y metodológica)
3. **¿Es viable su operación dentro de los sistemas actuales de regulación y gestión del agua?** (Evaluación de compatibilidad operativa con los usos existentes)

Para ello, es necesario considerar al menos los siguientes elementos:

- **Simulación hidráulico-ecológica (cuando se disponga de modelos):** verificación de que los caudales definidos generarían condiciones mínimas adecuadas de hábitat en escenarios críticos.
- **Análisis de coherencia hidrológica:** comparación con el régimen natural del tramo (percentiles como Q95 o Q50), curvas de preferencia aplicadas, u otras referencias técnicas.
- **Revisión comparada:** evaluación cualitativa de la similitud con tramos donde se aplicaron metodologías más avanzadas.
- **Evaluación de viabilidad operativa:** simulación de la incorporación del régimen propuesto en los balances hídricos y análisis de su impacto sobre la garantía de los usos actuales.
- **Justificación de ajustes (si procede):** si los resultados indican inconsistencias técnicas o inviabilidad operativa, se deberá ajustar la propuesta antes de su adopción definitiva.

En esta fase no se exige monitoreo in situ, ya que el régimen aún no ha sido implantado. No obstante, debe establecerse una hoja de ruta para su posterior seguimiento y eventual recalibración con base en datos reales, una vez que el régimen final haya sido adoptado e implantado.

Propuesta de régimen de caudales ecológicos

Desarrollo del contenido para contextos con datos suficientes en [Tarea 4: Propuesta de régimen de caudales ecológicos](#)

Desarrollo del contenido para contextos con datos insuficiente en [Tarea 5: Cálculo preliminar del caudal ecológico \(método simplificado hidrológico adaptado\)](#)

Una vez completado el análisis técnico y la revisión ex ante del régimen propuesto, el plan hidrológico debe presentar una **propuesta operativa de caudales ecológicos**, con base en los resultados obtenidos mediante métodos hidrológicos, modelación de hábitat o enfoques holísticos. Estos estudios no suelen ofrecer un valor único, sino **rangos recomendables** para cada componente del régimen, lo que exige establecer **criterios de selección técnica y operativa**.

La propuesta final debe derivarse de un proceso **iterativo y multicriterio**, en el que se valoren de forma conjunta criterios ecológicos, hidrológicos, técnicos y de gestión. Entre los aspectos a considerar, se incluyen:

- **Representatividad ecológica.**
 - Priorizar los valores que **mantengan hábitats críticos** para las especies clave (de interés ecológico, cultural o legal).
 - Asegurar la **conectividad longitudinal y lateral** para procesos biológicos como migraciones, desove o dispersión de juveniles.
 - Cubrir los **requerimientos hídricos mínimos de las especies más sensibles**, que suelen actuar como especies paraguas.
- **Variabilidad hidrológica**
 - Respetar la estructura temporal de los componentes.
 - Validar que los valores seleccionados repliquen patrones de temporadas secas y húmedas, permitiendo procesos ecológicos estacionales.
- **Viabilidad hidráulica**
 - Confirmar mediante modelación hidráulica que los valores definidos garantizan hábitats sumergidos continuos y velocidades compatibles con las especies objetivo.
 - Verificar que los caudales propuestos mantengan la conectividad entre hábitats y permitan el acceso de las especies a las zonas que necesitan para completar su ciclo de vida.
- **Compatibilidad con usos y contexto socioeconómico**
 - El caudal ecológico supone, en la mayor parte de las situaciones donde resultan necesarios, una limitación al aprovechamiento socioeconómico de las aguas. A la hora de su definición, conviene cuantificar estos impactos para valorar con rigor la trascendencia de las decisiones que se proponga adoptar con el plan hidrológico.
- **Seguridad ecológica (principio precautorio)**
 - En caso de incertidumbre o falta de datos, seleccionar los valores que **maximicen la seguridad ecológica** y conserven los procesos ecológicos más importantes.
- **Coherencia con escalas espaciales y de planificación**

- Asegurarse de que los caudales propuestos son **coherentes a nivel de cuenca y subcuenca**; es decir, salvo que causas específicas así lo aconsejen, deberán ser crecientes hacia aguas abajo manteniendo la continuidad hidrológica de las redes hidrográficas.
- **Simplicidad operativa y monitoreo**
 - Preferir caudales que sean **claros, medibles y verificables** en campo.
 - Definir caudales que permitan **seguimiento y evaluación sencilla**, usando estaciones hidrométricas existentes y evitando valores complejos de difícil implementación.

Proceso de concertación de caudales ecológicos

Desarrollo del contenido para contextos con datos suficientes en la [Tarea 5: Proceso de concertación](#)

Desarrollo del contenido para contextos con datos insuficiente en [Tarea 6: Talleres participativos locales](#)

El plan hidrológico debe definir con claridad el **proceso de concertación** asociado al régimen de caudales ecológicos, su finalidad y los resultados esperados ([Guía metodológica 9](#)).

La concertación es un **procedimiento de diálogo estructurado** entre la autoridad responsable del plan hidrológico y los sectores potencialmente afectados por la implantación del régimen ecológico. Este proceso busca **minimizar los impactos socioeconómicos** derivados de las restricciones al uso del agua que puedan resultar de dicho régimen.

Debe entenderse que la **concertación no puede bloquear la responsabilidad de la Administración** en la definición y aplicación del régimen. La falta de acuerdo no debe impedir su adopción cuando sea necesario para cumplir los objetivos ambientales.

En general, durante la concertación **no se negocian los valores ecológicos** definidos técnicamente (componentes del régimen), sino las **modalidades de su implantación**: plazos, fases, mecanismos de ajuste, coordinación con usos existentes, entre otros.

Este proceso debe tomar en cuenta:

- El **marco jurídico vigente**, tanto en lo relativo a los caudales ecológicos como a los derechos de uso del agua.
- La **posibilidad de conflictos o demandas de compensación** por parte de usuarios que consideren afectada su actividad, lo cual puede condicionar seriamente la viabilidad de la implantación si no se gestiona adecuadamente.

Dado que los caudales ecológicos tienen **efectos directos sobre la disponibilidad del recurso y el estado ecológico de los cuerpos de agua**, es imprescindible vincular este proceso de concertación con un **proceso formal de participación pública** ([Participación pública](#)).

Proceso de implantación y seguimiento de caudales ecológicos

La implantación de caudales ecológicos es un proceso integral que combina la ciencia, la participación pública (concertación) y la gestión adaptativa de los ecosistemas acuáticos. Para que la implantación de los caudales ecológicos sea efectiva el Plan debe contemplar tareas de monitoreo, control y seguimiento, así como de ajustes y adaptación continua, cuando sea necesario.

Una vez que los caudales ecológicos hayan sido calculados y recogidos en el plan hidrológico en términos concretos, tras haber sustanciado el proceso de concertación, se debe afrontar su implantación efectiva, para llevarla a cabo habrá que tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Esta implantación requerirá de un acto administrativo o normativo, dependiendo del marco jurídico en que se asiente el proceso, que formalmente establezca la obligación de respetar los regímenes de caudales ecológicos. La obligación causará efectos a partir de un determinado momento, sin perjuicio de que se pueda diseñar un procedimiento de implantación progresivo y transitorio, escalonado en el tiempo, diferenciando zonas o planteando valores crecientes hasta alcanzar los finales deseados, que vayan entrando en vigor sucesivamente.

- Si fuera necesario habrá que habilitar un periodo temporal suficiente y acotado para permitir la necesaria adecuación de determinadas infraestructuras no preparadas para la liberación de los caudales ecológicos, al no estar prevista esta necesidad cuando se diseñaron.
- Tras la implantación, habrá que verificar la idoneidad de los regímenes de caudales ecológicos establecidos para, en el caso de que se verifique que no cumplen con la función para la que fueron fijados, puedan llevarse a cabo los ajustes oportunos. Este paso requerirá disponer de información consistente y robusta, puesto que la hipotética modificación de unos regímenes hidrológicos establecidos tras la discusión con las partes interesadas puede resultar especialmente problemático.
- Este mecanismo determina que tras la implantación se sustancie una fase de seguimiento, que deberá extenderse durante un periodo temporal de varios años, al menos coincidiendo con la longitud del ciclo de planificación. Fruto de todo ello, dado el caso, se procederá a ajustar los caudales ecológicos inicialmente establecidos, hecho que se materializará con la siguiente revisión del plan hidrológico.
- En los casos donde los caudales ambientales impuestos resulten incompatibles con usos preexistentes, puede producirse una reducción del volumen de agua disponible para otros fines. Cuando estas afecciones sean significativas, se recomienda abordar cada caso de manera individualizada, buscando soluciones viables y ampliamente aceptadas.

Monitoreo, cumplimiento y seguimiento de los caudales ecológicos

Desarrollo del contenido en Tarea 7: Monitoreo, cumplimiento y seguimiento

El plan hidrológico deberá incluir, al hablar de caudales ecológicos, el procedimiento de seguimiento previsto no basta con establecer valores de referencia, sino que es fundamental desarrollar una metodología robusta. Para ello, se deben considerar varios aspectos clave:

- a) Selección de indicadores.
- b) Diseño de una red de monitoreo.
- c) Validación de los caudales ecológicos.
- d) Herramientas para el seguimiento.
- e) Implementación de medidas correctoras.

Adicionalmente, el seguimiento debe especificar con claridad los elementos técnicos necesarios para su implementación efectiva. Entre ellos se destacan:

- **Sistema de monitoreo hidrológico y ecológico:** Describir cómo se llevará a cabo el monitoreo de los caudales ecológicos y los indicadores de la salud de los ecosistemas acuáticos (biodiversidad, calidad del agua, caudales, etc.).
- **Frecuencia de mediciones:** Establecer las frecuencias de medición de caudales, calidad de agua y variables ecológicas relevantes.
- **Responsables del seguimiento:** Identificar las entidades responsables del seguimiento, como autoridades ambientales, agencias de cuencas.

Ajustes y validación de los caudales ecológicos

Una vez definidos los regímenes de caudales ecológicos, es necesario establecer mecanismos que garanticen su efectividad y viabilidad a largo plazo. Estos regímenes no solo deben cumplir con los objetivos ambientales propuestos, sino también adaptarse a los cambios en el entorno y minimizar posibles conflictos con los usos preexistentes del agua.

En este sentido, se deben considerar dos elementos clave:

- **Evaluación periódica:** Es fundamental implementar un proceso continuo de evaluación para comprobar si los caudales ecológicos están logrando los objetivos definidos. Este seguimiento permitirá detectar desviaciones o ineficiencias y plantear, en caso necesario, ajustes fundamentados.

Mecanismos de ajuste adaptativo: Resulta esencial contar con herramientas que permitan modificar el régimen de caudales en función de los resultados obtenidos en el monitoreo, dentro de un enfoque de gestión adaptativa.



Importante:

No se debe ignorar que estos regímenes, una vez establecidos, por el procedimiento que sea, implican limitaciones al aprovechamiento socioeconómico del recurso. Esto suele generar resistencia entre los sectores afectados, especialmente cuando se proponen modificaciones en los valores previamente establecidos. Por ello, es crucial garantizar **seguridad jurídica y estabilidad** en los valores definidos, de modo que cualquier cambio necesario esté sólidamente justificado y basado en evidencia técnica.

Tareas según contexto

A continuación, se detallan las tareas a seguir para la implementación eficaz de caudales ecológicos. Entendiéndose que pueden darse diversas casuísticas y limitaciones en la región fundamentalmente debido a la ausencia de datos, se proponen una serie de tareas en función de la disponibilidad de recursos.

- Tareas a realizar en contextos con disponibilidad de datos suficiente.
- Tareas a realizar en contextos con disponibilidad de datos insuficiente.

Tareas a realizar en contextos con disponibilidad de datos media-alta

Para su aplicación en estos casos de información suficiente, o con posibilidad de obtenerla, se plantea un trabajo a desarrollar mediante la cumplimentación de 7 tareas sucesivas:

1. Identificación de zonas de estudio y definición de objetivos.
2. Selección de métodos y determinación de componentes.
3. Validación y calibración.
4. Elaboración de propuesta de regímenes de caudales ecológicos.
5. Monitoreo, cumplimiento y seguimiento.
6. Concertación de caudales ecológicos.
7. Implementación de caudales ecológicos.

Tarea 1: Identificación de zonas de estudio

En esta tarea se incluyen los siguientes pasos:

- a) Definición de objetivo y alcance
- b) Recopilación de información
- c) Selección de tramos de estudio



Descripción Metodológica:

Paso 1: Definición de objetivo y alcance

Antes de iniciar la selección de zonas de estudio, es fundamental determinar:

Objetivo Principal para el establecimiento de los caudales ecológicos pudiendo ser:

- **Conservación del Ecosistema:** Mantener el régimen natural para preservar la funcionalidad de los procesos ecológicos.
- **Restauración:** Recuperar condiciones naturales en tramos fuertemente alterados por infraestructuras, como presas o extracciones de agua.
- **Cumplimiento Normativo:** Asegurarse de satisfacer los requisitos legales y directrices ambientales.

- **Integración de Objetivos:** Considerar combinaciones de los anteriores para estrategias integrales de gestión.

Identificación de las Necesidades del Ecosistema Fluvial

- **Biodiversidad:** Evaluar la presencia y relevancia de especies autóctonas sensibles a variaciones en el caudal.
- **Calidad del Agua:** Confirmar que se mantengan parámetros críticos (oxígeno disuelto, temperatura, turbidez).
- **Integridad del Hábitat:** Asegurar que la morfología del río y la conectividad ecológica se preserven para garantizar refugios y áreas de reproducción.

Escala de Análisis

- **Escala de Aplicación:**
 - Cuenca completa: Para estrategias integrales y planificación a gran escala.
 - Subcuenca: Para identificar áreas prioritarias dentro de un marco mayor.
 - Tramo fluvial: Para análisis detallado en zonas críticas, especialmente aquellas con afectaciones por infraestructuras.

Paso 2: Recopilación de información

La solidez en la determinación de caudales ecológicos depende de la calidad de los datos disponibles. Se requiere por tanto la recopilación e integración de **información de diversas fuentes**:

Información Hidrológica

- **Datos históricos de caudales:** La organización meteorológica mundial(OMM), recomienda para el análisis y descripción de la hidrología en régimen natural usar series de 30 años. Existen otras recomendaciones como las de la UNESCO en la que se apunta que sería necesario recolectar series temporales preferiblemente diarias (idealmente de 20 años) o mensuales (idealmente de 25 años) para caracterizar la variabilidad del régimen. Estos datos sirven para aplicar análisis estadísticos básicos (por ejemplo, percentiles y caudal básico de mantenimiento o cualquier otro método hidrológico).



Recomendación:

En cuencas no monitoreadas, se pueden emplear métodos de transposición de cuencas o modelos hidrológicos simples, que deberán calibrarse mediante aforos puntuales o la relación precipitación–escorrentía. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000181061>

- **Balances entre demandas y recursos disponibles:** Analizar el balance hídrico permite comprender la disponibilidad de agua en la cuenca y cómo se distribuye entre diferentes usos. Esto es esencial para evaluar si se pueden garantizar los caudales ecológicos como prioridad de uso, conforme a su rol en la preservación del ecosistema fluvial. (**Balances entre demandas y recursos disponibles y asignación de recursos**).
- **infraestructuras hidráulicas:** Registrar la ubicación y el impacto de presas, derivaciones y trasvases en el régimen de caudales.

Información Hidráulica y Geomorfológica

- **Caracterización del cauce:** la morfología del cauce define la estructura física del hábitat fluvial la cual, junto con el régimen de caudales, determina la idoneidad de dicho hábitat para el sustento de la biodiversidad y su provisión de servicios ecosistémicos. Generalmente se seleccionan segmentos representativos del río, la selección de segmentos debe responder a criterios técnicos y ecológicos. (**Paso 3: selección de tramos**).
- **Curvas HPU-Caudal:** curvas, ya establecidas que relacionen los caudales con la disponibilidad de hábitat (HPU) para las especies. Estas curvas permiten determinar cuantitativamente cómo varía el hábitat útil con el caudal, lo que es esencial para definir los mínimos ecológicos.
- **Transporte de sedimentos y dinámica del lecho:** Evaluar cómo se transportan los sedimentos y se mantiene la estructura del lecho, ya que afectan directamente la calidad del hábitat.

Información Biológica y Ecológica

- **Especies clave.** Identificar las especies clave según el contexto local y sus necesidades hídricas permite diseñar caudales ecológicos que aseguren la supervivencia y bienestar de estas especies. Para la identificación de especies clave se podrían tomar los siguientes criterios:
 - **Relevancia ecológica:** Especies que dependen directamente del régimen hidrológico (por ejemplo, peces migratorios o macroinvertebrados bentónicos sensibles al caudal).
 - **Sensibilidad a cambios hidrológicos:** Preferiblemente especies que presenten respuestas claras y documentadas ante variaciones de caudal.
 - **Representatividad de hábitats:** Seleccionar especies que habiten en distintos tipos de hábitats fluviales (rápidos, remansos, márgenes, etc.).
 - **Disponibilidad de información:** Es preferible contar con información sobre preferencias de hábitat (velocidad, profundidad, sustrato) y requerimientos en distintos estadios de vida (ver periodos críticos).
 - **Valor legal o de conservación:** Especies protegidas o en riesgo, incluidas en normativas nacionales.

Períodos críticos: Evaluar los periodos críticos como:

- **Freza:** Se recomienda determinar un caudal adecuado para la época de freza, Durante este estadio se debe intentar maximizar las posibilidades de reproducción.
- **Incubación y alevinaje:** Es evidente que durante el periodo de incubación los caudales deben ser iguales o menores que los de freza; de tal forma que, no queden zonas en seco donde puedan existir embriones. Posteriormente, y según se van produciendo las eclosiones el caudal puede ir disminuyendo de magnitud (según los alevines vayan siendo más móviles), hasta alcanzar unos valores adecuados al estadio vital y la época del año de que se trate.
- **Adultos, en época de estiaje:** Además de atender a la fenología de la zona y a la distribución natural de caudales, se deben considerar las necesidades de los adultos que, de forma general, puede resultar ser el estadio más exigente en esta época del año. Sin embargo, se tendrá en cuenta que los peces se acumularán en aquellas zonas del tramo más favorables para su subsistencia, y que incluso es posible la interrupción temporal del paso en aquellos puntos críticos.



Recomendación:

En cuencas no monitoreadas, se pueden emplear métodos de transposición de cuencas o modelos hidrológicos simples, que deberán calibrarse mediante aforos puntuales o la relación precipitación–escorrentía. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000181061>.

Capítulo 3.4.

Uso del agua, balances y asignación de recursos



Paso 3: Selección de tramos de estudio

Una vez recopilada toda la información, necesaria se **seleccionan los tramos de estudio**. Para facilitar el análisis, la cuenca debe dividirse en **unidades de análisis homogéneas**. Esto significa agrupar segmentos de ríos o zonas de un lago que tengan características similares en términos de hidrología, ecología y usos del agua.

Los tramos de estudio serán las unidades en las que se van a proponer los caudales ecológicos que, en principio y salvo justificación en contrario, deberán permitir asignar caudales ecológicos a toda la red fluvial y a las zonas húmedas destacadas por su importancia ambiental.

En una parte de esos tramos podrán realizarse estudios detallados, que incluyan la simulación hidráulica del hábitat o metodologías más sofisticadas, en el resto, se planteará la extensión de los valores calculados para los tramos estudiados mediante la aplicación de métodos hidrológicos que permitan la obtención de resultados consistentes con los obtenidos mediante los estudios específicos.

Lo que sigue a continuación se refiere a la selección de tramos para realizar estudios detallados, al menos, de simulación del hábitat.

? ¿Cómo se hace? Se pueden definir **zonas homogéneas** con base en mapas de la cuenca, datos hidrológicos y características ecológicas, especialmente tomando en consideración la distribución de la fauna actual o que potencialmente debería poblar el ámbito estudiado.

- Se utilizan sistemas SIG para analizar la conectividad y el uso del suelo.
- Se dividen los tramos en categorías según su grado de alteración:
 - Tramos naturales (bajo impacto humano).
 - Tramos moderadamente alterados.
 - Tramos altamente alterados (presas, extracciones intensivas).

La longitud del tramo a modelar debe ser suficiente para incluir todos los tipos de unidades morfodinámicas presentes. Como guía general, se recomienda seleccionar un tramo **de longitud mínima equivalente a unas 20 veces la anchura media del cauce**. Este criterio debe asegurar que el tramo de estudio abarca la diversidad de hábitats (rápidos, remansos, pozas) y refleje adecuadamente la variabilidad física del río, tal como sugieren las buenas prácticas internacionales.

Una vez dividida la cuenca en tramos homogéneos, es necesario determinar **cuáles son los más relevantes** para el estudio de caudales ecológicos.

? ¿Cómo priorizar los tramos? Con los objetivos claros y la información recopilada, se delimitarán las zonas específicas donde se propondrán caudales ecológicos. Por razones prácticas, la cuenca se

divide en **unidades de análisis homogéneas**, agrupando segmentos de río con características similares en hidrología, ecología y usos del agua.

De ese universo, se **priorizan** ciertos tramos para análisis detallado. Se suelen escoger tramos representativos y/o críticos, por ejemplo:

- secciones río abajo de embalses o captaciones importantes,
- tramos con alto valor ecológico (e.g. presencia de especies amenazadas o ecosistemas protegidos)
- y tramos con conflictos significativos entre usos humanos y la conservación.

Un criterio sugerido en planes hidrológicos es seleccionar al menos ~10% de las masas de agua de la cuenca, dando prioridad a tramos **bajo presas o de alta importancia ambiental**, y con longitud suficiente para incluir la variabilidad física y de hábitats del río.

Para ayudar en la selección, pueden emplearse herramientas SIG (analizando cobertura de vegetación ribereña, accesibilidad, fuentes de contaminación, etc.) y metodologías multicriterio que ponderen factores **hidrológicos** (existencia de estaciones cercanas, alteración hidrológica), **ecológicos** (hábitats valiosos, presencia de especies sensibles), **hidromorfológicos** (grado de alteración del cauce) y **socioeconómicos** (usos humanos, conflictos potenciales).



Recomendación:

Priorizar aquellas zonas que dispongan de información confiable y que sean críticas tanto desde el punto de vista ecológico como para la gestión de recursos hídricos. Si no se dispone de suficiente información, se pueden realizar consultas con expertos o análisis preliminares de caudales con datos indirectos. En ríos con alta alteración hidrológica, se recomienda focalizar la selección de zonas en tramos afectados por presas y derivaciones, priorizando áreas donde se encuentren especies sensibles al flujo.

