

Capítulo 3.5.

Calidad de las aguas y conservación del medio hídrico y los ecosistemas



[3]	Contenidos y tareas para la elaboración de un plan hidrológico	1
[3.5]	Calidad de las aguas y conservación del medio hídrico y los ecosistemas.....	1
[3.5.1]	Identificación de las zonas protegidas para usos y conservación ambiental	1
[3.5.2]	Evaluación del estado de la calidad de las aguas y objetivos de calidad	6

Capítulo 3.5.

Calidad de las aguas y conservación del medio hídrico y los ecosistemas

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

[3.5] Calidad de las aguas y conservación del medio hídrico y los ecosistemas

[3.5.1] Identificación de las zonas protegidas para usos y conservación ambiental

Definición: El registro de zonas protegidas dentro de un plan hidrológico consiste en identificar, sistematizar y documentar todas aquellas áreas del territorio que, por su valor ecológico, hidrológico o social, han sido **formalmente reconocidas** como prioritarias para la protección del recurso hídrico. Básicamente se considerarán, al menos, dos grandes tipos de zonas protegidas: las relacionadas con la captación de agua para consumo humano y las zonas de especial interés ambiental. Este reconocimiento debe estar respaldado por una base legal, técnica o administrativa —ya sea legislación nacional, normativas regionales, instrumentos de ordenamiento territorial o compromisos internacionales—. La documentación debe incluir la localización georreferenciada, delimitación, categoría de protección, estatus jurídico y estado ecológico de cada zona.



Importante:

En algunos contextos es frecuente que los registros incluyan únicamente zonas con protección legal explícita (como parques nacionales), omitiendo otras áreas de gran relevancia hídrica —por ejemplo, nacientes de agua o áreas de recarga— que aún no cuentan con una designación oficial. Esta omisión puede limitar la utilidad del registro para la planificación del agua. Por tanto, el plan puede **complementar el registro principal** con una **identificación técnica de zonas críticas sin reconocimiento legal**, a fin de orientar futuras acciones de protección. La ausencia de mapas detallados y de referencias claras a la base legal o técnica de cada zona constituye una debilidad técnica relevante que debe ser subsanada para asegurar la robustez del inventario.

Objetivo: La identificación de zonas protegidas dentro de un plan Hidrológico con enfoque de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) tiene como objetivo garantizar la conservación y el uso sostenible del agua en ecosistemas estratégicos, así como la protección de fuentes de agua clave para el abastecimiento humano, la biodiversidad y la regulación hidrológica. Además, permite integrar la gestión del agua con la planificación ambiental y territorial, asegurando la sostenibilidad a largo plazo.

El objetivo principal de este registro es controlar que estas zonas se mantengan en un estado adecuado para cumplir con sus funciones específicas. Por ejemplo:

- Las áreas de captación de agua para consumo humano deben estar protegidas de contaminantes para garantizar la potabilidad. Pueden existir, según el marco legal de cada país, restricciones específicas en estas zonas, tanto para la captación como para el vertido, a fin de evitar la sobreexplotación y la contaminación, limitando con ello los costes de potabilización y suministro.
- Las zonas que albergan especies acuáticas (fauna y flora) de valor ecológico o económico requieren una calidad de agua que permita su mantenimiento y reproducción.

Capítulo 3.5.

Calidad de las aguas y conservación del medio hídrico y los ecosistemas



Importante:

Es importante destacar que, salvo disposición jurídica expresa, el plan hidrológico no establece el régimen de protección de estas zonas, sino que reconoce su existencia y asume las medidas necesarias para respetar sus condiciones de protección. El registro no crea una nueva zona protegida, solo **reconoce y respeta las que ya existen**, o aquellas que deben tratarse con cuidado por sus funciones ecológicas clave. El organismo de cuenca o autoridad responsable del plan hidrológico debe integrar este registro. La protección legal de las zonas puede corresponder a otras entidades (ministerios de ambiente, gobiernos locales), pero el plan debe respetar su estatus y ajustar la gestión del agua en consecuencia.

Esto no es óbice para que, como se ha dicho anteriormente, el plan complemente **el registro principal** con una **identificación técnica de zonas críticas sin reconocimiento legal**.

Utilidad:

- Preservar ecosistemas estratégicos vulnerables o críticos.
- Garantizar la calidad y cantidad de agua en zonas clave para abastecimiento o equilibrio ecológico.
- Cumplir con normativas nacionales e internacionales.
- Integrar la gestión del riesgo climático e hidrológico, considerando el papel amortiguador de ciertos ecosistemas.
- Favorecer un desarrollo socioeconómico sostenible, al proteger recursos vitales para la población y la producción.
- Guiar la toma de decisiones sobre caudales ecológicos, asignación de recursos y medidas de gestión

Contenidos que deben incluirse en un plan hidrológico

Un plan hidrológico con enfoque GIRH debe incorporar secciones específicas sobre las zonas protegidas vinculadas al recurso hídrico. Los contenidos mínimos recomendados incluyen:

- **Identificación y registro de zonas protegidas.**
- **Diagnóstico de la zona protegida.**
- **Objetivos específicos de protección.**

Identificación y registro de zonas protegidas

El plan hidrológico debe incorporar un **inventario detallado de las zonas protegidas vinculadas al recurso hídrico**, con el objetivo de garantizar la conservación de áreas estratégicas para la regulación, calidad y disponibilidad del agua. Este apartado debe incluir la **localización geográfica precisa, delimitación, categoría de protección, y base legal** de cada zona protegida, con apoyo de cartografía georreferenciada.

✓ Contenidos clave:

- **Listado sistemático de zonas protegidas** dentro del ámbito de planificación, organizadas por subcuenca o unidades de gestión. **Categorías principales** a considerar:
 - **Fuentes de abastecimiento de agua potable:** incluyendo manantiales, cuencas de captación superficial y acuíferos estratégicos. Deben indicarse los perímetros de protección sanitaria (si existen) y su régimen de protección (por ejemplo, zonas de restricción de actividades).
 - **Humedales de importancia ecológica o regulatoria:** sitios Ramsar, humedales permanentes o estacionales críticos para la biodiversidad o regulación hidrológica.

Capítulo 3.5.

Calidad de las aguas y conservación del medio hídrico y los ecosistemas

- **Áreas de recarga de acuíferos:** zonas geológicamente aptas para la infiltración y recarga natural de aguas subterráneas, en especial aquellas que alimentan acuíferos desde los que se abastecen centros poblados.
- **Hábitats críticos de fauna y flora acuática:** nacederos de ríos con especies endémicas o amenazadas, zonas de desove de peces migratorios, estuarios con alta biodiversidad.
- **Zonas ribereñas con vegetación protectora:** franjas de protección legal o técnica que amortiguan impactos de escorrentía y erosionan menos las orillas.
- **Áreas recreativas vinculadas al agua:** zonas oficiales de baño, navegación o turismo de naturaleza, siempre que estén sujetas a medidas de gestión de la calidad del agua.
- **Zonas con especies acuáticas de valor económico:** áreas donde la calidad del agua es determinante para especies piscícolas, moluscos o macroinvertebrados de interés comercial o alimentario.
- **Base normativa o técnica de designación:** debe indicarse claramente el marco legal o técnico que respalda la protección de cada zona (por ejemplo: decreto nacional, ordenanza local, designación como sitio Ramsar, figura del plan de ordenamiento territorial, etc.), identificando la autoridad pública responsable de la administración de dicha zona protegida.
- **Estado actual de conservación:** si existe información disponible, puede incluirse una nota sobre el grado de alteración, integridad ecológica o presiones existentes sobre la zona.
- **Mapas georreferenciados:** al menos un mapa temático debe mostrar la ubicación, extensión y superposición con cuerpos de agua o unidades de gestión. Este mapeo es clave para integrar estas zonas en el diagnóstico de presiones y en la planificación de caudales ecológicos y medidas de protección.

Diagnóstico de la zona

Una vez identificadas las zonas protegidas relacionadas con el agua, el plan hidrológico debe incluir un diagnóstico claro y técnicamente fundamentado sobre su estado actual y las principales amenazas que enfrentan. Este análisis, en que deberá participar la autoridad pública responsable de la zona protegida, es clave para entender qué tan bien están cumpliendo estas zonas sus funciones ecológicas, de abastecimiento o de protección, y qué factores podrían estar comprometiendo su integridad.

El diagnóstico debe abordar, al menos, los siguientes aspectos:

✓ **Contenidos clave:**

- **Calidad del agua:** en zonas destinadas al abastecimiento o de valor ecológico, se deben analizar parámetros fisicoquímicos (por ejemplo, turbidez, oxígeno disuelto, nitratos, contaminantes específicos) que permitan evaluar si la calidad del agua es adecuada para los usos o funciones que se busca proteger.
- **Cantidad y disponibilidad de agua:** en áreas de recarga o hábitats dependientes del régimen hídrico, se debe evaluar el estado de los caudales base, el nivel de los acuíferos o la estabilidad del suministro. Indicadores como el descenso del nivel freático o el incumplimiento del caudal ecológico mínimo son señales de presión.
- **Estado de humedales y hábitats acuáticos:** es importante determinar su grado de conservación, la biodiversidad presente (especies clave o endémicas), y si existen procesos de degradación (reducción de superficie, pérdida de vegetación ribereña, presencia de especies invasoras, etc.).
- **Presiones antrópicas:** deben identificarse claramente las actividades humanas que afectan negativamente a estas zonas, tales como:
 - Contaminación agrícola o industrial (por escorrentía, vertidos, uso de agroquímicos).
 - Sobreexplotación de acuíferos o captaciones no reguladas.
 - Alteraciones del hábitat (deforestación, drenajes, construcción de infraestructura).
 - Urbanización y ocupación de zonas ribereñas o de recarga.

Por ejemplo, si un humedal está protegido, pero ha perdido superficie en los últimos años, el plan debe señalar cuánto ha disminuido, qué especies están en riesgo, qué tipo de contaminantes se han detectado y cuáles son los factores responsables de dicha pérdida.

Capítulo 3.5.

Calidad de las aguas y conservación del medio hídrico y los ecosistemas

El uso de **indicadores cuantitativos** fortalece el diagnóstico. Algunos ejemplos útiles incluyen:

- Porcentaje de superficie inundable perdida respecto al histórico.
- Concentración de nitratos o coliformes en aguas subterráneas protegidas.
- Número de eventos en los que el caudal mínimo en tramos fluviales protegidos no ha sido respetado.

Finalmente, el diagnóstico debe incorporar una valoración de los **efectos proyectados del cambio climático** sobre estas zonas. Esto incluye posibles variaciones en la recarga de acuíferos, aumento de temperaturas, eventos extremos como sequías o inundaciones, y la capacidad de los ecosistemas para adaptarse (resiliencia).

Este análisis será la base para definir medidas concretas en el programa de actuaciones, y establecer prioridades en la gestión y conservación de zonas críticas.



Recomendación:

Diagnóstico en contextos con baja disponibilidad de información

En muchas regiones, la falta de datos sistemáticos no debe ser un obstáculo para incluir un diagnóstico operativo. En estos casos, se recomienda aplicar una combinación de estrategias:

- **Uso de fuentes secundarias:** planes territoriales, estudios ambientales, informes técnicos o académicos disponibles.
- **Percepción local validada:** entrevistas con actores clave y uso de herramientas participativas para identificar presiones y tendencias observadas.
- **Análisis espacial y teledetección:** mapas e imágenes satelitales para detectar cambios en coberturas, extensión de cuerpos de agua o presiones evidentes.
- **Indicadores indirectos:** señales visuales (turbidez, vegetación alterada), presencia de conflictos de uso o pérdida de biodiversidad observada.
- **Matriz cualitativa de riesgo:** clasificación de zonas en función de su valor ecológico y la intensidad de presiones percibidas.
- **Recomendaciones de refuerzo:** proponer medidas para mejorar el monitoreo futuro (muestreo básico, estaciones de bajo costo, monitoreo comunitario).

Este enfoque permite construir un diagnóstico técnicamente válido y útil para la toma de decisiones, incluso en ausencia de datos cuantitativos sistemáticos.

Objetivos específicos de protección

Para que las zonas protegidas realmente cumplan su función en la gestión del agua, es necesario definir objetivos claros y alcanzables. Estos objetivos deben responder a las funciones que cada zona cumple —abastecimiento, conservación de hábitats, recarga hídrica, etc.— y deben estar alineados con los marcos legales y ambientales vigentes.

Los objetivos deben ser **específicos, medibles, alcanzables, relevantes y con un plazo definido**. Algunos ejemplos incluyen:

- **Calidad del agua:** mantener los niveles de una fuente de abastecimiento dentro de los límites de la normativa de agua que se va a destinar a la producción de agua potable.
- **Recuperación ecológica:** restaurar un área de recarga degradada, como 50 ha para el año 2030.
- **Conservación de hábitats:** asegurar un caudal mínimo en un tramo de río que albergue especies sensibles, como peces o nutrias.

Estos objetivos, fijados por las autoridades correspondientes, deben integrar compromisos legales nacionales e internacionales, y vincularse con otras metas del plan hidrológico (por ejemplo, calidad de los cuerpos de agua o adaptación al cambio climático).

Capítulo 3.5.

Calidad de las aguas y conservación del medio hídrico y los ecosistemas

- **Medidas de gestión y protección**

Para alcanzar los objetivos, el plan debe incluir un conjunto de medidas concretas, adaptadas a cada tipo de zona y presión identificada:

- **Medidas de conservación de ecosistemas:** reforestación de áreas de recarga, restauración de humedales, protección de riberas mediante acuerdos de conservación o cercado, permeabilización de barreras, etc.
- **Control de contaminación:** tratamiento de aguas residuales antes de su vertido en zonas de baño o en áreas de captación para fuentes de consumo; promoción de prácticas agrícolas sostenibles en cuencas abastecedoras.
- **Regulación y ordenamiento:** definición de perímetros de protección en fuentes de agua potable; restricciones en zonas de extracción; ordenamiento del uso del suelo en cuencas críticas.
- **Incentivos y participación local:** fondos del agua (como FONAG¹ en Quito o MERESE² en Perú), acuerdos comunitarios de vigilancia y educación ambiental.

Cada medida debe incluir información sobre su ubicación, qué se va a hacer, cómo y con qué objetivo, así como una estimación de su efectividad, costes, responsables y plazos.

- **Programa de seguimiento y monitoreo**

Un buen plan debe incluir un sistema de monitoreo para comprobar si los objetivos se están cumpliendo y si las medidas están funcionando. Esto implica:

- **Indicadores:** por ejemplo, calidad del agua en fuentes protegidas, niveles freáticos en acuíferos, extensión de vegetación en humedales, presencia de especies sensibles.
- **Frecuencia y responsables:** definir cada cuánto se medirán los indicadores, quién lo hará (autoridades, operadores, academia) y cómo se informarán los resultados.
- **Alertas tempranas y revisión:** si se detecta un deterioro en una zona protegida, se deben activar medidas correctivas. Además, el plan debe revisarse periódicamente para ajustar los objetivos y acciones.



