

METODOLOGÍA DE MONITOREO PASO A PASO PARA EL INDICADOR 6.3.2

PORCENTAJE DE CUERPOS DE AGUA CON BUENA CALIDAD DE AGUA AMBIENTAL¹

1. CONTEXTO DE MONITOREO

1.1 INTRODUCCIÓN

Meta 6.3 De aquí a 2030, mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial.

Indicador 6.3.2 Porcentaje de cuerpos de agua con buena calidad de agua ambiental.

Este indicador proporciona un mecanismo para determinar si las medidas de gestión de calidad del agua contribuyen a mejorar la calidad del agua en los cuerpos de agua continentales. A nivel nacional, más cuerpos de agua deberían lograr una buena calidad de agua con mayores niveles de tratamiento de aguas residuales y de reutilización de aguas residuales. Una gestión integrada de las cuencas fluviales y lacustres contribuirá también a una mejor calidad de agua. Una buena calidad de agua ambiental es esencial para preservar los ecosistemas acuáticos y los servicios que éstos brindan, como las empresas pesqueras. Asimismo, es esencial para proteger la salud humana durante usos recreativos y en situaciones donde el agua es utilizada para beber y para actividades domésticas sin tratamiento previo. Es, por lo tanto, en el interés de las autoridades nacionales, lograr que todos los cuerpos de agua puedan calificarse como cuerpos de agua que presentan una “buena calidad de agua”. Esta metodología sugiere un proceso para introducir un monitoreo periódico de los cuerpos de agua a fin de determinar su estado de calidad. Con el tiempo, o con una mayor disponibilidad de recursos, el programa de monitoreo puede ampliarse para incluir una descripción más detallada de la calidad de agua, que ofrecerá mayor información para la gestión y el desarrollo de la política relacionada con el agua.

Este indicador se define como el porcentaje de todos los cuerpos de agua del país que tienen una buena calidad de agua ambiental. La calidad de agua ambiental se refiere al agua dulce, sin tratar, de ríos, lagos y aguas subterráneas y representa una combinación de influencias naturales junto con los impactos de todas las actividades antropogénicas. En consecuencia, permite que el impacto del desarrollo humano en la calidad del agua ambiental sea evaluado a lo largo del tiempo, y proporciona una indicación de los servicios que pueden obtenerse de los ecosistemas acuáticos, como agua limpia para beber, preservación de la biodiversidad, empresas pesqueras sostenibles, agua para riego, etc. El indicador está también vinculado

¹ Esta traducción no es oficial. Para ver el documento original en inglés, sírvase visitar <http://www.unwater.org/publications/publications-detail/en/c/434399/>. Para cualquier consulta o información, sírvase comunicarse con hartwig.kremer@unep.org

directamente al Indicador 6.3.1 sobre tratamiento de aguas residuales porque un tratamiento inadecuado de aguas residuales conduce a la degradación de la calidad de las aguas que reciben los efluentes de aguas residuales. El indicador responde directamente al avance logrado en cuanto a la Meta 6.3 y está estrechamente ligado a la Meta 6.6 sobre ecosistemas relacionados con el agua.

Existe un marco global de monitoreo de la calidad del agua dentro del programa GEMS/Agua del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), que se seguirá desarrollando dentro de la Iniciativa Global de Monitoreo Expansivo (GEMI). La metodología propuesta reconoce que los países tienen distintos niveles de monitoreo de calidad del agua, y permite a los países iniciar los esfuerzos de monitoreo de acuerdo a su capacidad nacional y a los recursos disponibles. A partir de allí, los países pueden avanzar progresivamente con el desarrollo de su sistema nacional de monitoreo, a la vez que seguir manteniendo una base para la agregación de conjuntos de datos a nivel regional y global. Como línea de base para el monitoreo global, se han seleccionado cinco parámetros básicos que pueden medirse fácilmente y que presentan pocas dificultades técnicas. A fin de establecer un sistema de monitoreo e información para este indicador, los datos para estos parámetros pueden ser informados a las estaciones de monitoreo existentes pero, con el tiempo, se insta a los países aumentar el número de lugares de monitoreo, con una mayor frecuencia de mediciones y la inclusión de más parámetros de calidad del agua.

1.2 ESTABLECIMIENTO DE METAS PARA EL INDICADOR

La Agenda de Desarrollo Sostenible para el 2030 especifica que todas las metas de los ODS *“se definen como ambiciosas y mundiales, donde cada gobierno fija sus propias metas nacionales guiado por el nivel mundial de ambición pero tomando en cuenta las circunstancias nacionales”*. La ambición mundial de la Meta 6.3 es *“mejorar la calidad del agua”*. Para poder determinar si se han logrado mejoras, es necesario llevar a cabo el monitoreo de la calidad del agua y comparar los resultados, ya sea con las normas de calidad del agua, la calidad anterior a la implementación de cualquier forma de gestión (es decir, las condiciones básicas), o con las condiciones de referencia de la calidad. Debido a la variabilidad de los cuerpos de agua, no resulta práctico establecer estándares o metas para parámetros específicos de calidad del agua que son aplicables globalmente. Por lo tanto, se recomienda que cada país determine y defina lo que es una *“buena calidad de agua ambiental”* y establezca sus propias metas contra las cuales dicha calidad pueda evaluarse. Sin embargo, cuando varios países monitorean el mismo cuerpo de agua transfronterizo, se necesitará realizar esfuerzos para armonizar las metas de todos los países.

Con el propósito de determinar una buena calidad de agua ambiental, los estándares o metas deberán asegurar que el ecosistema acuático no sea dañado y que no exista riesgo inaceptable alguno para la salud humana que surja del uso previsto del agua sin previo tratamiento. En la práctica, por lo tanto, la misma comprensión de *“buena calidad”* es aplicable globalmente pero los parámetros utilizados para determinar si la meta de *“buena calidad”* se está cumpliendo pueden ser distintos dependiendo del tipo de cuerpo de agua, las variaciones naturales de la calidad del agua y los usos previstos del agua. Cada vez son más los países que cuentan con estándares o valores meta para parámetros particulares de calidad del agua en relación con el uso del agua, como agua potable o agua de riego, que para la calidad natural del ecosistema acuático. Por lo tanto, para apoyar a los países que no cuentan con metas, en la Sección 5.4 se describen los enfoques propuestos para definir metas nacionales. Se han publicado también algunos ejemplos detallados del origen de metas y lineamientos nacionales (p.ej. ANZECC y ARMCANZ, 2000), disponibles en línea. La calidad de agua que respalda una buena calidad de ecosistema es evaluada normalmente mediante la inclusión de algunos parámetros biológicos o métodos de monitoreo, tales como la clorofila a, la diversidad y abundancia de especies, o por la presencia o ausencia de organismos indicadores específicos. Dichos enfoques requieren un conocimiento detallado de las comunidades acuáticas naturales que no hayan sido afectadas por impactos, y que pueden no existir en muchos países. Sin embargo, la inclusión de métodos biológicos en la evaluación de una *“buena calidad de agua ambiental”* puede añadirse a medida que el desarrollo de redes de monitoreo

avance y la información adicional esté disponible. Para que todos los países puedan informar con respecto al Indicador 6.3.2, se recomienda un enfoque simple basado en parámetros físicos y químicos como punto de partida mínimo.

2. METODOLOGÍA DE MONITOREO

2.1 CONCEPTO DE MONITOREO Y DEFINICIONES

La calidad del agua es evaluada mediante parámetros físicos, químicos y biológicos que reflejan la calidad natural del agua en relación con factores climatológicos, geológicos e impactos mayores en la calidad del agua.

Los parámetros básicos seleccionados aquí no son mediciones directas de la calidad del agua para la salud humana o del ecosistema, pero se incluyen para caracterizar el cuerpo de agua y porque la desviación de los rangos normales (p.ej. para la conductividad eléctrica y el pH) puede ser sintomática de los impactos en la calidad del agua.

El concepto de monitoreo se basa en un índice de calidad del agua utilizando parámetros claves de calidad del agua. Como primer paso del monitoreo progresivo, los parámetros se comparan con los valores meta, los cuales cumplen o no cumplen con estos valores. Estos resultados son luego agregados con el tiempo y combinados en el índice de cada lugar de monitoreo. Los resultados del índice de cada lugar de monitoreo del cuerpo de agua se agregan luego para obtener un estado “bueno” o “no bueno” del cuerpo de agua. Los valores meta reales son fijados por cada país basado en la experiencia de sus propias redes de monitoreo de calidad del agua o en valores publicados de cuerpos de agua similares de otros lugares (Véase la Sección 4.4).

Con el fin de informar sobre el indicador, los países necesitan definir sus cuerpos de agua. En el caso de ríos, un cuerpo de agua es una subregión coherente en una cuenca fluvial que es independiente (no se superpone a otro cuerpo de agua) y es significativa en lugar de ser designada arbitrariamente. El área geográfica de una cuenca fluvial está relacionada con el sistema hidrológico y no con fronteras nacionales o unidades de gestión. Los cuerpos de agua lacustres son más sencillos de delimitar; sin embargo, tal como ocurre con los cuerpos de agua fluviales, se necesita un enfoque de monitoreo armonizado para lagos que cruzan fronteras nacionales.

Los programas de monitoreo de aguas superficiales son más fáciles de implementar que los programas de aguas subterráneas, aunque todavía dependen de un conocimiento cabal del sistema hidrológico y de las presiones que afectan la calidad del agua. Los programas de monitoreo de aguas subterráneas requieren un alto grado de experiencia para ser implementados y los resultados son más difíciles de interpretar. El agua subterránea comprende toda el agua que se encuentra debajo de la superficie en la zona saturada y en contacto directo con el fondo o subsuelo. El cuerpo de agua subterránea es único pero puede comprender uno o más acuíferos. Los sistemas de flujo de las aguas subterráneas son con frecuencia muy heterogéneos, de manera que las muestras de pozos que se encuentran cerca pueden producir resultados muy diferentes, sobretodo si las muestras se toman a distintas profundidades. Asimismo, los resultados del monitoreo de aguas subterráneas están fuertemente influenciados por los métodos y protocolos de los muestreos y, por lo tanto, el personal de campo debe estar capacitado al más nivel de competencia para asegurar que se obtengan muestras representativas.

2.2 RECOMENDACIONES SOBRE COBERTURA ESPACIAL Y TEMPORAL

La cobertura espacial de los lugares de monitoreo y el porcentaje de cuerpos de agua evaluados pueden aumentarse a medida que la capacidad y los recursos del país mejoren. Empezando con estaciones y mediciones existentes, los países pueden aumentar el número de lugares de monitoreo a fin de proporcionar mediciones más representativas estadísticamente. En los lugares donde los recursos son limitados y hay

pocas estaciones de monitoreo, se recomienda enfocarse inicialmente en lugares de extracción de agua potable.