Producto Esperado:

El resultado será una lista de tramos priorizados donde centrar los estudios y, posteriormente, implementar los caudales ecológicos.

Tarea 2: Selección de métodos y determinación de componentes

Existe una diversidad de métodos para la determinación de caudales ecológicos, desarrollados en diferentes partes del mundo. Estos métodos, enfoques y marcos permiten determinar el caudal ambiental necesario para mantener la salud de los ecosistemas acuáticos. Sin embargo, **no hay una respuesta única** sobre cuál es el método más apropiado para cada caso específico, y el proceso para desarrollar un conjunto de métodos puede variar. Las metodologías existentes para la evaluación de los caudales ambientales se **pueden agrupar** según su aproximación técnica y la disponibilidad de datos en cuatro categorías principales:

- **Métodos hidrológicos.**
- **Métodos hidráulicos.**
- **Métodos de simulación de hábitat (hidrobiológicos).**
- **Métodos holísticos.**

Para la aplicación de cualquiera de estas metodologías, es necesario contar con **datos hidrológicos** en periodos largos de tiempo, preferentemente con registros de **caudales diarios de más de 20 años de duración**.

La elección del método adecuado dependerá de los objetivos del estudio, la disponibilidad de datos y las características específicas del ecosistema en cuestión, tal como se muestra en el siguiente cuadro.

Capítulo 3.4.

Uso del agua, balances y asignación de recursos

Criterio	Hidrológicos	Hidráulico	Simulación de Hábitat	Holísticos
Fundamento	Estadística de caudales históricos (percentiles Q90/Q95, %Qmed).	Relación entre caudal y parámetros hidráulicos (ancho húmedo, profundidad) en secciones de río.	Simulación del hábitat disponible para especies clave, usando curvas de preferencia y modelos hidráulicos.	Integración de múltiples componentes: hidrología, hidráulica, hábitat, geomorfología y factores socio-económicos.
Datos requeridos	Serie de caudal (diarias o mensuales), idealmente naturalizadas.	Estudios de campo en secciones concretas: batimetría, mediciones de velocidad y ancho húmedo.	Serie de caudal + datos hidráulicos detallados + muestras biológicas para curvas.	Amplia gama: datos hidrológicos, parámetros biológicos, sociales y económicos; talleres con actores; modelación de escenarios.
Nivel de aplicación	Reconocimiento/diagnóstico preliminar y extrapolación de resultados de métodos más sofisticados.	Nivel intermedio, (tiene poca aplicabilidad a escala global, pero resulta útil para estudios detallados en tramos concretos del río.)	Estudios detallados de tramo (segundo grupo más utilizado a nivel mundial).	Puede aplicarse a nivel de cuenca y regional; emergente en regiones con escasa información.
Precisión ecológica	Baja: no captura dinámica hábitat-especie ni efectos de estacionalidad fina.	Moderada: refleja algunos cambios físicos del río, pero sin modelar preferencia de especies.	Alta: permite estimar el caudal que mantiene áreas de hábitat suficientes para especies-objetivo.	Muy alta: incorpora no solo hábitat sino también procesos geomorfológicos, biogeoquímicos y servicios ecosistémicos, así como perspectivas sociales.
Coste y complejidad	Muy bajo: rápido, bajo coste y poca especialización.	Bajo-medio: requiere salidas de campo y análisis hidráulico sencillo.	Alto: necesita softwares especialistas en ecología e hidráulica, y tiempo de campo y modelación.	Muy alto: despliegue de equipos multidisciplinares, talleres participativos, desarrollo de múltiples escenarios y, a veces, modelación avanzada.
Limitaciones principales	Ignora variabilidad intra-mensual y ecológica. Puede sobre/infraestimar en ríos poco/ muy variables (Pastor et al. 2014).	– No integra requisitos biológicos. – Depende de condiciones puntuales de sección (no siempre extrapolable).	– Alto costo y tiempo. – Curvas de preferencia genéricas pueden no reflejar adaptación local. – Difícil en cuencas con poca información ecológica.	– Recursos y datos intensivos. – Mayor complejidad metodológica. – Riesgo de “parálisis por análisis” si no se acotan bien los objetivos y alcances.
Cuando elegirlo	Etapas tempranas o estudios de alcance. Información hidrológica limitada. Necesidad de resultados rápidos y de bajo coste.	– Estudios focalizados en secciones críticas (pasos de peces, zonas de erosión). – Cuando hay recursos para trabajo de campo, pero no para modelación compleja.	– Con especies o hábitats sensibles que requieren evaluación específica. – Cuando se dispone de datos suficientes y se requiere un caudal ecológico basado en hábitat. – Para diseños de obras que impacten hábitat (presas, desvíos).	– Planificación a nivel de cuenca o región. – Cuando se busca equilibrar múltiples servicios ecosistémicos y usos sociales. – En contextos donde se pretende involucrar intensamente a actores y decidir entre varios escenarios de desarrollo.



Importante:

De manera general, es habitual **combinar los distintos métodos** de estimación de caudales ecológicos previamente descritos, adaptándolos al contexto y a la disponibilidad de información. En puntos especialmente sensibles o críticos como los situados aguas abajo de embalses, tramos con especies sensibles o zonas protegidas, se recurre con frecuencia a métodos de mayor sofisticación, particularmente aquellos basados en modelización hidrobiológica, debido a su mayor capacidad para reflejar las necesidades ecológicas del sistema.

Los resultados obtenidos en estos tramos representativos pueden, en determinados casos, emplearse como base para extrapolar propuestas al resto de la cuenca mediante criterios de hidrología comparada. Esta aproximación permite extender, de forma razonada y técnicamente coherente, las propuestas de régimen de caudales ecológicos a zonas donde no se dispone de información detallada, utilizando para ello los resultados de métodos hidrológicos u holísticos aplicados en el resto de la red.

Determinación de componentes de caudales ecológicos

Al hablar de regímenes de caudales ecológicos, cabe considerar las distintas componentes presentadas en anteriormente. Seguidamente se introducen brevemente distintas metodologías para la estimación de las citadas componentes.

Distribución temporal de caudales mínimos en ríos permanentes

La distribución temporal de **caudales mínimos** se establece mediante la selección de periodos homogéneos y representativos en función de la naturaleza hidrológica del cuerpo de agua y de los ciclos biológicos de las especies autóctonas identificándose. Dependiendo de la estacionalidad, y de las características corológicas de las zonas, es frecuente diferenciar, al menos, **dos periodos distintos** dentro del año, época seca y época húmeda. Esta distribución se puede llevar a cabo según el nivel de complejidad y la disposición de datos mediante los cuatro tipos de métodos presentados en el cuadro anterior: hidrológicos, hidráulicos, hidrobiológicos y holísticos.

Métodos hidrológico

Los métodos hidrológicos son estimaciones del caudal mínimo que debería dejarse circular por un río para mantener el hábitat mínimo de peces y/o condiciones de flujo aceptables y constituyen el **enfoque más simplificado** para la estimación de los caudales ambientales. Esto se debe a que el cálculo del régimen de caudales ecológicos se basa exclusivamente en el análisis de series temporales de caudales naturales (datos hidrológicos) (**Tarea Inventario de los recursos hídricos**), tratándose de distintas formas mediante análisis estadístico para establecer las recomendaciones de caudal que a menudo se expresa como porcentaje del caudal mensual o anual o como límites al cambio en los parámetros de caudales vitales, comúnmente índices de los caudales mínimos.

Son aplicables a distintas escalas y únicamente requieren de series temporales de **caudales diarios** que pueden ser resultado del registro histórico en estaciones de aforo o de estimaciones obtenidas mediante modelado hidrológico, regionalización hidrológica o formulaciones empíricas. Esto implica que la viabilidad de aplicación de un método hidrológico está **fuertemente condicionada con la disponibilidad de información** (tipo, calidad y cantidad de información) de caudales en el curso que interese estimar el caudal ambiental y que la fiabilidad de estos datos de partida condiciona la calidad de los resultados que se obtengan.

¿Por qué es útil?

- **Simple y rápidos:** Usan datos históricos de caudal, sin requerir información ecológica.
- **Primera aproximación:** Permiten definir caudales mínimos preliminares.
- **Viables en zonas sin datos:** Ideales en contextos con pocos recursos técnicos.
- **Comparables:** Homogeneizan criterios entre diferentes ríos.
- **Útiles para gestión:** Ofrecen referencias mínimas para proteger el ecosistema.



Descripción Metodológica:

Su aplicación se explica mediante un trabajo escalonado en tres fases o pasos, la primera de recopilación y preparación de las series de caudales, la segunda de cálculo propiamente dicho y la tercera validación de los resultados.

Paso 1: Recopilar y preparar la serie de caudales

Duración mínima:

- Se utilizan datos de caudal desagregados a **escala diaria y/o mensual** naturalizada ≥ 20 años, que incluya años muy húmedos, húmedos, medios, secos y muy secos.

Capítulo 3.4.

Uso del agua, balances y asignación de recursos

- Clasificar meses según percentiles históricos: P75 (muy húmedo), P25 (húmedo), P10 (seco), P0 (muy seco)

Fuente de datos:

- Aforos en régimen natural.
- Si el régimen está alterado, restituir la serie mediante:
 - Balance de aportaciones y detracciones.
 - Modelización hidrológica
- Validar con series de cuencas vecinas si hay < 20 años, siempre aplicando técnicas de regionalización y ajuste por precipitaciones y escurrimiento

Control de calidad:

- Comprobar homogeneidad y detectar rupturas de serie.

Eliminar valores atípicos o rellenar vacíos con métodos estadísticos (interpolación, correlación con estaciones cercanas).



Recomendación:

En aquellos casos donde no sea posible contar con una serie con este periodo de tiempo, podrá utilizarse un periodo de tiempo inferior, siempre y cuando este sea representativo de todos los años bajo distintas condiciones hidrológicas (años muy secos, secos, medio y húmedos) o podrán emplear los datos de una cuenca colindante siempre y cuando se empleen las técnicas hidrológicas adecuadas y las extrapolaciones se realicen con la suficiente confiabilidad.

Paso 2: Aplicación del método

Se deberá aplicar alguno de los diversos **métodos estadísticos** basados en el análisis de caudales medios diarios o mensuales para cuantificar un nivel adecuado de reserva del caudal base.

A continuación, se presenta un resumen de los métodos más difundidos:

- **Método del Caudal Básico de Mantenimiento (QBM):** Establece un régimen de caudales de mantenimiento a partir de un “caudal básico” que se obtiene del análisis de discontinuidades en series de caudales medios diarios tratados con medias móviles de intervalos crecientes. Es apto tanto para la planificación como para tramos de río concretos. Permite incorporar aspectos ecológicos específicos de cada tramo de río y también condicionantes de cualquier naturaleza. Requiere utilizar datos diarios de caudal.
- **Métodos de Percentiles:** Definen el caudal ecológico como un porcentaje del caudal medio anual o de percentiles de la serie histórica.
 - Q10 % con variación mensual: Es aplicable a zonas con importancia ambiental baja, con mínima riqueza ecológica o en zonas intervenidas. Requiere caudales mensuales con un registro mínimo de 20 años. Una consideración importante es que debería aplicarse a cursos sin interés ecológico y no requiere el análisis de las posibles alteraciones de la calidad del agua.
 - Método de caudal base de 7 días con periodo de ocurrencia de 10 años (7q10): Es aplicable a zonas con importancia ambiental baja. La determinación de caudales ecológicos se basa en los caudales medios mínimos observados durante un intervalo de tiempo de siete días, con un periodo de retorno de diez años. Requiere caudales diarios mínimos o caudales diarios medios. No requiere el análisis de las posibles alteraciones de la calidad del agua. (**Guía 1**)
- **Método de Tennant:** Es aplicable a zonas con importancia ambiental baja, con algunas especies ícticas. Divide el año en un periodo seco y otro húmedo y propone caudales como porcentajes del caudal medio anual, relacionándolos con grados de conservación. Se considera que el hábitat comienza a degradarse cuando el flujo es inferior al 10 % del

caudal medio anual, asociado a una velocidad media de 0,25 m/s y una profundidad media de 0,3 m. Para su aplicación se estudian el porcentaje de perímetro mojado, la profundidad y la velocidad media. Requiere caudales mensuales con un registro mínimo de 20 años. Es importante adecuarlo al hemisferio en el que se realiza el cálculo al considerar las diferentes épocas del año. Se recomienda su aplicación en cursos con presencia de peces, con mínima importancia ecológica, pero que aún pueden preservarse empleando al método. No quiere el análisis de las posibles alteraciones de la calidad del agua. (**Guía 1**), la **Guía 10** ofrece un caso aplicado a México del Método de Tennant.

Existen multitud de herramientas de simulación hidrológica para trabajar con las series de aportaciones, perfectamente detalladas en la **Tarea Inventario de los recursos hídricos**.

Producto Esperado:

Se espera obtener valores de caudales ecológicos mínimos recomendados a partir del análisis estadístico de series temporales de caudales naturales, mediante la aplicación de diferentes métodos hidrológicos (Caudal Básico de Mantenimiento, Percentiles, 7q10, Tennant...). Estos métodos permiten establecer umbral de caudal base o porcentajes del caudal medio anual.

El resultado final será una **propuesta técnica de régimen de caudales ecológicos** para los tramos o zonas analizadas, que sirva como referencia para la gestión ambiental del recurso hídrico, teniendo en cuenta la representatividad hidrológica, la calidad de los datos y la escala de aplicación.

Paso 3: Validación básica del caudal hidrológico calculado

Una vez obtenido un valor de caudal ecológico mediante el método hidrológico escogido, es recomendable **comprobar su adecuación**. En esta fase, se verifica que el caudal propuesto mantenga condiciones físicas mínimas en el río (por ejemplo, continuidad de flujo a lo largo del tramo crítico, evitando tramos secos) y se lo contrasta – si es posible – con información adicional: datos de campo, observaciones locales o resultados de otros métodos.

Si el caudal calculado resulta demasiado bajo para sustentar el hábitat básico (p. ej., no garantiza pozas remanentes en estiaje), se **ajustará al alza** aplicando un criterio precautorio. Por el contrario, si resulta muy superior a lo esperable, se revisarán los datos hidrológicos empleados. Este paso asegura que incluso los métodos hidrológicos más sencillos tengan una **validación inicial**, coherente con el enfoque integrado y adaptativo del plan.

Método hidráulico

Los métodos hidráulicos se fundamentan en la relación existente entre los caudales y los parámetros hidráulicos del cauce (como profundidad, velocidad, ancho o perímetro mojado) que son relevantes para una o varias especies indicadoras. La premisa principal es que ciertas variables hidráulicas pueden ser factores limitantes para la biota del cauce. La metodología del método hidráulico se encuentra principalmente integrada en las metodologías de simulación de hábitat (hidrobiológicas). Este método suele usarse como un componente esencial para evaluar la cantidad y conveniencia del hábitat físico disponible para la biota bajo diferentes condiciones de flujo.

El caudal ecológico mínimo se deduce de la relación entre algún parámetro hidráulico (generalmente la velocidad del flujo, el perímetro mojado o la profundidad) y el caudal.

¿Por qué es útil?

- Es más objetivo y verificable que los métodos hidrológicos.
- Puede definir umbral físico mínimo que evita desecación, desconexión o degradación morfológica.
- Es aplicable donde no hay información biológica suficiente, como ríos no estudiados o tramos artificializados.



Descripción Metodológica:

Paso 1: Recopilación de datos hidráulicos

Esta fase implica un trabajo de campo para seleccionar un tramo de río adecuado para la simulación, caracterizar su morfología y obtener valores de las principales variables hidráulicas que son:

- **Velocidad de la corriente:** Esta variable es crucial para determinar la idoneidad del hábitat para las especies acuáticas.
- **Profundidad del agua:** Al igual que la velocidad, la profundidad es un factor determinante en la disponibilidad y calidad del hábitat.
- **Caudal:** Es preciso conocer; los aforos en, por lo menos, dos épocas del año (secas y húmedas) así como los caudales del análisis hidrológico (deseable su aplicación con fines comparativos).

Además de estas variables primarias, otras características hidráulicas importantes que se consideran en los análisis incluyen:

- Pendiente longitudinal del tramo del río.
- Características de la sección transversal del cauce, incluyendo su forma y dimensiones.
- El coeficiente de rugosidad o fricción de la sección.

Paso 2: Reconocimiento y elección del tramo de simulación

- Se identifica un tramo representativo que contenga una variedad de **mesohábitats** (pozas, tablas, corrientes y rápidos).
- Clasificar y medir las unidades hidromorfológicas (mesohábitats) tomando en cuenta longitud, anchura media, secciones de control, tipo de sustrato y refugio.
- Seleccionar un tramo de estudio representativo que contenga una variedad de mesohábitats (pozas, tablas, rápidos). Sería aconsejable que la **longitud del tramo** guarde proporción con la escala del río: **se recomienda al menos del orden de 20 veces la anchura media del cauce** para abarcar la heterogeneidad de hábitats. Este debe asegurar que la sección de río escogida incluya suficientes transiciones de mesohábitat y refleje la diversidad morfológica, tal como demandan los objetivos ecológicos.
- Marcaje del tramo: Una vez seleccionado el tramo es necesario realizar el marcaje de los transectos en todas las transiciones de mesohábitat, el tramo inicial y final y todos aquellos que se consideren oportunos para recoger la variabilidad de las condiciones de microhábitat que se producen dentro de cada mesohábitat. El número de transectos dependerá de los mesohábitats presentes, de su longitud y de la longitud total del tramo. Pero como recomendación media no deberían ser inferiores a 10 y no es recomendable por economía de recursos realizar más de 30 transectos, siendo razonable localizar entre 15 y 20.

Una vez seleccionados los subtramos e identificados los transectos es necesario realizar las **campañas de campo destinadas** a realizar los trabajos de topografía e hidrometría necesarios para la construcción y calibración de los modelos que han de desarrollarse posteriormente.

- Topografía: Se realiza un levantamiento topográfico detallado de las secciones transversales en cada transecto para obtener datos de elevación del lecho.
- Se miden la velocidad y la altura de la lámina de agua en los transectos, referenciándolas a los datos topográficos. Se toman mediciones de profundidad por intervalos a lo largo del ancho del cauce. Además, se determina la pendiente longitudinal del tramo y el coeficiente de rugosidad o fricción de la sección.

Es recomendable recopilar en campo los siguientes datos adicionales a los ya comentados:

Capítulo 3.4.

Uso del agua, balances y asignación de recursos

- Elaborar un esquema de cada transecto que refleje las irregularidades del flujo, del sustrato y de la ribera
- Identificar las áreas sombreadas y los refugios aparentes observados
- Obtener fotos hacia aguas abajo y hacia aguas arriba de cada transecto
- Registro de porcentajes de sustratos en cada punto de medida.

Paso 3: Desarrollo del modelo hidráulico

Con los datos recopilados, se construye un **modelo hidráulico**, generalmente suele ser **bidimensional**, que permita predecir los parámetros hidráulicos (principalmente **velocidad** y **profundidad**) en cada celda de los transectos para diferentes **escenarios de caudal**.

A continuación, se presenta un resumen de los métodos hidráulicos más difundidos:

- **Método del perímetro mojado:** El método del perímetro mojado es el más conocido y uno de los de mayor aplicación a nivel mundial. Define un caudal mínimo aceptable que mantiene el hábitat acuático humedecido para secciones transversales de canales o arroyos seleccionados (representativos y/o críticos).
- **Método de Idaho:** Se basa en establecer referentes de rango de velocidad y profundidad mínima para diferentes especies, según sus exigencias. Siendo el caudal mínimo el primero que cumple con tales referentes. Establece un valor base que permite recomendar 1 o más caudales ecológicos.
- **Método R2Cross.** Selecciona un rápido crítico del río y determina los requerimientos de caudal para la protección del hábitat a partir de los caudales asociados a 3 parámetros: profundidad media, perímetro mojado (%) y velocidad media.

Existen diversos programas para la modelización bidimensional hidráulica según complejidad, **fichas de herramientas**.

Paso 4: Análisis de resultados

- Identificar caudales donde:
 - Se mantiene la continuidad longitudinal del área mojada.
 - Se cumplen las profundidades y velocidades mínimas para evitar desecación y eutrofización.
- Determinar:
 - Caudal mínimo hidráulicamente viable (**Q_{mín-H}**): El menor caudal que mantiene esas condiciones físicas mínimas a lo largo del tramo.

Paso 5: Validación

Este paso tiene por objetivo contrastar el caudal mínimo hidráulicamente viable (Q_{mín-H}), obtenido en el paso anterior, con otras fuentes de referencia disponibles. Este proceso es preliminar y complementario a la validación definitiva, que se realiza mediante monitoreo de campo y calibración adaptativa (**análisis de consistencia técnica**).

El Q_{mín-H} representa el umbral ecológico mínimo por debajo del cual no debe descender el régimen propuesto, ya que garantiza la continuidad de flujo y condiciones físicas mínimas del hábitat.

Las comparaciones con otros valores deben interpretarse como referencias de contraste, y no como valores sustitutivos del Q_{mín-H}:

- Q_{mín} ecológico hidrológico: Métodos como Q90–Q95 pueden ofrecer valores de inicio aproximados útiles para la construcción de regímenes mensuales. No obstante, no deben emplearse para reducir el Q_{mín-H} si este resulta superior, dado que los métodos hidrológicos no consideran condiciones físicas del cauce.

- Valores de referencia regionales: Sirven como punto de comparación y para evaluar consistencia con planes similares. Si estos valores son más altos que el Qmín-H, puede considerarse su adopción como margen de seguridad adicional, siempre que sea viable.
- Normativa o expertos locales: Pueden aportar validación cualitativa o justificar ajustes al alza, pero en ningún caso deben recomendar valores por debajo del umbral físico mínimo.



Importante:

El caudal ecológico mínimo propuesto en el régimen mensual debe respetar el Qmín-H como valor base. Las demás fuentes pueden orientar la definición final del régimen, pero nunca comprometer la integridad del ecosistema fluvial.

Método hidrobiológico (modelización de hábitat)

Los métodos de modelación de la idoneidad de hábitat se basan en la simulación hidráulica acoplada al uso de curvas de preferencia del hábitat físico para la especie o especies objetivo, obteniéndose curvas que relacionen el hábitat potencial útil con el caudal en los tramos seleccionados. **Requieren una considerable cantidad de recursos.** El esquema conceptual de la metodología de modelización del hábitat parte de dos puntos básicos:

- Las curvas de preferencia de la fauna.
- Un modelo hidráulico fluvial,

Fundiendo ambas ideas, el modelo hidráulico, que simula las condiciones de los distintos segmentos del río en función de los caudales circulantes y el valor potencial del hábitat fluvial, que nos indica las condiciones en las que se van a encontrar las especies que pueden estar presentes, se llega al concepto del **Hábitat Potencial Útil**, herramienta con la que se planteará el régimen ambiental de caudales.