Recomendación:

En contextos con baja disponibilidad de información

- Utilizar imágenes satelitales o teledetección para evaluar cambios en cobertura vegetal o estado de cuerpos de agua.
- Apoyarse en conocimiento local, entrevistas o talleres participativos para validar amenazas y condiciones ecológicas.
- Priorizar zonas más críticas y utilizar indicadores indirectos (presencia de vegetación ribereña, disminución del caudal base, calidad percibida del agua, etc.).
- Diseñar objetivos progresivos, ajustables conforme se obtenga más información o capacidad técnica..

Integración de zonas protegidas en la planificación hidrológica: visión regional y buenas prácticas

En la Región, diversos países han comenzado a incorporar zonas protegidas en sus procesos de planificación hidrológica como una buena práctica para fortalecer la gestión integrada del recurso hídrico. Esta integración busca asegurar que las acciones planificadas consideren el valor ecológico y estratégico de estas zonas, promoviendo su conservación.

¹ <https://www.fonag.org.ec/web/>

² <https://www.minam.gob.pe/economia-y-financiamiento-ambiental/mecanismos-de-retribucion-por-servicios-ecosistemicos-mrse/>

Capítulo 3.5.

Calidad de las aguas y conservación del medio hídrico y los ecosistemas

Casos ejemplares de integración efectiva

Diversos países han desarrollado planes que articulan exitosamente la planificación hídrica con la gestión de zonas protegidas:

- **Colombia – POMCA del Río Chinchiná:** Incorporó páramos, bosques altoandinos y humedales, con objetivos concretos (como frenar la expansión agrícola en el páramo) y medidas como reforestación y adquisición de predios estratégicos. Implementó un monitoreo robusto en alianza con el Parque Nacional Natural Los Nevados.
- **México – Programa Nacional de Reservas de Agua:** Estableció reservas ecológicas en cuencas con bajo nivel de desarrollo hídrico, protegiendo caudales para ecosistemas (ej. Pantanos de Centla). Basado en estudios técnicos, este modelo ha sido replicado en otros países con apoyo del BID y WWF.
- **Perú – Plan de la Cuenca Chira-Piura:** Vinculó las acciones del plan con humedales costeros y lagunas altoandinas, estableciendo metas de caudales ecológicos y promoviendo la coordinación entre áreas protegidas y acciones aguas arriba.
- **Argentina – Plan de Saneamiento Matanza-Riachuelo:** Aunque orientado a saneamiento, protegió humedales urbanos y planicies de inundación frente a urbanización, estableciendo metas de conservación y regulación hidrológica.
- **Costa Rica – Plan de Cuenca del Río Savegre:** Integró la planificación con la declaratoria de Reserva de Biosfera UNESCO, protegiendo bosques primarios y rechazando proyectos hidroeléctricos en tramos clave del río.

[3.5.2] Evaluación del estado de la calidad de las aguas y objetivos de calidad

Definición: La calidad del agua es el conjunto de características físicas, químicas, microbiológicas y biológicas de un cuerpo de agua que determinan su estado y su capacidad para:

- Satisfacer los usos humanos, sociales y económicos asignados (potable, riego, recreación, industrial, etc.).
- Mantener el equilibrio y funcionamiento de los ecosistemas acuáticos, garantizando su integridad y resiliencia.

La calidad se expresa como un valor absoluto, sino como una evaluación relativa en función de unos **objetivos de referencia** (normativos o no), dependiendo de la tipología del cuerpo de agua de que se trate, que se comparan con datos obtenidos mediante monitoreo.

Enfoques para su evaluación

En la planificación hidrológica se emplean dos enfoques complementarios para evaluar la calidad:

1. **Enfoque por usos y general (calidad química y fisicoquímica):**
 - Evalúa la calidad en relación con valores de referencia para parámetros químicos, fisicoquímicos y microbiológicos exigidos para cada uso.
 - Incluye los cuerpos de agua sin uso asignado, comparándolos con **valores generales de referencia** para prevenir el deterioro.
2. **Enfoque integrado (químico-fisicoquímico + biológico):**
 - Integra los resultados fisicoquímicos con indicadores biológicos e hidromorfológicos para obtener una visión completa del estado ecológico.
 - Permite valorar la salud de los ecosistemas acuáticos y el grado de cumplimiento de los objetivos ambientales.

El grado de aplicación de cada enfoque dependerá de la ambición con que se planteen los trabajos y de la calidad y cantidad de información disponible: en contextos con datos limitados se comenzará por el primer enfoque y se evolucionará hacia el segundo conforme se disponga de datos más robustos.

Objetivo: La evaluación de la calidad del agua es una parte esencial de un plan hidrológico. No solo permite conocer el estado actual de los cuerpos de agua, sino también la brecha que existe entre la situación diagnosticada y la deseada, fundamentando con ello la planificación de actuaciones y medidas, el seguimiento del cumplimiento de objetivos y el diseño de estrategias de protección y recuperación. Esta evaluación debe abordarse de manera estructurada, detallada y con base técnica sólida, como parte de un enfoque de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH).

Capítulo 3.5.

Calidad de las aguas y conservación del medio hídrico y los ecosistemas

Utilidad: La utilidad del análisis de calidad de las aguas radica en su capacidad para:

- Ayuda a interpretar y comprender el modelo conceptual, al que se alude en la tarea de **inventario de recursos**, donde la marca cualitativa de las aguas, su fisicoquímica fundamentalmente deberá ser coherente con la explicación dada a los flujos del ciclo hidrológico, en particular en situaciones de mezcla de aguas de distintos orígenes (intrusión salina, cuña estuarina), de conexión entre la escorrentía superficial y la subterránea (recargas y descargas) y otras circunstancias.
- Proteger la salud pública: Garantizar que el agua destinada al consumo humano y otras actividades con repercusión sobre la salud (riego de productos que se consumen en fresco, baño...) sea segura.
- Identificar fuentes de contaminación: Detectar y controlar las fuentes de contaminación para mitigar sus efectos.
- Conservar los ecosistemas acuáticos: Mantener la biodiversidad y el equilibrio ecológico.
- Cumplir con la normativa: Asegurar que se cumplen los estándares legales y reglamentarios.
- Gestionar los recursos hídricos: Facilitar la toma de decisiones informadas para la gestión sostenible del agua.
- Priorización de inversiones o definición de zonas críticas de actuación.



Importante:

En el ámbito de la CODIA se está trabajando en un Marco común de calidad de aguas que se incluirá en la Guía cuando sea finalizado y aprobado por los países socios.

Contenidos que deben incluirse en un plan hidrológico

Para abordar el estudio de la calidad de las aguas, el plan hidrológico deberá incorporar los siguientes contenidos:

1. Marco normativo y regulatorio
2. Objetivo y alcance del análisis
3. Caracterización inicial de la zona de análisis
4. Objetivos de calidad
5. Análisis y evaluación de la información de partida
6. Red de monitoreo para la evaluación de la calidad de las aguas
7. Validación de los datos obtenidos en la red de monitoreo
8. Diagnóstico
9. Propuestas de medidas de gestión y mejora
10. Seguimiento de la calidad

Marco Normativo y regulatorio

El plan debe contemplar el marco normativo que encuadrará el estudio de calidad de las aguas. En ese sentido se debe tener en cuenta:

- **Legislación nacional:** Revisión de leyes y normativas relacionadas con la gestión del agua y la protección ambiental, con el fin de identificar reglas de alto nivel y reglamentarias sobre objetivos de calidad y protección de las aguas, que sean propias del país. Cada país dispone de su propia normativa de calidad de agua, que establece parámetros y estándares según sus realidades y usos, y que, obviamente, deberá ser tomada en consideración. A modo de referencia, México define límites permisibles para agua potable en la **NOM-127-SSA1-2021**; Colombia regula los vertimientos de aguas residuales a cuerpos hídricos mediante la **Resolución 0631 de 2015** del Min Ambiente; Perú ha adoptado Estándares de Calidad Ambiental para Agua (**D.S. N° 004-2017-MINAM**) aplicables a distintas categorías de cuerpos de agua; Chile establece normas de calidad para distintos usos de agua https://ciperchile.cl/pdfs/11-2013/norovirus/NCh1333-1978_Mod-1987.pdf
- **Instrumentos internacionales (globales):** **Directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS)** para la calidad del agua potable (establecen valores guía de contaminantes para proteger la salud pública); criterios y guías de calidad de agua de la **Agencia de**

Capítulo 3.5.

Calidad de las aguas y conservación del medio hídrico y los ecosistemas

Protección Ambiental de EE.UU. (EPA), incluyendo el desarrollo de criterios biológicos y toxicológicos; y los **Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU**, en particular la Meta 6.3 de la Agenda 2030, que busca para 2030 ‘mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertido y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos), la Directiva Marco del Agua de la Unión Europea (DMA-UE) que establece un marco común de protección para todas las aguas, o más específicamente, para las aguas de abastecimiento, la Directiva 2020/2184, de 16 de diciembre de 2020, relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano.

Objetivo y alcance del análisis

- **Definición del objetivo del análisis:** identificar claramente para qué se evalúa la calidad del agua (uso humano, riego, ecosistemas, recreación, etc).
- **Delimitación del alcance:** A priori el alcance debe incluir todas las aguas continentales (superficiales y subterráneas) del territorio a que se refiere el plan hidrológico, pudiendo incluso incorporar aguas costeras o de ambientes de transición cuando su estado esté claramente afectado por las aguas continentales (**delimitación y caracterización de los cuerpos o masas de agua**) qué cuerpos de agua o áreas serán evaluados, diferenciando:
 - Aguas superficiales (ríos, lagos, humedales, aguas costeras o tramos).
 - Aguas subterráneas (acuíferos).
 - Consideración especial de zonas protegidas en función del tipo de protección y sus requisitos particulares (producción de agua potable, baño, acuicultura...),

El área de estudio debería ser todo el ámbito del plan hidrológico, siendo las unidades discretas del análisis los cuerpos de agua (superficiales y subterráneos), reconociendo que algunos cuerpos tendrán datos directos, obtenidos mediante las redes de control, mientras que otros carecerán de datos directos y deberán ser evaluados mediante un estudio de presiones e impactos.

Caracterización inicial de la zona de análisis

*Este contenido se desarrolla en la **tarea 1: Caracterización inicial de la zona de análisis***

Proporcionar una comprensión integral del sistema hídrico antes del monitoreo, conforme al modelo conceptual expuesto en el **Inventario de los recursos hídricos**, estableciendo la base para el diagnóstico, la interpretación de resultados y la toma de decisiones.

Contenido mínimo que debe contemplarse:

- Ubicación geográfica y contexto territorial.
- Tipología de cuerpos de agua, necesario para análisis de la calidad ambiental. (**delimitación y caracterización de los cuerpos o masas de agua**).
- Condiciones hidrológicas e hidrográficas.
- Clasificación y usos actuales o previstos del agua. (**descripción general de usos y demandas de agua**).
- Presiones sobre la calidad del agua. (**inventario de presiones**).

Objetivos de calidad

Desarrollo de contenido en **Tarea 2: Asignación de objetivos de calidad**

Los **objetivos de calidad** del agua son metas definidas para lograr una mejora continua en la calidad de los cuerpos de agua, alineadas con los **distintos usos** actuales y proyectados del recurso, así como con la **recuperación y conservación ambiental**. Estos objetivos se establecen con un enfoque a largo plazo, considerando diversas dimensiones, tales como: la viabilidad técnica, la adecuación ambiental y la sostenibilidad socioeconómica. La principal función de estos objetivos es servir como una referencia normativa y técnica para evaluar la calidad del agua, interpretar los resultados del diagnóstico y, en función de todo ello, tomar decisiones adecuadas en términos de gestión, protección y recuperación de los recursos hídricos.

Habrán situaciones en que estos objetivos hayan sido formalmente establecidos mediante, por ejemplo, una tabla de valores de concentración límite para diversos parámetros. Esta solución puede no ser fácilmente aplicable cuando se estén investigando condiciones naturales para determinar requisitos de

Capítulo 3.5.

Calidad de las aguas y conservación del medio hídrico y los ecosistemas

calidad para ecosistemas, en particular si están relacionados con descargas de agua subterránea o corresponden a **tipologías específicas (delimitación y caracterización de los cuerpos o masas de agua)** por su salinidad u otras condiciones que los singularicen. En estos casos, y a falta de mejor información, el plan hidrológico deberá estimar las concentraciones o parámetros límite que puedan resultar adecuados.

En el contexto de la planificación hidrológica con enfoque de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH), el establecimiento de objetivos de calidad del agua constituye una herramienta central para orientar las acciones de mejora, conservación y recuperación de los cuerpos de agua. No obstante, en muchos países de América Latina y el Caribe (ALC), **las limitaciones en la cobertura y calidad del monitoreo** dificultan el establecimiento de **objetivos ambientales integrales**, que aúnan el objetivo para la satisfacción de usos y el mantenimiento de ecosistemas.

Ante esta realidad, se plantea en esta guía una **diferenciación metodológica explícita** entre dos categorías complementarias de objetivos:

- **Objetivos químicos y fisicoquímicos:** Son objetivos que se vinculan al cumplimiento de valores umbral para parámetros de calidad del agua (nutrientes, oxígeno disuelto, sólidos suspendidos, bacteriología, metales pesados, contaminantes prioritarios, etc.). Estos objetivos se aplican **tanto a las masas con uso asignado como a aquellas que no lo tienen**:
 - **Para las masas con uso**, los valores objetivo se establecen en función de la normativa correspondiente al uso específico (abastecimiento, riego, recreativo, etc.).
 - **Para las masas sin uso actual, se fijan objetivos generales de calidad**, tomando como referencia valores normativos nacionales o, en su defecto, valores de referencia internacionales, con el fin de garantizar una calidad mínima y prevenir su deterioro, de forma que puedan ser aptas para usos futuros.
- **Objetivos ambientales o ecológicos:** Este tipo de objetivos se orienta a mantener o recuperar la funcionalidad ecológica de los ecosistemas acuáticos (preservar hábitats, biodiversidad, conectividad de cauces, régimen de caudales, etc.). Su formulación implica definir el **estado ecológico** deseado, que normalmente se expresa en clases de calidad (por ejemplo, alcanzar al menos un estado “bueno” o “muy bueno”). La base técnica para establecer estos objetivos es el concepto de **condiciones de referencia**, entendidas como las condiciones naturales o muy poco alteradas que ofrece un cuerpo de agua en ausencia de presiones significativas que lo deterioren. Estas condiciones de referencia sirven como estándar para:
 - Comparar la calidad actual con el estado deseado.
 - Calibrar los índices biológicos y fisicoquímicos utilizados en la evaluación.
 - Establecer de manera objetiva la meta ambiental en cada tipo de cuerpo de agua.