La cobertura temporal depende del cuerpo de agua y de los parámetros que se miden. El monitoreo temporal puede abarcar desde mediciones continuas hasta mediciones aleatorias o regulares, con frecuencias semanales hasta anuales. En cada caso, la variabilidad natural de los parámetros debe tomarse en cuenta así como las variaciones estacionales. Además, el nivel de precisión y el nivel deseado de confianza deben considerarse al diseñar un programa de monitoreo. En general, se recomienda tomar muestras por lo menos una vez por temporada pero de preferencia no menos de cuatro veces al año para cuerpos de agua superficial. Para cuerpos de agua subterránea se requiere una frecuencia mínima de una muestra por año aunque se recomienda mediciones más frecuentes donde sea posible realizarlas.

2.3 PASOS PARA EL MONITOREO PROGRESIVO

El monitoreo progresivo consta de tres componentes separados: aumento del número de muestras tomadas; ampliación del rango de los parámetros al incluir sustancias tóxicas y enfoques biológicos, y desarrollo de la complejidad del método utilizado para calcular el indicador.

El indicador que debe informarse es el *“porcentaje de cuerpos de agua con buena calidad de agua ambiental”*. El objetivo sería que el porcentaje de **todos** los cuerpos de agua del país cumpla con los criterios de *“buena calidad”*. Esto puede no ser realista inicialmente y por lo tanto se sugiere que, a menos que una cobertura nacional total sea posible, el esfuerzo de monitoreo se concentre en los cuerpos de agua clave seleccionados cuyos datos sean científicamente sólidos y fiables. Los pasos graduales en este caso serían ampliar la cobertura espacial e intensificar temporalmente la toma de muestras a medida que se disponga de recursos y se desarrollen capacidades. Esto puede incluir también el desarrollo y la implementación de un programa de monitoreo de aguas subterráneas en caso de no existir actualmente.

El punto de partida sugerido son los parámetros físico-químicos básicos y de nutrientes que se muestran en la Tabla 2.1 según el tipo de cuerpo de agua. Los parámetros de monitoreo progresivo, como los contaminantes emergentes o los índices biológicos, pueden incluirse dependiendo de las capacidades y los requisitos nacionales, y conforme a la legislación de cada país, o de los requisitos regionales y locales relativos a presiones o contaminantes específicos. Estos parámetros pueden informarse separadamente y analizarse a lo largo del tiempo para identificar la mejora o degradación de la calidad del agua, aunque no están incluidos en esta etapa del proceso global de presentación de informes.

Hay varias medidas metodológicas que pueden adoptarse para aumentar la relevancia y, en última instancia, el valor del indicador. Éstas incluyen la delimitación de unidades más pequeñas de cuerpos de agua según lo permitan los recursos y un aumento de tomas de muestras espaciales. Para el monitoreo y la presentación de informes a nivel nacional, se puede incluir la aplicación de más esquemas integrales de clasificación y de índices de calidad del agua que permitan la evaluación de la calidad del agua conforme a las condiciones y requisitos específicos locales y nacionales. Se han desarrollado muchos indicadores compuestos para determinar el buen estado del agua para distintos usos y para la evaluación de la integridad biológica de los ecosistemas acuáticos. Estos índices incluyen normalmente la transformación de los parámetros seleccionados con distintas unidades y escalas a una escala común utilizando diferentes funciones matemáticas, técnicas estadísticas o modelos matemáticos más avanzados. A menudo los coeficientes de ponderación se asignan a parámetros para expresar la mayor importancia de algunos parámetros sobre otros. Los subíndices resultantes son agregados mediante métodos de adición, multiplicativos, lógicos, u otros métodos de agregación para producir un puntaje de índice final (Abbasi y Abbasi, 2012).

Se han utilizado en varios países dos índices específicos nacionales de uso del agua: el Índice de Calidad del Agua de la Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos (Brown *et al.*, 1970) y el Índice de Calidad del Agua del Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente (CCME WQI) (CCME, 1999) como

base para el desarrollo de índices nacionales. Similar al índice simple utilizado para el indicador global, el CCME WQI no incluye coeficientes de ponderación para los parámetros seleccionados y permite la inclusión de parámetros adicionales. Además de la frecuencia con la que los parámetros no cumplen con los valores meta, también toma en consideración el número de parámetros que incumplen y el alcance de las desviaciones. Ha sido utilizado también como una plantilla para desarrollar índices globales de calidad del agua para el agua potable (Rickwood y Carr, 2009) y el agua dulce en general (Srebotnjak *et al.*, 2012).

2.3.1 PARÁMETROS BÁSICOS FÍSICO-QUÍMICOS Y DE NUTRIENTES

Para facilitar la comparabilidad del indicador entre países, se ha sugerido un número de parámetros básicos para los distintos tipos de cuerpos de agua. La razón de la inclusión y una descripción de cada uno se muestran a continuación.

Ríos

Oxígeno disuelto (OD): Es importante para los organismos acuáticos. Los niveles de oxígeno disuelto fluctúan naturalmente con la temperatura y la salinidad. La turbulencia en la superficie de un río, en rápidos o en cascadas puede aumentar las concentraciones de oxígeno. La actividad fotosintética de la flora acuática y la respiración de organismos acuáticos pueden afectar también las concentraciones diurnas y estacionales. Las concentraciones muy bajas de oxígeno pueden sugerir la presencia de material orgánico biodegradable, como aguas servidas. Idealmente, el OD se mide *in situ* utilizando una sonda de oxígeno, pero hay métodos disponibles cuando el oxígeno en la muestra de agua es fijado químicamente para análisis en el laboratorio.

Conductividad eléctrica (CE): Es una medición simple de sustancias disueltas, como las sales, que ayudan a caracterizar el cuerpo de agua. Los valores de CE cambian naturalmente, especialmente durante los períodos de mayor flujo. La inclusión de CE como parámetro básico se debe a su simplicidad de medición y porque la desviación de los rangos normales puede utilizarse como un indicador de contaminación, como la entrada de aguas residuales en el cuerpo de agua. El método más preciso para medir la CE es mediante el uso de un medidor de conductividad *in situ*, ya que los valores pueden cambiar durante el período comprendido entre la toma de muestras en campo y el análisis en el laboratorio.

Tabla 2.1 Parámetros básicos y de monitoreo progresivo para cada tipo de cuerpo de agua

Parámetro		Río	Lago	Agua Subterránea
Parámetro Básico	Oxígeno Disuelto	x	x	
	Conductividad Eléctrica	x	x	x
	Nitrógeno Oxidado Total	x	x	
	Nitrato*			x
	Ortofosfato	x	x	
	pH	x	x	x
Parámetro de Monitoreo Progresivo	Temperatura	x	x	x
	Turbidez	x	x	
	Transparencia		x	
	Dureza	x		x
	Sólidos Suspendidos	x		
	Alcalinidad	x	x	

Aniones Principales (HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^-)			x
Cationes Principales (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+})			x
Fósforo Total	x	x	
Ortofosfato			x
Nitrógeno Total	x	x	
Nitrito	x	x	x
Nitrógeno Amoniacal	x	x	x
BOD/COD	x		
Metales No Pesados (p.ej. arsénico o fluoruro)	x	x	x
Metales Pesados	x	x	x
Hidrocarburos	x	x	x
Pesticidas	x	x	x
Carbonos Orgánicos Volátiles	x	x	x
Contaminantes Emergentes	x	x	x
<i>E. coli</i>	x	x	x
Coliformes Fecales	x	x	x
Estreptococos Fecales	x	x	x
Clorofila a		x	
Índice Biológico	x	x	
* Se sugiere nitrato para aguas subterráneas debido a riesgos asociados a la salud humana			

El **pH** está incluido como parámetro básico ya que, al igual que la CE, es útil para ayudar a caracterizar el cuerpo de agua. El pH es uno de los parámetros más medidos debido a su influencia en muchos procesos biológicos y químicos. Es una medida de la actividad de los iones de hidrógeno en el agua, que pueden fluctuar naturalmente sobretodo en condiciones hidrológicas cambiantes ya que la composición del agua en el lugar del muestreo cambia entre el agua subterránea, los flujos del subsuelo y la escorrentía superficial durante los eventos de lluvia. Los cambios fuera de los rangos naturales indican una posible contaminación proveniente de fuentes industriales u otras fuentes de aguas residuales. El pH se mide de manera más precisa *in situ* utilizando una sonda potenciométrica porque los valores pueden cambiar durante el período comprendido entre la toma de muestras en campo y el análisis en el laboratorio

Ortofosfato (OF): Es una forma inorgánica disuelta biodisponible del fósforo, que es un nutriente esencial para la vida acuática. Los aportes adicionales provenientes de actividades humanas, como aguas residuales o escorrentías agrícolas, pueden aumentar las concentraciones de manera tal que contribuyan a un crecimiento vegetal excesivo, lo cual afecta el equilibrio del ecosistema acuático y degrada la calidad del agua para usos humanos. El ortofosfato puede medirse en campo empleando kits de análisis, pero en el laboratorio se logra mayor precisión y los límites de detección. Las concentraciones de OF pueden cambiar con el tiempo si no se fija la muestra y por lo tanto se sugiere analizar las muestras dentro de un período de 24 horas.

Nitrógeno Oxidado Total (NOT): Es una medida combinada de nitrato y nitrito, que son formas de nitrógeno inorgánico disuelto oxidado. Como el fósforo, el nitrógeno es un nutriente esencial para la vida acuática, donde los aportes adicionales pueden tener impactos negativos en los ecosistemas de agua dulce. Se sugiere nitrógeno oxidado total en lugar de nitrato porque el método analítico es más sencillo y no requiere el paso de reducción necesario para medir el nitrato solamente. En la mayoría de casos, la fracción de nitrito del NOT en aguas superficiales comprende menos de uno por ciento del total, de manera que para propósitos prácticos, el nitrógeno oxidado total y el nitrato son lo mismo. Al igual que con el OF, hay kits disponibles *in situ* para el monitoreo del NOT.

Nota sobre los análisis de nutrientes – Hay muchas fracciones de fósforo y nitrógeno que puedan estar siendo monitoreadas rutinariamente por los países, incluyendo formas inorgánicas, orgánicas, particuladas y disueltas. Por ejemplo, el fósforo total (FT) puede ser una medida más útil de la calidad del agua que es afectada por descargas de aguas residuales que el ortofosfato, pero resulta más complejo de medir porque se necesita una fase de digestión durante el análisis. Los países deben incluir la fracción que sea más relevante de acuerdo al contexto nacional.

Lagos

Los parámetros básicos para lagos son los mismos que para los ríos, pero los resultados necesitan una cuidadosa interpretación si el lago se estratifica. La temperatura, el OD, y la CE medidos mediante un perfil vertical del lago identificará si el lago está estratificado. Se prefiere un diseño de monitoreo de perfil vertical, integrando las muestras de profundidades fijas a frecuencias regulares (Chapman, 1996).