Descripción Metodológica:

Paso 1: Modelización hidráulica

Realizar un modelo hidráulico según la metodología expuesta en el **Método Hidráulico** para predecir profundidad, velocidad y perímetro mojado en cada transecto y para distintos caudales.

Paso 2: Selección de especies indicadoras

La aplicación de esta metodología debería apoyarse en un conocimiento adecuado sobre la ecología y los requerimientos hídricos de la fauna acuática local, prestando especial atención a aquellas especies más sensibles a las alteraciones del régimen de caudales. En términos generales, se recomienda centrar el análisis en la fauna piscícola, dado que suele presentar una elevada dependencia de las condiciones hidrológicas y una buena representatividad ecológica de los procesos fluviales.

No obstante, esta focalización no debería entenderse como excluyente. En aquellos tramos donde existan datos específicos o se hayan identificado valores ecológicos destacados asociados a otros grupos (como macroinvertebrados, bivalvos, anfibios o vegetación de ribera), se aconseja considerar su incorporación de forma complementaria.

La selección de especies indicadoras debería realizarse atendiendo a las características ecológicas del tramo de estudio, considerando, preferentemente, una o varias especies de interés, habitualmente piscícolas, y distintos estadios de desarrollo (alevín, freza, adulto). Entre los criterios a tener en cuenta en dicha selección se sugiere incluir la sensibilidad a las condiciones hidrológicas, la representatividad funcional, la vulnerabilidad ecológica y la disponibilidad de información técnica local.

Capítulo 3.4.

Uso del agua, balances y asignación de recursos

Aunque la experiencia internacional se ha desarrollado principalmente en torno al uso de especies piscícolas, también podrían considerarse otras especies vinculadas al ecosistema fluvial siempre que se disponga de estudios locales o regionales suficientemente robustos que justifiquen su elección.

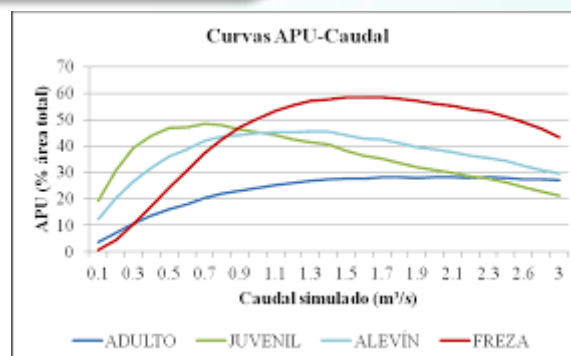


Entre los aspectos que hay que tener en cuenta a la hora de la selección de especies, pueden citarse los siguientes:

- **Solo se consideran especies autóctonas con alta representatividad ecológica**, ya que las no autóctonas se consideran indicadores de degradación.
- **También se valoran especies de referencia histórica**, aunque no estén presentes actualmente, como indicadores de condiciones ecológicas más deseables.
- **Se priorizan especies sensibles**, con sensibilidad a las variaciones de caudal en peligro de extinción, vulnerables o de interés especial.
- Es importante **disponer o poder generar funciones de idoneidad del hábitat** para esas especies, especialmente comunes en especies piscícolas.
- Tras seleccionar las especies objetivo, **se debe analizar su ciclo biológico** para identificar en qué época y etapa de desarrollo se encuentran, diferenciando curvas de preferencia de hábitat para los estadios de desarrollo que resulten pertinentes.
- Esto permite **determinar los periodos críticos** del año hidrológico en los que hay que priorizar las condiciones de hábitat para cada especie.
- En la **simulación de hábitat**, solo se consideran las etapas de desarrollo presentes en cada época, para evitar complicar la toma de decisiones.
- Las **curvas hábitat potencial útil-caudal** se aplican a **periodos ecológicamente significativos y sensibles donde la especie se puede ver amenazada**, (*alevines, freza, adulto*).

Capítulo 3.4.

Uso del agua, balances y asignación de recursos



Paso 3: Definición de preferencias de hábitat

Definir los rangos óptimos de profundidad, velocidad y sustrato preferidos por cada especie seleccionada. La información sobre preferencia del hábitat puede obtenerse de tres modos diferentes:

- La selección de curvas de distintos tipos ya publicadas.
- Los estudios realizados en tramos de la cuenca de estudio *ad hoc*.
- Realizando pruebas de transferibilidad de funciones de la misma especie desarrolladas en otros ríos.

Las funciones de preferencia reflejan la predilección o tolerancia de una especie hacia los distintos valores, que puede tomar un determinado parámetro del hábitat. La preferencia puede evaluarse en función de la probabilidad de encontrar un organismo en condiciones determinadas, valorándola de 0 a 1. Disponiendo de estas funciones, se puede **cuantificar la habitabilidad para un determinado caudal** en función de la idoneidad de las condiciones que este genera. (Guía 11).



Importante:

La simulación de la idoneidad del hábitat se realizará, preferentemente, mediante modelos bidimensionales. La priorización de estadios vitales debe ajustarse a la ecología de cada especie. En general, para peces se recomienda simular al menos dos etapas (juvenil y adulto); sin embargo, **no todas las especies tienen el mismo estadio más crítico**. Por ejemplo, en especies ovíparas de desove bentónico es vital asegurar caudales durante la **freza** y la **incubación de los huevos**. En estos casos, el caudal ecológico en época de desove debe ser suficiente y estable, de modo que los huevos queden siempre bajo agua hasta la eclosión. En resumen, se tendrá cuidado de identificar el estadio más vulnerable (freza, huevos, alevín, etc.) para cada especie objetivo y garantizar condiciones de hábitat adecuadas durante ese período.

Paso 4: Modelización de hábitat

Elegida una especie o especies objetivo y conocidas sus preferencias de hábitat, se trata de realizar un cálculo de los cambios que la variación de caudal introduce en la habitabilidad del tramo. El parámetro que evalúa el Hábitat Potencial Útil (HPU), (Guía 11) es un indicador del área utilizable por la especie objetivo, descontados aquellos puntos desfavorables que puedan producirse a lo ancho de la sección. La modelización de hábitat se basa en la idea de que cada especie tiene un rango preferido de profundidad, velocidad y sustrato, que define la calidad del hábitat obteniéndose así una serie de pares de valores HPU/caudal para cada transecto. (Guía 11).



Métodos de Simulación del Hábitat recomendados:

Herramienta de análisis hidrobiológico y simulación de hábitat (ficha de recursos técnicos)

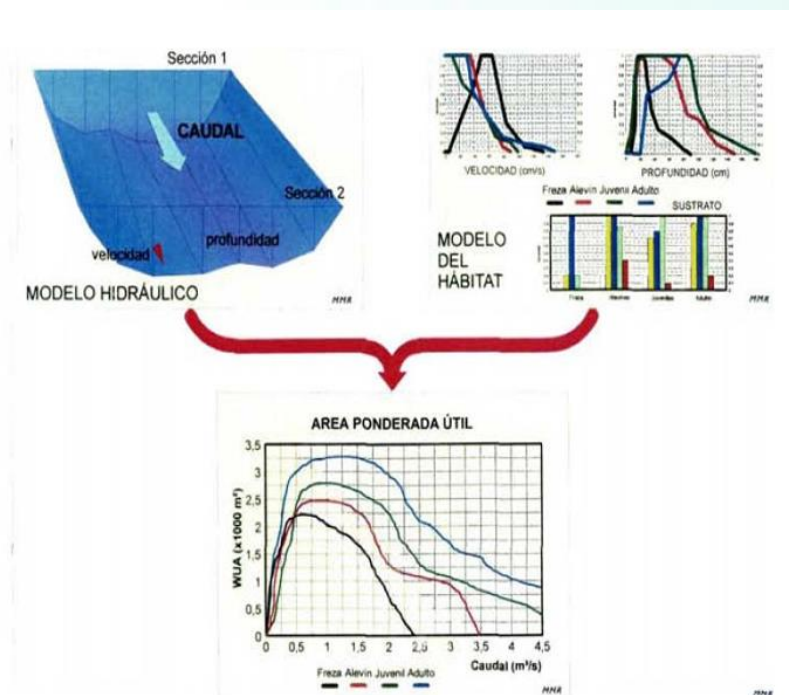
orientada al cálculo de caudales ambientales basada en métodos hidrobiológicos. Integra curvas de preferencia de hábitat, modelización hidráulica bidimensional y análisis de adecuación de caudales según requerimientos ecológicos. Permite simular el hábitat disponible para especies objetivo en función del caudal circulante.

Sistema de modelación hidráulica bidimensional para análisis de hábitat (Guía 6 y ficha de recursos técnicos): Aplicaciones que combinan modelación hidráulica de alta resolución con funciones de adecuación ecológica, posibilitando el análisis espacial del hábitat fluvial en distintas condiciones de caudal. Se utiliza tanto en tramos naturales como en sistemas modificados, siendo especialmente útil en validación de propuestas de régimen de caudales.

Módulo de simulación de regímenes de caudales ecológicos dentro de un sistema integrado de planificación (ficha de recursos técnicos): Herramienta que permite establecer y evaluar propuestas de régimen de caudales mínimos en el marco del análisis global de la planificación hidrológica. Considera restricciones ambientales y operativas, y permite analizar la compatibilidad entre caudales ecológicos y demandas.

Paso 5: Definición de caudales ecológicos

- Análisis de las curvas HPU/ Caudal
 - Determinar el **punto de inflexión** que marca un cambio de comportamiento significativo en el cauce para este caudal, los beneficios en hábitat son máximos con el mínimo de caudal posible.
 - Verificar en períodos críticos (reproducción, estiaje...)
- Definir valores mínimos ecológicos:
 - Un único valor para estiaje.
 - Valores variables según época (opcional).
- Análisis de sensibilidad:
 - Evaluar cambios ante pequeñas variaciones de caudal.
- A continuación se muestra un esquema de la metodología hidrobiológica.



Modelo conceptual del procedimiento metodológico para el análisis de caudales ecológicos mediante la metodología de simulación de hábitat.

✓ Ventajas

Capítulo 3.4.

Uso del agua, balances y asignación de recursos

- Integra requerimientos biológicos reales.
- Permite definir caudales variables según especies y estaciones.
- Genera información espacial para toma de decisiones de gestión.

⚠ Limitaciones

- Alta demanda de datos hidromorfológicos y ecológicos.
- Requiere software especializado.
- Depende de disponibilidad de curvas de preferencia.
- Presentan limitaciones en función del tipo de modelo hidráulico (1D o 2D) que los sustente.
- Los modelos hidráulicos 1D tradicionales no son convenientes en ríos de alta montaña, ríos con altas pendientes y macrorugosidad, ni en ríos trezados con flujo bidimensional.
- La implementación de modelos hidráulicos 2D tampoco es conveniente en ríos de montaña con pendientes fuertes o cambios bruscos de pendiente (saltos de flujo, pendientes superiores al 10%).
- Estas y otras limitaciones deben consultarse específicamente según las ecuaciones utilizadas en el modelo.



Importante:

No puede ignorarse que la aplicación de los métodos hidrobiológicos exige disponer de información sobre las preferencias de caudal de determinadas especies objetivo, en sus distintos estados de desarrollo, cuestión que en un ámbito territorial con la biodiversidad propia de la región latinoamericana puede resultar sumamente complejo.



Recomendación:

Cuando no se dispone de datos hidrológicos, ecológicos o de hábitat, es posible validar los caudales ecológicos mediante enfoques alternativos que combinan observaciones de campo, conocimiento tradicional y metodologías cualitativas.

- Entrevistas y Talleres Participativos: Se consulta a pobladores sobre cambios históricos en los caudales del río, períodos de estiaje y crecidas, así como la relación con la presencia de peces y otras especies.
- Mapeo de Usos del Agua: Se identifican zonas clave del río donde existen procesos ecológicos importantes, como áreas de desove, refugios de peces o zonas de inundación riparia.
- Reconstrucción de Regímenes Hidrológicos Pasados: Uso de relatos históricos para estimar la variabilidad natural del río y determinar si los caudales ecológicos respetan su dinámica.
- Observación Directa de Hábitats Acuáticos: Se analizan cambios en la estructura del cauce, presencia de pozas, rápidos y zonas de refugio para la fauna.
- Indicadores Visuales del Caudal: Evaluación de si el agua cubre áreas necesarias para la migración de peces, la reproducción de anfibios o la hidratación de la vegetación riparia.
- Fotomonitoring: Captura de imágenes de referencia en diferentes épocas del año para evaluar la estabilidad de los ecosistemas acuáticos con los caudales propuestos.
- Selección de Ríos Comparables: Se identifican ríos cercanos con menor alteración antrópica, cuyos caudales naturales puedan servir de referencia.

🇪🇺 Producto Esperado:

Capítulo 3.4.

Uso del agua, balances y asignación de recursos

- Establecimiento de los caudales mínimos recomendados para conservar las condiciones esenciales de hábitat, con base en la preferencia de las especies para variables hidrológicas específicas (profundidad, velocidad, sustrato).
- Determinación de caudales críticos para períodos de estiaje y épocas húmedas, adaptados a las variaciones estacionales y de ciclo vital de las especies.

Método holístico

Un método holístico aborda el sistema fluvial en su totalidad, todos los componentes bióticos, abióticos, estructurales y funcionales, entendiendo el régimen de caudales como el principal soporte ecológico de procesos físicos, químicos y biológicos. Integra hidrología, hidráulica, hábitat, geomorfología, economía y aspectos sociales en un proceso interdisciplinar. Es un enfoque que requiere información extensa y de alta calidad, registros históricos de caudales, variables hidráulicas y modelos que relacionen el caudal con los requerimientos de todos o algunos componentes del ecosistema y de la biota acuática, además de información económica y social. (**Guías metodológicas 4**)

? ¿Cuándo aplicarlo?

- Conflictos fuertes entre demandas de agua y objetivos de conservación.
- Ecosistemas complejos (humedales, estuarios, tramos urbanos) donde los métodos hidrológicos o de hábitat son insuficientes.
- Áreas prioritarias o proyectos de gran escala (presas, trasvases).
- Sitios de referencia para monitoreo intensivo y desarrollo de conocimiento local

Se estructuran en cuatro niveles, dependiendo del tiempo, los recursos disponibles y la cantidad de datos existentes:

- **Nivel I: Análisis Hidrológico (1-5 meses)** → Se basa en índices hidrológicos relevantes para estimar caudales ecológicos de forma rápida.
- **Nivel II: Panel de Expertos (1-12 meses)** → Método de bajo costo y fácil aplicación, ideal para contextos con información limitada. Un grupo interdisciplinario revisa datos hidrológicos, ecológicos y sociales, y formula recomendaciones de caudal mediante un proceso iterativo de discusión, pruebas y ajustes.
- **Nivel III: Estudios de Campo y Seguimiento (varios años)** → Se aplica en lugares con mayor disponibilidad de datos y financiamiento. Incluye monitoreo a largo plazo para validar los caudales definidos.
- **Nivel IV: Refinamiento Adaptativo (varios años)** → Similar al nivel III, pero con ajustes continuos en la gestión del agua en función de los resultados ecológicos observados.

El nivel 2 **Panel de Expertos** se considera una alternativa confiable y adaptable en un periodo relativamente corto (1-2 meses) con requerimientos de recursos entre bajos y moderados. Donde la metodología a seguir sería:

- Compilación, organización y evaluación de la información disponible, así como para generar aquella imprescindible para la propuesta de caudales.
- Reunión de discusión de los especialistas para que, mediante juicio experto, propongan los caudales ecológicos desde la perspectiva de sus áreas de conocimiento.
- Socializar la propuesta, involucrar a los tomadores de decisiones y ampliar la evaluación bajo otros enfoques, como el de gestión del agua. De esta tercera fase debe salir una propuesta consensuada y las líneas de acción para su implementación.



Recomendación:

- La selección del método adecuado depende de factores como la importancia ambiental del área, la disponibilidad de información y los objetivos del estudio.
- A mayor valoración del sistema, se requieren métodos capaces de abordar de forma más robusta la variedad de especies y las actividades antrópicas asociadas al río
- A mayor nivel de alteración hidromorfológica esperada, es necesaria la implementación de métodos que consideren la información a menor escala espacial y que tengan una mayor conceptualización ecológica.

Distribución final de los caudales

Una vez determinado el **caudal mínimo base** (por ejemplo, el correspondiente al periodo de estiaje), es necesario distribuirlo a lo largo del año en forma de **régimen estacional o mensual**. Para ello, se pueden aprovechar las pautas del régimen natural del río. Una metodología sencilla consiste en **mantener la misma forma estacional** que el hidrograma natural: es decir, asignar caudales mínimos más altos en meses húmedos y algo menores en meses secos, guardando proporción con los caudales medios de cada mes en estado natural.

Por ejemplo, si el caudal mínimo calculado ($Q_{\min}$) corresponde al mes más seco, para un mes húmedo podría fijarse un valor mayor multiplicando $Q_{\min}$ por la razón entre el caudal medio de ese mes húmedo y el caudal medio del mes seco. De este modo, obtenemos una **serie de caudales mínimos mensuales** que preserva la variación estacional característica del río. Esta distribución temporal garantiza que el régimen ecológico **no sea un valor fijo todo el año**, sino que refleje las fluctuaciones naturales, manteniendo caudales más elevados en épocas de lluvia y asegurando mínimos suficientes en épocas secas.

Distribución de caudales máximos

Entendidos como los caudales que no deben ser superados en la gestión ordinaria de las infraestructuras, con el fin de limitar los caudales circulantes y proteger así a las especies autóctonas más vulnerables a estos caudales, especialmente en tramos fuertemente regulados. Estos caudales se estimarán para periodos estacionales.

La caracterización se realiza analizando los percentiles de excedencia mensuales de una serie representativa de caudales en régimen natural de al **menos 20 años de duración**, pero queda abierto al criterio del ejecutor el dato con el que ha de construirse la correspondiente curva de caudales clasificados que, lógicamente deberá estar en consonancia con las series disponibles.

Los caudales máximos ecológicos solo cobran importancia en escenarios donde la acción humana ha alterado el patrón natural de avenidas del río. Esto ocurre, por ejemplo, en ríos altamente regulados por embalses, donde las mayores liberaciones de agua se hacen en época seca provocando puntas de caudal **fuera de temporada**. Dichas puntas artificiales, pueden desorientar a la biota acuática y producir **pérdida de hábitat**. Al establecer límites de caudal máximo, el régimen ecológico busca evitar estos desfases, asegurando que las crecidas **liberadas artificialmente** no superen los umbrales que las especies autóctonas pueden tolerar en condiciones naturales.

En casos donde la acción humana (p. ej. embalses) **haya alterado el patrón natural de crecidas**, se puede aplicar un procedimiento para establecer límites de caudal máximo ecológico por mes. A continuación, se describen los pasos de esta metodología específica



Descripción Metodológica:

Paso 1: Serie de caudales y cálculo de percentiles mensuales

- Partiendo series diarias, construir curvas de duración de caudales a escala mensual, calculando para cada mes los percentiles de excedencia, (p1, p5, p10..., p90).
- Selección de umbrales:
 - No emplear percentiles de excedencia mayores al **90 %**, para mantener las magnitudes fundamentales del régimen natural
 - Para cada mes, identificar el **percentil objetivo** (por ejemplo, p10–p20 para pulsos de alta estación; p5 en meses críticos de reproducción).

Paso 2: Definición del régimen máximo mensual

- Asignar a cada mes el caudal máximo ecológico igual al caudal correspondiente al percentil seleccionado.

Paso 3: Validación hidráulica y de hábitat (opcional)

Los valores numéricos indicados para velocidades máximas admisibles por talla de pez son **referenciales** y deberán ajustarse según la fauna local. En la ictiofauna latinoamericana pueden existir especies con tolerancias diferentes; por ello, si se realiza esta validación, es recomendable basarse en estudios locales de nado o en valores conservadores en ausencia de datos. En general, se debe ser prudente al aplicar estos criterios genéricos, adaptándolos al contexto ecológico específico.

- Seleccionar un tramo representativo (150–250 m) con estructura morfológica y mesohábitats críticos.
- Construir modelo que simule los caudales máximos mensuales.
- Simular cada mes con su caudal máximo ecológico y extraer:
 - Superficie mojada total. Garantizar que al menos el **50 % de la superficie mojada** proporcione condiciones de refugio (profundidad y velocidad admisibles) durante los estadios más sensibles.
 - Distribución espacial de velocidades y profundidades. Las velocidades admisibles serán extraídas de curvas que relacionen el tamaño del individuo con la velocidad máxima admisible. En caso de no disponer de dichas curvas y de tratarse de una especie piscícola se utilizarán los siguientes intervalos de velocidades máximas limitantes: alevines (0,5-1 m/s), juveniles (1,5-2 m/s) y adultos (<2,5 m/s).

Caudales de crecida o generadores

Las crecidas fluviales desempeñan un papel crucial en la dinámica de los ecosistemas acuáticos, inundando llanuras aluviales y conectando hábitats ribereños. En el contexto de los caudales ecológicos, es fundamental incorporar las **crecidas ordinarias** dentro del régimen hidrológico que se pretende conservar o restaurar. A continuación, se presenta una guía técnica paso a paso para determinar el **régimen de crecidas** con fines ecológicos, adaptada al ámbito de la CODIA.



Descripción Metodológica:

Paso 1: Definición del caudal generador

El primer paso es identificar el caudal que representa aproximadamente el umbral de llenado completo del cauce, conocido también como caudal de “caja llena” o bankfull que suele corresponder a una avenida con un período de retorno o recurrencia de varios años.

Este caudal se considera la mayor crecida ordinaria que el río puede transportar sin desbordarse de su cauce principal, marcando el punto a partir del cual las aguas inundan la llanura de inundación adyacente. Esta crecida “ordinaria” es la que históricamente ha moldeado la forma del cauce y mantiene los procesos geomorfológicos naturales del río, equivale al caudal generador del río (o caudal formador

de cauce), cuya importancia radica en que define el límite entre las crecidas frecuentes y las crecidas extraordinarias (más raras y extremas).

Paso 2: Recopilación de información hidrológica histórica

- Seleccionar estaciones hidrométricas representativas del tramo de río objetivo.
- Obtener series históricas de caudales máximos en régimen natural, es decir antes de la construcción de la infraestructura que debe permitir la liberación de esos caudales generadores.
- Verificar la calidad y consistencia de los datos obtenidos (corrección y depuración de datos incompletos o anómalos).
- Utilizar modelos de simulación de avenidas si no se dispone de datos completos.