La fijación de objetivos ecológicos suele ser progresiva y adaptativa, comenzando con aproximaciones más generales cuando los datos son limitados y avanzando hacia una definición más precisa a medida que se fortalecen los programas de monitoreo y la capacidad técnica e institucional.

Análisis y evaluación de la situación de partida

*Este contenido se desarrolla en la **tarea 3: Análisis y evaluación de información de partida***

En esta fase se **organiza, revisa y evalúa la información existente para cada cuerpo de agua del área de estudio**. El objetivo es tener una visión clara y documentada de los datos disponibles relativos a:

- Usos del agua,
- Límites ambientales y normativos,
- Presiones identificadas,
- Disponibilidad de datos históricos y actuales de calidad y cantidad.

El resultado es un **inventario estructurado** que servirá de base para identificar carencias y planificar el diseño de la red de monitoreo.

Esta evaluación parte de la **comparación sistemática entre la información disponible y los requisitos normativos establecidos**, teniendo en cuenta tanto los usos definidos para el agua como las presiones detectadas sobre los cuerpos de agua. El análisis permite:

- Detectar deficiencias en el monitoreo y en la caracterización de presiones,

Capítulo 3.5.

Calidad de las aguas y conservación del medio hídrico y los ecosistemas

- Identificar los cuerpos con suficiente información para el diagnóstico y aquellos en los que se requieren campañas complementarias.

El producto final de esta tarea es un **inventario evaluado de la información existente, indicando para cada cuerpo de agua el grado de cobertura y de confianza de los datos**, lo que proporcionará la base técnica para la fase de diagnóstico y la definición de la red de monitoreo.

Red de monitoreo para la evaluación de la calidad de los cuerpos de agua y programas de control

Este contenido se desarrolla en la [tarea 4: Definición de la red de monitoreo](#).

Una vez establecida la situación actual de la cuenca y detectadas la necesidad en cuanto al control de la calidad del agua, se procede al diseño de la **red de monitoreo de calidad del agua**, que constituye el sistema mediante el cual se recopila la información necesaria para diagnosticar el estado de los cuerpos de agua, evaluar el cumplimiento de los objetivos de calidad y hacer seguimiento a la eficacia de las medidas implementadas. Su diseño debe estar alineado con los objetivos del plan, los usos del agua identificados, las presiones existentes y las capacidades institucionales del país o región. (**Definición de las redes de monitoreo**).

Una red bien estructurada debe cumplir con las siguientes funciones:

- **Representatividad espacial:** Garantizar que los puntos de control cubran adecuadamente la variabilidad natural de la cuenca y las zonas afectadas por las presiones antrópicas.
- **Adaptación a usos y objetivos:** Seleccionar los parámetros adecuados según los usos asignados al recurso y los objetivos de calidad definidos.
- **Representatividad temporal:** Establecer frecuencias de muestreo que capturen adecuadamente la dinámica estacional e hidrológica.
- **Seguimiento de medidas:** Incluir estaciones destinadas a evaluar la eficacia de las medidas del plan.
- **Ajuste normativo e institucional:** Asegurar que el diseño sea coherente con los estándares nacionales e internacionalmente reconocidos, y viable en función de los recursos disponibles.

Dada la heterogeneidad en la capacidad técnica, institucional y de datos, dominante en los países de América Latina y el Caribe, se presentan **dos esquemas metodológicos diferenciados** para la evaluación de la calidad del agua a partir de los resultados de las redes de monitoreo:

- **Enfoque por usos y general; calidad química y fisicoquímica:** Este enfoque evalúa si la calidad del agua es adecuada para los usos asignados (abastecimiento, riego, recreación, industrial, etc.) a través del control de **parámetros fisicoquímicos** y, cuando sea necesario por la presencia de presiones específicas, **parámetros químicos adicionales**. Para cada tipo de uso se establece un conjunto mínimo de parámetros y se comparan los resultados con los estándares legales o guías nacionales correspondientes.

Parámetros fisicoquímicos, entre lo que se suelen incluir:

- Temperatura
- Turbidez
- Sólidos suspendidos totales
- Color y transparencia
- Oxígeno disuelto
- DBO₅ y DQO
- Nutrientes: nitratos, nitritos, amonio, fósforo total y ortofosfatos
- Sales principales: cloruros, sulfatos, bicarbonatos, alcalinidad/dureza, sodio, calcio, magnesio, conductividad eléctrica

Parámetros químicos

- Metales y metaloides: arsénico, plomo, cadmio, mercurio, etc.
- Contaminantes específicos: pesticidas, hidrocarburos, compuestos orgánicos prioritarios u otros contaminantes emergentes.

Parámetros microbiológicos mínimos: coliformes totales y *Escherichia coli* cuando proceda (consumo humano, recreación).

Capítulo 3.5.

Calidad de las aguas y conservación del medio hídrico y los ecosistemas

Este esquema permite diseñar redes de monitoreo con **cobertura representativa**, sin necesidad de una alta densidad de estaciones, y constituye la base mínima de evaluación en contextos con información y recursos limitados.

En los casos en que un cuerpo de agua no tenga definido un uso específico, puede aplicarse un conjunto de **límites generales de calidad** como referencia para su evaluación. Estos límites se establecerán según normativa nacional o, en su defecto, con base en valores de referencia internacionales para las aguas destinadas a potabilización. La finalidad es asegurar una calidad mínima y prevenir el deterioro de cuerpos de agua aún no destinados a usos intensivos. Esta evaluación es clave en contextos donde se planifican futuros aprovechamientos o se desea conservar la calidad natural del recurso.

- **Enfoque integrado fisicoquímico y biológico (para contextos con mayor disponibilidad de datos):** Evaluación Integrada (Calidad química y fisicoquímica + biológica): Este enfoque combina la evaluación de los **parámetros fisicoquímicos y químicos** con el análisis de **indicadores biológicos e hidromorfológicos**, proporcionando una medida completa del **estado ecológico** de los cuerpos de agua. Supone un nivel más avanzado de diagnóstico, aplicable en contextos con mayor disponibilidad de información y capacidad técnica.

- **Parámetros fisicoquímicos y químicos:** Se utilizan los mismos parámetros definidos en el enfoque por usos (bloque químico y fisicoquímico y, cuando proceda, parámetros químicos específicos), permitiendo evaluar el cumplimiento normativo básico y la existencia de contaminantes derivados de presiones concretas.
- **Indicadores biológicos.** Se evalúan comunidades acuáticas sensibles a las presiones antrópicas:
 - **Macroinvertebrados bentónicos** (altamente sensibles y más utilizados).
 - **Peces** (opcionales índices de integridad biótica).
 - **Fito bentos (diatomeas) y macrófitas** en masas de agua adecuadas.

Estos indicadores reflejan los efectos integrados de las presiones, incluyendo contaminación orgánica, eutrofización, alteraciones hidromorfológicas o tóxicas.

Cada país debe seleccionar los indicadores biológicos más adecuados a las **presiones predominantes en su ámbito**. *Ejemplo:* En zonas con vertidos urbanos, los cambios en la composición y abundancia de macroinvertebrados y fitoplancton permiten detectar eutrofización, anoxia o toxicidad.

Los resultados de los indicadores biológicos se interpretan en relación con **condiciones de referencia** o índices ecológicos adaptados regionalmente (ej. BMWP para macroinvertebrados, IBI para peces).

- **Indicadores hidromorfológicos.** Las condiciones hidromorfológicas de los ríos y lagos, dan soporte al hábitat en que se desarrollan los indicadores biológicos. En consecuencia, muchos impactos sobre los elementos de calidad biológicos son consecuencia de deterioros hidromorfológicos. Para su evaluación, puede analizarse:
 - **Continuidad longitudinal y transversal de los cauces**
 - **Presencia de barreras y determinación de su franqueabilidad**
 - **Régimen hidrológico**
 - **Estado de las riberas**

Este enfoque exige mayor capacidad técnica y logística: laboratorios especializados, personal formado en taxonomía, muestreos coordinados y más frecuentes. Por ello, se aplica como una evolución del esquema básico. El objetivo final es **ir más allá del cumplimiento químico** e incorporar la respuesta ecológica del ecosistema, alineando la gestión del agua con estándares internacionales adaptados a las condiciones locales.

Ambos esquemas son compatibles y pueden implementarse de manera progresiva, avanzando conforme se fortalezca la capacidad de diagnóstico y seguimiento en cada país.

El diseño de la red debería responder a **tres preguntas** fundamentales:

1. ¿Dónde se mide y por qué? (Selección de puntos de control)

Se utilizan dos enfoques complementarios:

- **Enfoque determinista** (por uso e incumplimiento):
 - Puntos obligatorios donde existan usos prioritarios o antecedentes de incumplimiento. Ej.: captaciones para agua potable, zonas con denuncias de contaminación.

Capítulo 3.5.

Calidad de las aguas y conservación del medio hídrico y los ecosistemas

- **Enfoque estadístico** (por representatividad):
 - Cuando no se puede cubrir el 100 % de cuerpos agua con puntos de control, se realiza una **estratificación o agrupación** (tipología, presión predominante) y selección de una muestra representativa por grupo.

2. ¿Qué se mide? (Selección de parámetros) dependiendo del enfoque:

- **Enfoque por usos y calidad química y fisicoquímica:**
- Se mide lo exigido por la normativa u otros límites establecidos para cada uso.
- **Enfoque integrado químico- fisicoquímico y biológico (para contextos con mayor disponibilidad de datos):**
 - Se agregan parámetros biológicos y tróficos. Se aplican índices adaptados a la región (BMWP, IBI, etc.).

3. ¿Cuándo se mide? (Frecuencia de muestreo) se establecerán las frecuencias de muestreo que estime cada país según su legislación, en ausencia de la misma se puede aplicar este ejemplo.

- **Mínimo operativo:** 2 campañas anuales (seca y lluviosa). Es importante que la frecuencia sea repetida en las mismas fechas para permitir su comparabilidad.
- **En zonas críticas:** mensual o trimestral, según presión.
- **Bioindicadores:** 1–2 veces/año, o cada varios años, según ciclo biológico.

Las respuestas a estas preguntas **informan del propósito** del punto de muestreo, lo que permitirá relacionar este punto con uno o varios programas de seguimiento. A continuación, se describen los programas de seguimientos más comúnmente utilizados.

- **Programa de visión general:** Proporciona una **visión panorámica** del estado de la calidad del agua en todo el territorio o cuenca. Su objetivo es identificar las condiciones generales y tendencias a largo plazo, sirviendo como **línea base**. No requiere una alta densidad de estaciones ni muestreos muy frecuentes, pero sí garantizar una buena **cobertura espacial** (puntos distribuidos representativamente) y **continuidad temporal** (mediciones periódicas regulares) para poder detectar cambios o desviaciones respecto a condiciones de referencia naturales. Este programa permite, por ejemplo, advertir si la calidad del agua está mejorando o deteriorándose con el tiempo en términos generales, derivas relacionadas con el cambio climático y así, poder alertar sobre posibles problemas emergentes.
- **Programa de referencia;** Define las condiciones naturales o mínimamente alteradas que sirven como estándar para la clasificación ecológica.
- **Programa de seguimiento de cuerpos impactados (Incumplimientos):** Enfocado a **monitorear cuerpos de agua problemáticos**, aquellos que están bajo presiones (p.ej. ríos con grandes vertidos, lagos eutrofizados) o que actualmente **no cumplen** los objetivos de calidad establecidos. Su finalidad es evaluar de cerca la evolución de estos impactos y verificar la eficacia de las medidas aplicadas. A diferencia del programa de visión general, aquí se requiere mayor **resolución y frecuencia**: se seleccionan parámetros más específicos del problema (incluyendo contaminantes relacionados con la presión), se muestrea con mayor periodicidad y se instalan estaciones aguas arriba y abajo de fuentes de contaminación. Por ejemplo, si un tramo de río tiene alta carga orgánica por descargas urbanas, este programa medirá DBO, nutrientes, coliformes con frecuencia mensual, para ver si las mejoras en saneamiento están funcionando.
- **Programa adaptado a usos:** Enfocado a controlar la calidad del agua directamente en los puntos donde se realiza un uso concreto del recurso, con el fin de verificar el cumplimiento de los estándares legales exigidos para ese uso. Su ámbito de aplicación suele focalizarse sobre las captaciones de agua para abastecimiento, zonas de baño y recreación, zonas de pesca o acuicultura, reservas para agua industrial, etc.

A continuación, se muestra una tabla resumen de los programas de seguimiento analizados.

Programa	Dónde	Qué	Cuando
Programa de visión general	Según una distribución estadística, cuando no se dispone de control en todos los cuerpos de agua.	Parámetros fisicoquímicos y químicos relacionados con las presiones.	Al menos dos veces al año para parámetros fisicoquímicos y químicos; los indicadores biológicos pueden medirse una vez al año.

Capítulo 3.5.

Calidad de las aguas y conservación del medio hídrico y los ecosistemas

Programa	Dónde	Qué	Cuando
Programa de referencia	Cuerpos de agua prístinos por no recibir presiones significativas.	Todos los parámetros posibles, incluyendo como mínimo los macroinvertebrados, y todos aquellos sobre los que se soporte la evaluación.	Cuando se quiera volver a establecer las condiciones de referencia.
Programa de cuerpos impactados	Cuerpos de agua deteriorados, en los que se registran incumplimientos.	Parámetros fisicoquímicos generales y, de forma prioritaria, aquellos relacionados con los incumplimientos detectados.	Una vez al año para indicadores biológicos y cuatro veces al año para parámetros fisicoquímicos. La frecuencia puede aumentarse según la magnitud del problema.
Programa de usos	En los puntos donde se ubica la captación o uso específico.	Parámetros asociados al uso, según la normativa vigente.	Frecuencia determinada por la legislación aplicable.



Recomendación:

Adicionalmente se pueden proponer **programas de investigación (estudios especiales)**: que son monitoreos puntuales y temporales diseñados para esclarecer problemas de calidad del agua que los programas regulares no pueden explicar. Se utilizan para identificar causas y dinámica de contaminaciones inusuales (p. ej., contaminantes inesperados en acuíferos o floraciones algales tóxicas sin causa aparente). En otros casos se pueden llegar a emplear técnicas avanzadas (análisis isotópicos, bioensayos, muestreos intensivos) y alta densidad de control en la zona afectada, con participación de expertos y diferentes instituciones. Su finalidad es generar información precisa para tomar medidas correctivas y, una vez resuelto el problema, se cierran o se integran los resultados en los programas permanentes.