Aguas subterráneas

La CE y la salinidad se incluyen juntas porque el método de medición suele ser el mismo pero en la mayoría de casos sólo uno es relevante para un cuerpo de agua subterránea en particular. Al igual que los cuerpos de aguas superficiales, la CE es útil para caracterizar aguas subterráneas. Para muchos países, la intrusión de agua salada en aguas subterráneas es un problema y en estos casos medir la salinidad resulta más útil si el agua se utiliza para beber o regar. Para lograr resultados más precisos, la CE y la salinidad se miden en la boca del pozo.

El **nitrito** ha sido incluido para aguas subterráneas en lugar del NOT porque hay preocupaciones específicas de salud asociados con el nitrito si el cuerpo de agua es utilizado como fuente de agua potable. El ion de nitrito es altamente móvil y llega fácilmente a los cuerpos de aguas subterráneas. Las concentraciones elevadas de nitrito pueden surgir de fuentes agrícolas y, por tanto, está incluido como parámetro básico ya que puede ser útil para establecer condiciones de referencia del nitrito. Se sugiere emplear el valor de referencia de agua potable de la OMS (OMS, 2011) en este caso en lugar de un objetivo cuyo propósito sea conservar la buena calidad de agua del ecosistema.

2.3.2 PARÁMETROS DE MONITOREO PROGRESIVO

Los parámetros seleccionados para el monitoreo progresivo deberán basarse en objetivos nacionales e implementarse en la medida que las capacidades aumenten. Estos parámetros seleccionados podrían adaptarse para reflejar el uso del cuerpo de agua. Los parámetros microbiológicos no han sido incluidos como parámetros básicos porque a pesar de que tienen especial importancia para la salud humana, no son monitoreados rutinariamente en programas de calidad del agua ambiental. Sin embargo, cuando los cuerpos de agua se utilizan directamente para agua potable sin tratar, se recomienda incluir los parámetros microbiológicos.

Los parámetros de monitoreo progresivo pueden incluirse también para reflejar presiones particulares sobre la calidad del agua en cada país. Por ejemplo, si la minería es de particular importancia, un programa que monitoree las concentraciones aguas abajo de metales pesados puede ser adecuado para determinar el grado y alcance del problema de contaminación. Para lagos se necesitan parámetros adicionales, como la clorofila *a*, fin de evaluar el estado trófico o los requisitos de calidad para usos particulares, como agua potable o para actividades recreativas.

Dos parámetros de especial interés para el agua subterránea utilizada para beber son el arsénico y el fluoruro. Éstos no han sido incluidos como parámetros básicos porque son de interés regional, provenientes de fuentes geogénicas en lugar de actividades antropogénicas. A pesar de que los principales cationes y aniones están incluidos en la lista de parámetros progresivos, el monitoreo rutinario de estos parámetros es recomendado

porque permiten la caracterización de aguas subterráneas así como el cálculo del equilibrio iónico en los resultados analíticos como una forma de verificación del aseguramiento de la calidad.

2.3.3 ENFOQUES BIOLÓGICOS Y ECOLÓGICOS

Si bien el uso de enfoques biológicos y ecológicos se presenta aquí como una fase avanzada en el monitoreo de la calidad del agua, se reconoce que muchos países ya están implementado dichos métodos, que sirven de base para calificar la calidad del agua. Algunos de estos enfoques han sido modificados y mejorados a lo largo de muchos años (p.ej. Dickens y Graham 2002; WFD-UKTAG 2014). En unos cuantos países los resultados de los enfoques biológicos se combinan con mediciones físicas y químicas para obtener un criterio general de la calidad del agua (EPA 2008). Se insta a todos los países considerar el desarrollo de un sistema biológico donde haya recursos disponibles e incluir dichos métodos al informar sobre la calidad del agua de ríos y lagos. Ningún método único ha sido probado y analizado a nivel global, pero hay algunos enfoques generales que pueden aplicarse para desarrollar índices que son útiles para la evaluación espacial o temporal de la calidad del agua (Chapman y Jackson 1996).

Las plantas y animales de ríos y lagos se han adaptado para vivir en comunidades equilibradas bajo condiciones físicas y químicas preferidas. Cuando estas condiciones cambian, ya sea naturalmente o como resultado de las actividades humanas, las plantas y animales se estresan y se marchan o luchan para sobrevivir, e incluso pueden desaparecer. La presencia o ausencia de ciertas especies, o combinaciones de especies, en distintos tipos de ambientes acuáticos, puede por tanto indicar el estado o calidad actual del ecosistema acuático o cuerpo de agua. Por consiguiente, tener un buen conocimiento de las especies que se encuentran en hábitats acuáticos naturales y entender sus requisitos físicos y químicos resulta útil para determinar la calidad del cuerpo de agua. Con el tiempo un cuerpo de agua puede estar sujeto a múltiples impactos por distintos periodos de tiempo, que quizás no puedan identificarse tomando muestras de agua puntuales para análisis físicos o químicos a intervalos esporádicos. Por otro lado, las especies de plantas y animales sobreviven en cuerpos de agua por periodos de tiempo que van desde días a años, e integran durante su vida todos los impactos que afectan el cuerpo de agua. Al igual que las mediciones físicas y químicas de calidad del agua, se pueden establecer metas para la calidad biológica del agua basadas en un valor numérico que represente una calidad de agua inalterada que no degrade severamente los ecosistemas o no sea apta para el consumo humano

Hay dos enfoques principales que permiten el uso simple de comunidades biológicas para indicar la calidad del agua. Un enfoque se basa en determinar la presencia, ausencia, o abundancia relativa de organismos indicadores, y el otro se basa en el principio general de que un ecosistema acuático sano tiene una diversidad de especies en lugar del predominio de una o dos especies.

Para utilizar el concepto de organismos indicadores se requiere un conocimiento científico detallado sobre el nivel de tolerancia de especies específicas a una variedad de impactos, como concentraciones de oxígeno, materiales en suspensión o depositados, disponibilidad de nutrientes, y compuestos tóxicos específicos. Las especies seleccionadas pueden mostrar una serie de efectos, incluyendo la muerte (es decir, ausencia total), números reducidos de población (debido a impactos en la capacidad reproductiva) y crecimiento anormal (p.ej. debido a la falta de comida adecuada o por impactos tóxicos). Se puede dar un puntaje a la presencia o ausencia de especies específicas en muestras con el propósito de crear un índice numérico de los niveles de calidad del agua (Ziglio *et al.* 2006). Dichos índices requieren la valoración de expertos y deberán basarse en pruebas del indicador realizadas para una amplia variedad de cuerpos de agua.

El principio básico de que el medio ambiente tiende a mostrar una variedad disminuida de especies (diversidad) y que las especies más tolerables son las únicas capaces de multiplicarse en número significativamente (gran abundancia) ha sido utilizado para desarrollar índices matemáticos de diversidad, a

menudo denominados índices bióticos, tales como el Índice de Diversidad de Shannon, el Índice de Simpson y otros (Friedrich *et al.*, 1996). Dichos índices no proporcionan una medición absoluta de la calidad del cuerpo de agua y no pueden utilizarse para hacer comparaciones entre cuerpos de agua de distintas calidades naturales, pero pueden utilizarse para determinar con el tiempo cambios en la calidad de los mismos lugares o hacer comparaciones entre puntos dentro del mismo cuerpo de agua. El uso de estos índices no requiere un conocimiento detallado de la biología de las especies presentes pero es necesario tener la capacidad de separar y contar especies individuales.

Algunos compuestos tóxicos se acumulan en los tejidos de plantas y animales acuáticos en concentraciones que superan la concentración del agua ambiental. Por lo tanto, en los casos donde sea necesario determinar la presencia de sustancias tóxicas en el cuerpo de agua pero no hay recursos disponibles para tomar muestras de agua y analizar bajas concentraciones de sustancias tóxicas, se puede utilizar a veces especies seleccionadas como biomonitores (Schafer *et al.* 2015). Los resultados indican si los organismos han estado expuestos o no al compuesto tóxico pero no indicarán directamente las concentraciones en el agua ambiental. Las evaluaciones basadas en toxicidad, utilizando organismos acuáticos y muestras de agua ambiental, pueden indicar también la presencia de compuestos tóxicos y los resultados utilizados para sugerir una calidad de agua buena, mala o inaceptable (aunque los compuestos tóxicos exactos no se conozcan necesariamente) (p.ej. Agencia del Medio Ambiente, 2007).

3. FUENTES Y RECOPIACIÓN DE DATOS

3.1 DATOS REQUERIDOS PARA CALCULAR EL INDICADOR

Para calcular el indicador se requiere la recopilación regular de datos sobre la calidad del agua por parte de las estaciones de monitoreo representativas para los cuerpos de agua seleccionados. En las Secciones 3.2 y 4.3 se proporcionan mayores detalles y recomendaciones sobre la frecuencia del monitoreo y la selección de los lugares de monitoreo. Es necesario reunir información complementaria sobre los lugares de monitoreo, como las coordenadas geográficas, el nombre del cuerpo de agua y el código local de identificación del lugar de monitoreo, cuando esté disponible. Para la identificación de los cuerpos de agua, los países necesitan preparar un inventario de aguas superficiales y posiblemente de aguas subterráneas en su territorio, que comprenda ya sea una lista de aguas superficiales y acuíferos con coordenadas geográficas en el más simple de los casos, o un sistema de información geográfica (SIG)-conjunto de datos de los sistemas fluviales, lacustres y otros sistemas hídricos. Para la clasificación de la calidad del agua, los países necesitan definir valores meta que deberán cumplirse a fin de confirmar que un cuerpo de agua tiene una “buena” calidad de agua. Estos valores meta podrían ser umbrales generales de los parámetros básicos, o pueden definirse individualmente por el tipo de cuerpo de agua (p.ej. río, lago, o agua subterránea) o incluso por cada cuerpo de agua. Finalmente, las muestras de agua tomadas en los lugares de monitoreo seleccionados deben analizarse de acuerdo a los parámetros básicos, según se indica en la Sección 3.3.1, así como registrar los resultados de los análisis de cada lugar de monitoreo (Véase el ejemplo en la Sección 5).

3.2 FUENTES DE DATOS – CORTO Y LARGO PLAZO

Los datos de monitoreo de la calidad del agua se recopilan normalmente a través de programas nacionales y subnacionales de monitoreo de la calidad del agua, que incluyen sensores y muestras *in situ* tomadas y transportadas a laboratorios para los análisis químicos y microbiológicos. Además de los programas nacionales de monitoreo, las mediciones pueden realizarse por compañías o industrias que analizan el agua sin tratar antes de usarla o antes del tratamiento para el suministro de agua potable, y llevarse a cabo en cuerpos de agua sujetos a descargas de aguas residuales. Las organizaciones de investigación ambiental y organizaciones

no gubernamentales también controlan los parámetros de calidad del agua en el contexto de estudios de investigación y programas de monitoreo científicos ciudadanos.