Paso 3: Cálculo de la magnitud del caudal generador

- Ajustar la distribución de frecuencias de los máximos anuales a funciones estadísticas de distribución.
- Determinar la magnitud del caudal generador (Q_{gen}) asociada al periodo de retorno, basado en evidencia hidráulica y geomorfológica local.

Paso 4: Definición de la estacionalidad

Identificar los meses del año con mayor probabilidad natural de ocurrencia de crecidas.

Paso 5: Determinación de la duración y tasa de cambio

Este paso se considerará necesario, según las características locales.

- Establecer la duración del evento como el tiempo comprendido desde el inicio del incremento del caudal hasta el retorno al caudal base.
- Vincular intrínsecamente la duración con la tasa de cambio (velocidad de incremento y descenso del caudal), ajustando esta última para garantizar que la crecida pueda realizarse en condiciones operativas seguras y preferiblemente en una jornada laboral.
- Posibilidad de introducir mesetas temporales (caudal constante) para facilitar mediciones y aforos hidráulicos durante el evento.

Producto Esperado:

- Magnitud precisa del caudal generador.
- Periodicidad clara (periodo de retorno) y adaptada al contexto hidrológico regional.
- Periodo estacional amplio definido para la gestión operativa.
- Hidrograma definido en términos de duración y tasa de cambio adecuadas a criterios operativos y ecológicos.

Tasas de cambio

Esta componente de caudales ecológicos se puede considerar de manera opcional y siempre y cuando se observe que es necesario para solucionar problemas que solo se resolverían con una laminación.

Es importante evitar cambios bruscos en los caudales. Si el caudal cambia muy rápido, puede generar incrementos bruscos de velocidad e inundación que afecten negativamente a las especies y al ecosistema en general.

Al igual que ocurre con otras de las componentes complementarias al régimen de mínimos, la fijación de límites a las tasas de cambio solo tendrá sentido aguas abajo de instalaciones hidráulicas que

puedan inducir este tipo de cambios de régimen. Es un problema típicamente asociado a la generación hidráulica que, por otra parte, necesita cierta libertad de operación para realizar ajustes en el sistema eléctrico, en particular ante contingencias especiales y, claramente, ante la necesidad de ajustar o reponer los servicios.

La compatibilidad de tasas de cambio rápidas con las restricciones ambientales exigidas por las especies puede lograrse mediante el uso de «contraembalses» que laminen las descargas del sistema. Lógicamente, la adecuación de todas las infraestructuras no es siempre viable, ni mucho menos inmediata. Todo ello son elementos a tener en cuenta de cara a la fijación de las tasas de cambio.

El proceso para su estimación se basa en los siguientes pasos:



Descripción Metodológica:

1. Se parte del **análisis de las avenidas ordinarias de una serie hidrológica representativa de caudales medios diarios de, al menos, 20 años de duración.**
2. Se calculan las **series clasificadas anuales de tasas de cambio**, tanto en ascenso como en descenso.
3. Sobre estas series clasificadas, se establecerá un **percentil de superación en ascenso y en descenso.** La **obtención de una estimación media de las tasas de cambio** se realizará a partir de estos percentiles.
4. Una vez que se haya identificado la tasa de cambio a partir de los datos, se debe definir un **límite tolerable de tasa de cambio** para evitar efectos negativos sobre los ecosistemas acuáticos. Este límite debe ser suficientemente conservador para proteger la biodiversidad, evitando variaciones bruscas que puedan afectar a los organismos acuáticos y a la estructura del hábitat. El límite de tasa de cambio se puede establecer con base en la sensibilidad ecológica de las especies presentes y sus estadíos de desarrollo, especialmente aquellas que dependen de condiciones de caudal más estables, como los peces migratorios o los hábitats de desove.



Recomendación:

En ausencia de datos, se pueden usar aproximaciones basadas en las características geomorfológicas de la cuenca y el tipo de vegetación que domina la región. Por ejemplo, los ríos con una pendiente pronunciada o con cuencas pequeñas suelen tener tasas de cambio más rápidas, mientras que los ríos de cuencas grandes y más llanas pueden tener tasas de cambio más lentas. Estas aproximaciones ayudan a definir límites aproximados para la tasa de cambio.

Aunque los datos no estén disponibles, es importante establecer un límite prudente para la tasa de cambio que no cause impactos negativos en los ecosistemas. Este límite puede basarse en estudios previos de cuencas similares, en la ecología de las especies presentes o en principios conservadores que favorezcan la estabilidad ecológica.

Se pueden aplicar estrategias preventivas, como mantener la variabilidad del caudal dentro de un rango que favorezca a los ecosistemas. Esto se puede hacer evitando fluctuaciones rápidas que no son propias del régimen natural de muchos ríos.

Distribución de caudales en ríos temporales, intermitentes y efímeros

Los ríos temporales, intermitentes y efímeros, son cursos de agua cuyo régimen natural incluye periodos sin caudal. Aunque a veces se usan las palabras temporal e intermitente indistintamente, aquí distinguimos:

- Un río intermitente fluye durante ciertas épocas del año (generalmente la temporada húmeda) y se seca en épocas de estiaje previsible. Mantiene tramos de corriente estacionales y a veces pozas aisladas en sequía (p. ej., ríos que corren solo en invierno).
- Un río efímero, en cambio, solamente lleva agua esporádicamente tras eventos de lluvia significativos; fuera de esas avenidas permanece seco, dado que no tiene aportes base ni flujo estacional estable (típico de cauces en zonas áridas).

Estos tipos de ríos no se habían mencionado antes, pero merecen atención especial: su régimen ecológico debe adaptarse a la realidad de que naturalmente el río cesa de fluir en ciertos periodos.

A continuación, se presentan recomendaciones para distribuir los caudales ecológicos en estos sistemas, teniendo en cuenta cuándo llevan agua, cuánto duran las fases húmedas/secas y cómo manejar las avenidas eventuales.

? ¿Cómo caracterizarlos?

Se debe partir del conocimiento del comportamiento natural del río en cuanto a:

- **Cuando lleva agua y cuándo no**
- **Cuánto dura cada fase**
- **Cuán intensos son los episodios de caudal**

? ¿Qué mirar en cada caso?

- **Ríos Temporales**
 - Definir los valores de caudales mínimos y máximos mensuales, como en ríos permanentes.
 - Identificar las épocas y características de los periodos sin caudal.
- **Ríos Intermitentes**
 - Describir las épocas sin caudal, su duración y frecuencia.
 - Valorar el papel de las aguas subterráneas en mantener pozas o remansos.
 - Considerar la importancia de las crecidas para el ciclo biológico.
- **Ríos Efimeros**
 - Identificar la duración de los periodos secos y el comportamiento tras las crecidas.
 - Reconocer el papel de las avenidas en mantener la forma y funciones del cauce.

? ¿Con qué base?

Utilizar series de datos de caudales, si existen, o información histórica y conocimiento local sobre:

- Épocas de sequía
- Avenidas más importantes
- Cambios observados en la vida acuática y vegetación



Descripción Metodológica:

1. **Recoger información** (datos, testimonios, mapas, series si existen)
2. **Describir el comportamiento típico** del río a lo largo del año.
3. **Identificar periodos sin caudal y episodios de crecida.**
4. **Definir un caudal ecológico básico** que respete este comportamiento natural y sus funciones mínimas.

Régimen de caudales ecológicos durante periodos de sequía

Antes de aplicar un régimen especial, es necesario entender **qué constituye una sequía hidrológica** y cómo reconocerla. En el contexto de la planificación, se considera sequía un período prolongado de caudales anormalmente bajos y disponibilidad hídrica reducida, más allá de la variabilidad estacional normal. Suele identificarse mediante **indicadores objetivos** (por ejemplo, índices de escasez o umbrales de caudal/acumulación en embalses) que, una vez sobrepasados, señalan la entrada en estado de sequía. Solo tras declarar formalmente esta situación de sequía (según los criterios legales o técnicos establecidos) se justifica implementar un régimen ecológico excepcional.

? ¿Cuándo aplicarlo? Solo en situación oficial de sequía y bajo las condiciones que establezca el marco legal del país. Es decir, se deberá verificar que la normativa vigente permite adoptar excepciones temporales a los caudales ecológicos durante la sequía (por ejemplo, mediante un plan o protocolo de sequía aprobado por la autoridad competente). De lo contrario, el régimen ecológico ordinario seguirá vigente incluso en periodos secos.

? ¿Cómo debería ser este régimen?

- Más flexible y reducido que el régimen **ordinario**, pero manteniendo:
 - El carácter natural de los mínimos mensuales.
 - Una **proporción respecto a los caudales en condiciones de No sequía** (manteniendo la forma mensual, aunque más bajos).
- Mínimo garantizado: Al menos conservar % de **hábitat potencial útil** (según simulaciones de hábitat) que permita garantizar el buen funcionamiento de los ecosistemas.

? ¿Cómo hacerlo?

- Reducir progresivamente los caudales en proporción a la situación de sequía.
- Mantener la forma natural de los mínimos mensuales (bajar caudales sin alterar su distribución a lo largo del año).
- Simular o comprobar que al menos se mantiene el % de hábitat estimado como mínimo.

? ¿Qué evitar?

- Deterioros ecológicos graves o irreversibles.
- Cambios bruscos o desordenados que puedan dañar los ecosistemas.



Descripción Metodológica:

1. Comprobar legalmente si es aplicable (plan de sequía y normativa).
2. Revisar indicadores hidrológicos y definir el grado de ajuste necesario.
3. Aplicar una reducción gradual y proporcional al régimen ordinario.
4. Asegurar que no se alteran los periodos mínimos mensuales ni se superan límites ecológicos.

Tarea 3: Análisis de consistencia técnica

Antes de su implantación formal, el régimen de caudales ecológicos propuesto debe someterse a una **revisión técnica ex ante**, que permita verificar si responde adecuadamente a los objetivos ecológicos definidos, es coherente con las condiciones hidrológicas del sistema y puede ser operado dentro de las capacidades reales de gestión.

Este proceso constituye una etapa iterativa de análisis técnico que permite, en caso necesario, **ajustar el régimen antes de su adopción definitiva**. Se aplicará preferentemente en aquellos tramos o puntos de control donde se disponga de información hidráulica o resultados de modelación que permitan contrastar los caudales propuestos con condiciones de referencia.

Se consideran dos enfoques complementarios:

1. Evaluación funcional ecológica (en base a simulaciones y coherencia técnica)

Este enfoque busca verificar que los caudales definidos conducen, en teoría, a condiciones ecológicas aceptables, mediante modelos y criterios indirectos:

- **Verificación mediante modelos hidráulico-biológicos** de que los caudales definidos generarían áreas funcionales de hábitat suficientes en escenarios críticos (reproducción, estiaje, etc.).
- **Revisión de la consistencia técnica** entre los caudales definidos y las curvas de preferencia o criterios ecológicos que se utilizaron para su determinación.
- **Análisis comparativo cualitativo** en tramos sin modelación específica: se evalúa si los caudales propuestos se asemejan a los definidos en tramos similares donde sí se aplicaron métodos avanzados (hidrología comparada).

- **Análisis inverso en tramos modelados:** se comprueba si los valores propuestos, introducidos en modelos hidráulicos, reproducen las condiciones (profundidad, velocidad, cobertura) que sustentan su justificación.
- **Comparación con series hidrológicas históricas:** se sitúan los valores definidos dentro del régimen hidrológico natural (e.g., Q95, Q50), evaluando si su magnitud resulta razonable.
- **Revisión cruzada de métodos:** se analiza la coherencia entre los caudales obtenidos por métodos hidrológicos simples y los resultados esperables según modelos de hábitat, cuando estos están disponibles.

2. Evaluación de viabilidad operativa del régimen propuesto

Este enfoque analiza si el régimen puede ser incorporado de manera realista en los esquemas actuales de distribución y gestión del agua, sin generar conflictos operativos o comprometer la garantía de los usos establecidos:

- **Integración del régimen propuesto en balances hídricos**, utilizando herramientas de simulación y escenarios representativos.
- **Estimación del impacto sobre la garantía de suministro** a los diferentes usos, diferenciando por sector (abastecimiento, riego, energía) y localización.
- **Identificación de posibles incompatibilidades técnicas o temporales** entre la implantación del régimen ecológico y los patrones actuales de demanda y regulación.

Los resultados de este análisis deben permitir, cuando sea necesario, **ajustar los valores propuestos con base en criterios técnicos sólidos**, manteniendo la función ecológica del régimen sin comprometer la viabilidad de su aplicación.

Tarea 4: Propuesta de régimen de caudales ecológicos

Este paso se enfoca en traducir los resultados del cálculo de caudales ecológicos en una **propuesta operativa de distribución temporal (usualmente mensual)** para la gestión del recurso. Es decir, se definen valores de caudal ecológico para cada mes (u otra unidad de tiempo pertinente) siguiendo el patrón establecido. Para ello se han de seguir los siguientes pasos:



Descripción Metodológica:

Antes de formular la propuesta final, se deben consolidar los resultados obtenidos en la fase previa de cálculo y validación.

- **Recopilación de valores definitivos de caudal ecológico:**
 - Caudal mínimo, Caudales máximos, tasas de cambio y caudales de crecida.
 - Ajustes basados en la validación ecológica y socioeconómica.
- **Análisis de compatibilidad con la gestión del agua:**
 - Identificación de restricciones operativas en embalses y tomas de agua.
 - Evaluación de impactos en usos del agua (abastecimiento, riego, hidroeléctrica).



Importante:

Puede resultar conveniente que las medidas para la implantación de los caudales ecológicos se adopten a nivel de gestión general, asegurando un marco homogéneo para todos los usuarios. Por tanto, en términos operativos, **cada embalse y derivación en la cuenca debería ajustar sus reglas de operación** para dar cumplimiento al régimen de caudales ecológicos establecido. Esto se debería implementar mediante disposiciones legales o reglamentarias de carácter general (p. ej., condicionantes en las concesiones, normas técnicas de operación), garantizando así una aplicación uniforme en toda la cuenca o en todo el país.

No se abordarán soluciones caso por caso en el Plan, sino que se sentarán las bases para que las autoridades competentes desarrollen la reglamentación necesaria que permita la adaptación de todas las infraestructuras hidráulicas al nuevo régimen ecológico de caudales, en los términos que consideren procedentes.

Tarea 5: Proceso de concertación

Una vez definida técnicamente la propuesta de régimen de caudales ecológicos, se desarrollará un proceso de **concertación** con los usuarios del agua y demás actores involucrados (sector de riego, hidroeléctricas, abastecimiento, autoridades locales y ambientales, comunidades, etc.).

Este proceso consistirá en mesas de diálogo y consultas en el ámbito de la cuenca, coordinadas por la autoridad hídrica, para presentar los caudales propuestos, discutir sus implicaciones y recoger aportes.

El objetivo es lograr un **acuerdo social** en la implementación de los caudales ecológicos, equilibrando la protección ecológica con las necesidades socioeconómicas.

Cabe destacar que la concertación se llevará a cabo buscando el mayor consenso posible. Este paso asegura transparencia, legitimidad y compromiso de todos con las medidas adoptadas, en línea con los principios participativos de la GIRH.

Tarea 6: Implantación de caudales ecológicos

Con los caudales ecológicos ya concertados y formalmente adoptados en el Plan, se pasa a su **implantación** en la gestión del agua. En primer lugar, se emitirá el acto administrativo o normativo que establezca la **obligatoriedad legal** de respetar los nuevos caudales ecológicos para todos los aprovechamientos (p. ej., una resolución de la autoridad del agua que modifique las condiciones de las concesiones existentes). Se definirá una **estrategia de implementación progresiva**, cuando sea necesaria, diferenciando zonas o permitiendo un período de adaptación: por ejemplo, escalonar los caudales ecológicos incrementándolos gradualmente hasta alcanzar el valor pleno en un cierto número de años, especialmente en cuencas altamente reguladas.

Durante la implantación, se pondrá en marcha el **sistema de monitoreo y control** para verificar el cumplimiento. Si en la fase de seguimiento se detecta que algún caudal ecológico no cumple su función o genera impactos no previstos, se activarán los mecanismos de **gestión adaptativa**: es decir, se propondrán ajustes al régimen en la siguiente revisión del Plan.

En síntesis, esta tarea traduce las medidas de papel a la realidad operativa, garantizando que los caudales ecológicos pasen de ser números en el plan a flujos concretos en los ríos.

Tarea 7: Monitoreo, cumplimiento y seguimiento

La implementación de caudales ecológicos no es suficiente por sí sola, es esencial garantizar su cumplimiento y evaluar su efectividad a lo largo del tiempo. Para ello, se requieren mecanismos legales sólidos, monitoreo continuo y un enfoque adaptativo que permita ajustes cuando sea necesario. A continuación, se apuntan las claves principales para el **cumplimiento** de los caudales ecológicos.

- El éxito de los caudales ecológicos depende en gran medida de su inclusión en el marco normativo y la existencia de mecanismos para poder exigir su cumplimiento.
- Debe establecerse su obligatoriedad para distintos sectores (hidroeléctricas, riego, abastecimiento urbano, industria, etc.).
- Las autoridades responsables deben tener competencias claras para su supervisión y aplicación.
- Será necesario definir qué se va a considerar un fallo en el cumplimiento de los caudales ecológicos; es decir, el paso de tiempo para el análisis que puede ser, instantáneo, horario, diario...etc.
- Se deben definir sanciones económicas, administrativas y legales para usuarios que no cumplan con los caudales ecológicos.
- Es clave que la fiscalización se realice mediante inspecciones regulares y auditorías hidrológicas.

En cuanto al **seguimiento**, no basta con establecer valores de referencia, sino que es fundamental desarrollar una metodología robusta. Para ello, se deben considerar varios aspectos clave:

- a. Selección de indicadores
- b. Diseño de una red de monitoreo
- c. Validación de los caudales ecológicos
- d. Herramientas para el seguimiento
- e. Implementación de medidas correctoras



Descripción Metodológica:

Paso 1: Selección de indicadores para el seguimiento

El seguimiento debe basarse en indicadores hidrológicos, ecológicos y socioeconómicos que permitan evaluar el impacto real de los caudales ecológicos en los ecosistemas. Se pueden considerar los siguientes indicadores:

- **Indicadores Hidrológicos:** Variabilidad del caudal, cumplimiento del régimen de caudales ecológicos (caudal mínimo, máximo, tasas de cambio).
- **Indicadores Ecológicos:** Estado de las comunidades biológicas (macroinvertebrados, peces, vegetación ribereña), conectividad fluvial, calidad del hábitat.
- **Indicadores Socioeconómicos:** Impacto en el uso del agua para abastecimiento, riego, hidroenergía, percepción de actores locales.

Paso 2: Diseño de una red de monitoreo

Para asegurar un seguimiento efectivo, se deben establecer estaciones de monitoreo en puntos estratégicos:

- Tramos prioritarios según vulnerabilidad ecológica (zonas de reproducción de especies clave, áreas protegidas).
- Ríos regulados por presas o con alta extracción de agua.
- Tramos de referencia en buen estado para comparar tendencias.

La **frecuencia del monitoreo** dependerá del tipo de indicador. Los datos hidrológicos deben obtenerse, si es posible, en tiempo real o, si ello no fuera posible, con mediciones diarias continuas (caudales instantáneos), mientras que los indicadores ecológicos pueden evaluarse trimestral o anualmente, dependiendo del ciclo de vida de las especies de interés.

Paso 3: Verificación de los caudales ecológicos

El cumplimiento del régimen de caudales ecológicos debe verificarse mediante:

- Comparación entre caudales medidos y valores objetivo, identificando desviaciones y sus causas (sequías, extracciones ilegales, fallos en la operación de infraestructuras).
- Evaluación de la respuesta ecológica, midiendo la recuperación de hábitats y especies sensibles.

Herramientas para el seguimiento: Existen diversas metodologías y tecnologías para mejorar la evaluación de los caudales ecológicos:

- Técnicas de teledetección para identificar cambios en la vegetación de ribera y humedales asociados al régimen de caudales.
- Bioindicadores como peces migratorios, macroinvertebrados o vegetación acuática, que permiten detectar efectos a mediano y largo plazo.

Paso 4: Implementación de medidas correctivas

Si el monitoreo revela incumplimientos o efectos negativos no previstos, se deben activar mecanismos de ajuste, tales como:

- Ajuste, en la siguiente revisión del plan permitiendo la revisión de los caudales establecidos si se detecta que no cumplen con los objetivos ecológicos previstos. Ajustes de modelos usados para la estimación de caudales.
- Modificación de la operación de infraestructuras (por ejemplo, cambios en la curva de desembalse de una presa).
- Reforestación de áreas ribereñas para mejorar la infiltración y reducir la erosión.



Recomendación:

En ausencia de datos se pueden usar métodos alternativos. Por ejemplo, pueden llevarse a cabo acciones como:

- **Monitoreo comunitario:** Se capacita a pobladores locales para hacer mediciones periódicas con métodos sencillos (flotadores, aforos manuales, registros visuales).
- **Indicadores ecológicos cualitativos:** Se observan cambios en la vegetación riparia, presencia de peces y estado de pozas permanentes como señal de cumplimiento o incumplimiento del caudal ecológico.
- **Fotomonitoring:** Uso de fotografías en puntos fijos del río para documentar variaciones en el caudal y hábitat acuático.

Tareas a realizar en contextos con información insuficiente

Objetivo: Establecer un procedimiento simplificado e intermedio y provisional para la determinación de caudales ecológicos en situaciones de baja disponibilidad de información, que permita generar valores de referencia iniciales y sentar bases para procesos participativos y estudios futuros.

Consideraciones Previas:

- Contexto hidrológico limitado (sin series largas de caudal).
- Poca información sobre fauna acuática.
- Enfoque adaptado a condiciones tropicales y subtropicales.



Descripción Metodológica:

Tarea 1: Delimitación y selección de tramos prioritarios

- Identifique los tramos fluviales prioritarios (alta biodiversidad, captaciones relevantes, conflictos de uso).
- Recopile información disponible sobre usos actuales del agua, alteraciones y presiones significativas (presas, derivaciones, vertidos).
- Defina claramente la ubicación geográfica y extensión longitudinal del tramo seleccionado.

Herramientas recomendadas:

- Imágenes satelitales (Google Earth, Sentinel).
- Información local y entrevistas con actores clave (usuarios del agua, técnicos locales).

Tarea 2: Caracterización básica del régimen hidrológico

Este paso consiste en obtener una estimación simplificada pero rigurosa del régimen hidrológico del tramo fluvial seleccionado, especialmente importante en contextos latinoamericanos donde los registros hidrológicos suelen ser limitados o incompletos. La caracterización básica del régimen hidrológico busca definir parámetros esenciales de caudal mediante métodos indirectos o simplificados, permitiendo obtener información preliminar suficiente para la determinación posterior del caudal ecológico. Este paso no determina aún el caudal ecológico, sino que caracteriza cuál es la situación hidrológica general del tramo.