En conjunto, las **redes de monitoreo estructuradas en estos niveles** aseguran un sistema robusto de evaluación de la calidad del agua, capaz de atender las necesidades de información desde lo más general hasta lo más específico. Esto permite al gestor del recurso hídrico contar con datos confiables para **diagnosticar** el estado de las aguas, **diseñar** medidas de gestión adecuadas y **dar seguimiento** al cumplimiento de los objetivos de calidad tanto a corto como a largo plazo.

Validación de los datos obtenidos de la red de monitoreo

Este contenido se desarrolla en la [tarea 5: Validación de datos de calidad](#).

El análisis de la bondad de los datos de calidad del agua es un paso clave para convertir los resultados del monitoreo en información útil para la gestión. Para que este proceso sea confiable, es fundamental asegurar la calidad de los datos desde su origen y aplicar criterios técnicos en su interpretación. Este análisis tiene tres funciones principales:

- **Garantizar la validez de los datos:** A través de controles de calidad que permitan identificar errores, inconsistencias o sesgos en las mediciones.
- **Depurar y preparar la información:** Eliminando registros erróneos o incompletos y asegurando que los datos finales sean coherentes y comparables.
- **Extraer conocimiento relevante:** Mediante herramientas estadísticas y visuales que permiten reconocer las características, identificar tendencias, variabilidad, eventos anómalos y relaciones entre parámetros.

La calidad de los datos determina la solidez del diagnóstico, por eso, es necesario aplicar buenas prácticas de validación y análisis, utilizando tanto métodos técnicos como herramientas gráficas, adaptadas al contexto de cada cuenca y a las capacidades locales.

Diagnóstico

Este contenido se desarrolla en la [Tarea 6: Enfoque por usos y general: calidad química y fisicoquímica](#)

Capítulo 3.5.

Calidad de las aguas y conservación del medio hídrico y los ecosistemas

El diagnóstico de la calidad de las aguas que se presenta en el plan hidrológico constituye una **fotografía estática del estado de los cuerpos de agua en el momento de su elaboración**. Este diagnóstico se basa en los datos obtenidos por la red de control y sirve como referencia inicial para orientar las medidas de gestión.

Es importante destacar que este diagnóstico **no es definitivo ni permanente**: se actualizará en el siguiente ciclo de planificación, cuando se reevalúe el estado de las masas de agua y se incorporen los efectos de las medidas implantadas en el ciclo anterior. La información obtenida permitirá, además, valorar la **adecuación y posibles ajustes de la red de control**.

No obstante, el análisis de la calidad del agua **no se limita al periodo de vigencia del plan**. Durante todo el ciclo se seguirán realizando campañas y evaluaciones periódicas cuyos resultados se plasmarán en **informes de seguimiento anuales**, aportando información actualizada para la gestión adaptativa y la detección temprana de nuevas problemáticas.

En este contexto, el **diagnóstico de calidad del agua constituye una etapa clave del plan hidrológico**, ya que permite conocer la situación actual de los cuerpos de agua y orientar las decisiones para la gestión, recuperación y protección de los recursos hídricos.

Existen **tres enfoques complementarios** para su desarrollo, cuya aplicación depende de la disponibilidad y calidad de los datos:

a) Enfoque por usos y general: calidad química y fisicoquímica

a. Evaluación por parámetros individuales

Se analizan los resultados del monitoreo para cada parámetro físico (ej. turbidez, temperatura, sólidos totales), fisicoquímico y químico (pH, oxígeno disuelto, nutrientes, metales pesados), comparándolos con los valores de referencia normativos y generales aplicables. Esta comparación permite:

- Conocer la hidroquímica del agua.
- Determinar el cumplimiento puntual o persistente de los objetivos de calidad.
- Detectar eventos críticos o contaminaciones específicas.
- Evaluar la adecuación de la calidad del agua para cada uso definido.

b. Uso de índices de calidad del agua (ICA)

Se aplican índices compuestos que integran múltiples parámetros en un único valor numérico o categoría cualitativa (por ejemplo, excelente, buena, regular, mala). Este enfoque:

- Facilita la **síntesis** de información compleja.
- Permite una **comunicación más accesible** a tomadores de decisiones y ciudadanía.
- Es útil para el **seguimiento temporal** y la **comparación espacial** entre cuerpos de agua.

El resultado del diagnóstico depende del objetivo del análisis:

• Diagnóstico por usos específicos:

Para cada uso (abastecimiento, riego, recreativo, etc.) se evalúan los parámetros normativos exigidos en el punto de captación o zona de uso.

- Cada muestra se compara directamente con los valores límite normativos.
- El resultado se expresa como porcentaje de incumplimiento (% de muestras que no cumplen) para cada parámetro y uso.
- Esta información se presenta preferentemente en **gráficos de barras o tablas de cumplimiento por uso**.

• Diagnóstico de calidad general: En el resto de los cuerpos de agua, la calidad se evalúa de forma integral.

- Se calculan **estadísticos representativos** (media, mediana, percentiles) para cada parámetro a lo largo del periodo de evaluación.
- Se comparan estos valores con los estándares de calidad y se identifican incumplimientos.
- Los resultados se representan espacialmente mediante **mapas de incumplimientos** o matrices comparativas.

Capítulo 3.5.

Calidad de las aguas y conservación del medio hídrico y los ecosistemas

En ambos casos, el resultado final sigue el criterio **“one out, all out”**: el diagnóstico del cuerpo de agua queda definido por el parámetro o índice que presente la peor calidad, salvo que se utilicen índices compuestos ICA, en cuyo caso prevalece la categoría del índice.

b) **Enfoque integrado químico, fisicoquímico, hidromorfológico y biológico**

Cuando se dispone de información sobre las comunidades acuáticas (macroinvertebrados bentónicos, peces, fitoplancton, macrófitos, diatomeas, etc.), es altamente recomendable integrar estos datos al diagnóstico para obtener una valoración más completa del estado de los cuerpos de agua.

La aplicación de índices bióticos o métricas ecológicas, como por ejemplo, el índice BMWP adaptado (utilizado en ríos de varios países de la región), índices de integridad biótica (IBI) para peces, fitoplancton para evaluar eutrofia en embalses o cuerpos lénticos, o índices de diatomeas, permite calificar la calidad del agua en términos ecológicos.

Estos indicadores biológicos proporcionan información adicional de gran valor porque:

- Integran los efectos acumulativos en el tiempo: Las comunidades biológicas reflejan el impacto combinado de las presiones y la contaminación, mostrando efectos que no son evidentes en mediciones puntuales. Por ejemplo, la ausencia o baja diversidad de macroinvertebrados sensibles revela contaminación crónica o alteraciones del hábitat.
- Aportan una visión complementaria: Facilitan la detección de cambios ecológicos sutiles, la identificación de especies invasoras y la valoración del equilibrio trófico, enriqueciendo la interpretación más allá de los parámetros fisicoquímicos.
- Permiten clasificar la calidad ecológica: Siguiendo estándares internacionales los resultados biológicos se comparan con condiciones de referencia naturales para categorizar el estado ecológico del cuerpo de agua (alta, buena, moderada, deficiente o mala) y verificar el cumplimiento de los objetivos ambientales asociados.

Procedimiento de evaluación:

1. Los indicadores biológicos se comparan con los valores de referencia definidos para cada índice o métrica en el plan.
2. Paralelamente, los parámetros fisicoquímicos y químicos se evalúan de acuerdo con los criterios establecidos para cada uso o, en su defecto, con los valores generales de calidad.

Es importante completar la información biológica con la evaluación del hábitat, cuestión que se resuelve a través del uso de **indicadores hidromorfológicos**. El impacto que registran los indicadores biológicos puede deberse a contaminación o, muy frecuentemente, a la pérdida de hábitat, incluso aunque no se esté produciendo la contaminación de las aguas. La pérdida de hábitat suele estar relacionada con la disminución del caudal y, también, con la fragmentación de ríos y lagos, limitando su continuidad longitudinal y lateral por la presencia de barreras que resultan infranqueables para diversas especies, así como también reduciendo la movilidad del cauce y de los sedimentos.

Criterio de integración del diagnóstico:

- El diagnóstico final se asigna según el criterio más restrictivo (**“one out, all out”**):
 - Si algún componente biológico indica un estado inferior, este determina la categoría final.
 - Cuando se dispone de índices integradores validados que combinan química y biología, se puede utilizar directamente la categoría que arroje dicho índice.

El uso del criterio “OO-AO” puede enmascarar algunas mejoras que se puedan registrarse en la evaluación como resultado de la aplicación de medidas, comparando distintos momentos temporales. Este es un aspecto que debe tenerse presente a la hora de presentar los resultados. No es igual fallar por un parámetro que fallar por todos los parámetros; consecuentemente, el uso de este criterio “OO-AO” de evaluación deberá ir acompañado de algún indicador referido al número de incumplimientos y su naturaleza.

Este enfoque garantiza un nivel de protección más exigente y coherente con los estándares internacionales de gestión de masas de agua.

Capítulo 3.5.

Calidad de las aguas y conservación del medio hídrico y los ecosistemas

3. Enfoque basado en el análisis de la calidad mediante el estudio de presiones

En situaciones de información insuficiente o ausencia de redes de monitoreo, es posible realizar un diagnóstico preliminar a partir del análisis sistemático de presiones e impactos. Este enfoque consiste en:

- Identificar las fuentes de presión (vertidos, agricultura, minería, sobreexplotación de acuíferos, etc.).
- Valorar su magnitud e intensidad en función de datos disponibles, modelos y estudios de campo.
- Inferir el estado potencial de los cuerpos de agua y su riesgo de no alcanzar los objetivos de calidad.

Este método es especialmente útil en contextos con recursos limitados, permitiendo priorizar acciones y orientar la ampliación futura de las redes de monitoreo.

Identificación de brechas

Una vez evaluada la calidad del agua, el plan debe identificar claramente **la brecha** entre el estado actual y los objetivos de calidad establecidos. Esto implica señalar qué parámetros o índices no cumplen con los estándares u objetivos propuestos y en qué magnitud. Igualmente, apoyándose en el **inventario de presiones**, el diagnóstico debe atribuir las causas de esos incumplimientos a las presiones correspondientes. Por ejemplo, si en un tramo del río la calidad no alcanza el objetivo, se analizará qué presiones antropogénicas en esa cuenca, descargas urbanas, vertidos industriales, agricultura, alteraciones hidromorfológicas, etc., explican el deterioro observado.

Este reconocimiento explícito de las presiones (fuentes de contaminación o alteraciones) asociadas al incumplimiento es fundamental: orienta directamente las medidas de gestión hacia las causas y los responsables que están causando el problema.

En otras palabras, el diagnóstico de calidad se conecta con el inventario de presiones y permite priorizar las acciones. Así, la siguiente etapa (Propuesta de Medidas) se basará en cerrar las brechas detectadas, actuando sobre las presiones identificadas (p.ej., si la brecha es exceso de nutrientes por vertidos o retornos agrícolas, la medida será reducir esas cargas; si la brecha es toxicidad por metales de minería, la medida será controlar esa fuente; si la brecha es ecológica por falta de hábitat, la medida será restauración, etc.)

En síntesis, el diagnóstico no solo califica el estado, sino que establece qué distancia (brecha) hay hasta alcanzar los objetivos y qué factores causales explican esa distancia, proporcionando el fundamento técnico para el diseño de actuaciones específicas para alcanzar los objetivos establecidos dentro del programa de medidas/actuaciones .

Propuesta de medidas de gestión y mejora

Es necesario definir e implementar acciones orientadas a mantener o mejorar la calidad del agua en función de los resultados obtenidos del monitoreo y la evaluación, considerando los usos identificados, los niveles de cumplimiento y las presiones existentes. Esta tarea está ampliamente desarrollada en los contenidos del **Programa de actuaciones**. Se pueden considerar:

1. **Mejoras en el tratamiento de aguas residuales**
 - Optimización de infraestructuras existentes.
 - Implementación de tecnologías adecuadas al tipo de carga contaminante.
 - Promoción de sistemas descentralizados en áreas rurales o periurbanas.
2. **Reducción de fuentes de contaminación agrícola e industrial**
 - Fomento de buenas prácticas agrícolas (BPA), incluyendo manejo racional de fertilizantes y plaguicidas.
 - Control de vertidos industriales y promoción de tecnologías limpias.
3. **Restauración de ecosistemas acuáticos**
 - Recuperación de zonas riparia y humedales degradados.
 - Rehabilitación del régimen natural de caudales para garantizar funciones ecológicas.
 - Control de especies invasoras y mejora del hábitat para especies nativas.
4. **Fortalecimiento del monitoreo y control**
 - Ampliación y optimización de redes de monitoreo de calidad y cantidad.

Capítulo 3.5.

Calidad de las aguas y conservación del medio hídrico y los ecosistemas

- Desarrollo de indicadores de alerta temprana ante eventos extremos o contaminaciones puntuales.
- Capacitación técnica del personal encargado del monitoreo.
- 5. **Análisis del riesgo en situaciones de incumplimiento normativo**
 - Evaluación de los impactos potenciales sobre la salud, los ecosistemas y los usos del agua.
 - Identificación de zonas y poblaciones vulnerables.
 - Definición de medidas de respuesta ante niveles críticos.
- 6. **Mejora de la comunicación y coordinación administrativa**
 - Establecimiento de mecanismos de comunicación entre las entidades que gestionan el uso del agua y aquellas responsables de controlar las presiones.
 - Notificación formal a las autoridades responsables cuando se detecten incumplimientos o riesgos, promoviendo acciones correctivas.
 - Promoción de comités técnicos interinstitucionales para el seguimiento de medidas y coordinación de acciones.

Seguimiento de la calidad

Este contenido se desarrolla en la [tarea 7 seguimiento de la calidad de las aguas](#)

El seguimiento de la calidad del agua constituye una actividad continua a lo largo de todo el ciclo de planificación y tiene como objetivo **evaluar la evolución del estado de los cuerpos de agua durante la implantación del plan y hasta la siguiente revisión**. Este contenido se encuentra ampliamente desarrollado en la [implementación, seguimiento y revisión del plan](#).

De manera resumida, este seguimiento se basa en los datos obtenidos por la red de control y permite:

- **Detectar cambios significativos en la situación de calidad**, tanto mejoras como posibles deterioros.
- **Comprobar la eficacia de las medidas implantadas**, contrastando los resultados con los objetivos definidos.
- **Identificar nuevas presiones o cambios en las presiones existentes**, que puedan requerir ajustes en la gestión o en la propia red de monitoreo.

Se recomienda la **elaboración de informes de seguimiento de carácter anual**, que incluyan:

- La comparación de los resultados con los valores de referencia definidos para cada uso y para los objetivos generales.
- La representación gráfica y espacial de las tendencias y los incumplimientos detectados.
- Una valoración técnica de la necesidad de **revisar o reforzar la red de monitoreo** en función de los hallazgos.

Estos informes anuales son complementarios al **diagnóstico principal incluido en el plan hidrológico** y sirven de base para la revisión y actualización en el siguiente ciclo de planificación.