Los parámetros básicos recomendados en este indicador para determinar la calidad general del agua no requieren instalaciones de laboratorio costosas o de tecnología avanzada, y hay kits disponibles para las mediciones en campo. El margen de medida y precisión de dichos kits debe ser apropiado para todos los cuerpos de agua donde serán utilizados. Para monitoreos más avanzados, la complejidad de los métodos para analizar los parámetros químicos y microbiológicos aumenta, además de las necesidades asociadas para instalaciones de análisis más avanzados.

Existe la posibilidad de incluir enfoques biológicos adicionales e índices bióticos, algunos de los cuales son fácilmente adaptables a los programas de monitoreo ciudadanos y de ONGs, aumentando así el potencial para una mayor cobertura espacial y una mayor frecuencia de recopilación de datos.

El uso de los datos de Observaciones de la Tierra (EO por sus siglas en inglés) para el monitoreo de la calidad del agua se encuentra actualmente en desarrollo aunque limitado a los parámetros ópticamente detectables de calidad del agua, como turbidez y clorofila. Dada la alta resolución espacial y temporal de las misiones satelitales actuales y futuras, los datos EO podrían proporcionar una fuente adicional importante y rentable de datos para el monitoreo de grandes ríos y lagos en el futuro.

3.3 RECOMENDACIONES SOBRE LA GESTIÓN DE DATOS

Los procedimientos de aseguramiento de la calidad y de control efectivo durante la toma de muestras, los análisis y el manejo de datos son esenciales para producir datos de monitoreo confiables para el indicador. Cuando sea posible, deberán aplicarse estándares internacionales en todas las etapas.

3.3.1 ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DE LAS TOMAS DE MUESTRAS

Se debe prestar especial atención al lugar de la toma de muestras, al método empleado para realizar mediciones *in situ*, y a la manera en la que las muestras de agua para el análisis de campo o laboratorio son tomadas con el fin de evitar las interferencias de las actividades que puedan afectar las mediciones o los resultados analíticos. Las descargas en el lugar de la toma de muestras, la perturbación de sedimentos por el operador, y la contaminación de muestras por el operador durante o después del muestreo son ejemplos de interferencia. El equipo o las botellas para la toma de muestras deberán prepararse con anticipación. Se recomienda seguir las instrucciones sobre la preparación de recipientes para las muestras, el tiempo y la temperatura de almacenamiento de las muestras luego del muestreo, y sobre el tiempo de almacenamiento máximo antes del análisis, conforme al método estándar elegido. Las muestras para el análisis de fosfatos deben procesarse dentro de 24 horas de la toma de muestras y si no pueden llevarse al laboratorio dentro de este período de tiempo, se deberá considerar el uso de un método o kit de campo, teniendo en cuenta que pueden tener un rango limitado de detección. Los blancos de muestra pueden utilizarse para verificar si existe contaminación en el campo para muestras que requieran transporte al laboratorio. Los sensores o sondas empleadas para tomar mediciones de campo *in situ* necesitan una verificación de calibración antes de cada uso en el campo.

3.3.2 ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD ANALÍTICA

Se recomienda la existencia de un programa de aseguramiento de la calidad del laboratorio. Donde sea posible, los laboratorios deberán estar acreditados con respecto a estándares nacionales o internacionales, y/o participar en ejercicios de control de calidad entre laboratorios o de evaluación de desempeño a fin de

asegurar sus resultados analíticos. Los métodos analíticos deben respetar los procedimientos estándar seleccionados y toda desviación de los métodos debe anotarse y tomarse en consideración durante la revisión e información de los resultados.

3.3.3 ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DE DATOS

Los procedimientos de aseguramiento de la calidad de datos deberán también respetar los estándares generalmente aceptados. Los laboratorios deberán cumplir con sus mecanismos de aseguramiento y de control de la calidad con respecto a los límites de confianza y niveles de detección (nivel de detección de instrumentos (IDL), nivel de detección de métodos (MDL), límite práctico de cuantificación (PQL), etc. La terminología y los lineamientos se encuentran disponibles en APHA (20**).

Se deberá realizar una revisión de los resultados para verificar rangos de valor correctos o cualquier medición aparentemente incorrecta, por ejemplo, el registro de valores negativos de una concentración o errores tipográficos, como un paso final antes de que los datos sean transferidos a la base de datos para ser usados en el cálculo del indicador.

3.3.4 GESTIÓN DE DATOS

Se requiere establecer un sistema adecuado para la recopilación de datos a nivel nacional. Se insta a todos los países presentar sus datos usando la plantilla del programa GEMS/Agua del PNUMA (Véase <http://web.unep.org/gemswater/what-we-do/freshwater-quality-agenda-2030>) con la asistencia y apoyo de los recursos existentes en las agencias, oficinas gubernamentales o ministerios de estadística o ambientales. Los centros de coordinación nacional, como los que representan al programa GEMS/Agua, podrían ser asignados para llevar a cabo esta función. La base de datos del programa GEMS/Agua del PNUMA, GEMStat, fue aprobada en la primera sesión de la Asamblea de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente en el año 2014 y ahora se encuentra disponible para el ingreso de datos sin procesar para el cálculo del indicador, así como los valores de indicadores con los metadatos asociados. Se podrán utilizar las pautas de envío de datos de GEMStat, que describen también los requisitos de metadatos necesarios para cada estación y muestra, como la ubicación y los métodos de análisis.

4. RECOPIACIÓN DE DATOS Y CÁLCULO DEL INDICADOR PASO A PASO

4.1 PASO 1 EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD EXISTENTE

Se debe realizar una evaluación formal de la actividad actual de monitoreo de la calidad del agua a nivel nacional. Ésta puede ampliarse más allá del Ministerio o de la autoridad de recursos hídricos que tiene la responsabilidad general del monitoreo, para incluir instituciones como las universidades o el sector privado, para recopilar datos de la calidad del agua que podrían ser útiles para informar sobre el Indicador 6.3.2. Otras instituciones pueden contribuir con datos históricos, laboratorios, o trabajo de campo.

4.2 PASO 2 IDENTIFICACIÓN DE LOS CUERPOS DE AGUA

Para los fines del Indicador 6.3.2., se han diferenciado tres tipos generales de cuerpos de agua:

- Cuerpos de agua lóticos o de aguas corrientes, incluidos ríos, arroyos y canales
- Cuerpos de agua lénticos o de aguas estancadas, incluidos lagos y reservorios
- Cuerpos de aguas subterráneas, incluidos uno o más acuíferos

Las características físicas, incluyendo las características hidrológicas y geomorfológicas, factores climáticos y características geoquímicas, así como la contaminación de fuentes localizadas y no localizadas, pueden dar como resultado grandes diferencias espaciales en la calidad de agua de sistemas fluviales, lacustres y de acuíferos. Esta variabilidad debería reflejarse en los cuerpos de agua considerados dentro del alcance del Indicador 6.3.2. Se recomienda realizar una subdivisión de los cuerpos de agua de distintas categorías en unidades separadas con características similares para permitir una evaluación significativa de su calidad. Muchos países han desarrollado marcos para los tipos de cuerpos de agua basados en características físicas, químicas y relacionadas que pueden aplicarse a la delimitación de los cuerpos de agua. A falta de un marco, la información sobre las características físicas de los cuerpos de agua, las presiones de las fuentes de contaminación y los usos previstos puede utilizarse para subdividir aún más los grandes cuerpos de agua.

4.2.1 DELIMITACIÓN DE LOS CUERPOS DE AGUAS SUPERFICIALES

Como primer paso, las aguas superficiales deberán dividirse de acuerdo al tipo de cuerpo de agua (es decir, río o lago). Si, por ejemplo, un río es interrumpido en su curso por un lago, las fronteras entre el lago y el río que se extienden aguas arriba y aguas abajo del lago actuarían como fronteras entre tres cuerpos de agua individuales. (Figura 4.1).



Figura 4.1 Identificación de los cuerpos de aguas superficiales basada en las fronteras entre tipos de agua superficial

Si bien este primer paso habría cumplido con el requisito de proporcionar elementos definidos y significativos, una subdivisión adicional de los cuerpos de agua podría ser necesaria a fin de permitir un monitoreo lo suficientemente preciso como para lograr un avance hacia el cumplimiento de la Meta 6.3 de los ODS. Por lo tanto, las características hidromorfológicas, como la confluencia de los ríos, podrían actuar como fronteras para una subdivisión adicional de los cuerpos de agua en un segundo paso (Figura 4.2).

Aunque los criterios mencionados anteriormente son suficientes para la identificación de los cuerpos de agua, existen consideraciones adicionales que podrían ayudar a refinar los cuerpos de aguas superficiales para permitir un monitoreo preciso y avanzar hacia el cumplimiento de la Meta 6.3 de los ODS. Para ello, las áreas con presiones e impactos previstos (p.ej. fuentes difusas de nutrientes provenientes de la agricultura o fuentes

localizadas de descarga de aguas residuales industriales) podrían considerarse, así como las áreas previstas para usos específicos (p.ej. agua potable, agua para actividades recreativas y empresas pesqueras). Además, la identificación de los cuerpos de agua podría incorporar áreas especiales para la protección de la naturaleza. En muchos países, estas consideraciones ya son parte integral de la gestión del agua y de las estrategias de monitoreo y por lo tanto pueden trasladarse al proceso de presentación de información del Indicador 6.3.2 de los ODS.