Actividades específicas del paso:

1. Recopilación y análisis preliminar de información disponible

- Identifique toda fuente de datos hidrológicos disponible:

- Estudios técnicos o científicos anteriores (instituciones ambientales, tesis académicas, ONGs).
- Registros históricos parciales o aforos puntuales existentes, aunque sean discontinuos.
- Información climática regional básica (precipitación anual media, estaciones meteorológicas cercanas, mapas de evapotranspiración).

2. Estimación preliminar del régimen hidrológico con métodos indirectos

En ausencia de información continua o detallada de caudales diarios o mensuales, se emplean métodos hidrológicos simplificados, ampliamente aceptados en la región por su validación técnica y facilidad de implementación:



Importante:

- Estos métodos simplificados aportan una estimación preliminar en contextos con escasez de datos hidrológicos continuos o detallados.
- Deben considerarse como resultados iniciales provisionales.
- Debe señalarse explícitamente la importancia de obtener mejores datos a futuro (mediciones continuas, estaciones hidrológicas permanentes, monitoreo regular) para mejorar la precisión de la caracterización hidrológica del tramo.

Tarea 3: Métodos hidrológicos simplificados recomendados y su procedimiento técnico

A. Método de Percentiles de Excedencia (Q90/Q95)

Este método se basa en la determinación del caudal mínimo habitual en periodos críticos de estiaje:

- **Q95:** Caudal excedido el 95% del tiempo; caudal mínimo habitual que asegura condiciones mínimas de sostenibilidad ecológica.
- **Q90:** Caudal excedido el 90% del tiempo; levemente superior al Q95, menos conservador.

¿Cómo estimarlo en contexto limitado?:

- Realizar campañas puntuales de aforos durante la época de mínimo caudal (estiaje severo).
- Obtener mínimo 3-5 valores puntuales de aforo, idealmente distribuidos en diferentes años.
- Establecer el valor mínimo observado o la media de los mínimos obtenidos, como una primera estimación indirecta de Q90/Q95.
- Usar información de estaciones hidrológicas cercanas (si existen, aunque sean incompletas) para una interpolación básica que apoye el valor obtenido en campo.

B. Método del Porcentaje del Caudal Medio Anual (%QMA)

Este método permite una estimación preliminar del régimen hidrológico básico a partir del caudal medio anual (QMA) obtenido por métodos indirectos, como ecuaciones regionales lluvia-escurrentía.

¿Cómo aplicarlo técnicamente en contexto limitado?:

- Emplear ecuaciones empíricas regionales validadas localmente que calculan el caudal medio anual a partir de datos fáciles de obtener como precipitación media anual, área de cuenca, pendiente, cobertura vegetal y tipos de suelo.
- Una vez estimado el caudal medio anual mediante estas ecuaciones indirectas, selecciona un porcentaje recomendado en el país o en otros estudios según la presión de uso.

Ejemplo simplificado de cálculo:

- Supongamos que, mediante una ecuación regional lluvia-escurrentía, se estimó que el caudal medio anual indirectamente obtenido para una cuenca específica es de 4 m³/s.
- Se selecciona como primera referencia un porcentaje medio del 15% → Caudal preliminar simplificado: 0,6 m³/s.



Herramientas recomendadas

- **Software libre especializado en hidrología:** Programas gratuitos con capacidad de:

- Estimar caudales mediante métodos indirectos (lluvia-escorrentía, interpolación hidrológica básica).
- Calcular rápidamente estadísticas hidrológicas básicas (percentiles Q90/Q95).
- **Herramientas SIG (Software libre):** Permiten la obtención de información espacial básica necesaria para estimaciones indirectas (superficie de cuenca, curvas de nivel, cobertura vegetal, precipitación especializada).
- **Hojas de cálculo convencionales:** Utilizadas para implementar fórmulas regionales simplificadas (por ejemplo, ecuaciones empíricas de escorrentía anual o estadísticas básicas para percentiles Q90/Q95).

Tarea 4: Análisis básico de especies indicadoras

Aunque no se realicen métodos hidrobiológicos formales por limitación de recursos o datos, es importante no ignorar totalmente los aspectos biológicos en la determinación inicial de caudales ecológicos. La razón es la siguiente:

- Los caudales ecológicos, por definición, tienen como objetivo mantener un régimen hidrológico mínimo compatible con la conservación básica de la vida acuática.
- Aún con limitada información, es técnicamente recomendable incorporar una aproximación cualitativa básica que considere las necesidades ecológicas mínimas de la fauna acuática local.
- Se trata, por tanto, de hacer una valoración cualitativa simplificada, más que estudios cuantitativos complejos.

En contextos con información limitada, la determinación del caudal ecológico debe integrar un criterio biológico simplificado y fácilmente realizable. Para ello, el procedimiento técnico recomendado sería:

1. **Selección sencilla de especies clave (cualitativa):**
 - Seleccionar especies indicadoras bien conocidas, relevantes ecológica o socialmente, y de presencia conocida en el tramo (peces migratorios, especies de interés pesquero local o en riesgo conocido).
 - Esta selección puede realizarse mediante una breve consulta bibliográfica o entrevistas cortas con actores locales (pescadores, técnicos ambientales locales, universidades locales).
2. **Identificación básica de periodos críticos (sin mediciones formales):**
 - Documente cualitativamente periodos de reproducción, migración, crecimiento, o estiaje severo conocidos por la comunidad local o expertos locales.
 - Esto permite ajustar ligeramente la distribución temporal del caudal ecológico preliminarmente estimado.
3. **Consulta de información previa disponible (sin estudios específicos nuevos):**
 - Revisar brevemente estudios locales o regionales existentes (tesis académicas, informes técnicos, documentos institucionales locales) sobre especies acuáticas relevantes en la región o tramo específico.
4. **Validación visual cualitativa en campo:**
 - Observar en campo (en época seca o crítica) si el caudal estimado preliminarmente mantiene hábitats mínimos (como pozas, áreas de refugio, conexión del cauce, etc.) que puedan satisfacer condiciones mínimas para las especies identificadas.



Recomendación:

- Debe quedar claro que este paso es **explícitamente cualitativo y simplificado**, no implicando métodos hidrobiológicos formales.
- La selección de especies indicadoras debe basarse en conocimiento local o documentación previa sencilla y fácilmente accesible, no en nuevos estudios.
- Debe aclararse explícitamente que esta aproximación básica es una primera etapa provisional hasta disponer de información biológica más robusta.
- Si incluso la identificación cualitativa de especies clave resulta inviable o incierta, es posible sustituir este paso directamente por una validación visual cualitativa general del hábitat fluvial durante el periodo de caudal mínimo crítico. Es decir, evaluar únicamente la conexión mínima de hábitats visibles y presencia general de fauna, sin especificar especies concretas.

Tarea 5: Cálculo preliminar del caudal ecológico (método simplificado hidrológico adaptado)

Este paso consiste en aplicar métodos simplificados y validados regionalmente para la estimación preliminar del caudal ecológico en cuencas con limitada información hidrológica. La elección del método dependerá especialmente de la disponibilidad y calidad de los datos hidrológicos existentes, las características del tramo analizado, y los objetivos ecológicos preliminares definidos previamente.

En situaciones frecuentes, especialmente en pequeñas y medianas cuencas o cuencas con escasos registros hidrométricos, es habitual no contar con datos diarios o mensuales detallados, **pero sí disponer de estimaciones indirectas del caudal medio anual** obtenidas a través de métodos regionales simplificados (ecuaciones empíricas, métodos de regresión hidrológica regional, curvas regionales lluvia-escurrentía, entre otros).

Se proponen los siguientes métodos adaptados al contexto latinoamericano con su desarrollo técnico:

1. Método del Porcentaje del Caudal Medio Anual (%QMA)

Este método establece el caudal ecológico preliminar a partir de un porcentaje estimado sobre el caudal medio anual (QMA) (paso 2). Su aplicación es especialmente útil cuando se dispone únicamente de una estimación general indirecta del caudal medio anual, obtenida mediante:

- Ecuaciones empíricas regionales (lluvia-escurrentía) que utilizan variables hidrológicas y físicas sencillas (precipitación media anual, área de la cuenca, tipo de cobertura, pendiente media).
- Registros históricos muy limitados o aforos puntuales.

Procedimiento metodológico:

- Utilizar el valor de caudal medio anual (QMA) obtenido previamente mediante ecuaciones empíricas regionales (ver Paso 2).
- Aplicar un porcentaje del QMA como estimación inicial del **caudal ecológico**, seleccionando el valor en función del nivel de presión hídrica y del grado de incertidumbre disponible:
 - En contextos de alta presión sobre el recurso o falta de información fiable, se recomienda adoptar valores más altos del rango como medida precautoria.
 - En cuencas con baja presión hídrica o buena conectividad ecológica, puede aplicarse un valor más conservador del rango inferior.

Ejemplo de aplicación práctica:

Imaginemos que, aplicando una fórmula que relaciona precipitación media anual, área de la cuenca y un coeficiente de escurrentía, se ha estimado que el **caudal medio anual (QMA)** para el tramo estudiado es de **3,2 m³/s**. (Paso 2).

A partir de este valor, se procede a calcular un **caudal ecológico preliminar** aplicando los porcentajes definidos en el procedimiento anterior:

- **10% del QMA** → 0,32 m³/s → aplicable si la cuenca presenta baja presión o buen estado ecológico.
- **20% del QMA** → 0,64 m³/s → recomendable si existe alta presión sobre el recurso, alteración hidrológica o incertidumbre significativa.

Quando **no se dispone de suficiente información** para determinar con claridad el grado de presión o alteración, es habitual aplicar un criterio precautorio intermedio.

En estos casos se propone un valor de **% del QMA**, menor a los anteriores que ofrece un equilibrio entre conservación y viabilidad de gestión:

2. Método de Percentiles de Excedencia (Q90/Q95)

El método Q90/Q95 es ampliamente empleado en Latinoamérica cuando se tienen series limitadas o registros puntuales de caudal, y permite estimar un valor conservador de caudal ecológico para situaciones de estiaje extremo:

- Q95: valor de caudal excedido el 95% del tiempo (caudal mínimo habitual). Usado como referencia mínima precautoria para mantener vida acuática básica.
- Q90: valor excedido el 90% del tiempo. Ligeramente menos restrictivo que el Q95 y apropiado cuando la presión de uso es moderada.

Procedimiento metodológico simplificado:

- Si no dispones de datos diarios o mensuales directos, puedes estimar Q90 o Q95 a partir de aforos puntuales realizados en periodos de estiaje (campanas específicas).
- Si existe una estación hidrológica cercana (aunque sea corta o discontinua), extrapola mediante métodos simplificados (interpolación hidrológica básica).

Ejemplo práctico simplificado:

- Realiza campañas de medición en épocas secas.
- Establece un valor medio de estos aforos y considéralos como un valor de referencia del Q95 o Q90 (dependiendo de su severidad).

3. Método de Tennant adaptado (porcentajes diferenciados estacionales)

En contextos latinoamericanos donde existen al menos datos básicos estacionales (lluvia seca/húmeda) y alguna estimación del caudal medio anual, es posible usar el método simplificado de Tennant adaptado.

Procedimiento metodológico simplificado:

- Divide el año en dos o tres periodos hidrológicos claramente definidos (seco, húmedo, transición).
- Usa porcentajes adaptados regionalmente (por ejemplo):
 - Periodo seco crítico: 10–20% QMA
 - Periodo húmedo o transición: 30–40% QMA
- Este método permite un manejo más adaptado a condiciones hidrológicas locales, aun cuando la información es limitada.

Ejemplo práctico simplificado:

- Si la estimación indirecta del caudal medio anual es 5 m³/s:
 - Periodo seco: 15% QMA → 0.75 m³/s
 - Periodo húmedo: 35% QMA → 1.75 m³/s



Herramientas recomendadas

- Software libre especializado en hidrología: Herramientas informáticas gratuitas para realizar cálculos hidrológicos simples, realizar aforos puntuales, procesar ecuaciones regionales empíricas o generar series hidrológicas simplificadas.
- Sistemas de Información Geográfica (SIG) libres: Para realizar análisis espacial básico, delimitación de cuencas, estimaciones indirectas (mediante capas de precipitación, cobertura vegetal y suelo).

Capítulo 3.4.

Uso del agua, balances y asignación de recursos

- Hojas de cálculo convencionales para cálculo sencillo del porcentaje QMA y aplicación de porcentajes estacionales.

Tarea 6: Talleres participativos locales

- Organiza al menos un taller con actores clave: usuarios del agua, técnicos locales, autoridades ambientales, comunidades indígenas y locales.
- Presenta los resultados preliminares y obtén retroalimentación sobre la factibilidad y la percepción local del caudal propuesto.



Herramientas recomendadas:

- Metodologías participativas simples (mapas participativos, entrevistas semiestructuradas).
- Documentación gráfica para facilitar comunicación (fotografías, gráficos claros y sencillos).

Tarea 7: Ajuste definitivo del régimen preliminar de caudales ecológicos

- Integra los aportes técnicos y locales obtenidos en talleres.
- Formula un régimen inicial de caudales ecológicos (mensual o estacional según capacidad de gestión).
- Documenta las limitaciones, incertidumbres y propone claramente la necesidad de revisión posterior cuando exista mejor información.



Ventajas del enfoque propuesto:

- Adaptado específicamente para Latinoamérica.
- Técnicamente riguroso pero aplicable en contextos de limitación de datos.
- Económicamente viable (baja inversión inicial, uso de herramientas abiertas).
- Integración de actores locales en la validación y adopción inicial de caudales ecológicos.



Limitaciones:

- Resultados iniciales deben ser revisados periódicamente conforme se obtenga más información.
- Dependiente de la validación visual en campo y el juicio experto local.

GUÍAS

Guía 1: Metodologías para el cálculo de caudales ecológicos y ambientales en ríos regulados en México

https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/metodologias-calculo-presas/files/assets/basic-html/page158.html

Guía 3: Caudal ecológico del río Chambas en la provincia Ciego de Ávila (Cuba)

<http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v37n1/riha05116.pdf>

Guía 3: Guía para la determinación de caudal ecológico en México

https://www.researchgate.net/profile/Juan-Reyes-Gonzalez/publication/264457391_Guia_para_la_determinacion_de_caudal_ecologico_en_Mexico/links/53dfebc90cf2aede4b4a91d1/Guia-para-la-determinacion-de-caudal-ecologico-en-Mexico.pdf

Guía 4: Estudios técnicos de caudales ecológicos en la cuenca Chancay-Huaral (Perú)

<https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-lima/archivos/public/docs/2807-qeco.pdf>

Capítulo 3.4.

Uso del agua, balances y asignación de recursos

Guía 5: IberHABITAT: evaluación de la idoneidad del hábitat físico y del hábitat potencial útil para peces (río Eume)

 https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/180239/KR_07.pdf

Guía 6: Guía metodológica para determinar el caudal ambiental para centrales hidroeléctricas en el SEIA (Chile)

 https://www.sea.gob.cl/sites/default/files/imce/archivos/2017/12/19/guia_metodologica_caudal_ambiental.pdf

Guía 7: Metodología para la determinación y evaluación de caudales ecológicos y planes de manejo de cuencas en Paraguay

 <https://www.mades.gov.py/wp-content/uploads/2023/06/Estado-del-Arte.-2.1.-Caudal-Ecologico.pdf>

Guía 8: Recomendaciones para la concertación de regímenes ecológicos de caudales en la planificación hidrológica española

 <https://www.fnca.eu/images/documentos/ODMA/4a%20FASE/docu316.pdf>

Guía 9: Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012 sobre caudales ecológicos

 <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166834/NMX-AA-159-SCFI-2012.pdf>

Guía 10: Curvas de preferencia para especies piscícolas de las cuencas del Guadiana y Guadalquivir

 https://www2.montes.upm.es/Dptos/dsrn/Hidrobiologia/INFORMES/CurvasPreferencia_ot.pdf

Guía 11: *Ecological Flows in the Implementation of the Water Framework Directive* (UE)

 [https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/agua/publicaciones/Guidance%20No%2031%20-%20Ecological%20flows%20\(final%20version\).pdf](https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/agua/publicaciones/Guidance%20No%2031%20-%20Ecological%20flows%20(final%20version).pdf)

Guía 12: Análisis del método de porcentaje utilizado por la Dirección de Agua para determinar el caudal ambiental (Costa Rica)

 <https://da.go.cr/wp-content/uploads/2021/02/ANALISIS-METODO-PORCENTAJE-UTILIZADO-POR-LA-DIRECCION-DE-AGUA-PARA-DETERMINAR-CAUDAL-AMBIENTAL.pdf>

[3.4.4] Balance de recursos-demandas y la asignación y reserva de recursos hídricos

Definición: El **balance entre recursos y demandas** constituye uno de los ejes técnicos de análisis en la planificación hidrológica. A través de este procedimiento se compara la disponibilidad efectiva de recursos hídricos con las demandas existentes y futuras, permitiendo evaluar la capacidad de cada sistema de explotación (o unidad de gestión) para atenderlas bajo distintos escenarios hidrológicos. Una vez obtenido el diagnóstico de cobertura, presión o déficit, el plan puede aplicar, si se dispone de la información necesaria y un sistema concesional desarrollado, el proceso de **asignación y reserva de recursos**. Este proceso consiste en proponer una distribución técnica del recurso entre los distintos tipos de uso y, si procede, reservar volúmenes para futuras demandas justificadas dentro del horizonte del plan.

Objetivo: Los balances permiten obtener una visión precisa y cuantificada de la situación hídrica del sistema, identificando el grado de cobertura alcanzado, los niveles de garantía por tipo de uso, y las posibles situaciones de estrés hídrico o déficit.

A partir de estos resultados, el proceso de asignación busca garantizar una distribución eficiente, equitativa y sostenible del recurso, respetando los compromisos ambientales y sociales, priorizando los usos estratégicos y permitiendo la inclusión ordenada de nuevas demandas.

En los casos en que no sea viable aplicar una asignación formal, el balance detallado sigue siendo una herramienta útil para orientar decisiones de gestión, establecer prioridades de actuación y diseñar medidas progresivas de mejora.

Utilidad:

El análisis de balances y asignación aporta valor en múltiples niveles de la planificación hidrológica:

- Justifica técnicamente las decisiones sobre el reparto del recurso y la atención a la demanda.
- Permite anticipar déficits estructurales y proponer medidas de ajuste (eficiencia, regulación, obras, control de usos).
- Orienta la ordenación de usos y la programación de reservas en función del grado de cobertura alcanzado.
- Apoya decisiones concesionales, especialmente en contextos donde los derechos de uso deben estar alineados con la disponibilidad real.
- Refuerza la transparencia del proceso de planificación, al permitir que las decisiones estén basadas en evidencia técnica.

Contenidos que deben incluirse en un Plan Hidrológico

El plan hidrológico debe contener de manera clara y sistemática los resultados de los balances hídricos (recursos vs. demandas) desglosados por sistema de explotación o unidad de gestión. A partir de esos balances, se justifican las asignaciones a cada tipo de uso y las reservas previstas para demandas futuras, respetando siempre las restricciones ambientales si se hubieran considerado como tales (por ejemplo: caudales mínimos, zonas de reserva o requerimientos de calidad, entre otros).

El plan hidrológico debería incluir en contextos de información limitada o media o donde no se ha desarrollado el sistema concesional:

- **Sistemas de explotación como elemento de análisis.**
- **Balances recursos-demandas.**

En contextos de disponibilidad alta de información y capacidad para aplicar el proceso de asignación y reserva de los recursos, además de lo anterior se debe incluir:

- **Metodología general para la asignación y reserva de recursos.**
- **Asignación de recursos por tipo de uso y nivel de garantía alcanzado y las reservas previstas para demandas futuras.**

El trabajo de asignar los recursos va a necesitar disponer de los resultados de otras tareas que se habrán tenido que desarrollar previamente o al menos en clara conexión con esta actividad, en particular:

- **Inventario recursos hídricos.**
- Catálogo de unidades de demanda (**Descripción general de usos y demandas**)
- Descripción suficientemente detallada, a efectos de su documentación en las herramientas de balance, del **patrimonio hidráulico y sus reglas de operación.**

Sistemas de explotación como elemento de análisis

Desarrollo del contenido en *Tarea 1: Descripción de los sistemas de explotación o unidad de gestión seleccionada*

En el marco del plan hidrológico, el **sistema de explotación** constituye la **unidad operativa fundamental** para realizar los balances entre los recursos y las demandas, y por tanto para plantear el análisis de la asignación y reserva de recursos. Cada sistema agrupa cuerpos de agua, infraestructuras hidráulicas y demandas que interactúan bajo unas determinadas reglas de operación adoptadas dentro de un mismo ámbito territorial.

Delimitación y descripción del sistema o unidad de explotación

El plan debe incluir una **descripción clara de cada sistema**, detallando:

- Su **delimitación geográfica.**
- Los **elementos físicos y operativos** que lo componen.
- Su **estructura de funcionamiento** (regulación, transporte, atención a demandas).
- Y, si existen, sus **interconexiones** con otros sistemas de explotación.

Esta caracterización ofrece el marco espacial y técnico necesario para realizar los balances hídricos y fundamentar las decisiones de asignación y gestión dentro del plan.



Importante:

El **sistema de explotación** constituye el **marco técnico de análisis** para realizar balances hídricos, asignaciones y reservas. No obstante, en ciertos casos puede ser necesario introducir **estructuras jerárquicas adicionales** (como subsistemas o sectores operativos, o incluso reunir varios sistemas en un esquema unificado), por ejemplo, cuando se gestionan cuencas interconectadas, zonas con diferentes patrones de uso, o infraestructuras compartidas.

En tales situaciones, se recomienda justificar técnicamente esta división o agrupación, asegurar su coherencia con el modelo de simulación empleado y mantener la consistencia en su aplicación a lo largo de todo el análisis.

Balances recursos-demandas

Desarrollo del contenido en *Tarea 2: Balances hídricos por sistema de explotación*

El plan hidrológico debe incluir los resultados del **análisis comparativo entre los recursos hídricos disponibles y las demandas existentes y previstas** en cada sistema de explotación. Estos balances constituyen el punto de partida técnico del proceso de asignación y reserva de recursos, ya que permiten evaluar la capacidad del sistema para atender las demandas en distintos escenarios hidrológicos y bajo condiciones operativas realistas.