Tareas

La metodología presentada en este documento se ha diseñado para ser **aplicable en cualquier contexto de disponibilidad de información**, desde cuencas con redes consolidadas de monitoreo y series históricas hasta aquellas otras con datos muy limitados.

En lugar de diferenciar procedimientos según el contexto, se plantea un **esquema único, progresivo y adaptable**, que incorpora distintos niveles de análisis:

- **Análisis de presiones** como punto de partida siempre necesario, y especialmente cuando no existe monitoreo suficiente.
- **Evaluación fisicoquímica, hidromorfológica y química** basada en redes de monitoreo, cuando se dispone de datos de calidad de agua.
- **Integración biológica y ecológica**, en aquellos cuerpos de agua donde la información permite alcanzar una visión más completa del estado.

La **profundidad del análisis se ajusta automáticamente a la robustez de los datos disponibles**, sin necesidad de metodologías paralelas para diferentes escenarios.

Capítulo 3.5.

Calidad de las aguas y conservación del medio hídrico y los ecosistemas

Tarea 1: Caracterización inicial de la zona de análisis

Esa tarea de caracterización se alimentará de los estudios realizados previamente. A tal efecto, es necesario trasladar los resultados de:

- Ubicación geográfica y contexto territorial. (delimitación y caracterización de los cuerpos o masas de agua).**
 - Describir la posición geográfica (latitud, longitud) y las unidades administrativas.
 - Identificar aspectos físicos relevantes: relieve, geología, clima y zonas protegidas.
 - Identificar la estructura territorial (áreas urbanas, agrícolas, industriales y naturales).
- Tipología de cuerpos de agua. (delimitación y caracterización de los cuerpos o masas de agua).**
 - Identificar los cuerpos de agua superficial y subterránea: ríos, lagos, embalses, estuarios, acuíferos.
 - Clasificarlos según tipología hidromorfológica y ecológica. Solo necesario si se va a evaluar la calidad ambiental (ej.: lóticos/lénticos, naturales/artificiales). La tipificación constituye el **paso metodológico previo y condicionante** para:
 - Asignar objetivos comparables entre unidades homogéneas,
 - Establecer condiciones de referencia válidas,
 - Vincular usos, presiones, estado y medidas con coherencia hidrológica y ecológica.
- Condiciones hidrológicas e hidrográficas. (Hidrología y red fluvial e inventario de los recursos hídricos).**
 - Describir el régimen hidrológico y los principales procesos hidrológicos de la zona (precipitación, escorrentía, infiltración).
 - Incluir información sobre red de drenaje, caudales medios y extremos, y estado del almacenamiento en embalses o acuíferos.
- Identificación de usos del agua. (Descripción general de usos y demandas de agua).**

Los usos comunes para considerar son:

 - **Abastecimiento para consumo humano:** requiere agua de alta calidad, libre de contaminantes y patógenos.
 - **Riego agrícola:** necesita agua con bajos niveles de salinidad y sin contaminantes que puedan afectar los cultivos.
 - **Uso industrial:** depende de la industria específica, pero generalmente requiere agua con características fisicoquímicas particulares.
 - **Recreación y turismo (baño y navegación):** Exige agua segura para el contacto humano, sin riesgos para la salud.
 - **Otros:** Como la acuicultura continental, por ejemplo.
- Estudio de presiones sobre la calidad del agua. (inventario de presiones).**

En este paso se debe trasladar el resultado del estudio de presiones elaborado en el inventario de presiones. Permite identificar fuentes de contaminación o alteración que podrían impedir que un cuerpo de agua cumpla con los requerimientos de calidad necesarios para atender sus usos actuales o planificados, o para alcanzar los objetivos ambientales. Se clasifican comúnmente en:

Tipo de presión	Ejemplos
Puntuales	Vertimientos industriales, aguas residuales urbanas, contaminantes emergentes
Difusas	Escorrentía agrícola, infiltración urbana, contaminantes emergentes, ganadería
Físicas o hidromorfológicas	Canalización, extracción de áridos, represas, barreras y defensas.
Presiones emergentes	Plaguicidas, fármacos, microplásticos
Otras	Presiones locales no contenidas en los anteriores grupos

Capítulo 3.5.

Calidad de las aguas y conservación del medio hídrico y los ecosistemas



Descripción Metodológica:

- 1. Identificación de presiones:** Utilizando fuentes como:
 - Registros de vertimientos autorizados y no autorizados.
 - Inventarios de uso del suelo (agrícola, urbano, industrial).
 - Infraestructura de saneamiento.
 - Mapas de captaciones y retornos.
 - Datos de población y crecimiento urbano.
 - Inventario de captaciones o extracciones
- 2. Caracterización y mapeo espacial:** Se georreferencian las presiones en el territorio y se vinculan con el área de estudio, diferenciando según zonas de uso.



Recomendación:

- En México, la CONAGUA publica mapas de presiones por acuífero o cuenca.
- En Uruguay, la DINAGUA usa sistemas geográficos participativos para caracterizar presiones en comités de cuenca.
- En Chile, el SIGA permite visualizar fuentes contaminantes por zona.
- En Costa Rica, el AyA y MINAE hacen diagnósticos participativos de presiones por cantón.

- 3. Vinculación con parámetros de calidad:** Cada presión se asocia con uno o varios parámetros que puede alterar. A continuación, se muestra un ejemplo que se adaptará a la normativa de calidad de cada país.

Presión	Parámetro afectado
Agricultura intensiva	Nitratos, fósforo, fitosanitarios, macroinvertebrados
Vertido doméstico	Coliformes, DBO ₅ , fósforo, amonio, Nitratos, macroinvertebrados
Industria química	Metales pesados, pH, macroinvertebrados
Urbanización sin drenaje	Turbidez, aceites, sólidos, macroinvertebrados
Ganadería	Nitratos, macroinvertebrados

- 4. Integración en la evaluación:** El estudio de presiones es un **paso previo y esencial** para evaluar la calidad del agua, porque permite:
 - Enfocar el monitoreo en zonas más afectadas.
 - Interpretar los resultados de calidad en su contexto.
 - Identificar causas y orientar acciones de gestión.
 - Asignar datos de calidad a cuerpos de agua sin monitoreo.

Una vez identificadas las presiones y sus parámetros asociados, se cruzará esta información con los **resultados del monitoreo de calidad**. Esto permite:

- **Determinar causas probables de incumplimiento de calidad.**
- **Priorizar acciones de mitigación** en zonas más sensibles.
- **Evaluar tendencias futuras** en relación con el crecimiento de presiones.
- **Diseñar medidas preventivas** para usos estratégicos (por ejemplo, abastecimiento).

Capítulo 3.5.

Calidad de las aguas y conservación del medio hídrico y los ecosistemas



Recomendación:

- Recopilar información sobre **fuentes puntuales de contaminación**, como vertidos de aguas residuales urbanas, efluentes industriales, descargas mineras o infraestructuras de saneamiento.
- Localizar **fuentes difusas** de origen agrícola, ganadero o urbano, analizando usos del suelo, manejo de agroquímicos, escorrentías, zonas de fertilización intensiva o áreas sin drenaje adecuado.
- Considerar **presiones hidromorfológicas**, como regulación de caudales, canalizaciones, represamientos, pérdida de conectividad, cambios en el uso del suelo ribereño.
- Tener en cuenta **presiones emergentes** o difíciles de cuantificar, como contaminantes emergentes, microplásticos, lixiviados, actividades turísticas descontroladas.
- Estas fuentes pueden identificarse mediante inspecciones, revisión de permisos y registros institucionales, ortofotos, imágenes satelitales, catastro...

Tarea 2: Asignación de objetivos de calidad

Objetivos de calidad química y fisicoquímica

Los **objetivos de calidad del agua química y fisicoquímica** constituyen metas que se desean alcanzar tanto en la actualidad como en el futuro en los distintos horizontes de planificación, en función de los usos actuales y proyectados del recurso. Estos objetivos que **deben derivarse de las normas existentes de cada país** deben ser técnicamente viables, y socioeconómicamente sostenibles.

- Definen metas vinculadas a la reducción de contaminantes y mejora de la calidad del agua, mediante el control de parámetros como: nutrientes (nitratos, fosfatos), oxígeno disuelto, coliformes fecales, turbidez, metales pesados, entre otros.
- Permiten identificar valores umbral para usos prioritarios (consumo humano, riego, recreación, etc.) y establecer compromisos inmediatos y realistas de mejora.

Son **criterios cuantificables** que indican la calidad mínima que debe tener un cuerpo de agua para sostener un uso determinado. Estos objetivos actúan como referencia técnica y normativa para:

- Interpretar los resultados del diagnóstico.
- Evaluar el grado de adecuación del estado del recurso.
- Orientar la toma de decisiones respecto a medidas de gestión, recuperación o protección.

Según la Norma por la que se rija, pueden estar definidos como:

- **Concentraciones máximas permitidas** (ej. nitratos, coliformes, metales).
- **Rangos aceptables de parámetros físicos o químicos** (ej. pH entre 6.5 y 8.5).
- **Frecuencias de cumplimiento** (ej. "al menos 80% de las muestras deben cumplir el valor guía").

Estos objetivos se aplican tanto a las masas con uso asignado como a aquellas sin uso actual, para las cuales se establecen objetivos generales de calidad orientados a prevenir el deterioro y asegurar su aptitud para futuros usos.

Capítulo 3.5.

Calidad de las aguas y conservación del medio hídrico y los ecosistemas



Importante:

Los objetivos de calidad para cada uno de los usos definidos deberán estar recogidos en las distintas normativas nacionales. En ausencia de estas puede recurrirse a estándares de guías internacionales (OMS o FAO). ■ **Guías metodológicas 1 y 2** u otras existentes en la región.

En aquellos cuerpos de agua sin uso asignado, deberán fijarse objetivos generales de calidad, basados en normativa nacional o referencias internacionales, para prevenir su deterioro y mantenerlos aptos para futuros usos.

Capítulo 3.5.

Calidad de las aguas y conservación del medio hídrico y los ecosistemas



Recomendación: Algunos ejemplos en planes hidrológicos nacionales

Chile

- El **Reglamento de Clasificación de Cuerpos de Agua** establece clases según usos y define estándares de calidad por clase (ej. Clase A para agua potable, Clase B para riego, etc.).
- En las cuencas con Planes Estratégicos, se establecen metas de calidad por tramo o por zona.

Costa Rica

- El MINAE y AyA utilizan objetivos por tipo de uso y zona protegida (áreas de recarga, acuíferos).
- El Reglamento de Vertidos y la norma para aguas recreativas definen metas de cumplimiento específicas.

El Salvador

- El Plan Nacional de Gestión del Agua establece objetivos de calidad por zonas estratégicas, en función de usos prioritarios (riego, abastecimiento).
- Se alinean con el marco normativo emergente de la Autoridad Salvadoreña del Agua (ASA).

España

- Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental.
- Real Decreto 1514/2009, de 2 de octubre, por el que se regula la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro.

México

- NOM-001 y NOM-127 establecen límites normativos para descargas y agua potable.
- En el **Programa Nacional Hídrico** y planes de cuenca, se usan objetivos por clase de cuerpos de agua (según su uso).
- CONAGUA establece "Objetivos de Calidad del Agua Superficial" para cada sitio, con metas a corto, mediano y largo plazo.

Uruguay

- Se definen objetivos por cuenca y por uso (ej. cuenca del Santa Lucía para agua potable).
- La normativa de DINAGUA y OSE se basa en estándares para cada uso, especialmente para captación de agua para consumo humano.

Marco común de calidad de la CODIA (en elaboración).

El Marco Común se estructurará en cinco secciones: Disposiciones Generales | Medidas y Objetivos Operativos | Seguimiento y evaluación de resultados | Recursos de apoyo a su implementación | Disposiciones Finales.

Establecerá la elaboración de líneas directrices específicas, en forma de Compromisos Iberoamericanos. Se proponen como primeros lineamientos de directrices específicas los siguientes documentos, que figurarán como Anexos:

- Compromiso Iberoamericano sobre normas de vertidos y tratamiento de aguas residuales urbanas

Capítulo 3.5.

Calidad de las aguas y conservación del medio hídrico y los ecosistemas

Objetivos ambientales o ecológicos

Los objetivos medioambientales se fundamentan en la premisa de que un cuerpo de agua en buen estado ecológico, entendido como las condiciones óptimas que debe alcanzar un cuerpo de agua para albergar la vida, debe mantener:

- Una comunidad biológica estructuralmente compleja y representativa de condiciones naturales.
- Hábitats adecuados para las especies autóctonas.
- Un régimen hidrológico suficiente (caudal ecológico).

Estos objetivos no se fijan únicamente a partir de concentraciones químicas, sino que se incluyen de **índices biológicos** (BMWP, IBF, IDP, IBD, etc.) y otros, definidos en función de **condiciones de referencia**.

Se debería partir de unos principios técnicos a la hora de formular estos objetivos, en ausencia de los mismos se proponen una serie de estos principios:

1. **Basados en comunidades acuáticas indicadoras**, como macroinvertebrados bentónicos, peces, diatomeas o macrófitos.
2. **Comparación con condiciones de referencia**: se evalúa la desviación respecto al estado esperado en ausencia de alteraciones significativas.
3. **Multiescala**: los objetivos deben formularse por tipo de cuerpo de agua (río, lago, embalse, acuífero con descarga) y tipología ecológica del cuerpo de agua (naturaleza geológica, altitud, clima, caudal base, etc.). (**delimitación y caracterización de los cuerpos o masas de agua**).
4. **Multicomponente**: se combinan métricas biológicas con variables hidromorfológicas (caudal, hábitat) variables fisicoquímicas (nutrientes, oxígeno, temperatura) y químicas.
5. **Gradación cualitativa**: expresados en clases (Alta – Buena – Moderada – Deficiente – Mala) según normativa internacional adaptada (DMA-UE, EPA, u otras).



Descripción Metodológica:

Paso 1: Selección de los grupos biológicos indicativo

Se pueden considerar todos o algunos de los indicados a continuación:

- En ríos: Macroinvertebrados bentónicos (BMWP, ASPT, IBMWP), peces (IBF), diatomeas (IDP).
- En lagos o embalses: fitoplancton (clorofila-a, cianobacterias), macrófitas, invertebrados.
- En zonas costeras o estuarinas: invertebrados bentónicos, comunidades fitoplanctónicas.



Recomendación:

Comenzar por macroinvertebrados, por su bajo coste, sensibilidad a presiones múltiples y protocolos regionales existentes (e.g. BMWP-Col, BMWP-CR, IBMWP-México), aun reconociendo su baja correlación con la disponibilidad de hábitat para otras especies de peces o vertebrados.