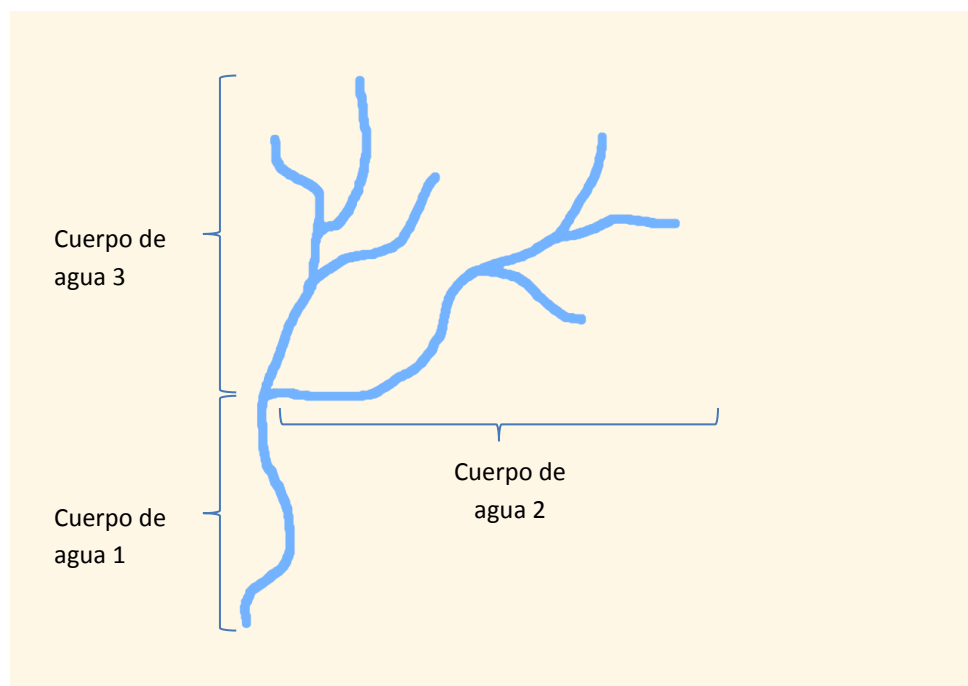


Figura 4.2 Subdivisión de un cuerpo de agua fluvial utilizando la confluencia de los ríos como fronteras hidromorfológicas, dividiendo el sistema en tres cuerpos de agua

4.2.2 DELIMITACIÓN DE CUERPOS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Los elementos identificados como cuerpos de aguas subterráneas deben permitir una descripción adecuada del estado general y químico de las aguas subterráneas. Por lo tanto, la extensión del cuerpo de aguas subterráneas debe estar limitada por las divisiones de flujo de las aguas subterráneas, utilizando las cuencas de agua superficial y las fronteras geológicas como elementos sustitutos para los casos donde la información sea limitada. De ser necesaria una subdivisión adicional, ésta debe basarse en el nivel del agua subterránea o en las líneas de flujo del agua subterránea, en caso necesario.

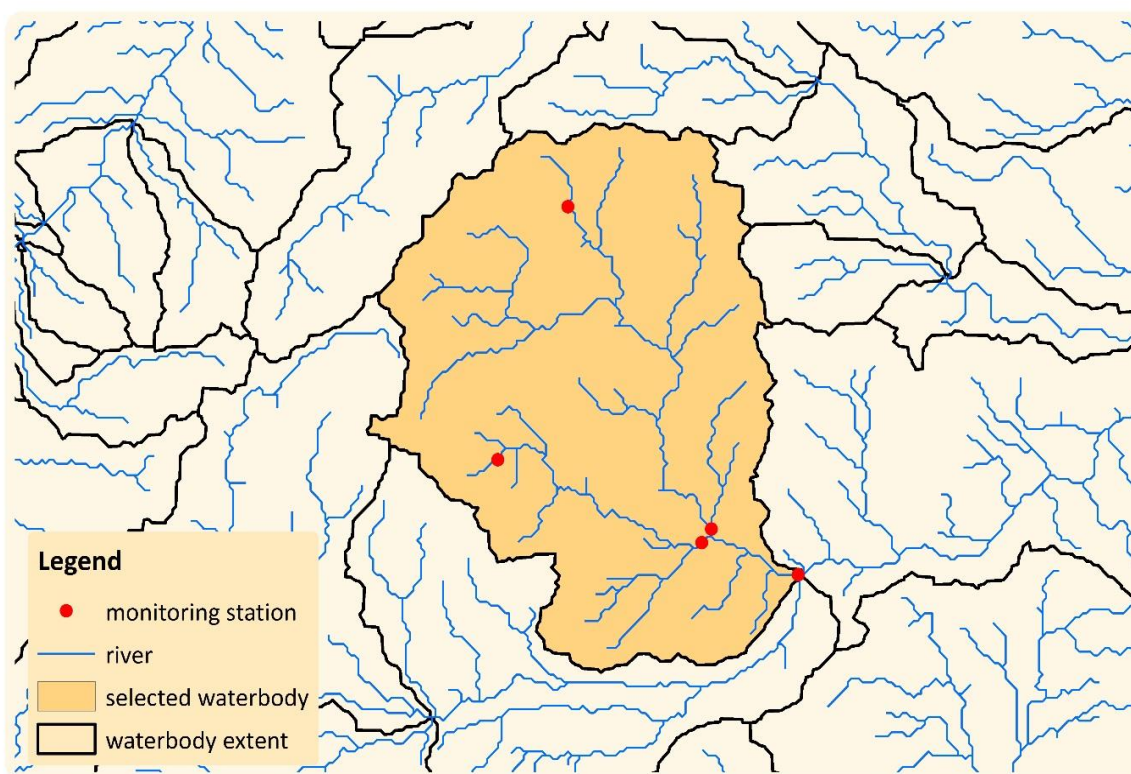
4.3 PASO 3 SELECCIÓN DE LOS LUGARES DE MONITOREO

Los pasos anteriores permiten entender los tipos de cuerpos de agua y proponen métodos para delimitar cada cuerpo de agua en unidades separadas. La cantidad y distribución de los lugares de muestro dentro de cada cuerpo de agua debe considerarse cuidadosamente para asegurar que el cuerpo de agua sea evaluado adecuadamente. La recolección y el análisis de muestras requieren recursos humanos y de laboratorio; en los casos donde los recursos sean limitados, un compromiso entre la cobertura espacial y la frecuencia de recolección de muestras puede ser necesario.

La selección de los lugares de monitoreo se realiza en tres etapas: primeramente se definen los lugares de monitoreo preferidos para el Indicador 6.3.2, luego se lleva a cabo una evaluación de los lugares de monitoreo que se utilizan actualmente en los programas existentes, y finalmente se definen los lugares finales de monitoreo del Indicador 6.3.2 al alinear, lo mejor posible, los lugares existentes con los lugares de monitoreo preferidos. Los lugares de monitoreo deben reflejar las presiones típicas en el cuerpo de agua y no limitarse a lugares no impactados. Se podrían necesitar estudios de los lugares para verificar la conveniencia del lugar propuesto. A continuación se muestran los pasos clave para los tres tipos de cuerpos de agua.

4.3.1 Ríos

Los lugares de monitoreo deben distribuirse a lo largo de la red fluvial, incluyendo las áreas de cabeceras de ríos, que normalmente son las menos afectadas por actividades antropogénicas; las áreas de cuencas intermedias, que pueden estar expuestas a una variedad de presiones, y en la confluencia, lo más aguas abajo posible, con otro río, lago o estuario. Se sugiere como mínimo un lugar de monitoreo por cuerpo de agua fluvial, pero esto depende del tamaño del cuerpo de agua y puede, por lo tanto, ser insuficiente para representar la calidad del agua en sistemas grandes y diversos, y se necesitarían lugares adicionales. La Figura 4.3 muestra la ubicación de cinco lugares posibles de monitoreo; dos de éstos en áreas de cabeceras de ríos; dos en cuencas intermedias representando cada una un afluente principal; y uno en un punto lo más aguas abajo posible.



Data Source - <http://www.hydrosheds.org>

Leyenda - estación de monitoreo – río – cuerpo de agua seleccionado - extensión del cuerpo de agua

Fuente de datos

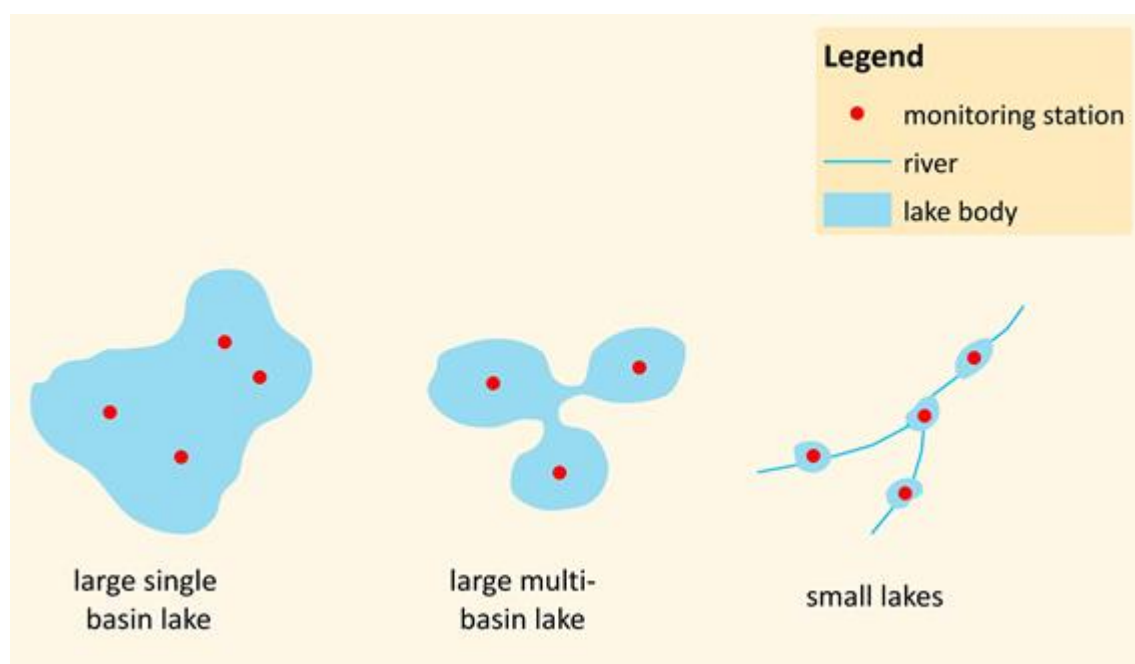
Figura 4.3 Ejemplos de lugares de monitoreo en un cuerpo de agua fluvial

Una vez que se han identificado los lugares de monitoreo a gran escala del cuerpo de agua, se debe considerar la ubicación a nivel del lugar. El grado de mezcla de las aguas en el lugar debe conocerse. Si el lugar se encuentra cerca de la confluencia de dos tributarios o de un efluente de aguas residuales, el agua puede no estar lo suficientemente mezclada. La mezcla puede ser lenta si el flujo es laminar o si las aguas tienen distintas temperaturas. La mezcla de las aguas depende del ancho y de la profundidad del río. Si no hay certeza, esto puede verificarse midiendo la temperatura o conductividad en puntos a lo largo del río a distintas profundidades.

Los puentes son sitios convenientes que sirven como lugares de monitoreo de ríos ya que son fácilmente identificables, generalmente accesibles, permiten tomar muestras del centro del río y estimar también el flujo, si todo el flujo está constreñido bajo la estructura del puente y el puente tiene un limnómetro.

4.3.2 LAGOS

El número de muestras que se necesita para evaluar la calidad del agua de un lago depende considerablemente de su tamaño y profundidad. Los lagos pequeños y poco profundos pueden evaluarse utilizando una única muestra para lagos medianos, mientras que para lagos grandes y profundos se necesitará conocer la batimetría y el tiempo de residencia del agua. Puede ser necesario tomar muestras en numerosos lugares y a múltiples profundidades. La Figura 4.4. muestra ejemplos de lugares de monitoreo para distintos tipos de lagos.