El análisis puede realizarse con **diferentes niveles de detalle**, en función de la información disponible y del grado de desarrollo del sistema de gestión:

- **Simplificado:** cuando no se dispone de información suficiente o desagregada, el balance se realiza considerando únicamente los **valores globales** de recursos y demandas del sistema de explotación. Esta aproximación simplificada puede ser muy peligrosa y llevar a interpretaciones manifiestamente erróneas. Por ejemplo, en España los recursos hídricos anuales medios superan los 100.000 millones de metros cúbicos mientras que las demandas rondan los 30.000 millones de metros cúbicos anuales, la comparación de ambas cifras podría conducir a interpretar la ausencia de problemas de suministro y de atención de demandas, cuando la realidad de hecho dista de corresponder con esa interpretación. Sin embargo, y con las debidas precauciones, este enfoque simplificado puede ayudar a detectar si existe un déficit general, aunque no permite identificar **en qué parte del sistema se produce ni con qué demandas**. (**Tareas a realizar en contextos con información limitada**). De esta manera no se aportan resultados de detalle, por lo que sólo una tiene validez muy limitada, a título general, en análisis globales comparativos.
- **Detallado:** cuando se conoce la estructura interna del sistema y se pueden representar los elementos que lo componen (usos, fuentes, nodos de demanda, infraestructuras, reglas de operación...). Esto permite **localizar geográficamente los recursos y demandas**, modelizar el funcionamiento del sistema e identificar zonas potencialmente deficitarias y mejorar la capacidad operativa del análisis. De esta manera es como el balance realmente alcanza su mayor utilidad, al poder aportar resultados de forma detallada.

En todos los casos, se recomienda ejecutar el balance a escala del **sistema de explotación**, que es la unidad técnica de análisis más eficiente de cara a la elaboración de un plan. Lo que varía no es la escala territorial, sino el **nivel de desagregación interna** que puede alcanzarse dentro del sistema, en función del grado de conocimiento técnico e información disponible.

Este enfoque progresivo permite adaptar el análisis a contextos diversos, fortaleciendo la base técnica para la asignación de recursos y permitiendo avanzar progresivamente hacia una planificación más detallada y operativa.

La información generada en este apartado permite:

- Detectar déficits estructurales o zonas críticas.
- Identificar oportunidades de mejora en la eficiencia, regulación y priorización de demandas.
- Justificar técnicamente la asignación de recursos y la programación de reservas.

Los siguientes apartados desarrollan los componentes técnicos necesarios para llevar a cabo este análisis: estimación de los recursos disponibles, cuantificación de demandas, modelización del sistema, procedimiento de balance y presentación del diagnóstico final.

Estimación de los recursos hídricos disponibles

Se debe llevar a cabo una cuantificación de los recursos hídricos que se consideran disponibles en cada sistema de explotación para la atención de las demandas. El análisis debe contemplar tanto los recursos superficiales como los subterráneos, incluyendo las aportaciones medias obtenidas a partir de series históricas representativas. Asimismo, deben considerarse los recursos no convencionales, como la reutilización de aguas residuales o la desalación, en los casos en que estén presentes.



Importante:

El cálculo de los recursos hídricos disponibles debe derivarse de la información contenida en el **Inventario recursos hídricos**, a fin de garantizar la coherencia metodológica en todo el plan.

La disponibilidad efectiva de recursos puede calcularse **descontando del volumen bruto** los caudales ecológicos (cuando se consideran como restricción operativa), las pérdidas por evaporación o infiltración, y otras limitaciones ambientales o técnicas. Y tomando en consideración también la capacidad de los embalses y otras infraestructuras para acomodar los suministros a las demandas.

La forma de aplicar esta estimación dependerá del nivel de detalle del balance:

- En enfoques **simplificados**, se estima un volumen total disponible para todo el sistema de explotación, sin discriminar espacial ni funcionalmente su origen o distribución.
- En análisis más **detaillados**, se asocian los recursos a subzonas o nodos específicos del sistema, permitiendo representar su localización y comportamiento con mayor precisión. La estimación debe basarse en **series de aportaciones mensuales suficientemente largas** que permitan representar la variabilidad hidrológica del sistema, incluyendo años medios, húmedos, secos, condiciones de sequía, y demás circunstancias.

Caracterización y cuantificación de las demandas

El plan debe ofrecer una visión detallada de las demandas hídricas dentro de cada sistema de explotación, **agrupadas por tipo de uso** (abastecimiento urbano, agrícola, industrial, ambiental, etc.) y organizadas en unidades de demanda (conforme hayan sido definidas en la tarea de **Descripción general de usos y demandas de agua**). Esta información constituye uno de los pilares del balance, por lo que debe ser **técnicamente fundamentada y trazable**.

En el caso de **balances detallados**, estas demandas deben estar **desagregadas espacial y temporalmente**:

- Ubicadas geográficamente dentro del sistema y vinculadas a infraestructuras y nodos de demanda concretos, en caso de que exista información suficiente.
- Distribuidas en **series tipo que representan la distribución**, para capturar estacionalidad y coincidencia con la disponibilidad del recurso.

En cambio, en análisis más **simplificados o agregados**, las demandas pueden estimarse como **volúmenes totales por tipo de uso** en el conjunto del sistema, sin localización precisa, aunque esto limita la posibilidad de priorización operativa y de identificación geográfica de déficits.

Además de las demandas actuales, deben identificarse aquellas **demandas futuras justificadas** cuya entrada en servicio esté prevista dentro de los horizontes del plan. Para su inclusión, se requiere justificar técnicamente su probabilidad de ocurrencia mediante referencias como:

- Planes sectoriales aprobados.
- Proyectos urbanísticos en trámite.
- Iniciativas agrícolas registradas o en evaluación administrativa.
- Etc.

Modelización del sistema

El plan hidrológico debe establecer cómo se ha representado el funcionamiento del sistema de explotación para simular la relación entre recursos disponibles y demandas. La modelización debe permitir reproducir la operación del sistema bajo distintos escenarios hidrológicos, identificando su capacidad de atención a las demandas y posibles déficits.

La representación del sistema debe incorporar, en la medida de lo posible, los siguientes elementos funcionales:

- **Cuerpos de agua:** ríos, embalses, acuíferos ...
- **Infraestructuras hidráulicas:** presas, conducciones, canales, estaciones de bombeo, derivaciones,
- **Nodos de demanda**
- **Reglas de operación** y restricciones técnicas o ambientales (si los caudales ecológicos se hubieran establecido como tales).
- **Prioridad de usos** (establecida normativamente o en el propio plan)

La modelización numérica del sistema se llevará a cabo siempre que sea posible, especialmente cuando se tenga información suficiente para hacer balances **detaillados o completos**, en los que se requiere una representación explícita del sistema: asignación espacial de nodos, trazado de redes, aplicación de reglas de explotación, restricciones ambientales (si las hubiera), y parámetros operativos (eficiencia, retornos, etc.).

La modelización con series largas de datos mensuales de aportaciones permite contemplar la variabilidad hidrológica representativa del sistema de explotación (años medios, secos, húmedos y sequías prolongadas, etc.).

Se deben definir los **criterios que determinan cuándo se considera que una demanda ha sido satisfecha** (**Conceptos y criterios para abordar la planificación hidrológica con visión de GIRH**). Estos criterios son **un input al modelo**, no un resultado. Pueden expresarse, por ejemplo, como el **porcentaje mínimo de cobertura mensual** o como el **número de meses tolerables con atención parcial** (**Descripción general de usos y demandas de agua**). Una vez fijados estos criterios, el modelo simula la atención de la demanda en cada mes del periodo, identificando los meses con “fallo en el servicio” y calculando indicadores agregados de cobertura y garantía.

Para garantizar la robustez técnica del análisis, el modelo debe ser **verificado mediante comparación con datos reales** (volumenes circulantes, demandas atendidas, registros operativos), así como con el conocimiento técnico local o la percepción de los usuarios sobre la calidad del suministro.

El **resultado fundamental del modelo es la identificación de situaciones de déficit o de ausencia de déficit**, es decir, el grado en que las demandas pueden ser atendidas en cada periodo.

Este enfoque permite asegurar que los resultados obtenidos son coherentes con el comportamiento real del sistema, y por tanto adecuados para fundamentar decisiones de asignación y reserva de recursos.



Importante:

La evaluación puede realizarse con modelos matemáticos especializados o mediante herramientas simplificadas, como hojas de cálculo estructuradas, siempre que se mantenga la coherencia del enfoque, la trazabilidad de los resultados y su utilidad para la toma de decisiones.

Resultados del balance y diagnóstico técnico

Una vez aplicado el procedimiento de balance entre recursos y demandas, el plan debe presentar de forma clara y estructurada los **resultados obtenidos para cada sistema de explotación**, con especial atención a la caracterización del desempeño del sistema bajo distintas condiciones hidrológicas.

El grado de precisión y localización de los resultados dependerá del nivel de detalle del análisis:

- En **balances simplificados**, (sin aplicación de modelo), los resultados se pueden presentar de forma agregada a nivel de sistema de explotación, sin desagregación espacial ni mensual. Este enfoque permite conocer si existe una presión general sobre el recurso, pero **no permite identificar con claridad los posibles problemas de suministro, en qué parte del sistema se concentran los déficits ni qué usos resultan más afectados**.
- En **balances detallados**, donde se aplica un modelo de simulación, se puede **ubicar geográficamente el origen de los déficits**, asociarlos a demandas específicas o zonas del sistema, e interpretar su comportamiento en distintos escenarios. Este enfoque permite aplicar criterios técnicos más rigurosos, reflejar las reglas de operación y obtener resultados reproducibles.

Los resultados deben incluir, como mínimo, la siguiente información por tipo de uso y unidad de demanda:

- **Volumen total demandado.**
- **Volumen efectivamente servido.**
- **Porcentaje de cobertura alcanzado.**

Adicionalmente, debe indicarse el **nivel de garantía asociado** a cada uso o demanda, entendido como la **frecuencia con la que una demanda se atiende correctamente**, bajo los criterios definidos. Por ejemplo: “la demanda urbana X se satisface plenamente en el 90 % de los años modelados”. Este

indicador es clave para sustentar decisiones futuras de asignación, programación de reservas o priorización de medidas de mejora.

Cuando se identifiquen **déficits estructurales**, es decir, situaciones en las que determinadas demandas no pueden ser atendidas de forma sostenida, el plan debe presentar de forma clara:

- La **magnitud del déficit**.
- Su **distribución espacial** dentro del sistema.
- Las **posibles causas técnicas u operativas**.

Este diagnóstico final es clave para valorar la necesidad de medidas complementarias, como:

- Nuevas infraestructuras o ampliaciones.
- Mejoras en la eficiencia de uso del agua.
- Reajustes en las reglas de operación o en los criterios de asignación.

En todos los casos, se recomienda que los resultados se acompañen de **tablas comparativas y representaciones gráficas** que permitan visualizar de forma clara el grado de cobertura por tipo de uso, por escenario y por unidad funcional.

Metodología general para la asignación y reserva de recursos

Desarrollo del contenido en Tarea 3: Metodología general para la asignación y reserva de recursos

Este apartado del plan hidrológico debe presentar de forma clara y justificativa la metodología aplicada para llevar a cabo, una vez se ha realizado un balance recursos-demandas completo, el análisis de asignación y reserva de recursos hídricos, con el fin de garantizar la trazabilidad técnica de los resultados obtenidos, así como la coherencia con los principios normativos y los objetivos de la planificación hidrológica. Debe explicar las bases conceptuales que sustentan el análisis, incluyendo:

- Descripción general del modelo de simulación aplicado para calcular el balance.
- Justificación de las herramientas técnicas utilizadas.
- El uso de balances hídricos como herramienta técnica para relacionar recursos y demandas.
- La integración de escenarios hidrológicos. Se deberán considerar series de datos suficientemente largas de manera que recojan la variabilidad hidrológica.
- Los principios aplicados para priorizar usos y establecer reservas, en línea con la normativa vigente.



Importante:

No se trata aquí de desarrollar resultados concretos, sino de exponer de forma clara **el enfoque, los criterios y las fases** que han estructurado el trabajo, garantizando su trazabilidad y coherencia con el resto del plan.

Asignación de recursos por tipo de uso y nivel de garantía alcanzado y las reservas previstas para demandas futuras

Desarrollo del contenido en Tarea 4: Asignación de recursos por tipo de uso y nivel de garantía

Una vez conocidos los resultados del balance, este apartado traduce esos datos en una **distribución efectiva de recursos entre usos consolidados y los futuros previstos**. El contenido debe contemplar los siguientes aspectos:

- Asignación de recursos por tipo de uso (abastecimiento, regadío, industrial, ambiental, etc.) en cada sistema.
- Indicación del volumen anual asignado y del nivel de garantía alcanzado para cada uso.
- Identificación de futuras demandas justificadas que requieren reserva de recursos.
- Cuantificación de los volúmenes reservados, su destino y condiciones de activación.

Capítulo 3.4.

Uso del agua, balances y asignación de recursos

- Análisis de la coherencia entre asignación/reserva y la disponibilidad de recursos identificada en los balances.
- Identificación de situaciones de déficit estructural y medidas previstas para mitigarlos.
- Análisis de la capacidad del sistema para absorber incrementos de demanda sin comprometer la sostenibilidad.
- Referencia a cómo se vinculan los resultados con las decisiones de gestión y concesión de usos.



Importante:

Este bloque no debe repetir los datos generales del balance, sino centrarse en cómo se reparte el recurso disponible y qué fiabilidad ofrece dicha distribución.

Tareas según contexto

En muchos países, la disponibilidad de información para realizar asignaciones y reservas de recursos hídricos puede verse limitada por la falta de balances actualizados, datos incompletos sobre demandas o insuficiente caracterización de los sistemas de explotación. Por esta razón, la guía propone una metodología flexible que puede adaptarse a distintos contextos institucionales y técnicos, según el nivel de desarrollo de la planificación y la capacidad operativa existente.

El objetivo de estas tareas es establecer los pasos necesarios para elaborar, revisar o mejorar el proceso de asignación y reserva de recursos, de modo que se logre una base técnica suficiente para orientar la toma de decisiones y garantizar la sostenibilidad del uso del agua.

Se proponen dos enfoques: uno dirigido a contextos con información consolidada y sistemas de explotación bien caracterizados, y otro orientado a situaciones donde los datos disponibles son limitados, priorizando soluciones progresivas, métodos simplificados y mejora gradual de capacidades.

- Tareas a realizar en contextos con disponibilidad de datos media (Balances de recursos-demandas detallados sin asignación y reserva de recursos) y alta (Balances de recursos-demandas detallados con asignación de recursos)
- Tareas a realizar en contexto de información limitada (Balances de recursos-demandas simplificados)

Tareas a realizar en contextos con disponibilidad de datos media y alta

El proceso de planificación hidrológica y, en particular, la evaluación de la relación entre recursos y demandas puede aplicarse con distintos niveles de profundidad según el grado de información disponible en cada demarcación o sistema de explotación. A partir del enfoque progresivo adoptado en esta guía, se distingue entre dos escenarios avanzados:

- **Contexto con disponibilidad de datos media (Tareas 1 y 2):** Se dispone de información suficiente para realizar balances detallados entre recursos y demandas (incluyendo modelización del sistema, series históricas, desagregación espacial y temporal de demandas), pero **aún no existe un sistema concesional consolidado o una base legal-operativa suficiente** para ejecutar formalmente el proceso de asignación y reserva de recursos. En este contexto, los balances permiten generar un diagnóstico completo del comportamiento hídrico del sistema, identificar déficits y orientar medidas de gestión, pero no se traducen aún en propuestas concretas de reparto.
- **Contexto con disponibilidad de datos alta (Tareas de la 1 a la 4):** Además de contar con balances detallados, existe un sistema concesional funcional o un registro operativo de derechos de uso que permite aplicar de manera estructurada el proceso de **asignación de recursos a usos consolidados** y la **programación de reservas para demandas futuras**. En estos casos, el plan puede traducir el diagnóstico en propuestas técnicas de reparto, con estimación de garantías, condicionantes de reserva y medidas de ajuste territorial.

Ambos contextos permiten avanzar significativamente en la gestión integrada del recurso hídrico, pero requieren enfoques diferenciados. Las tareas asociadas al primer caso se centran en la generación de diagnósticos sólidos y la mejora de la eficiencia y sostenibilidad del sistema. En el segundo caso, además de lo anterior, se incorporan decisiones operativas de asignación y reserva que vinculan directamente la planificación con la gestión administrativa del recurso.

Tarea 1: Descripción de los sistemas de explotación o unidad de gestión seleccionada

La descripción de los sistemas de explotación constituye un paso fundamental en el proceso de planificación hidrológica, ya que establece el **marco espacial y funcional** en el que se llevarán a cabo los balances hídricos, la asignación de recursos y la definición de medidas de gestión. Cada sistema de explotación representa una unidad operativa que integra recursos disponibles, demandas, infraestructuras y relaciones entre componentes hidrológicos y técnicos.

- La descripción del sistema de explotación debe ser **suficientemente detallada para permitir su representación funcional en un modelo de simulación**, pero también clara y comprensible para su inclusión en el cuerpo del plan.
- Esta tarea aporta una base estructural a todo el análisis posterior (balances, asignación, reservas, déficit), y por tanto debe asegurar **consistencia con todos los apartados del plan**.
- Se recomienda acompañar la descripción con **cartografía de síntesis**, cuadros resumen de elementos clave, y referencias cruzadas al anejo técnico si se utiliza.



Descripción Metodológica:

Paso 1: Delimitación espacial del sistema de explotación

- Definir el **ámbito territorial** de cada sistema de explotación dentro de la cuenca hidrográfica, atendiendo a criterios hidrológicos, operativos y de gestión. Utilizar como referencia:
 - Cuenclas o subcuencas hidrográficas.
 - Límites administrativos si son relevantes (municipios, regiones).
 - Zonificación anterior, si aplica.
- Representar gráficamente los límites en cartografía temática, incluyendo escalas adecuadas y relación con el resto del territorio.

Paso 2: Identificación de cuerpos de agua incluidos

- Enumerar y caracterizar los **cuerpos de agua superficiales y subterráneos** que forman parte del sistema:
 - Ríos, arroyos y canales principales.
 - Cuerpos de agua subterránea asociados a captaciones o recargas relevantes.
- Señalar los puntos clave de entrada y salida de recursos en el sistema (límites hidrológicos, vertidos, transferencias).

Paso 3: Inventario de infraestructuras hidráulicas

- Incluir todas las infraestructuras relevantes para la **regulación, transporte, distribución y almacenamiento del agua** dentro del sistema:
 - Embalses y presas.
 - Canales, conducciones, estaciones de bombeo.
 - Redes de abastecimiento o riego a escala regional.
- Describir su función principal, capacidad operativa y rol dentro del sistema (p. ej., regulación estacional, transferencia entre zonas, punto de control operativo).

Paso 4: Identificación de unidades funcionales de demanda

- Localizar y clasificar las **unidades de demanda** incluidas en el sistema:
 - Urbanas (UDU), agrícolas (UDA), industriales (UDI), ambientales (UDAmb), entre otras.

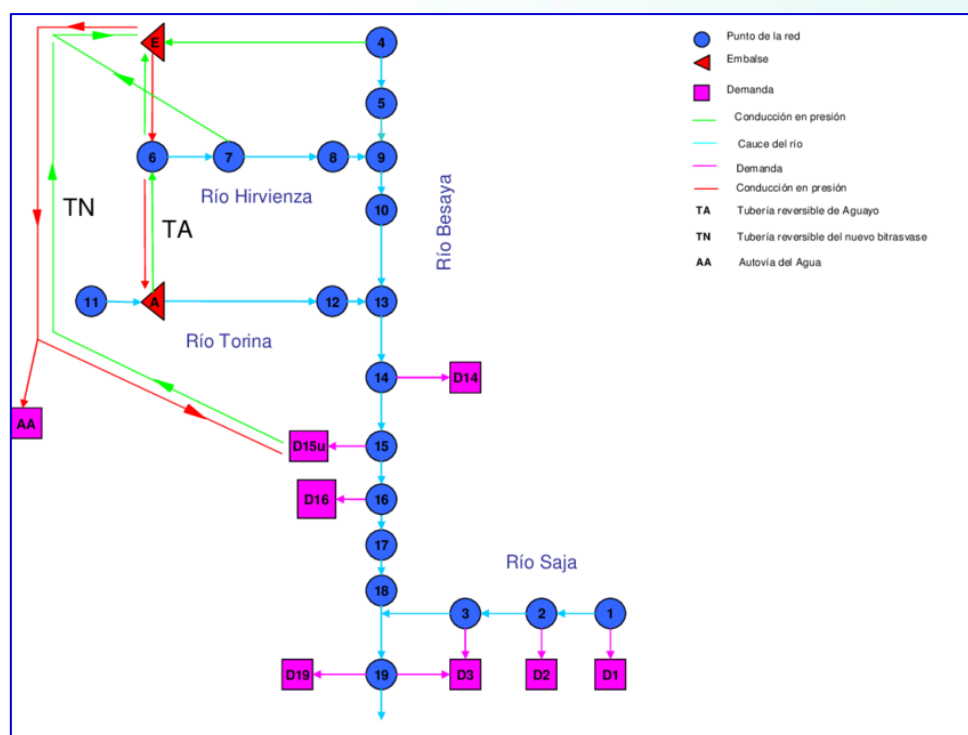
- Establecer su **conexión funcional con el sistema**, es decir:
 - Punto o tramo desde el que se abastecen.
 - Infraestructura utilizada.
 - Localización del retorno (si aplica).

Paso 5: Construcción de esquema topológico

Como paso final de la descripción del sistema de explotación, se recomienda **elaborar un esquema topológico** que integre de forma sintética todos los elementos identificados: cuerpos de agua, infraestructuras hidráulicas y unidades de demanda.

Este esquema debe representar **cómo se conectan y operan entre sí los distintos componentes del sistema**, permitiendo visualizar su estructura funcional de forma clara y comprensible.

Se trata de una herramienta útil tanto para **documentar la configuración del sistema** como para facilitar la interpretación de balances, simulaciones y decisiones de gestión. No requiere precisión cartográfica, sino una representación lógica y operativa que sea coherente con el modelo de análisis que se aplicará.



Ejemplo de esquema topológico (García, J., et al. 2007)

Tarea 2: Balances hídricos por sistema de explotación

Los balances hídricos constituyen uno de los diagnósticos técnicos centrales del plan. Permiten comparar los recursos disponibles con las demandas actuales y futuras dentro de cada sistema de explotación. Las tareas de este bloque se orientan a obtener una visión detallada y cuantificada del funcionamiento hídrico del territorio, sirviendo como base para la toma de decisiones sobre asignación, reserva y gestión de los recursos.