Paso 2: Definición de las condiciones de referencia

Para cada **tipología** se deben estimar las condiciones de referencia, entendidas como el estado ecológico esperado de un cuerpo de agua en ausencia o con mínima alteración antrópica significativa. No se trata necesariamente de condiciones absolutamente “prístinas”, sino de un marco comparativo técnico y realista que sirva para evaluar el grado de alteración de los ecosistemas acuáticos. Estas condiciones son la base para definir los valores objetivo de los índices biológicos y otros indicadores ecológicos.

- Se identifican tramos o cuerpos de agua con mínima o nula alteración (presiones antrópicas ausentes o muy reducidas, incluso si son históricas).
- Se tienen en cuenta las **particularidades naturales propias de cada tipología** (p. ej., elevada salinidad natural, aportes de aguas subterráneas, geología específica). evitando no confundir estas características con la existencia de presiones antrópicas.

Capítulo 3.5.

Calidad de las aguas y conservación del medio hídrico y los ecosistemas

- Con esta información se establecen los valores de referencia para los índices seleccionados, así como diversas marcas de clase (muy bueno, bueno, regular, malo y muy malo, por ejemplo) para posibilitar un diagnóstico graduado (**Paso 3**).



Recomendación:

En contextos con información limitada, las condiciones de referencia podrán definirse de manera progresiva, precisándose en ciclos posteriores a medida que se amplíen las redes de monitoreo y la base de datos disponible.

Paso 3: Establecimiento de clases de calidad

Una vez establecida las condiciones de referencia de cada tipología asignada, es posible establecer clases de calidad para cada indicador utilizado, que suelen mostrarse en forma de intervalos. Estos intervalos deben calibrarse regionalmente. Las guías de la **DMA-UE** y protocolos como **RIVPACS**, **IBMWP**, o **IDP** pueden servir de referencia.

Ejemplo (Índice BMWP adaptado para una tipología determinada):

Clase de calidad	Estado Ecológico	Intervalo BMWP	Descripción
1	Alto	>120	Comunidad similar a referencia, sin alteración
2	Bueno	90–120	Alteración leve, pérdida puntual de sensibilidad
3	Moderado	60–89	Alteración notable, pérdida de especies sensibles
4	Deficiente	30–59	Dominancia de especies tolerantes
5	Malo	<30	Ecosistema degradado, pérdida de funcionalidad

De manera resumida, para cada cuerpo de agua deberán definirse explícitamente:

Objetivo químico y fisicoquímico orientado a la satisfacción de los usos:

- Límites máximos permitidos para parámetros críticos, en función del uso actual o previsto del cuerpo de agua.
- Parámetros prioritarios definidos por normativa nacional y sectorial (salud, agricultura, industria, recreación).
- Condiciones específicas para zonas de captación y acuíferos estratégicos.
- **En cuerpos sin uso actual, se fijarán objetivos generales de calidad**, tomando como referencia normativa nacional o internacional, para prevenir el deterioro y asegurar su aptitud para usos futuros.
- **En cuerpos con condiciones naturales singulares**, los límites deberán adaptarse a dichas características para evitar confundir rasgos naturales con presiones.

Objetivos ambientales o ecológicos:

- Clase de calidad mínima aceptable (por ejemplo, “estado ecológico bueno” según índice BMWP o equivalente).
- Aplicación de índices biológicos reconocidos en el país o adaptados regionalmente.
- En cuerpos de agua altamente alterados, se permite definir objetivos escalonados de mejora.
- En zonas protegidas (reservas hídricas, áreas naturales), los objetivos deben aspirar a mantener el estado alto o bueno, salvo justificación técnica.
- **En contextos con información limitada, los objetivos se formularán de manera progresiva**, revisándolos y precisándolos a medida que se amplíe la información disponible.



Recomendación:

Formalizar los objetivos en fichas o tablas por cuerpo de agua, donde se especifique la meta, el plazo, los indicadores de seguimiento, las medidas asociadas y los actores responsables de su cumplimiento.

Capítulo 3.5.

Calidad de las aguas y conservación del medio hídrico y los ecosistemas

Tarea 3: Análisis y evaluación de información de partida

Este análisis no duplica el contenido de la caracterización inicial, mientras la caracterización describe las características físicas, usos y presiones del sistema de forma general, **en este apartado se revisa, organiza y evalúa la información específica disponible para cada cuerpo de agua**, con el fin de identificar vacíos de información, valorar su calidad y orientar el diseño de la red de monitoreo. Aquí no se describe el sistema, sino los **datos existentes y su grado de fiabilidad**.

Para llevar a cabo estas tareas será necesario:

1. **Revisión de bases de datos existentes:**
 - Series históricas de calidad de agua (físicoquímica, biológica).
 - Datos hidrológicos (caudales, niveles).
 - Datos de uso y demanda.
2. **Revisión de límites normativos aplicables a cada cuerpo de agua:**
 - Normas nacionales por uso.
 - Objetivos ambientales previos si existen.
3. **Organización de la información por cuerpo de agua:**
 - Cuadro o ficha con toda la información disponible (parámetros, periodo, frecuencia).
4. **Evaluación de la cobertura y representatividad de los datos:**
 - Identificar vacíos espaciales (cuerpos de agua sin datos) y vacíos temporales (lagunas en las series).
 - Analizar la cobertura de los parámetros clave.
5. **Control de calidad y consistencia de los datos:**
 - Comprobar la coherencia de los registros (valores atípicos, cambios de métodos).
 - Clasificar la confiabilidad de cada fuente de datos (alta, media, baja).
6. **Valoración de la utilidad de la información para el diagnóstico:**
 - Determinar si los datos disponibles permiten caracterizar el estado y las tendencias.
 - Identificar los casos en que es necesario complementar la información con monitoreos específicos.
7. **Elaboración de un inventario evaluado:**
 - Fichas o matrices que incluyan tanto los datos recopilados como una valoración del nivel de confianza para cada cuerpo de agua y parámetro.



Producto Esperado:

- **Inventario detallado y evaluado de los datos existentes**, que muestre:
 - Información disponible por cuerpo de agua.
 - Cobertura espacial y temporal.
 - Grado de confianza de los datos.
 - Vacíos y necesidades futuras de monitoreo.

Tarea 4: Red de monitoreo para la elaboración de la calidad de los cuerpos de agua y programas de control

El diseño de la red de monitoreo debe responder de manera sistemática a tres preguntas: **¿Dónde se mide?**, **¿qué se mide?** y **¿cuándo se mide?**, garantizando que la red cumpla con las funciones de representatividad, seguimiento y adaptación, vinculada a la distribución de los usos y presiones.

Paso 1: Definición de puntos de control

Una correcta definición de la red de control es esencial para garantizar la fiabilidad del diagnóstico de calidad del agua, orientar la gestión y facilitar la toma de decisiones en los planes hidrológicos. Esta tarea se encuentra ampliamente desarrollada en la tarea de **diseño de la red de medida**.

Los puntos de control deben seleccionarse de manera estratégica para que la red cumpla estas funciones:

- **Representatividad espacial:** cubrir zonas clave de la cuenca, tanto áreas sin presiones como las más impactadas.
- **Representatividad temporal:** permitir comparaciones a lo largo del tiempo.

Capítulo 3.5.

Calidad de las aguas y conservación del medio hídrico y los ecosistemas

- **Adaptación a los usos y presiones:** priorizar puntos relacionados con captaciones, zonas de vertido y cuerpos en riesgo.
- **Seguimiento de medidas:** ubicar puntos que permitan evaluar la eficacia de las acciones del plan hidrológico.
- **Alineación con normas y programas de monitoreo.**

Criterios para la selección:

- Ubicación aguas abajo de fuentes de presión, en zonas libres de presiones y en confluencias críticas.
- Puntos cercanos a usos estratégicos (captaciones de agua potable, zonas de baño, riego).
- Accesibilidad para garantizar la continuidad de los muestreos.
- Asignación de coordenadas fijas y un código único para asegurar trazabilidad.

Vinculación con los programas de monitoreo Cada punto debe estar vinculado a uno o varios de los siguientes programas:

- Programa de visión general.
- Programa de referencia.
- Programa de cuerpos impactados.
- Programa adaptado a usos específicos.



Importante:

Aunque gran parte del monitoreo de calidad se enfoca hacia las aguas superficiales, en América Latina muchas regiones dependen de acuíferos para abastecimiento humano, agrícola o industrial. Es fundamental incorporar puntos de control en pozos representativos, utilizando piezómetros u otras estructuras habilitadas. El muestreo debe considerar la variabilidad estacional y profundidades diferenciadas si hay estratificación en el medio poroso. Se recomienda establecer campañas periódicas (semestrales o anuales), con criterios adaptados al uso y vulnerabilidad del acuífero.

Paso 2: Selección de parámetros de calidad por punto

El **marco normativo vigente en cada país** es el que define los parámetros a monitorear, los métodos de análisis y los límites permisibles. Esta **diversidad normativa** responde a diferencias en contextos ambientales, sociales, económicos y en la capacidad institucional y técnica de cada nación. Por lo tanto, **no existe un único estándar global aplicable en todos los casos**.

En muchos casos, los países adoptan o adaptan normas de referencia internacionales y sectoriales para definir sus propios estándares. Algunas de las más comunes incluyen:

- **Organización Mundial de la Salud (OMS):** guía de referencia para la calidad del agua potable, especialmente útil en contextos sin normativa propia. ■ **Guía metodológica 1**
- **Estándares sectoriales:** como los establecidos por organismos agrícolas, industriales o internacionales en contextos específicos (por ejemplo, FAO para riego o estándares del sector minero).

Parámetros Comunes: A pesar de las diferencias regulatorias, existe una base común de **parámetros clave** que la mayoría de los países incluyen en el monitoreo de aguas brutas para abastecimiento, debido a su relevancia sanitaria y ambiental y riego.

En ausencia de directrices claras en la selección de parámetros de calidad a continuación se establece una metodología para la selección de estos.

La selección de los parámetros a medir en cada punto de la red de monitoreo se basa en tres criterios fundamentales:

1. Usos y presiones asociadas

- Para los cuerpos de agua con **uso definido**, se seleccionan los parámetros exigidos por la normativa aplicable a ese uso (abastecimiento, riego, recreación, industrial, etc.). Los parámetros comunes para abastecimiento:

Capítulo 3.5.

Calidad de las aguas y conservación del medio hídrico y los ecosistemas

- **Parámetros químicos y fisicoquímicos:** temperatura, turbidez, color, sólidos suspendidos totales, pH, oxígeno disuelto, conductividad, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), nutrientes (nitrógeno y fósforo), metales pesados (arsénico, plomo, mercurio, cadmio).
- **Parámetros microbiológicos:** coliformes totales, coliformes fecales, *Escherichia coli*.
- **Presencia de contaminantes específicos:** como hidrocarburos, pesticidas, fármacos, entre otros, dependiendo del contexto y los usos del agua.

Los parámetros comunes para riego:

- **Parámetros químicos y fisicoquímicos:** temperatura, turbidez, color, sólidos suspendidos totales, pH, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales (TDS), oxígeno disuelto.
 - **Parámetros de salinidad y sodicidad:** sodio, calcio, magnesio, bicarbonatos; cálculo de la relación de adsorción de sodio (RAS) y salinidad.
 - **Parámetros relativos a los nutrientes:** nitratos, nitritos, amonio, fósforo.
 - **Parámetros microbiológicos:** coliformes fecales: *Escherichia coli*.
- Además, se incorporan **parámetros adicionales vinculados a las presiones detectadas** en la zona (ej.: plaguicidas en áreas agrícolas, metales pesados en zonas mineras).
 - En los **cuerpos de agua sin uso actual**, se definen parámetros generales de calidad para establecer una **línea de base** y prevenir deterioros futuros.

2. Programa de monitoreo al que pertenece el punto

- **Programa de visión general:** se seleccionan parámetros troncales que permitan evaluar la tendencia general de la calidad del agua en la cuenca.
- **Programa de referencia:** incluye parámetros generales y **bioindicadores** para caracterizar las condiciones naturales o mínimamente alteradas.
- **Programa de cuerpos impactados:** incluye parámetros generales y, fundamentalmente, parámetros específicos relacionados con los impactos detectados.
- **Programa adaptado a usos:** se centra exclusivamente en los parámetros normativos aplicables al uso concreto (potable, recreativo, riego, etc.).

3. Enfoque adoptado para la evaluación

Dependiendo de la capacidad técnica y los objetivos del plan, se aplicará uno de los dos enfoques metodológicos definidos:

- **Enfoque por usos y general (químico y fisicoquímico):** Incluye parámetros físicos, químicos y microbiológicos (por ejemplo: temperatura, turbidez, oxígeno disuelto, nutrientes, metales, coliformes). Permite evaluar el cumplimiento de los objetivos fisicoquímicos y normativos, tanto para cuerpos con uso definido como para aquellos que aún no tienen uso asignado.
- **Enfoque integrado fisicoquímico y biológico:** Combina los parámetros anteriores con **bioindicadores** (tales como: macroinvertebrados bentónicos – índices BMWP, ASPT, IBMWP –, peces – IBI –, diatomeas y macrófitas cuando proceda). Este enfoque proporciona una evaluación más completa del estado ecológico, ya que los organismos reflejan de forma integrada el efecto de las presiones en el tiempo. Se aplica principalmente en los **programas de referencia** y **programas de cuerpos impactados**, y requiere mayor capacidad técnica y recursos.

Paso 3: Frecuencia y período de muestreo

Se vuelve a recordar en este paso que el marco normativo vigente en cada país es el que define la frecuencia y el periodo de muestreo. En ausencia de directrices claras sobre la frecuencia y periodo de muestreo a continuación se establece una metodología.

La frecuencia de muestreo debe garantizar la representatividad temporal y se define combinando cuatro factores: **el uso del agua, el programa de monitoreo, las presiones detectadas y el enfoque adoptado.**

- **Por usos:**
 - Agua potable (fuente): mensual o mayor si hay riesgos.
 - Recreación: quincenal en temporada alta.
 - Riego agrícola: trimestral en la temporada de uso.
- **Por programa:**

Capítulo 3.5.

Calidad de las aguas y conservación del medio hídrico y los ecosistemas

- Programa de visión general: mínimo dos veces al año (época seca y lluviosa).
- Programa de referencia: campañas periódicas con baja frecuencia, suficiente para caracterizar condiciones naturales.
- Programa de cuerpos impactados: frecuencia más alta (mensual o trimestral).
- Programa adaptado a usos: según normativa específica del uso.
- **Por presiones:**
 - A mayor presión (urbana, agrícola, industrial), mayor frecuencia de muestreo para captar episodios críticos (incluso quincenales o después de tormentas).
 - En cuerpos sin presiones significativas, la frecuencia puede ser menor.
- **Por enfoque:**
 - **Enfoque por usos y general (físicoquímico):** se aplican las frecuencias anteriores para parámetros físicoquímicos y microbiológicos.
 - **Enfoque integrado físicoquímico y biológico:** los indicadores biológicos se muestrean 1–2 veces al año (según ciclo biológico, algunos pueden muestrearse cada varios años, al menos una vez por ciclo de planificación), mientras que los parámetros físicoquímicos mantienen la frecuencia establecida para el punto.