Leyenda – estación de monitoreo – río – cuerpo de lago

Cuenca grande y única de lago – cuenca grande y múltiple de lago – lagos pequeños

Figura 4.4 Ejemplos de lugares de monitoreo de lagos para distintos tipos de lagos. Se pueden necesitar muestreos verticales integrados en cada lugar.

4.3.3 AGUAS SUBTERRÁNEAS

La importancia relativa de las aguas subterráneas como un porcentaje de los recursos hídricos de un país varía enormemente. Esto debe evaluarse al determinar los recursos asignados al monitoreo de aguas subterráneas.

Los programas nacionales de monitoreo de la calidad de aguas subterráneas requieren un total conocimiento de la hidrogeología del país para que sean efectivos. Si hay pozos de monitoreo, es necesario conocer las características del pozo, como la profundidad, la profundidad hasta el revestimiento perforado, la longitud del revestimiento perforado, y la tasa de recarga del pozo. A falta de pozos de monitoreo, se pueden utilizar manantiales o pozos existentes de agua potable.

4.4 PASO 4 RECOPIACIÓN DE DATOS PARA EL ESTABLECIMIENTO DE METAS

Los países pueden pertenecer a una de las tres categorías potenciales con respecto al establecimiento de metas: (i) existen estándares nacionales de calidad del agua ambiental para todos los parámetros; (ii) hay datos pero no hay valores meta nacionales; (iii) no hay datos suficientes de la calidad del agua para generar valores meta. Si los países pertenecen a la primera categoría, este paso de la metodología no es necesario y los estándares existentes de calidad del agua pueden utilizarse como valores meta. Si los países pertenecen a la segunda categoría y hay datos disponibles de la calidad del agua para los parámetros seleccionados, se necesita una revisión sistemática para determinar si existen datos suficientes para establecer valores meta relevantes a nivel nacional. Los países de la tercera categoría necesitarán implementar un programa de monitoreo de la calidad del agua para recopilar datos suficientes y generar valores meta. En realidad, los países pueden encontrarse entre categorías, y pueden tener suficientes datos para establecer valores meta para algunos parámetros y para otros no.

Los valores meta pueden ser valores nacionales que son aplicables a todos los cuerpos de agua de un tipo; por ejemplo, una concentración promedio anual de fosfato de 0.035 mgP/l es aplicable a los ríos de Irlanda (Véase el Anexo 8.1). Por otro lado, los valores meta pueden ser específicos de acuerdo al cuerpo de agua. Por ejemplo, un valor meta nacional para fosfato de 0.035 mgP/l puede no ser posible para todos los cuerpos de agua debido a características geológicas locales, y por lo tanto se necesitaría un número de muestras de lugares que no han sido afectados por fuentes antropogénicas de fosfato para obtener un valor meta local alcanzable. Se pueden utilizar como alternativa valores meta publicados de calidad del agua de otros países, pero éstos pueden no ser completamente adecuados a nivel nacional. Asimismo, se deben realizar esfuerzos para alinear los valores meta de cuerpos de agua transfronterizos entre todos los países limítrofes. En el Anexo 8.1 se incluyen ejemplos de lineamientos y metas de la calidad del agua.

4.4.1 MÉTODO PARA EL ESTABLECIMIENTO DE VALORES META

Se necesita como mínimo datos de un año para generar valores meta utilizando muestras recolectadas durante estaciones y regímenes hidrológicos distintos. Se recomienda aumentar durante esta fase la frecuencia de recolección de muestras para asegurar que se generen los valores meta más adecuados. Un mínimo de cuatro puntos de datos es necesario, aunque se generaría un valor meta más relevante si se utiliza un número mayor de muestras. Al igual que cualquier programa de monitoreo, es fundamental observar las condiciones hidrológicas durante el muestreo ya que las condiciones hidrológicas atípicas pueden afectar los resultados de algunos parámetros. Se deberán utilizar lugares de monitoreo que no han sufrido impactos para determinar los valores meta de una buena calidad de agua dentro del cuerpo de agua. Por ejemplo, se puede utilizar el área de cabecera de un río en un cuerpo de agua fluvial para establecer los valores meta para el cuerpo de agua completo.

Los valores meta pueden ser de tres tipos dependiendo del parámetro que se esté midiendo. Algunos parámetros tendrán valores meta “superiores”, lo que significa que el valor no debe superarse. Por ejemplo, una concentración meta de fosfato de 0.035 mgP/l no debe superarse. Algunos serán valores meta “inferiores”, es decir, el valor medido no debe ser inferior a la meta. Por ejemplo, el oxígeno disuelto en ríos donde un valor meta de 9.5 mg/l es un valor meta inferior para aguas por debajo de 20 °C. Finalmente, algunos parámetros tendrán un “rango”, que es el rango normal aceptable de valores para ese parámetro. Por

ejemplo, un rango de conductividad eléctrica entre 500 y 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ puede ser aceptable para un lago en particular, y una desviación de este rango puede ser síntoma de un problema de calidad del agua que puede necesitar mayor investigación.

4.5 PASO 5 RECOPIACIÓN DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL INDICADOR

Los requisitos de datos mínimos para calcular este indicador son las mediciones obtenidas al analizar las muestras de agua para todos los parámetros básicos adecuados para el tipo de cuerpo de agua (Tabla 2.1). Las muestras deben tomarse de manera rutinaria, a intervalos establecidos, o en la misma época del año cada año, y de los mismos lugares. Incluso si se incluyen nuevas estaciones de monitoreo, se debe seguir recopilando datos de los lugares originales. Esto asegura que los resultados sean comparables de un año a otro, permitiendo de esta manera que se establezcan tendencias con el tiempo. Los datos de monitoreo necesarios para el cálculo del indicador pueden recopilarse a través de distintos programas de monitoreo que involucran a diferentes agencias y organizaciones. Es por lo tanto importante establecer y mantener repositorios centralizados de datos a nivel nacional que compilen los datos de las diversas partes interesadas, asegurando la compatibilidad de los unidades de información entre todas las agencias que presentan datos. Para calcular el indicador, los datos deben compilarse por parámetro básico en cada lugar de muestreo, como se muestra en el ejemplo de la Sección 5.

El repositorio central de datos debe también guardar todos los metadatos asociados a las mediciones de calidad del agua. Esto incluye la ubicación de los lugares de monitoreo, descrita con las coordenadas geográficas de cada lugar donde se recogen las muestras de un cuerpo de agua. El tipo de cuerpo de agua debe registrarse junto con toda otra información que pueda afectar los resultados analíticos obtenidos (p.ej. niveles inusuales de agua o perturbación del cuerpo de agua).

Para la presentación final de datos es necesario también informar sobre los valores meta o rangos nacionales que se utilizaron para determinar si se obtuvieron buenos resultados en cada estación de monitoreo. Si los valores meta varían para cuerpos de agua distintos, los valores meta adecuados deben informarse junto con los datos de los cuerpos de agua correspondientes.

4.6 PASO 6 CLASIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA

Como primer paso del monitoreo progresivo se utiliza un índice simple basado en el cumplimiento de los datos de monitoreo de los parámetros básicos con los valores meta seleccionados con el fin de calificar la calidad de los cuerpos de agua. En el caso de todos los lugares de monitoreo de un cuerpo de agua, los valores de monitoreo de todos los parámetros básicos se comparan con los valores meta. El índice se define como el porcentaje de los valores de monitoreo que cumplen con los valores meta:

$$C = \left(n_{\text{comply}} / n_{\text{measure}} \right) * 100$$

Donde

n_{comply} es el número de valores de monitoreo que cumplen con los valores meta

n_{measure} es el número total de los valores de monitoreo

Se recomienda utilizar únicamente los datos de los últimos tres años como máximo para el cálculo del indicador con el fin de asegurar que los resultados estén actualizados y sean comparables globalmente.

Los datos de monitoreo pueden inevitablemente dar lugar a errores que resulten de los muestreos, análisis, y procesamiento posterior de los datos. Por lo tanto, un valor umbral de 80% de cumplimiento se establece para

calificar a los cuerpos de agua como de “buena” calidad. Es así que un cuerpo de agua se considera de buena calidad si por lo menos 80% de todos los datos de monitoreo de todas las estaciones de monitoreo del cuerpo de agua cumplen con las metas respectivas.

4.6.1 NIVELES POSTERIORES DEL MONITOREO PROGRESIVO

Durante los niveles posteriores del monitoreo progresivo, los países pueden informar sobre un conjunto ampliado de parámetros de la calidad del agua que describan la calidad química y ecológica de los cuerpos de agua. Estos parámetros son tratados independientemente de los parámetros básicos y no son utilizados en la actualidad para la presentación global de informes del Indicador 6.3.2. Sin embargo, esto puede cambiar en el futuro cuando la capacidad de la mayoría de los países para monitorear parámetros químicos y biológicos aumente.

Para el caso de sustancias químicas en ecosistemas acuáticos que constituyen un riesgo para la salud humana y la vida acuática, en especial las sustancias tóxicas, se recomienda establecer y aplicar valores meta que toman en cuenta sus efectos negativos. Cuando se aplican a la clasificación de los cuerpos de agua, estos valores meta no deben excederse para que un cuerpo de agua pueda calificar como un cuerpo de agua de buena calidad.

Para la clasificación de la calidad ecológica resulta difícil dar recomendaciones sobre los pasos y parámetros necesarios para que un cuerpo de agua pueda calificar como un cuerpo de agua de “buen” estado ecológico. Esto se debe a la abundancia de índices ecológicos existentes y a la variabilidad de condiciones de referencia, lo cual necesita ser evaluado separadamente por cuerpo de agua individual. Por lo tanto, se recomienda que los países desarrollen sus criterios de clasificación con el necesario nivel de detalles para calificar los cuerpos de agua de “buen” estado ecológico o de un estado ecológico “no bueno”.

4.7 PASO 7 CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE CUERPOS DE AGUA DE BUENA CALIDAD

Los resultados de la clasificación de cuerpos de agua individuales con respecto a su estado general se suman al nivel nacional al calcular la proporción de los cuerpos de agua que demuestran un buen estado general como el porcentaje del número total de cuerpos de agua calificados:

$$\text{Percentage of water bodies with good quality} = (n_g \div n_t) \times 100$$

Porcentaje de cuerpos de agua de buena calidad

Donde:

n_g es el número de cuerpos de agua calificados, de buen estado general

n_t es el número total de cuerpos de agua calificados.

4.8 PASO 8 REVISIÓN DEL PROGRAMA

Al igual que los programas de monitoreo de calidad del agua, se debe realizar rutinariamente una revisión sistemática de la efectividad del programa. Esta revisión incluirá todas las etapas del programa, desde el diseño hasta la presentación de informes inclusive, con el propósito de mejorar la eficiencia y asegurar que los datos recopilados mantengan los más altos estándares posibles. Los programas de monitoreo son raramente estáticos por naturaleza y necesitan evolucionar a medida que se obtenga nueva información o surjan nuevas presiones en el cuerpo de agua con respecto a su calidad de agua.