Este análisis se realiza a escala del sistema de explotación, que constituye la unidad operativa del plan. Dependiendo de la calidad y cantidad de información disponible, los balances pueden abordarse con distintos niveles de detalle. En el caso de **balances detallados**, como el que se aborda en esta tarea, se representa explícitamente la estructura interna del sistema: cuerpos de agua, infraestructuras, unidades de demanda, reglas de operación y condiciones ambientales, todo ello aplicado a distintos escenarios hidrológicos.

La simulación del sistema permite evaluar su comportamiento real o previsto, identificar zonas de conflicto, cuantificar los niveles de cobertura y determinar el grado de cumplimiento de objetivos de garantía y sostenibilidad. Esta tarea está orientada a contextos donde existe información suficiente para aplicar modelos hídricos o de gestión, y constituye un paso clave dentro del proceso de asignación y reserva de recursos.



Descripción Metodológica:

Paso 1: Descripción de los elementos considerados en la simulación

En este paso se identifican y detallan los componentes clave del sistema de explotación que han sido incorporados al modelo de simulación hidrológica. Esta descripción debe asegurar que la representación funcional del sistema sea realista y permita evaluar con rigor la relación entre disponibilidad y demanda.

- Todos los elementos descritos deben estar geográficamente referenciados y correctamente conectados en la red simulada del sistema.
- La documentación de este paso debe incluir esquemas, diagramas o mapas que muestren la disposición y relaciones entre estos elementos.
- La calidad de esta etapa determina en gran medida la fiabilidad del balance final, por lo que es clave mantener consistencia entre los datos utilizados en este paso y los incluidos en el inventario general de recursos y demandas del plan.

Recursos hídricos superficiales y subterráneos

- Se deben incluir todas las fuentes de agua que aportan recursos al sistema: ríos, arroyos, embalses naturales, manantiales, captaciones superficiales y subterráneas.
- Para los recursos superficiales, se incorporan las **aportaciones naturales** estimadas a partir de series históricas y ajustadas a los escenarios hidrológicos seleccionados.
- En el caso de las aguas subterráneas, se debe representar la **recarga natural**, las extracciones (bombeos) y las interacciones con cuerpos de agua superficiales, si son relevantes.



Importante:

Las aportaciones deben estar espacialmente asignadas al sistema y reflejarse en puntos de entrada específicos en el modelo. Aplicar la estimación de recursos hídricos disponible en el **Inventario recursos hídricos** al sistema de explotación analizado.

Retornos

- Los retornos son volúmenes de agua que, tras su uso, regresan total o parcialmente al sistema.
- Deben identificarse los retornos urbanos, agrícolas e industriales, con estimación de su volumen y localización dentro del sistema.
- Se deben considerar tanto los **retornos internos** (que vuelven al sistema de explotación) como los **retornos externos** (que salen del sistema y no están disponibles).



Importante:

Los coeficientes de retorno deben basarse en valores medidos, empíricos o aceptados por la administración hidráulica.

Capítulo 3.4.

Uso del agua, balances y asignación de recursos

Caudales ecológicos

- Representan los volúmenes mínimos que deben mantenerse en determinados tramos de los cuerpos de agua para conservar sus funciones ecológicas. (**tarea de definición de caudales ecológicos**)
- En el modelo se deben aplicar como una **restricción prioritaria**, deduciendo estos volúmenes de los recursos disponibles antes de distribuirlos entre las demandas.
- Se deben definir para cada punto de control o tramo relevante, incluyendo condiciones de mantenimiento continuo o estacional.



Recomendación:

Si se incumplen los caudales ecológicos en la simulación es recomendable que el sistema lo registre.

Embalses

- Se deben incorporar todos los embalses relevantes dentro del sistema, indicando su volumen útil, capacidad de regulación y reglas operativas.
- La simulación debe reflejar cómo los embalses almacenan, liberan o transfieren caudales según las condiciones del sistema y los objetivos de operación.



Recomendación:

Es recomendable simular el comportamiento dinámico de los embalses (entradas, salidas, evaporación) en función de las condiciones mensuales o estacionales.

Conducciones de transporte

- Incluyen canales, tuberías, acueductos y otras infraestructuras que permiten el movimiento del agua entre fuentes, demandas y zonas de almacenamiento.
- Deben representarse con su capacidad máxima de transporte, posibles pérdidas y, si aplica, condiciones de operación o prioridad de uso.



Importante:

Estas conducciones pueden ser limitantes en la cobertura de algunas demandas si su capacidad restringe el flujo entre zonas.

Paso 2: Selección del método para calcular el balance

La elección del método de simulación para el cálculo de balances hídricos y el análisis de la asignación y reserva de recursos debe estar guiada por criterios técnicos, operativos y de contexto. Dado que existen distintos **tipos de modelos** con niveles de complejidad variables, es fundamental adaptar la herramienta seleccionada a las características del sistema de explotación, la disponibilidad de información y los objetivos del análisis.

A continuación, se indican las principales consideraciones para la selección del modelo:

1. **Objetivo del análisis.** El tipo de simulación debe ser coherente con el alcance del estudio:

- Si se busca analizar balances entre recursos y demandas, identificar coberturas y déficits, o justificar asignaciones, es adecuado emplear un **modelo de simulación de sistemas de explotación** (**Guías metodológicas 2 y 3**).
 - Si solo se requiere un diagnóstico básico o en ausencia de datos, puede optarse por un **modelo de balance hídrico estático**, basado en comparaciones anuales o mensuales de recursos y demandas, teniendo siempre en cuenta que los valores medios pueden enmascarar una variabilidad real determinante en el balance. Es por consiguiente un procedimiento muy arriesgado de cara a ofrecer resultados concluyentes.
- 2. Complejidad del sistema y grado de regulación**
- Sistemas con múltiples cuerpos de agua, demandas interconectadas y embalses requieren herramientas que puedan representar la dinámica del sistema, incluyendo prioridades de uso, retornos y reglas de operación. En estos casos, son recomendables modelos de simulación avanzados o integrados.
 - Para sistemas pequeños, sin infraestructuras complejas o con usos independientes, puede bastar con una simulación simplificada o una metodología por balance directo, estimable mediante cálculos sencillos.
- 3. Disponibilidad y calidad de los datos**
- La precisión del modelo depende de la información disponible sobre aportaciones, demandas, eficiencias, retornos, caudales ecológicos y operación de infraestructuras.
 - Si se dispone de **series históricas**, derechos de uso de agua **registrados y datos de explotación**, es deseable utilizar modelos numéricos de paso temporal mensual.
 - En ausencia de información detallada, se recomienda usar **métodos simplificados** que minimicen la incertidumbre y mantengan trazabilidad.
- 4. Capacidad técnica e institucional**
- El modelo debe ser **comprensible, reproducible y operativo** para el equipo técnico que elabora o supervisa el plan.
 - Se debe considerar si ya existen herramientas aplicadas por las autoridades del agua, o si se dispone de soporte técnico para su implementación y mantenimiento.
 - Cuando se requiera evaluar diferentes escenarios de política, medidas o cambio climático, pueden ser adecuados modelos integrados o de optimización.
- 5. Transparencia y coherencia metodológica**
- Independientemente del tipo de modelo, debe garantizarse la **coherencia con otros componentes del plan** (inventario, demandas, prioridades) y la **posibilidad de documentar los resultados y criterios de decisión**.
 - Toda simulación debe permitir extraer de forma clara los indicadores clave: volúmenes disponibles, volúmenes atendidos, niveles de garantía, déficits y salidas del sistema.

Paso 3: Caracterización y cuantificación de las unidades de demanda

Este paso tiene por objeto identificar, delimitar y cuantificar todas las demandas hídricas que actúan dentro del sistema de explotación analizado. Esta información es esencial para el balance, ya que define el volumen total de agua requerido y su distribución temporal y espacial.



Importante:

En el capítulo de **Descripción general usos y demandas** se desarrolla en profundidad los elementos de este paso.

El análisis debe considerar tanto las **demandas actuales consolidadas** como aquellas **futuras previstas** cuya materialización esté contemplada dentro del horizonte del plan.

- El conjunto de unidades de demanda debe ser exhaustivo pero manejable: evitar subdivisiones innecesarias que no aporten valor operativo.
- La caracterización debe reflejar el estado actual del sistema, pero también permitir evaluar su comportamiento futuro ante cambios en las demandas o condiciones hidrológicas.

- La consistencia entre las unidades de demanda y el resto de los elementos del sistema (conducciones, embalses, puntos de control) es fundamental para garantizar la solidez del modelo.

Paso 4: Prioridades o reglas de gestión

Este paso tiene por finalidad definir cómo se comporta el sistema de explotación en condiciones de distribución de recursos, especialmente cuando la oferta es inferior a la demanda. Se trata de establecer las reglas de reparto del recurso hídrico entre los distintos usos existentes, conforme a una lógica de funcionamiento realista y operativa, que pueda ser replicada en la simulación del modelo.



Importante:

En el capítulo de **Descripción general usos y demandas** se desarrolla en profundidad los elementos de este paso.

Estas reglas no sustituyen la normativa vigente sobre derechos concesionales, pero sí permiten aplicar una gestión técnica coherente dentro del análisis del plan.

- Las reglas de gestión deben ser sencillas, reproducibles en la simulación y aplicables a todos los escenarios hidrológicos modelados.
- Es importante que estén fundamentadas técnica y socialmente: pueden basarse en criterios legales, sectoriales o de sostenibilidad ambiental.
- En el informe del plan, deben quedar claramente documentadas para permitir su revisión y validación.

Paso 5: Ejecución de los balances

Este paso consiste en ejecutar el análisis comparativo entre los **recursos hídricos disponibles** y las **demandas hídricas cuantificadas** para cada sistema de explotación, aplicando las reglas de operación y prioridades establecidas previamente. Su finalidad es obtener un **diagnóstico técnico del comportamiento hídrico del sistema**, bajo distintos horizontes temporales y escenarios (Ver **Proyecciones y escenarios futuros**), y evaluar el grado de cobertura, los déficits y la sostenibilidad del sistema.

El balance debe realizarse de forma estructurada, sistemática y transparente, con resultados que permitan fundamentar las decisiones de asignación, reserva y medidas de gestión.

Balances de las demandas

Este subapartado constituye el núcleo operativo del balance hídrico, ya que compara de forma cuantitativa los **volúmenes demandados** por los distintos usos del agua con los **recursos efectivamente disponibles** en el sistema de explotación, bajo las condiciones simuladas. Su objetivo principal es determinar **en qué medida pueden atenderse las demandas existentes y previstas**, y con qué nivel de regularidad y garantía.

El análisis debe realizarse para **cada escenario** simulado, con resultados para **cada tipo de uso y unidad de demanda** considerada en el modelo.

Contenido mínimo a considerar:

1. **Volumen demandado por uso y por unidad de demanda**
 - a. Datos anuales y, cuando proceda, desagregados por mes o estación.
 - b. Inclusión de usos urbanos, agrícolas, industriales, ambientales, hidroeléctricos y otros.
 - c. Identificación de las demandas actuales y las futuras previstas que han sido incluidas en la simulación.
2. **Volumen efectivamente suministrado**
 - a. Resultado de la simulación, condicionado por la disponibilidad de recurso, la infraestructura y las reglas de prioridad.

- b. Diferenciación entre el volumen total demandado y el volumen realmente atendido en cada escenario.
3. **Déficit de atención**
 - a. Cálculo de los volúmenes no cubiertos por el sistema en cada unidad de demanda.
 - b. Distinción entre déficits estructurales (constantes incluso en condiciones medias) y coyunturales (dependientes del escenario o la época del año).
 - c. Categorización del déficit por gravedad (Por ejemplo, <10 %, 10–30 %, >30 % de la demanda no atendida).
4. **Porcentaje de cobertura**
 - a. Expresión del volumen atendido como porcentaje del volumen demandado.
 - b. Comparación entre distintos usos, sistemas o escenarios para evidenciar diferencias de comportamiento y vulnerabilidad.
5. **Nivel de garantía**
 - a. Evaluación de la frecuencia con la que una demanda se cubre plenamente en el periodo simulado.
 - b. Por ejemplo, se puede expresar que “la demanda urbana X se cubre al 100 % en el 95 % de los años simulados”.
 - c. Este indicador es clave para clasificar las asignaciones futuras y para la toma de decisiones concesionales.



Recomendación:

- **Agrupar los resultados** en tablas comparativas por sistema de explotación, tipo de uso y escenario hidrológico.
- Incorporar **gráficos de barras o líneas** para visualizar la evolución mensual del suministro frente a la demanda.
- Incluir **mapas de cobertura o déficit**, especialmente útiles cuando hay distribución territorial heterogénea en los resultados.
- Documentar los **criterios de interpretación**: qué se considera una cobertura aceptable, qué usos deben tener garantía plena, qué margen de déficit es tolerable.

Ejemplo (datos ficticios) de tabla de resultados.

Sistema de explotación	Tipo de uso	Volumen demandado (hm³/año)	Volumen servido (hm³/año)	Cobertura (%)	Nivel de garantía (%)
Sistema Norte	Abastecimiento	52	52	100%	99%
	Agrícola	120	96	80%	85%
	Industrial	15	15	100%	97%
Sistema Sur	Abastecimiento	45	43	96%	91%
	Agrícola	100	65	65%	70%

Salidas del sistema y ajuste del modelo

Este componente del análisis se centra en dos aspectos fundamentales:

1. La identificación y cuantificación de **los volúmenes de agua que salen del sistema de explotación**.
2. La **verificación y ajuste** del modelo de simulación, evaluando si su comportamiento reproduce de forma adecuada la realidad del sistema y corrigiendo posibles desviaciones.

Ambos elementos son esenciales para garantizar la **solidez técnica y operativa del balance**, y asegurar que los resultados obtenidos tienen validez para sustentar las decisiones de planificación.

- Documentar las salidas no utilizadas ayuda a explicar por qué, a pesar de una aparente disponibilidad de recursos, no se alcanza una cobertura plena.

- La validación del modelo no implica obtener un ajuste perfecto, sino asegurar que las diferencias entre el comportamiento simulado y el real son **razonables, explicables y aceptables** para los fines del plan.
- Este paso refuerza la **trazabilidad y credibilidad técnica del análisis**, especialmente en contextos donde se proponen medidas estructurales o se justifican decisiones concesionales.

1. Salidas del sistema

Las salidas del sistema son todos aquellos flujos que, estando técnicamente disponibles en algún momento del análisis, no se consumen para atender demandas internas y, en consecuencia, abandonan el sistema. Estas salidas pueden tener múltiples causas y deben registrarse para interpretar correctamente los resultados del balance.

Tipos de salidas comunes:

- **Vertidos no aprovechados:**
 - Aguas que superan la capacidad de regulación o transporte del sistema y se vierten al cauce sin uso.
 - Pueden producirse en periodos húmedos, en zonas con infraestructura limitada o en sistemas con baja flexibilidad operativa.
- **Excedentes regulados:**
 - Volúmenes liberados desde embalses o infraestructuras una vez satisfechas las demandas prioritarias y cumplidos los requisitos operativos (Por ej., caudales ecológicos, niveles máximos de embalse).
- **Retornos no reutilizados:**
 - Agua que regresa al medio tras su uso (retornos agrícolas, urbanos o industriales) pero no es consumida dentro del propio sistema.
 - Pueden contribuir a otros sistemas aguas abajo, pero no cuentan como recurso disponible local.
- **Transferencias a otros sistemas:**
 - En sistemas interconectados, parte del recurso puede derivarse intencionadamente a otro sistema de explotación.
 - Estas transferencias deben registrarse y cuantificarse explícitamente.

2. Ajuste y validación del modelo

Una vez ejecutada la simulación, es fundamental **verificar si el comportamiento del modelo es coherente con la realidad del sistema** y con los objetivos del análisis. El ajuste del modelo asegura que los resultados del balance no solo sean lógicos internamente, sino también confiables desde el punto de vista técnico.

Aspectos a verificar:

- **Comparación con datos históricos observados:**
 - Aforos en ríos o canales.
 - Series de explotación de embalses.
 - Registros de consumo real por uso.
 - Volúmenes efectivamente suministrados o déficit observados en el pasado.
- **Coherencia interna de resultados:**
 - Verificar que no haya asignaciones que superen la disponibilidad real.
 - Confirmar que las prioridades y reglas de operación se reflejan correctamente en la simulación.
 - Revisar que los déficits y coberturas se comportan lógicamente entre escenarios.
- **Ajustes necesarios:**
 - Si se detectan desviaciones relevantes, deben revisarse los parámetros del modelo: dotaciones, rendimientos, reglas operativas, estructura de nodos, etc.

- Se recomienda documentar cualquier modificación realizada para mejorar la consistencia del modelo.

Tarea 3: Metodológica general para la asignación y reserva de recursos

Una vez realizados los balances entre recursos y demandas por sistema de explotación, y siempre que se cuente con un sistema concesional suficientemente estructurado, es posible aplicar el proceso de **asignación de recursos** a los distintos usos consolidados y de **reserva de recursos** para futuras demandas justificadas.

La metodología debe ser **clara, reproducible y trazable**, y estar alineada con el diagnóstico obtenido en los balances detallados. Su aplicación no implica necesariamente la formalización inmediata de concesiones individuales, pero sí establece una **propuesta de reparto y reserva técnicamente fundamentada** que puede orientar futuras decisiones administrativas.

El procedimiento de asignación y reserva se basa en los siguientes principios:

- **Atención prioritaria de los usos consolidados**, en función de su peso actual y su desempeño dentro del sistema.
- **Aplicación de criterios técnicos y ambientales**, como niveles de garantía alcanzados, ubicación geográfica, presión sobre los cuerpos de agua, eficiencia en el uso, y compatibilidad con los objetivos ambientales del plan.
- **Identificación de demandas futuras justificadas**, cuya inclusión como reservas debe estar respaldada por proyectos aprobados, planes sectoriales o instrumentos de ordenación reconocidos.
- **Determinación de niveles de garantía** asociados a cada asignación, considerando la frecuencia con la que el recurso puede ser atendido en condiciones medias y desfavorables.
- **Condicionabilidad de las reservas**: la activación efectiva de una reserva puede vincularse a requisitos como la existencia de disponibilidad real, la ejecución de obras, la mejora de la eficiencia o el cumplimiento de ciertas condiciones ambientales.

Antes de abordar los resultados técnicos del análisis, el plan debe definir con claridad el enfoque metodológico que ha guiado el proceso. Esto incluye los principios que lo sustentan, las herramientas técnicas utilizadas, las unidades de análisis empleadas y la estructura general del procedimiento.

A continuación, se enumeran aquellos aspectos que la metodología general debe poner en contexto de cara a que quede claro el procedimiento de asignación y reserva de recursos:

- Definir el enfoque metodológico general del análisis de asignación y reserva, con base en los objetivos del plan.
- Establecer los principios técnicos y ambientales que guiarán el proceso (priorización, sostenibilidad, coherencia territorial, etc.).
- Seleccionar la unidad de análisis (sistema de explotación) y su nivel de desagregación.
- Diseñar la estructura del procedimiento: etapas, datos requeridos, criterios, escenarios hidrológicos.



Recomendación:

El cuerpo principal del plan debe incluir una versión sintética y comprensible de la metodología.

- Todo el desarrollo técnico (bases de datos, herramientas empleadas, simulaciones, hipótesis de cálculo) debe quedar recogido en un **anejo metodológico**, que permita la trazabilidad del análisis.
- El anejo debe estructurarse igual que las fases descritas en la metodología, para que cualquier lector pueda vincular contenido y resultados con facilidad.



Descripción Metodológica:

Esto se puede estructurar de múltiples maneras, aunque a continuación se pone un ejemplo de cómo podría llevarse a cabo de manera algo más detallada:

Paso 1: Finalidad del análisis

La metodología debe comenzar explicando por qué se realiza el análisis: se trata de estimar si los recursos disponibles son suficientes para atender las demandas consolidadas y, si corresponde, justificar la reserva de recursos para nuevas demandas futuras.

Es clave destacar que el análisis tiene **carácter planificador**, no concesional: no otorga derechos, sino que establece un marco orientador.

Es útil vincular esta finalidad con los objetivos generales del plan y con las necesidades de gestión adaptativa frente al cambio climático o el crecimiento de la demanda.

Paso 2: Descripción general del modelo de simulación

La elaboración de un balance de recursos-demandas detallado y la posterior, en caso de que se pueda, realización de un proceso de asignación y reserva de recursos requiere una representación operativa del comportamiento del sistema hídrico. Para ello, es necesario aplicar un modelo de simulación que permita calcular balances entre recursos y demandas para distintos escenarios y horizontes temporales (**Proyecciones y escenarios futuros**), teniendo en cuenta las condiciones operativas, las prioridades de uso y las restricciones ambientales.

Este paso tiene por objeto describir, de forma general y no técnica, qué tipo de herramienta se ha utilizado, cómo se ha estructurado su aplicación al sistema, y cuáles han sido los criterios para su selección, sin necesidad de entrar en detalles metodológicos que correspondan a un anejo técnico.

Se debe indicar si se ha utilizado:

- Un **modelo de simulación consolidado a nivel nacional o regional**, desarrollado por una autoridad competente.
- Una **herramienta adaptada a escala local**, diseñada específicamente para el sistema de explotación objeto de estudio.
- Un **método simplificado o esquemático**, adecuado para contextos con baja disponibilidad de datos o capacidad operativa limitada.

En todos los casos, es importante señalar si el modelo permite simular:

- El funcionamiento del sistema bajo distintos escenarios hidrológicos.
- Las prioridades de atención a las demandas.
- El comportamiento dinámico de embalses, retornos, recargas y pérdidas.

Paso 3: Consideración de distintos escenarios hidrológicos

Se deben especificar los escenarios hidrológicos utilizados en el análisis para evaluar la cobertura de las demandas y el comportamiento del sistema en condiciones variables.

Por ejemplo: al menos un año medio y uno seco, y opcionalmente un año húmedo y un escenario de sequía prolongada.

Para fortalecer la robustez del análisis ante la incertidumbre climática, se recomienda complementar los escenarios hidrológicos (año medio, seco, húmedo y sequía prolongada) con proyecciones basadas en modelos climáticos regionales (RCM) existentes o en los informes de IPCC (Ver capítulo de **consideración del cambio climático**)

- **Obtención de proyecciones:**
 1. Seleccionar Modelos de Circulación General (GCM) validados para la Región y, de ser posible, descargas regionales (RCM) a resolución adecuada (10–25 km) para el período de planificación (p. ej., 2020–2050).
 2. Extraer series de precipitación y temperatura proyectadas, y transformar estos datos en caudales ajustados mediante un modelo hidrológico simplificado o calibrado.
 3. Definir al menos dos RCP (Representative Concentration Pathways) relevantes para la región, por ejemplo, RCP4.5 y RCP8.5, para evaluar impactos moderados y extremos.
- **Integración al balance hídrico:**
 1. Generar al menos un escenario intermedio (2020–2040) y otro a largo plazo (2040–2060) que reflejen la variabilidad proyectada de caudales medios y extremos.