Recomendación:

- En zonas tropicales con estación seca y lluviosa, como en gran parte de Centroamérica, así como en zonas afectadas por estacionalidad, se recomienda programar muestreos al menos en ambos periodos, idealmente incluyendo el inicio y final de cada uno para capturar su variabilidad.
- En ausencia de normativa específica, se pueden adoptar frecuencias adaptadas a las condiciones locales, considerando los siguientes factores:
 - **Riesgos sanitarios o ambientales.**
 - **Tamaño de la población abastecida o beneficiaria.**
 - **Presiones identificadas (puntuales o difusas).**
 - **Disponibilidad de recursos logísticos y técnicos.**
- Para detectar tendencias o cambios en el estado de calidad del agua a lo largo del tiempo, es necesario asegurar una frecuencia mínima de muestreo. Campañas únicas o muy espaciadas en el tiempo no permiten evaluar variabilidad estacional, detectar procesos de degradación progresiva ni verificar la eficacia de las medidas aplicadas. Se recomienda establecer series temporales continuas, incluso en contextos con recursos limitados, priorizando los puntos más sensibles o estratégicos.
- Para aguas subterráneas: frecuencias menores (trimestral, semestral o anual) hasta disponer de una caracterización adecuada, después aplicar protocolos específicos.

Tarea 5: Validación de datos de calidad

Un paso esencial en la evaluación de la calidad del agua es garantizar que los datos recopilados sean confiables, coherentes y representativos. Para ello, se deben implementar procedimientos rigurosos de control de calidad, desde la validación previa hasta el análisis post-muestreo:



Descripción Metodológica:

- **Validación previa del dato:** verificación de que las muestras fueron tomadas, transportadas y analizadas conforme a protocolos estandarizados (normas ISO, EPA, etc.).
- **Detección de errores y anomalías:**
 - **Outliers:** identificación de valores atípicos mediante técnicas estadísticas (boxplot, desviación estándar, percentiles extremos).
 - **Duplicados:** depuración de registros repetidos que distorsionen el análisis.
 - **Errores sistemáticos:** detección de sesgos por fallos de equipos, procedimientos o personal, especialmente si se repiten en series temporales.

Capítulo 3.5.

Calidad de las aguas y conservación del medio hídrico y los ecosistemas

- **Limpieza del dato:** depuración de registros erróneos o con información incompleta, y documentación clara de los criterios aplicados para su eliminación o corrección.
- **Análisis de confianza del dato:** revisión de la coherencia interna (por ejemplo, relaciones esperadas entre parámetros como oxígeno disuelto y demanda bioquímica de oxígeno) y externa (comparación con valores históricos o de estaciones cercanas). Así mismo puede evaluarse la **distribución estadística** de los datos (normalidad, sesgo), lo que condiciona qué pruebas se pueden aplicar después.



Importante:

Los valores atípicos deben analizarse con cautela: no todos deben eliminarse automáticamente, ya que pueden reflejar un evento real (por ejemplo, contaminación puntual tras lluvias).



Herramientas recomendadas:

El uso de representaciones gráficas de los datos permite identificar patrones, anomalías y tendencias, facilitando la toma de decisiones:

-  **Series temporales:** evolución de los parámetros a lo largo del tiempo.
-  **Diagramas de caja (boxplots):** visualización de medianas, percentiles y valores atípicos.
-  **Histogramas:** distribución de frecuencia de los valores observados.
-  **Mapas temáticos:** distribución espacial de la calidad en la cuenca (cuando sea aplicable).



Recomendación:

- Utilizar software de análisis estadístico o herramientas de código abierto para automatizar el procesamiento y visualización de datos, especialmente si se cuenta con muchas estaciones o parámetros.
- Cuando no hay cobertura continua es importante el análisis espacial (uso de mapas temáticos para interpolar o visualizar calidad en ausencia de datos completos).

Tarea 6: Diagnóstico

Determinar el estado de calidad de cada cuerpo de agua a partir de los datos obtenidos en la red de monitoreo o, en ausencia de estos, mediante la evaluación sistemática de las presiones. El diagnóstico compara las condiciones actuales del recurso con los objetivos de calidad identificando brechas o desviaciones y clasificando el estado.

El diagnóstico se organiza en tres enfoques, aplicados de manera complementaria según la disponibilidad de datos:

Enfoque por usos y general: calidad química y fisicoquímica

Este enfoque se aplica cuando se dispone de datos **químicos, fisicoquímicos y microbiológicos** obtenidos en la red de monitoreo. Su objetivo es determinar el grado de cumplimiento de los objetivos de calidad definidos para cada uso o, en su defecto, de los valores de referencia generales en cuerpos sin uso.



Descripción Metodológica:

1. Evaluación por parámetros individuales:

• Comparación

Cada valor medido se compara con:

- Objetivos normativos específicos, cuando el cuerpo de agua tiene un uso definido (abastecimiento, riego, recreación, industrial).

Capítulo 3.5.

Calidad de las aguas y conservación del medio hídrico y los ecosistemas

- Valores de referencia generales, cuando el cuerpo no tiene uso asignado.
- **Resultados:**
 - **Para cuerpos con uso:**
 - Cálculo del % de muestras que incumplen los límites por parámetro y por punto.
 - Presentación mediante tablas y gráficos de barras que muestran el nivel de incumplimiento por parámetro y por uso.
 - Agregación a nivel de cuerpo de agua: si uno o más puntos incumplen los valores establecidos para un uso determinado, el cuerpo de agua se considera en incumplimiento para ese uso.
 - **Para cuerpos sin uso (evaluación general):**
 - Cálculo de estadísticos representativos para cada parámetro (media, mediana, percentil 90 y máximo) durante el periodo de evaluación.
 - Comparación de esos estadísticos con los valores de referencia.
 - Representación espacial mediante mapas de incumplimientos y matrices comparativa.
 - Agregación a nivel cuerpos de agua: si cualquiera de los puntos de incumple los valores generales, el cuerpo se clasifica como incumplida en la evaluación general.

2. Cálculo de índices compuestos (ICA):

Los índices de calidad del agua o indicadores compuestos son herramientas que permiten sintetizar la información de múltiples parámetros en un único valor o categoría, facilitando la interpretación técnica y la comunicación de resultados a diferentes públicos (gestores, autoridades, ciudadanía). Su uso complementa el análisis por parámetros individuales, aportando una visión integrada del estado del recurso hídrico.

Son utilizados para simplificar la interpretación de datos de monitoreo, debido a que se reducen y reflejan una relación entre parámetros generados en una simple expresión que da como resultado un número, el cual indica las condiciones del agua.



Recomendación:

El uso de índices debe ser cuidadosamente justificado, considerando su validez en el contexto local y la disponibilidad de los datos necesarios para su cálculo.



Ejemplo Metodológico: Evaluación de la calidad del agua mediante el método ICA

El objetivo es determinar de forma sintética el estado de calidad del agua superficial en un punto de monitoreo mediante la agregación de múltiples parámetros en un solo valor numérico, que se interpreta dentro de una escala cualitativa.

Supuestos del ejemplo:

- Punto de monitoreo en un río de uso potencial para abastecimiento.
- Muestra analizada en laboratorio y campo.
- Se miden 9 parámetros.

1. Parámetros seleccionados y resultados obtenidos

Parámetro	Unidad	Valor medido
Oxígeno disuelto (OD)	% saturación	85
pH	-	7.5
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	3.0
Nitratos	mg/L NO_3^-	4.0
Fosfatos	mg/L PO_4^{3-}	0.2
Sólidos suspendidos totales (TSS)	mg/L	30
Turbidez	NTU	5

Capítulo 3.5.

Calidad de las aguas y conservación del medio hídrico y los ecosistemas

Temperatura del agua	°C	20
Coliformes fecales	NMP/100 mL	200

2. Transformación a puntuaciones de calidad (Qi)

Cada valor medido se transforma a una puntuación Qi (0 a 100). La puntuación Qi de cada parámetro en el cálculo del Índice de Calidad del Agua (ICA) **no se inventa ni es arbitraria**, se obtiene a partir de curvas de transformación o tablas de conversión específicas, desarrolladas por entidades como la National Sanitation Foundation (NSF), y adaptadas en muchos países. Colombia utiliza un índice llamado Índice de Calidad del Agua - ICA IDEAM, que es una adaptación del WQI de la NSF, con ligeras modificaciones para ajustarlo a las condiciones hidrológicas y de contaminación típicas del país.

Ejemplo (aproximado):

Parámetro	Valor medido	Puntuación Qi
OD	85 %	90
pH	7.5	90
DBO5	3.0 mg/L	75
Nitratos	4.0 mg/L	80
Fosfatos	0.2 mg/L	85
TSS	30 mg/L	70
Turbidez	5 NTU	85
Temperatura	20 °C	90
Coliformes	200 NMP/100mL	60

3. Asignación de pesos (Wi)

Cada parámetro tiene un peso relativo (Wi), sumando 1 en total. Pesos propuestos por la NSF:

Parámetro	Peso Wi
OD	0.17
pH	0.11
DBO5	0.11
Nitratos	0.10
Fosfatos	0.10
TSS	0.08
Turbidez	0.08
Temperatura	0.10
Coliformes	0.15

4. Fórmula de cálculo del ICA (WQI)

$$ICA = \sum_{i=1}^n (Qi \cdot Wi)$$

5. Interpretación del resultado

Intervalo ICA	Calidad del agua
91 – 100	Excelente
71 – 90	Buena
51 – 70	Aceptable o media
26 – 50	Mala
0 – 25	Muy mala

En este ejemplo, el valor obtenido de **ICA = 80.35 indica que la calidad general del agua es buena**. Pero esto no significa que sea apta sin tratamiento para todos los usos, especialmente el uso para abastecimiento humano que requiere criterios más estrictos, de hecho, se podría considerar que es apta, con reservas, para abastecimiento. La afirmación se basa en:

- La categoría global del ICA (80.35 = "buena").
- La presencia de un valor bajo en coliformes fecales, que, aunque no impide la clasificación "buena", sí alerta sobre la aptitud para ciertos usos sin tratamiento.

Capítulo 3.5.

Calidad de las aguas y conservación del medio hídrico y los ecosistemas

- Por eso se dice: "apta con ciertas reservas", en el sentido de que no todos los usos serían directamente viables sin controles adicionales.

Hay que tener en cuenta que el ICA es un indicador sintético y general, pero no sustituye las evaluaciones específicas por uso, como las requeridas para agua potable, recreación, riego, etc.



Importante:

- Este índice no sustituye la evaluación normativa oficial, pero es útil para diagnósticos rápidos, comparación entre estaciones, seguimiento temporal o comunicación pública.
- Puede adaptarse incorporando pesos regionales o modificando **parámetros según los usos del agua**.
- Requiere curvas de transformación Qi actualizadas, que deben definirse con base técnico-

Enfoque integrado: químico, fisicoquímico y biológico

Este enfoque se aplica en cuerpos de agua donde, además de datos fisicoquímicos y químicos, se dispone de información biológica e hidromorfológica, suficiente para evaluar la respuesta ecológica del sistema. Permite pasar de un diagnóstico puramente químico a una clasificación del estado ecológico.



Descripción Metodológica:

1. Evaluación de indicadores biológicos

Comunidades indicadoras según tipo de cuerpo de agua:

- Ríos: macroinvertebrados bentónicos (BMWP, IBMWP, ASPT), peces (IBI) y diatomeas (IDP).
- Lagos y embalses: fitoplancton (clorofila-a, cianobacterias), macrófitos y comunidades bentónicas.
- Estuarios y zonas costeras: macroinvertebrados bentónicos y fitoplancton.

Métricas biológicas principales:

- Índices de diversidad y abundancia.
- Índices específicos: BMWP/IBMWP/ASPT, IBI, IDP.
- Porcentaje de especies sensibles.
- Clorofila-a y biovolumen de cianobacterias (estado trófico).

2. Comparación con condiciones de referencia

Cada índice biológico se compara con las condiciones de referencia establecidas para la tipología del cuerpo de agua (estado esperado sin presiones significativas).

3. Integración biológica y fisicoquímica (nivel de punto)

- Prioridad biológica: En cada punto de monitoreo, si los indicadores biológicos muestran peor estado que los químicos y fisicoquímicos, prevalece el valor biológico, por ser más integrador y representativo en el tiempo.
- **One out-all out** entre indicadores: Si hay varios indicadores (biológicos y químicos y fisicoquímicos), el peor valor obtenido en el punto determina el estado de ese punto.

Este paso define el estado final de cada punto de control.

4. Agregación espacial (nivel de cuerpo de agua)

Una vez asignado el estado de cada punto, la clasificación del estado del cuerpo de agua se realiza aplicando el criterio espacial restrictivo:

- Si al menos uno de los puntos presenta un estado inferior al objetivo, el cuerpo de agua completo se clasifica según esa categoría más restrictiva.

Este criterio asegura que no se enmascaren zonas degradadas dentro de la misma masa.

5. Métricas empleadas

Bioindicadores:

- BMWP/IBMWP, IBI, IDP, métricas de fitoplancton (clorofila-a, biovolumen).
- Químicos y fisicoquímicos:
 - % de incumplimiento, estadísticos representativos (media, percentil 90, etc.), ICA.

Capítulo 3.5.

Calidad de las aguas y conservación del medio hídrico y los ecosistemas

El resultado final del enfoque integrado se expresa en forma de **clases de estado ecológico**, que constituyen una síntesis de toda la información biológica, química y fisicoquímica evaluada en los puntos de monitoreo. Estas clases, generalmente definidas como **Alta**, **Buena**, **Moderada**, **Deficiente** y **Mala**, representan el grado en que cada cuerpo de agua se aproxima a sus condiciones de referencia y al cumplimiento de los objetivos ambientales.

- **Estado Alto:** Las comunidades biológicas y los parámetros fisicoquímicos son prácticamente iguales a los de referencia, sin alteraciones significativas.
- **Estado Bueno:** Existe una ligera desviación respecto a las condiciones naturales, pero los ecosistemas mantienen sus funciones y estructura esenciales.
- **Estado Moderado:** Se observan alteraciones apreciables en las comunidades biológicas y en la calidad fisicoquímica que afectan parcialmente las funciones del ecosistema.
- **Estado Deficiente:** Las presiones son intensas, con comunidades empobrecidas y parámetros de calidad claramente alterados.
- **Estado Malo:** Ecosistemas muy degradados, con pérdida de biodiversidad y fuerte alteración de los parámetros de calidad.



Producto Esperado:

- Mapas y tablas de clasificación del estado ecológico por masa.
- Identificación de presiones y factores asociados al deterioro biológico.
- Base técnica para definir medidas de restauración y gestión.