Es necesario proporcionar un panorama general de los supuestos sobre los cuales se basa el programa. Durante este proceso se puede identificar la necesidad de realizar más levantamientos topográficos. Por ejemplo, la falta de datos suficientes de la batimetría de lagos podría significar que los lugares de monitoreo no fueron ubicados óptimamente y un levantamiento batimétrico detallado sería necesario. Asimismo, un análisis integral de todos los lugares de monitoreo utilizados en el programa permite identificar si dichos lugares son pertinentes o si se requieren puntos de muestreo adicionales.

Los procedimientos operativos aplicados durante la toma de muestras, traslado al laboratorio, análisis de muestras, informe de resultados y gestión de datos deben revisarse también para identificar las áreas que puedan necesitar mejoras. Por ejemplo, este proceso puede identificar que el tiempo que pasa entre la toma de las muestras y el análisis de las mismas supera el límite recomendado para algunos parámetros. En consecuencia, podría necesitarse una ruta de muestreo optimizada para reducir el tiempo de traslado.

Una actividad clave durante el período de revisión es la evaluación de los valores medidos contra los valores meta. Esta actividad debe destacar si las metas son demasiado rigurosas y no son alcanzables realísticamente o si son demasiado flexibles y por lo tanto no sirven para fomentar medidas que mejoren la calidad del agua a nivel nacional.

5. EJEMPLO DEL PRIMER NIVEL DE MONITOREO PARA RÍOS

En este ejemplo, el proceso de identificación y posterior clasificación de los cuerpos de agua, así como el cálculo del indicador es presentado para la cuenca de un río, tal como se muestra en la Figura 5.1. El mapa ilustra el curso de un río ficticio, junto con cinco lugares de monitoreo que son parte de una red de monitoreo. El río tiene un brazo principal, que vierte sus aguas en el océano y cuenta con un lugar de monitoreo en su desembocadura. El río podría, sin embargo, verter sus aguas en un lago, o incluso en un país distinto. Este punto o frontera califica al río como un cuerpo de agua. Aguas arriba se encuentra una confluencia de dos tributarios principales; en ambos tributarios hay un lugar de monitoreo cerca de la confluencia y en una de las cabeceras de la cuenca.

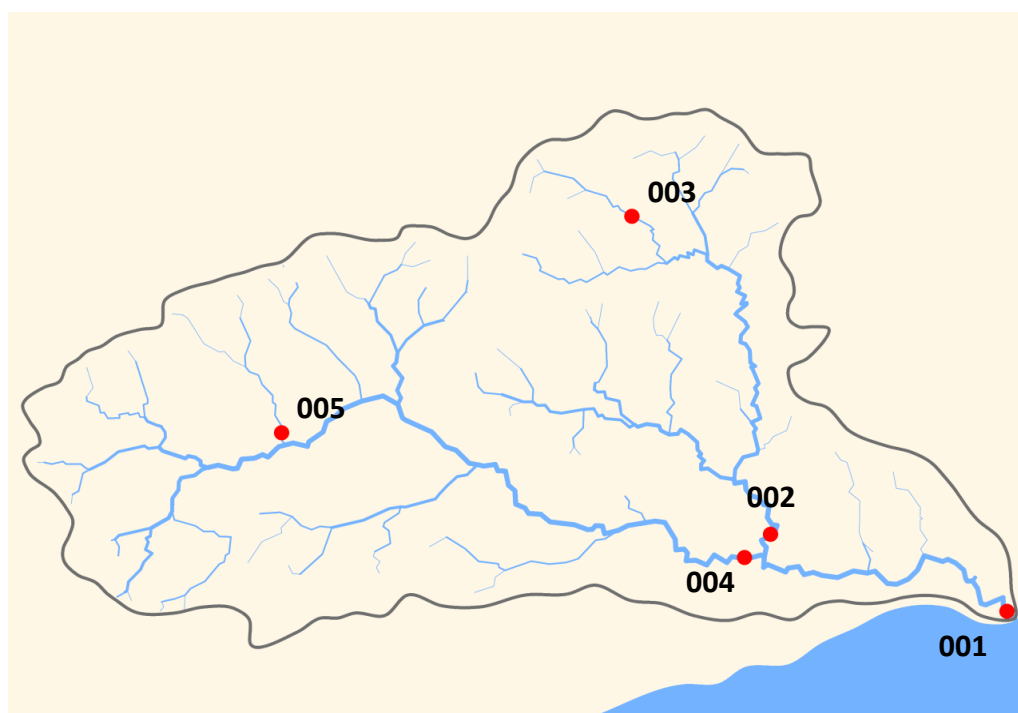


Figura 5.1 Cuenca de río usada como ejemplo, con los lugares de monitoreo a lo largo de su curso.

Si bien todo el sistema fluvial podría identificarse como un cuerpo de agua único, los lugares de monitoreo y la confluencia de dos tributarios principales se consideran lo suficientemente significativos como para subdividir el sistema fluvial en tres cuerpos de agua distintos en el punto de confluencia (Véase la Figura 5.2). Las cabezas de cuenca no se identifican como cuerpos de agua separados ya que no han sido considerados lo suficientemente significativos como para ser incorporados separadamente en la Meta 6.3. Sin embargo, se podría considerar una subdivisión adicional en el futuro si, por ejemplo, hay más lugares de monitoreo y se realiza un análisis más detallado de las presiones y de los usos de los tramos individuales del sistema fluvial.

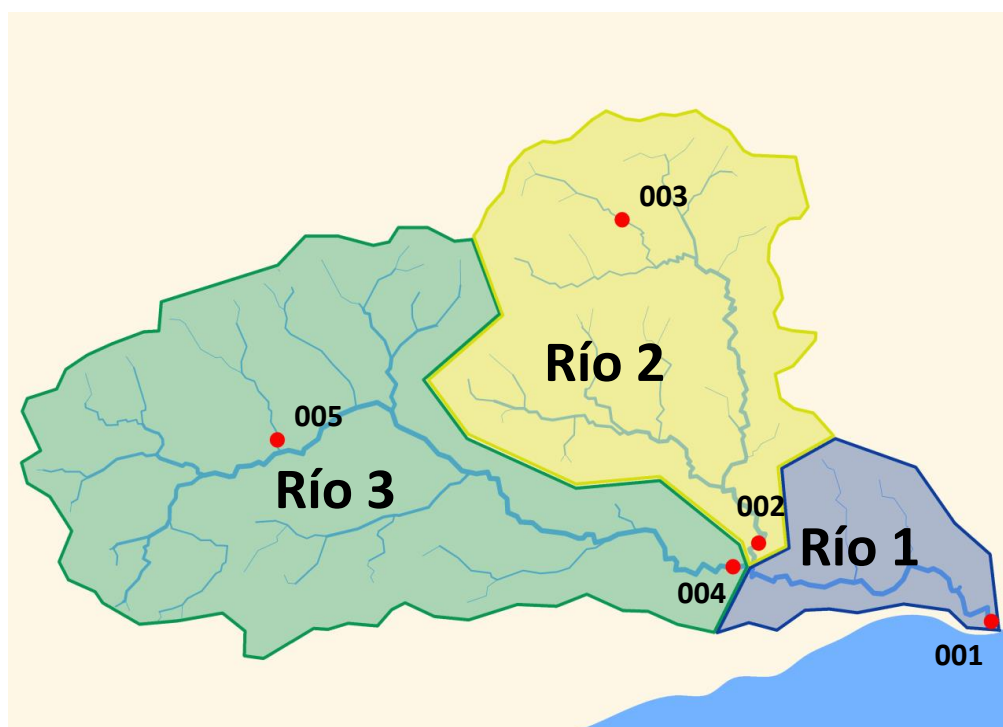


Figura 5.2 Subdivisión de la cuenca del río en tres cuerpos de agua.

De este modo, el proceso de identificación da lugar a tres cuerpos de agua distintos y significativos, que serán considerados unidades de información durante el cálculo del Indicador 6.3.2.

Una vez que los países identifican sus cuerpos de agua, los valores meta deben definirse en el siguiente paso a fin de que los cuerpos de agua califiquen como cuerpos de agua de buena calidad de agua. Si bien es posible dar valores meta distintos para distintos tipos de cuerpos de agua (p.ej. para ríos, lagos o cuerpos de agua subterránea), el país ficticio en este ejemplo ha definido solamente un conjunto de valores meta para sus tres cuerpos de agua, como se muestra en la Tabla 5.1. La tabla también incluye una definición del tipo de meta, es decir, si es un umbral superior, que no debe ser superado por los valores; un umbral inferior, que no puede ser menor que los valores, o un rango de valores dentro del cual deberían estar las mediciones a fin de calificar un cuerpo de agua como de “buena” calidad.

Tabla 5.1 Valores meta para el país ficticio, utilizados en el ejemplo de cálculo del indicador.

Nombre del parámetro	Nombre corto del parámetro	Valor meta	Unidad	Tipo de meta
Oxígeno Disuelto	OD	6	mg/l	Inferior
Conductividad Eléctrica	CE	300 - 500	μS/cm	Rango
pH	pH	6 - 8	-	Rango

Ortofosfato	OF	0.035	mg P/l	Superior
Nitrógeno Oxidado Total (Nitrato + Nitrito)	NOT	1.8	mg N/l	Superior

Esta metodología establece que un cuerpo de agua es de “buena” calidad si el 80% de los resultados de los análisis para los parámetros básicos del cuerpo de agua cumplen con sus valores meta. Para ello, los resultados de los análisis de cada lugar de monitoreo dentro del cuerpo de agua deben calificarse de acuerdo al cumplimiento de los valores meta. El porcentaje de los valores de análisis que cumplen con sus metas debe luego calcularse para cada cuerpo de agua. En aras de la replicabilidad, se presenta aquí un enfoque gradual para el cálculo del indicador.

La Tabla 5.2 muestra los resultados de los análisis para los cinco parámetros básicos muestreados en la “Estación 001” para un período de información que cubre el año 2016. La Tabla 5.2 muestra solamente los datos del cuerpo de agua denominado “Río 1”, que tiene un único lugar de monitoreo. En el caso de los demás lugares de monitoreo de este ejemplo, los datos fueron recopilados de manera similar. Si hay múltiples lugares de monitoreo ubicados en el mismo cuerpo de agua, deben ser agrupados como corresponde.