2. Incorporar estos escenarios climáticos al modelo de simulación del sistema de explotación, evaluando cómo cambian los volúmenes de recurso disponible en función de la variación de aportes.
 3. Comparar la cobertura de demandas proyectadas bajo estos escenarios con la asignación actual, para identificar déficits potenciales futuros y estimar reservas adicionales posibles.
- **Estrategias de adaptación vinculadas:**
 1. Con base en los resultados anteriores, diseñar medidas de adaptación específicas (p.ej., obras para aumentar la recarga de acuíferos, conservación de humedales, canalizaciones inteligentes) que permitan mitigar la reducción de disponibilidad en escenarios más secos.
 2. Ajustar los niveles de garantía de usos prioritarios considerando la mayor frecuencia de periodos de déficit proyectados, de modo que la asignación futura contemple márgenes de seguridad adecuados.



Importante:

Este análisis de cambio climático debe quedar documentado en un anexo específico, donde se describa la metodología de obtención de escenarios, las fuentes de datos climáticos y los criterios de ajuste de caudales. En el cuerpo del plan, se presentará un resumen de los hallazgos clave para guiar la toma de decisiones. (**consideración del cambio climático**).



Recomendación:

No es suficiente con usar valores medios; la robustez del análisis depende en gran medida de su capacidad para evaluar el sistema en condiciones extremas.

Paso 4: Criterios de priorización de usos

Aunque el orden legal de usos puede variar por país, el plan debe justificar cómo se han priorizado los usos en el análisis (por ejemplo, abastecimiento humano, regadío, industrial, ambiental).

1. Priorizar abastecimiento humano, seguido de usos ambientales (caudales ecológicos), y luego usos productivos (regadío, industrial).
2. En caso de déficit, aplicar criterios de corte progresivo: primero reducciones en usos menos prioritarios, salvaguardando siempre el consumo humano.
3. Equidad **social y territorial**
 - Garantizar dotaciones mínimas para poblaciones vulnerables y zonas rurales aisladas (≥ 98 % de cobertura en años secos).
 - Proteger a pequeños agricultores y comunidades indígenas, evitando que reasignaciones concentradas afecten su subsistencia.
 - Constituir un “fondo de reserva social” que garantice un porcentaje mínimo de suministro para sectores históricamente desatendidos (asentamientos populares, comunidades de base).
 - Al reasignar volúmenes en situaciones críticas, priorizar población y usuarios de menor escala antes que grandes explotaciones o usuarios industriales.



Importante:

Estos criterios deben basarse en estudios socioeconómicos y censales previos para identificar zonas vulnerables y dimensionar dotaciones mínimas.

Paso 5: Estructura del procedimiento

Debe explicarse que el análisis se estructura en **fases secuenciales**, que deben estar bien delimitadas:

1. **Caracterización del sistema de explotación:** incluye la identificación y delimitación del sistema, sus elementos y relaciones internas.
2. **Estimación de recursos disponibles:** se cuantifican aportaciones, recursos subterráneos, capacidad de regulación, y se integran restricciones ambientales. (**Tarea de Inventario de los recursos hídricos**).
3. **Cuantificación de demandas:** se recopilan y estiman las demandas existentes y futuras justificadas, por tipo de uso.
4. **Realización de balances:** se comparan recursos y demandas en distintos escenarios hidrológicos.
5. **Asignación de recursos:** se definen los volúmenes que pueden asignarse por uso, y el nivel de garantía alcanzado.
6. **Determinación de reservas:** se identifican y cuantifican reservas para futuras demandas razonablemente previsibles.
7. **Análisis de déficits y alternativas de gestión:** se detectan insuficiencias estructurales y se proponen medidas correctoras.

Paso 6: Vinculación con el horizonte temporal del plan

El análisis debe aplicarse, como mínimo, al ciclo de planificación vigente, y puede extenderse a horizontes más largos si se cuenta con información suficiente para proyectar la evolución del sistema.

- **Aspecto importante:** Las proyecciones deben estar justificadas por planes sectoriales, documentos oficiales o tendencias observadas, no por hipótesis arbitrarias.
- Si se considera un horizonte más largo, se debe explicar claramente qué variables se han proyectado (demanda, oferta, cambio climático, etc.).

Tarea 4: Asignación de recursos por tipo de uso y nivel de garantía

Una vez definida la metodología general de asignación y reserva de recursos, el siguiente paso consiste en su **aplicación práctica y estructurada** sobre cada sistema de explotación, utilizando como base los resultados obtenidos en los balances detallados y la información existente sobre concesiones, demandas, prioridades y condiciones de gestión.

Esta tarea busca traducir los diagnósticos técnicos en una **propuesta concreta de reparto del recurso hídrico**, que sea coherente con los principios definidos, técnicamente justificable y alineada con los objetivos del plan hidrológico. La asignación no se limita a repartir volúmenes, sino que incorpora el análisis de garantías, la programación de reservas para usos futuros, y la evaluación de medidas necesarias para resolver déficits o conflictos.

El proceso debe desarrollarse con una lógica operativa clara, manteniendo la trazabilidad entre los resultados del balance, la caracterización de las demandas y las decisiones adoptadas en términos de asignación y reserva.



Descripción Metodológica:

Paso 1: Revisión y recopilación de datos necesarios para aplicar el proceso de asignación y reserva

Antes de ejecutar el proceso de asignación y reserva de recursos hídricos, es fundamental contar con un conjunto mínimo de información técnica y administrativa que permita aplicar el procedimiento de manera coherente, trazable y técnicamente justificable.

Este paso tiene como objetivo asegurar que los datos que sustentan las decisiones estén disponibles, actualizados y correctamente integrados en el modelo o herramienta utilizada. La calidad y completitud de esta información condiciona directamente la fiabilidad de los resultados de asignación.

A continuación, se enumeran los principales grupos de datos requeridos:

a) Resultados del balance hídrico por sistema de explotación

- Volúmenes demandados y efectivamente servidos por tipo de uso y unidad de demanda.
- Porcentajes de cobertura y niveles de garantía alcanzados en distintos escenarios hidrológicos.
- Identificación de déficits estructurales o zonas de presión.

b) Información sobre concesiones y derechos de uso

- Concesiones otorgadas por tipo de uso, localización y caudal autorizado.
- Fecha de otorgamiento y vigencia, si se dispone.
- Distribución geográfica de los usuarios dentro del sistema de explotación.

c) Demanda futura prevista

- Proyectos de desarrollo en planificación o trámite (urbanísticos, agrícolas, industriales).
- Planes sectoriales o instrumentos de ordenación territorial que justifiquen nuevas demandas.
- Información sobre la temporalidad estimada de la demanda futura (a corto, medio o largo plazo).

d) Criterios técnicos y ambientales para asignación y reserva

- Orden de prioridad entre usos, si está establecido.
- Objetivos de sostenibilidad y restricciones ambientales aplicables (como cumplimiento de caudales ecológicos o control de sobreexplotación).
- Reglas técnicas de reparto incluidas en la metodología general definida en el plan.

e) Representación espacial y funcional del sistema

- Relación entre cuerpos de agua, infraestructuras, nodos de demanda y puntos de control.
- Ubicación de embalses, captaciones, retornos, transferencias y otras variables que afectan la distribución operativa del recurso.

Paso 2: Determinar los volúmenes asignados por tipo de uso en cada sistema de explotación

Para cada sistema, se debe consolidar el resultado del balance hídrico, distinguiendo los usos cuya demanda ha sido atendida con un grado de cobertura considerado aceptable (en función de criterios técnicos definidos).

La asignación se expresa como volumen anual asignado por tipo de uso y, en caso necesario, también mensual o estacional si el comportamiento del sistema lo requiere.



Importante:

La asignación no debe superar el volumen realmente atendido en los escenarios simulados, y debe respetar la estructura de prioridades definida previamente.

Paso 3: Estimar el nivel de garantía alcanzando para cada uso (frecuencia de cobertura)

El nivel de garantía es un **indicador de frecuencia o fiabilidad** con que un uso puede ser atendido. La garantía es característica de cada demanda, tal y como se ha explicado en **Garantía de las demandas**. Se suele expresar como:

- Porcentaje de años en que la demanda se cubre hasta un determinado nivel de fallo.
- Porcentaje medio de cobertura.

El nivel de garantía aceptable puede variar según el tipo de uso. Por ejemplo:

- Abastecimiento urbano: garantía muy alta (>95–98 %).
- Agrícola: garantías medias o variables según cultivos.
- Industria: garantías específicas según procesos.



Importante:

Esta estimación debe basarse directamente en los resultados de la simulación, y estar diferenciada por tipo de uso y sistema.

Paso 4: Verificar la coherencia de las asignaciones con el balance y con los objetivos ambientales

Toda asignación debe ser **coherente con los recursos realmente disponibles** y con las limitaciones técnicas, ambientales o normativas del sistema.

En particular:

- No debe haber **asignaciones que generen sobreexplotación** o deterioro del estado de los cuerpos de agua.
- Se debe asegurar que se cumplen los **caudales ecológicos**, restricciones operativas y otras de carácter técnico o administrativo que deban tomarse en consideración.

Si se detectan asignaciones que comprometen el equilibrio del sistema, debe optarse por reducirlas, condicionarlas o priorizar alternativas de gestión.

Paso 5: Representar las asignaciones mediante tablas comparativas y gráficos de cobertura

Los resultados deben presentarse de forma clara y operativa, mediante:

- **Tablas por sistema** que muestren:
 - Volumen demandado por uso.
 - Volumen efectivamente asignado.
 - Nivel de garantía alcanzado.
- **Gráficos de cobertura** que representen:
 - Porcentajes de atención en distintos escenarios.
 - Distribución mensual o estacional de la asignación.



Recomendación:

Incluir resúmenes por cuenca y por tipo de uso, que permitan una lectura global del nivel de atención alcanzado en el plan.

Paso 6: Análisis de escenarios de déficit

Este paso permite detectar aquellos sistemas de explotación o unidades de demanda en los que **las demandas no pueden ser atendidas adecuadamente**, evidenciando un déficit estructural. Esta identificación es clave para priorizar medidas correctoras o revisar las estrategias de asignación y reserva.

A continuación, se enumeran los pasos necesarios para la ejecución de dicho análisis:

1. **Revisión de los resultados de los balances hídricos.**
2. **Comparación entre el volumen demandado y el volumen servido**, por tipo de uso y unidad de demanda.
3. **Cálculo del déficit absoluto y relativo:**
 - a. Déficit absoluto: volumen no atendido ($\text{hm}^3/\text{año}$).
 - b. Déficit relativo: porcentaje de la demanda no cubierta.
4. **Identificación de unidades con déficit sistemático**, es decir, donde el incumplimiento de cobertura conforme a los criterios de garantía adoptados.
5. **Cartografía de zonas con déficit estructural**, indicando:
 - a. Qué tipo de usos están afectados.
 - b. Qué parte del sistema se ve comprometida (zona alta, media, baja).
 - c. La magnitud del problema.

Paso 7: Alternativas de gestión ante déficit estructural

Una vez identificadas y cartografiadas las áreas o unidades de demanda con déficit estructural, se propone evaluar de forma prioritaria las siguientes opciones de gestión (no excluyentes entre sí), que

pueden aplicarse de manera combinada estas alternativas deberán tenerse en cuenta en el **Programa de actuaciones**:

Mejora de la gestión actual

- Revisar y ajustar las reglas operativas de embalses y trasvases para maximizar la eficiencia en la distribución de caudales cuando la disponibilidad es limitada.
- Implementar mejoras en la operación de conducciones (ej.: reducción de pérdidas por fugas, revisión de válvulas y puntos de control) para incrementar el volumen realmente transportado.
- Refinar las prioridades de asignación entre usos consolidados, de modo que, en años secos, se asegure suministro mínimo a abastecimiento humano y caudales ecológicos antes que otros usos.

Inversiones en nuevas fuentes y ampliación de infraestructura

- Evaluar la construcción de plantas de tratamiento y reutilización de agua residual (agua regenerada) para destinarla a riego o procesos industriales, reduciendo la presión sobre fuentes convencionales.
- Considerar la factibilidad de plantas desaladoras en zonas costeras o áreas con salinización de acuíferos, cuando se demuestre un déficit recurrente que no pueda atenderse con fuentes superficiales o subterráneas.
- Identificar posibles obras de regulación adicionales (embalses complementarios, represas de baja altura, estanques de recarga inundados) para acumular excedentes en periodos húmedos y disponer de reservas en años secos prolongados.

Programas de ahorro y eficiencia en la demanda

- Desarrollar campañas de uso eficiente del agua en riego (Por ej., riego por goteo, aplicaciones de sensores de humedad), con el fin de disminuir la demanda agrícola.
- Promover la instalación de contadores y sistemas de detección temprana de fugas en redes urbanas, con el objetivo de reducir pérdidas de agua potable.
- Fomentar incentivos (subvenciones o tarifas diferenciadas) para industrias que adopten procesos de circuito cerrado o reciclado interno de agua.

Reasignación temporal o definitiva de usos

- En contextos de déficit severo, revisar la posibilidad de reasignar temporalmente volúmenes destinados a usos secundarios (Por ej., ciertos volúmenes de riego) hacia el abastecimiento urbano, garantizando mínimamente el derecho al agua potable.
- Si se confirma que un sistema presenta déficit estructural, evaluar la reubicación de cultivos intensivos en otras áreas o la reducción planificada de concesiones hidráulicas para usos no prioritarios.

Medidas complementarias de gobernanza y normatividad

- Ajustar los instrumentos regulatorios (ordenanzas, decretos) para reflejar las nuevas prioridades en años críticos, de modo que los usuarios (públicos y privados) conozcan claramente los procedimientos de corte o restricción.
- Establecer un **sistema de alerta temprana** que combine datos hidrológicos y meteorológicos para anticipar déficits en meses recientes, de forma que se active con suficiente antelación alguno de los mecanismos mencionados (optimización, reasignación, etc.).
- Promover acuerdos de colaboración entre cuencas vecinas (o con cuencas transfronterizas, cuando corresponda) para coordinar volúmenes de transferencia en emergencias hidrológicas.

Tareas a realizar en contextos con información limitada

En muchos contextos, los sistemas de información sobre recursos, demandas, concesiones o infraestructuras son incompletos, desactualizados o fragmentarios. En estas situaciones, **no es viable aplicar directamente modelos complejos ni ejecutar balances detallados** como los descritos en otros apartados.

Esto no significa que deba renunciarse a realizar un análisis técnico útil. El enfoque adecuado consiste en **aplicar un balance simplificado** entre recursos y demandas, utilizando la información disponible de forma estructurada y transparente. Este balance puede representar un **primer paso para avanzar progresivamente** hacia procesos más completos.

Las siguientes tareas describen una ruta básica que permite estructurar este tipo de análisis de forma sólida, aun con datos parciales:

1. Delimitar los sistemas de explotación con criterio funcional.

- Utilizar el sistema de explotación como unidad operativa de referencia.
- Aun sin datos precisos, es importante delimitar claramente qué cuerpos de agua, infraestructuras y zonas de demanda pertenecen al sistema.

Se recomienda usar criterios prácticos como subcuencas, áreas de captación o zonas de uso dominante. Aunque no se disponga de una delimitación oficial precisa, es importante contar con una base operativa clara sobre la que aplicar el análisis. En la tarea 1 se dan algunos detalles para llevar a cabo este procedimiento (**Tarea 1: Descripción del sistema de explotación**).

2. Estimar la disponibilidad de recursos hídricos con base en información accesible.

En contextos con información limitada, la estimación de recursos hídricos debe realizarse a partir de fuentes disponibles y criterios técnicos razonables, priorizando la consistencia metodológica sobre la precisión numérica. Como punto de partida, se recomienda recurrir al **Inventario de Recursos Hídricos**, cuando esté disponible, ya que ofrece una base consolidada para estimar aportaciones superficiales, subterráneas y recursos no convencionales (como la reutilización o desalación).

Cuando el inventario no esté actualizado o no cubra todas las áreas de interés, pueden utilizarse fuentes complementarias como:

- **Aportaciones medias anuales** estimadas para el sistema o región, ya sea desde estudios previos, balances hidrológicos regionales o conocimiento técnico local.
- **Datos puntuales o series históricas** de estaciones de aforo, registros de captaciones, escurrimiento medio observado u otras observaciones de campo.
- **Información cualitativa o indirecta** basada en el comportamiento hidrológico del sistema, incluyendo periodos secos frecuentes, evidencia de sobreexplotación o reducción significativa de caudales.

Además, es importante considerar de forma explícita las principales **restricciones** que puedan afectar la disponibilidad efectiva de los recursos, tales como:

- Requisitos de **caudales ecológicos**, aunque se representen solo de manera aproximada.
- **Limitaciones técnicas** como falta de infraestructura de captación o regulación.
- Condiciones estacionales extremas o periodos de **estiaje prolongado**.

La combinación de estas fuentes permite establecer una estimación integrada del volumen anual o estacional disponible, con un grado de confianza acorde al contexto, que servirá como base para comparar con las demandas y orientar las decisiones de asignación.

Lo importante es obtener una cifra representativa realista del recurso medio disponible, reconociendo su variabilidad estacional y limitaciones básicas.

3. Estimar la demanda hídrica total

El siguiente paso consiste en cuantificar las demandas actuales totales del sistema de explotación, desagregadas por tipo de uso (urbano, agrícola, industrial, ambiental, etc.). Este trabajo es uno de los elementos clave del plan, y como tal ya se ha descrito en **Descripción general de usos y demandas de agua**.

Cuando no se disponga de concesiones registradas o mediciones de consumo, es posible realizar estimaciones indirectas utilizando:

- Indicadores como el número de usuarios, la población abastecida, la superficie regada o la capacidad instalada en usos industriales.
- Información procedente de catastros de riego, censos productivos, registros de licencias, proyecciones de crecimiento urbano o datos sectoriales disponibles.

Estas estimaciones deben realizarse de forma coherente con la estructura del sistema de explotación definido y, en la medida de lo posible, con periodicidad anual o mensual para reflejar la estacionalidad.

Asimismo, deben incorporarse las **demandas futuras justificadas** que puedan surgir dentro del horizonte del plan, siempre que existan referencias formales como planes urbanísticos aprobados, proyectos agrícolas en trámite, solicitudes administrativas o políticas públicas que sustenten su viabilidad. En estos casos, se recomienda dejar constancia de las fuentes que respaldan su inclusión.

4. Comparar recursos y demandas totales

Una vez estimados los recursos disponibles y las demandas totales, se realiza una **comparación global** para determinar la situación general del sistema. Esta operación puede expresarse como:

$$\text{Recursos disponibles (R)} - \text{Demandas totales (D)} = \text{Margen de equilibrio o déficit}$$

Esta comparación sencilla debe realizarse con suma precaución, puesto que fácilmente enmascarará problemas de suministro debidos a la variabilidad temporal de los recursos hídricos. Por ejemplo, en el caso español, donde son patentes problemas de suministro y existe un balance equilibrado en grandes zonas del país, los recursos disponibles totales superan los 100.000 millones de metros cúbicos anuales, las demandas totales se sitúan en torno a los 30.000 millones de metros cúbicos y, por consiguiente, la simple diferencia entre esos valores podría llevar a suponer que es posible garantizar los suministros de manera sencilla..

5. Establecer un diagnóstico técnico preliminar.

Con base en la comparación anterior, el plan puede clasificar la situación del sistema y orientar decisiones técnicas iniciales:

- **Equilibrado:** los recursos disponibles permiten atender las demandas sin dificultad; no se requieren medidas urgentes.
- **Ligeramente deficitario:** el sistema presenta márgenes reducidos de cobertura; conviene priorizar medidas de eficiencia y control de usos no prioritarios.
- **Deficitario:** el sistema no puede atender las demandas bajo condiciones normales; se deben evaluar medidas de regulación, optimización de infraestructuras, redistribución o restricciones.

Este diagnóstico no reemplaza el análisis detallado, pero sí permite establecer una posición técnica sólida para avanzar.

6. Proponer medidas estratégicas iniciales

En función del diagnóstico, pueden proponerse **medidas generales de gestión**, incluso si no se dispone aún de un sistema de asignación formal. Algunas posibles líneas de acción son:

- **Priorizar los usos estratégicos**, como el abastecimiento humano o la conservación ambiental, frente a usos de menor prioridad.
- **Establecer márgenes de seguridad** o caudales de reserva antes de asignar nuevos volúmenes, especialmente en contextos deficitarios.
- **Fortalecer el sistema de información**, mediante la mejora de las redes de monitoreo, la recopilación de datos de concesiones o la integración de registros dispersos.
- **Aplazar decisiones críticas** cuando no exista seguridad técnica suficiente, condicionando futuras asignaciones a una mejora de la información o a la validación de nuevas estimaciones.

7. Documentar limitaciones y trazabilidad

Es fundamental que todo el procedimiento, incluso si es simplificado, quede documentado de forma clara y transparente. El plan debe reflejar:

- Las **fuentes de información utilizadas** y su nivel de confiabilidad.
- Los **supuestos asumidos**, criterios técnicos y rangos de incertidumbre.
- Las **limitaciones del análisis**, tanto en la calidad de los datos como en la escala de aplicación.
- Una **declaración explícita de que los resultados son preliminares**, pero válidos como base técnica para la toma de decisiones mientras se mejora progresivamente el sistema de información.

Esta documentación asegura la trazabilidad del proceso y facilita su actualización futura, fortaleciendo la transparencia y la credibilidad técnica del plan.

Capítulo 3.4.

Uso del agua, balances y asignación de recursos



Importante:

Este enfoque simplificado no busca replicar con menos datos el procedimiento completo, sino **aprovechar al máximo el conocimiento disponible** para tomar decisiones razonables y técnicamente sustentadas, sirviendo como fase inicial del ciclo de planificación.

GUÍAS

GUÍA 1: Manual de Normas y Procedimientos para la Gestión y Administración de Recursos Hídricos. Chile

<https://bibliotecadigital.ciren.cl/items/2f524e82-f3b9-417b-b0df-bf3caf07c716>

GUÍA 2: Guía Metodológica. Modelación hidrológica y de recursos hídricos con el modelo WEAP.

https://www.weap21.org/downloads/guia_modelacion_weap_espanol.pdf

GUÍA 3: Construcción del Modelo WEAP del Río Santa. Perú

https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-ancash/archivos/public/docs/5_construccion_del_modelo_weap_del_rio_santa.pdf

Casos prácticos

BRASIL: Plan Integrado de Recursos Hídricos de la Cuenca Hidrográfica del río Paraíba do Sul