Enfoque basado en el análisis de la calidad del agua mediante estudio de presiones

Este enfoque se utiliza **cuando no se dispone de datos suficientes de monitoreo** (ni fisicoquímicos, ni biológicos) para evaluar directamente el estado de la calidad del agua. Permite **inferir de manera preliminar** la condición y riesgo de incumplimiento de objetivos ambientales a partir de la información ya recopilada en fases previas del plan (**caracterización inicial de la zona de análisis** e **inventario de presiones**).

1. Principios básicos

- **Relación causa–efecto:** parte del análisis de **presiones ya documentadas** y de la vulnerabilidad del medio receptor.
- **Evaluación del riesgo:** determina el **riesgo potencial** de que la masa no cumpla los objetivos de calidad.
- **Función:** orientar la **priorización de medidas y el diseño futuro de redes de monitoreo**, donde ahora no se dispone de datos.



Descripción Metodológica:

Paso 1. Selección de masas de agua sin monitoreo suficiente

Este paso se realiza una vez que se dispone del inventario actualizado de la red de monitoreo y de los datos recopilados en etapas anteriores. No implica levantar información nueva, sino analizar dicha información para determinar:

- Qué masas de agua carecen de series de monitoreo representativas en cuanto a calidad química y fisicoquímica o biológica.
- En qué masas los datos disponibles son puntuales, incompletos o no permiten evaluar tendencias.

El resultado de este paso es la **lista de cuerpos de agua que deberán diagnosticarse mediante el análisis de presiones**, por no disponer de información suficiente para un diagnóstico directo.

Paso 2. Uso de la información de presiones recopilada

Para cada cuerpo de agua sin monitoreo, se extraen del **inventario de presiones**:

- Las **presiones puntuales y difusas** que le afectan.
- La **localización, magnitud y tipología contaminante**. En contextos sin datos de monitoreo, la magnitud de los impactos no se puede calcular directamente, pero puede estimarse o

Capítulo 3.5.

Calidad de las aguas y conservación del medio hídrico y los ecosistemas

categorizarse cualitativamente utilizando factores de presión indirectos o criterios expertos. A continuación, se muestra un ejemplo de criterio para magnitud en vertidos urbanos.

- Alta: localidad >5.000 hab. sin EDAR funcional y vertido al cauce.
- Media: localidad entre 1.000 y 5.000 hab. con EDAR deficiente.
- Baja: localidad pequeña o con fosa séptica en zona no conectada.

Paso 3. Evaluación del riesgo de impacto

- Se combinan **magnitud de las presiones** y **vulnerabilidad del medio** (capacidad de dilución, conectividad hidrológica, recarga, etc.) para asignar un **nivel de riesgo** (Alto, Medio, Bajo). Este análisis se puede realizar mediante una matriz de riesgo o un modelo de presión-impacto.

Cuerpo de agua	Presiones principales	Intensidad	Distancia al cauce	Vulnerabilidad	Riesgo estimado
Tramo Río X	Agricultura intensiva (nitratos), Vertido urbano sin tratamiento	Alta	Adyacente	Permeabilidad alta, bajo caudal	Alto
Acuífero Y	Uso ganadero extensivo	Media	Dispersa	Recarga directa	Moderado

Se aconseja usar escalas ordinales (bajo, medio, alto) o numéricas (1 a 5) según el nivel de desarrollo del inventario.

Paso 4. Clasificación preliminar

En función del riesgo, se asigna una **categoría de calidad probable**:

Riesgo	Estado de calidad inferido	Significado
Alto	Deficiente	Alta probabilidad de incumplimiento de objetivos
Medio	Moderado	Riesgo relevante, seguimiento recomendado
Bajo	Aceptable	Sin indicios de presión significativa



Importante:

Este diagnóstico **no sustituye a la evaluación del estado** según normativa, pero permite orientar acciones donde la información es insuficiente.

- La **transparencia en los criterios de clasificación** es clave para su legitimidad técnica.
- Se recomienda **revisar anualmente** este diagnóstico ante cambios en el uso del suelo, nuevas actividades o datos emergentes.

Incluir modelos predictivos (**herramientas**) como complemento del análisis de presiones es una estrategia clave, especialmente en contextos donde no se dispone de monitoreo directo o continuo de la calidad del agua. Estos modelos permiten estimar el estado del recurso a partir de variables indirectas, como el uso del suelo, la densidad poblacional, las actividades económicas predominantes, la topografía y las cargas contaminantes estimadas.

Cuando se cuenta con información espacial y estadística sobre los usos del territorio, las actividades humanas y las características físico-naturales de la cuenca, es posible desarrollar e incorporar modelos que relacionen estas variables con parámetros de calidad del agua (como DBO, nutrientes, sólidos suspendidos, etc.).



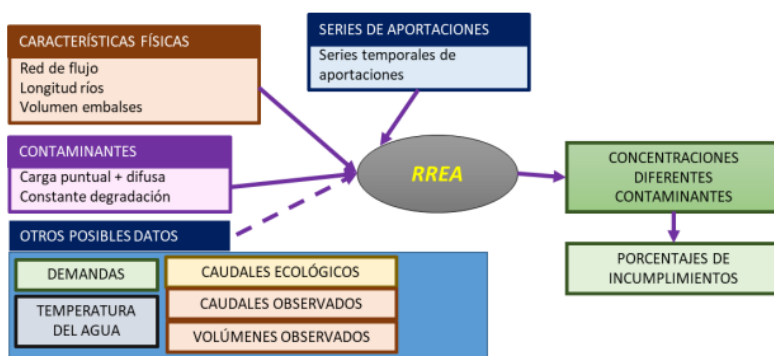
Importante:

Estos modelos deben calibrarse y validarse localmente. Para ello, se requiere al menos una base mínima de datos de calidad del agua, hidrología y presiones identificadas con sus correspondientes magnitudes. En ausencia de monitoreo, los resultados deben interpretarse con precaución y usarse como apoyo para priorización.

Ejemplo: A continuación, se muestra el esquema de un modelo numérico usado la estimación de la calidad del agua mediante la evaluación del efecto de las presiones (**herramienta RREA**).

Capítulo 3.5.

Calidad de las aguas y conservación del medio hídrico y los ecosistemas



Otros instrumentos para el análisis de presiones

Modelos de presión-impacto-respuesta (PSR o DPSIR). Los **modelos de presión-impacto-respuesta** (PSR) y sus variantes como **DPSIR** son marcos conceptuales desarrollados para describir y analizar la interacción entre la sociedad humana y el medio ambiente, muy utilizados en la gestión de recursos naturales y ambientales (como el agua, el suelo, la biodiversidad o el cambio climático).

Componente	Definición técnica	Ejemplo (calidad del agua)
D: Driving Forces (Fuerzas Motrices)	Procesos sociales, económicos o demográficos que impulsan la presión ambiental.	Crecimiento poblacional, expansión agrícola, industrialización.
P: Pressures (Presiones)	Efectos directos de las actividades humanas sobre el medio ambiente.	Descargas de nutrientes, uso de pesticidas, captaciones de agua.
S: State (Estado)	Condición física, química o biológica del medio.	Concentración de nitratos, estado ecológico de una masa de agua.
I: Impact (Impacto)	Consecuencias del cambio de estado sobre los ecosistemas y la salud humana.	Eutrofización, pérdida de biodiversidad acuática, problemas sanitarios.
R: Response (Respuesta)	Decisiones, políticas o medidas adoptadas para corregir el problema.	Zonas vulnerables por nitratos, programas de depuración, medidas agroambientales.

Brechas

Una vez evaluado el estado de la calidad del agua en cada cuerpo de agua mediante los enfoques anteriores, el siguiente paso consiste en **analizar la brecha existente entre el estado actual y los objetivos de calidad establecidos**, identificando su magnitud y causas. Esta fase constituye el **punto entre el diagnóstico y el diseño del programa de medidas**, porque transforma los resultados del diagnóstico en información operativa para la gestión. No forma parte del diagnóstico en sentido estricto, sino que **supone una etapa de interpretación integrada**, donde se vinculan los resultados obtenidos (estado) con los **objetivos normativos y el inventario de presiones**.



Descripción Metodológica:

Paso 1: Comparación cuantitativa estado-objetivo

- Para cada **cuerpo de agua** y para cada parámetro o indicador evaluado:
 - Se compara el valor observado con el valor objetivo (normativo o de referencia).
 - Se calcula la **brecha o desviación**. Ejemplos:
 - Concentración media de nitratos = 70 mg/L, objetivo = 50 mg/L → brecha = +20 mg/L.
 - Índice BMWP = 65, objetivo = ≥90 → brecha = -25 puntos.
- Este análisis se realiza **por componente de calidad** (químico, fisicoquímico, biológico).

Capítulo 3.5.

Calidad de las aguas y conservación del medio hídrico y los ecosistemas

Paso 2: Delimitación de cuerpos de agua con brechas significativas

- Se **clasifican los cuerpos de agua según la magnitud de las brechas** y la importancia del incumplimiento:
 - Muy significativas: afectan usos prioritarios (abastecimiento) o zonas protegidas.
 - Moderadas: comprometen objetivos ambientales, pero sin riesgos inmediatos graves.
 - Leves: desviaciones puntuales o de escasa magnitud.
- Esta clasificación permite **priorizar la intervención**.

Paso 3: Identificación de presiones asociadas

- Para cada brecha, se relacionan las **presiones potencialmente responsables**, utilizando:
 - Resultados del inventario de presiones.
 - Evidencias de campo.
 - Modelización o inferencia experta.
- Ejemplo: exceso de nitratos asociado a zonas agrícolas con uso intensivo de fertilizantes.

Paso 4: Estimación de la contribución relativa de cada presión

- Cuando sea posible, se cuantifica **qué parte de la brecha es atribuible a cada presión**:
 - Balances de cargas (cálculo de aportes por fuente esto se puede calcular mediante los modelos anteriormente explicados).
 - Modelos de transporte de contaminantes.
 - Clasificación cualitativa de impacto (alto, medio, bajo).
- Este análisis facilita seleccionar medidas costo-eficientes.

Paso 5: Clasificación de brechas por tipo y actuación requerida

- Cada brecha se tipifica según su naturaleza:
 - Nutrientes, contaminantes orgánicos, metales pesados, alteraciones hidromorfológicas, déficit biológico, etc.
- Se vincula con el **tipo de respuesta necesaria**:
 - Reducción de cargas difusas o puntuales.
 - Mejora en saneamiento y depuración.
 - Restauración ecológica.
 - Recuperación de caudales y conectividad.

Paso 6: Elaboración de fichas síntesis por cuerpo de agua

- Se elabora para cada cuerpo de agua una **ficha operativa** que contenga:
 - Estado actual.
 - Objetivos aplicables.
 - Brechas identificadas (magnitud y tipo).
 - Presiones asociadas.
 - Valoración de la contribución relativa de las presiones.
 - **Orientación preliminar de actuaciones**, que servirá como insumo directo para el Programa de actuaciones.

Tarea 7: Seguimiento de la calidad de las aguas

El seguimiento de la calidad del agua es el mecanismo que garantiza la evaluación continua del estado de los cuerpos de agua durante la implementación del plan, y proporciona la información necesaria para ajustar medidas y redes de monitoreo de forma adaptativa.



Descripción Metodológica:

Capítulo 3.5.

Calidad de las aguas y conservación del medio hídrico y los ecosistemas

Paso 1: Definición del esquema de seguimiento

- Establecer el marco operativo del seguimiento:
 - Periodicidad de informes (recomendado: anual).
 - Indicadores clave a seguir (químicos, fisicoquímicos, biológicos).
 - Formato y estructura de los productos de seguimiento.

Paso 2: Recopilación y validación de los datos

- Integrar los datos procedentes de la red de monitoreo del periodo correspondiente.
- Validar la calidad y consistencia de los datos (revisión de series, detección de anomalías).

Paso 3: Análisis de tendencias

- Comparar los resultados recientes con:
 - Valores normativos o de referencia definidos en el plan.
 - Resultados históricos y diagnóstico inicial.
- Identificar tendencias (mejora, estabilización, deterioro).

Paso 4: Evaluación de la eficacia de las actuaciones

- Analizar si los cambios observados están relacionados con las medidas implantadas:
 - Relación espacial (áreas de influencia).
 - Relación temporal (efectos esperados en los plazos previstos).

Paso 5. Identificación de nuevas presiones o problemas emergentes

- Detectar **nuevas fuentes de presión** o situaciones que no estaban presentes en el diagnóstico inicial.
- Valorar la incorporación de actuaciones adicionales.

Paso 6: Elaboración de informe periódico de seguimiento

Se aconseja que el informe contenga, como mínimo:

- Comparación de los resultados del periodo con los objetivos de calidad establecidos.
- Mapas de estado, tendencias y principales incumplimientos.
- Análisis de la eficacia de las actuaciones aplicadas.
- Recomendaciones para ajustar la red de monitoreo y las estrategias de gestión.

Paso 7: Retroalimentación al proceso de planificación

- Utilizar los resultados del informe para:
 - Actualizar la programación de actuaciones si fuera necesario.
 - Ajustar la ubicación y frecuencia de la red de monitoreo.
 - Incorporar hallazgos relevantes en la preparación de la siguiente revisión del plan.

Resultados esperados

- **Informe de seguimiento del periodo elegido**, claro y técnico.
- **Actualización dinámica del estado de los cuerpos de agua** y de la efectividad del plan.
- **Base técnica sólida** para la toma de decisiones adaptativa.

Guías

GUÍA 1: Guías para la calidad del agua de consumo humano

<https://www.who.int/es/publications/i/item/9789241549950>

Capítulo 3.5.

Calidad de las aguas y conservación del medio hídrico y los ecosistemas

GUÍA 2: CONAGUA (2021). Protocolo de biomonitoreo con macroinvertebrados en ríos
<https://www.gob.mx/conagua>

GUÍA 3: IDEAM (2018). Guía para la evaluación del estado ecológico de ríos colombianos
https://corpouraba.gov.co/wp-content/uploads/2.-PROTOCOLO_MONITOREO_AGUA_IDEAM.pdf

GUÍA 4: FAO/PNUMA/PNUE (2020). Evaluación ecológica rápida para América Latina y el Caribe
<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/8534303c-014c-486b-937b-8438592ff78c/content>

GUÍA 5: Directiva Marco del Agua (DMA) 2000/60/CE
<https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2000/60/oj/eng>

GUÍA 6: EPA (2016). Biological Assessment Program Review
<https://www.epa.gov/sites/default/files/2021-03/documents/biological-assessment-program-review-rigor-flyer.pdf>

Casos prácticos

EL SALVADOR: Canon por Vertido: Regulaciones que establecen el valor ambiental, social y económico del recurso hídrico en El Salvador

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