Tabla 5.2 Valores ficticios de análisis para los parámetros básicos de un cuerpo de agua con un único lugar de monitoreo

Río 1					
Estación 001					
Fecha	OD (mg/l)	CE (µS/cm)	pH	OF (mg P/l)	NOT (mg N/l)
2016-01-23	5.2	410	7.0	0.16	0.71
2016-02-20	8.0	450	6.8	0.18	1.09
2016-04-04	5.4	432	7.0	0.20	0.43
2016-05-10	5.8	455	7.0	0.26	0.62
2016-06-12	6.9	429	7.1	0.15	1.90
2016-08-04	9.0	401	7.3	0.07	2.10
2016-09-21	7.2	434	7.2	0.10	2.50
2016-10-19	7.2	398	7.1	0.16	1.06
2016-11-15	7.9	389	6.9	0.18	0.46
2016-12-24	6.6	390	7.0	0.25	0.04

*Nota: Las celdas resaltadas indican que la meta no se cumple.

Tabla 5.3 Calificación de cumplimiento de los valores meta para los valores de los parámetros básicos de la Tabla 5.2 junto con el porcentaje de los valores que cumplen con su meta para cada parámetro básico

Río 1					
Estación 001					
Fecha	OD	CE	pH	OF	NOT
2016-01-23	0	1	1	0	1
2016-02-20	1	1	1	0	1
2016-04-04	0	1	1	0	1
2016-05-10	0	1	1	0	1
2016-06-12	1	1	1	0	0
2016-08-04	1	1	1	0	0
2016-09-21	1	1	1	0	0
2016-10-19	1	1	1	0	1
2016-11-15	1	1	1	0	1
2016-12-24	1	1	1	0	1
Porcentaje de cumplimiento	70	100	100	0	70

(última fila)

De acuerdo a los resultados de los análisis, el cumplimiento de los valores meta será evaluado en el siguiente paso, donde los valores de análisis individuales se comparan con los valores meta y se califica su cumplimiento. La manera más fácil de realizar esto es preparar una tabla por separado, donde cada resultado de análisis de cada parámetro fundamental obtiene un puntaje basado en su valor con respecto a la meta; es decir:

- Asignar un “1” si no se cumple el valor meta
- Asignar un “0” si se viola el valor meta

Los resultados de este proceso para la “Estación 001” del cuerpo de agua denominado “Río 1” se muestran en la Tabla 5.3. Cada valor de análisis que cumple su meta obtiene un puntaje de “1”, o “0” cuando no cumple la meta. Basado en estas calificaciones, el porcentaje de los valores de análisis que cumplen sus metas puede ser calculado para cada parámetro fundamental, tal como se hizo en la última fila de la Tabla 5.3. Ninguno de los valores de Ortofosfato (OF) cumplieron las metas, lo que resulta en un cumplimiento de cero por ciento para ese parámetro básico. El Oxígeno Disuelto (OD) y el Nitrógeno Oxidado Total (NOT) cumplieron sus metas 70% del tiempo, mientras que los valores de Conductividad Eléctrica (CE) y ph cumplieron sus metas al 100%.

El mismo procedimiento se ha realizado para los demás lugares de monitoreo (“Desde la “Estación 002” hasta la “Estación 005” inclusive), pero ya que los pasos son los mismo, dichos lugares no se han mostrado aquí.

Basado en el cumplimiento de cada lugar de monitoreo, el porcentaje de los valores que cumplen sus metas puede calcularse para el cuerpo de agua completo. La Tabla 5.4 muestra el porcentaje de los valores de cumplimiento para cada parámetro básico, calculado para cada uno de los cinco lugares de monitoreo, y agrupado por cuerpo de agua. Para cada lugar de monitoreo, el porcentaje de cumplimiento para los cinco parámetros básicos de cada lugar de monitoreo se promedia para obtener el porcentaje de cumplimiento de los parámetros básicos individuales con respecto al valor meta (fila “% de Cumplimiento por Estación”). En el siguiente paso, el cumplimiento de los valores meta se calcula a nivel del cuerpo de agua (fila “% de Cumplimiento por Cuerpo de Agua”). Si el cuerpo de agua tiene un solo lugar de monitoreo, el valor de la fila “% de Cumplimiento por Estación” puede tomarse directamente (Véase la Tabla 5.4, columna “Río 1”). Sin embargo, si hay más de un lugar de monitoreo para el cuerpo de agua, el porcentaje de cumplimiento a nivel del cuerpo de agua se calcula promediando los porcentajes de cumplimiento de cada lugar de monitoreo (Véase la Tabla 5.4., columnas “Río 2” y “Río 3”). En ambos casos, la fila “% de Cumplimiento por Cuerpo de Agua” equivale al porcentaje de valores de todos los parámetros básicos que cumplen sus metas en el período que abarca el informe.

Finalmente, la calidad del agua de los cuerpos de agua es clasificada como “buena” si los valores tomados del cuerpo de agua cumplen sus metas como mínimo 80% del tiempo, o como “no buena” si las metas se cumplen menos del 80% del tiempo (Véase la Tabla 5.4, fila “Clasificación del Cuerpo de Agua”).

Tabla 5.4 Clasificación de los cuerpos de agua basada en el porcentaje de los valores de análisis que cumplen sus metas

Porcentaje de Cumplimiento por Parámetro Básico	Río 1	Río 2			Río 3	
	Estación 001	Estación 002	Estación 003	Estación 004	Estación 005	
OD	70	90	90	70	90	
CE	100	100	100	100	100	
pH	100	90	90	100	80	
OF	0	90	80	10	40	
NOT	70	100	100	100	100	
% de Cumplimiento por Estación	68	94	92	76	82	
% de Cumplimiento por Cuerpo de Agua	68	93			79	

Clasificación de Cuerpo de Agua	CALIDAD NO BUENA	BUENA CALIDAD	CALIDAD NO BUENA
---------------------------------	------------------------	---------------	------------------

En el último paso, el indicador es expresado como el porcentaje de cuerpos de agua con “buena” calidad de agua:

$$6.3.2 = \frac{n_g}{n_t} \times 100 = \frac{1}{3} \times 100 = 33.3\%$$

El país del ejemplo puede informar con respecto al Indicador 6.3.2 que el 33.3% de los cuerpos de agua tienen una “buena” calidad de agua.

6. REFERENCIAS

Abbasi, T y Abbasi S.A 2012 *Water Quality Indices*, Elsevier B.V. 384 pp. Disponible en :
<http://www.sciencedirect.com/science/book/9780444543042>

ANZECC y ARMCANZ 2000 *Australian and New Zealand guidelines for fresh and marine water quality*. Volumen 1, *The guidelines*. Consejo del Medio Ambiente y Conservación de Australia y Nueva Zelanda, Consejo de Agricultura y Gestión de Recursos de Australia y Nueva Zelanda. Disponible en:
<http://agriculture.gov.au/SiteCollectionDocuments/water/nwqms-guidelines-4-vol1.pdf>

Brown, R. M., McClelland, N. I., Deininger, R. A. y Toze R. G. 1970 *A water quality index – do we dare?* *Water Sewage Works* 117(10), 339-343.

CCME, sin fecha. *Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life*. Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente. Disponible en:
http://www.ccme.ca/en/resources/canadian_environmental_quality_guidelines/index.html

CCME 1999 *Canadian Environmental Quality Guidelines*, Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente, Publicaciones Legales de Manitoba, Winnipeg, Canadá.

Chapman, D. [Ed.] 1996 *Water Quality Assessments – A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring*. Segunda Edición publicada por E&FN Spon en representación del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y la Organización Mundial de la Salud. Disponible en:
http://www.who.int/water_sanitation_health/resourcesquality/watqualassess.pdf

Chapman, D. y Jackson, J. 1996 *Biological Monitoring*. In Bartram, J. y Ballance, R. [Eds] *Water Quality Monitoring - A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes*. Publicado por E&FN Spon en representación del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y la Organización Mundial de la Salud. Disponible en:
http://www.who.int/water_sanitation_health/resourcesquality/wqmchap11.pdf

Departamento de Conservación del Medio Ambiente 2016 18 AAC 70 *Water Quality Standards*, Modificado al 19 de febrero de 2016, Disponible en: <https://dec.alaska.gov/commish/regulations/pdfs/18%20AAC%2070.pdf>

Departamento de Asuntos Hídricos y Silvicultura 1996 *South African Water Quality Guidelines Volumen 7 Aquatic Ecosystems*. Pretoria, Sudáfrica. Disponible en:
http://www.dwa.gov.za/iwqs/wq_guide/Pol_saWQguideFRESHAquaticecosystemsvol7.pdf

Guía para el Monitoreo Integrado del ODS 6
Metodología de monitoreo paso a paso para el indicador 6.3.2

Dickens, C.W.S. y Graham, P.M. 2002 The South African Scoring System (SASS) Versión 5 Rapid Bioassessment Method for Rivers. *African Journal of Aquatic Science* 27, 1-10.

Agencia del Medio Ambiente 2007 The direct toxicity assessment of aqueous environmental samples using the juvenile *Daphnia magna* immobilisation test. Agencia del Medio Ambiente, Reino Unido. Disponible en: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/316804/daphnia208_1669241.pdf

EPA 2008 *Water Quality in Ireland 2004 - 2006*. Capítulo 2 Ríos. Agencia para la Protección del Medio Ambiente, Irlanda. Disponible en: <https://www.epa.ie/pubs/reports/water/waterqua/waterrep/Chapter%20%20Rivers.pdf>

Unión Europea (Parlamento Europeo, Consejo de la Unión Europea) 2000. Water Framework Directive (WFD) 2000/60/EC del Parlamento Europeo y del Consejo del 23 de octubre de 2000 estableciendo un marco para la acción comunitaria en el campo de políticas de agua, Official Journal L327, 1-72. Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32000L0060>

Friedrick, G., Chapman, D. y Beim, A. 1996 Capítulo 5 The use of biological material. En: Chapman, D. (Ed.) *Water Quality Assessments – A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring – Segunda Edición*. Publicado por E&FN Spon en representación del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y la Organización Mundial de la Salud. Disponible en: http://www.who.int/water_sanitation_health/resourcesquality/watqualassess.pdf

Ministro del Medio Ambiente, 2009 *S.I. No. 272 del 2009 European Communities Environmental Objectives (Surface Waters) Reguciones 2009*. Stationery Office, Dublín. Disponible en: <http://www.irishstatutebook.ie/eli/2009/si/272/made/en/pdf>

Rice, E.W., Baird, R.B., Eaton, A.D. y Clesceri, L.S. [Eds] 2012 *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Edición 22. Asociación Americana de Salud Pública., Asociación Americana de Obras Hidráulicas., Federación del Medio Acuático. Disponible en: <https://www.standardmethods.org/>

Rickwood, C. y Carr, G. 2009 Development and sensitivity analysis of a global drinking water quality index, *Environmental Monitoring and Assessment*, 2009 156, 73-90, DOI: 10.1007/s10661-008-0464-6

Schäfer, S. *et al.* 2015 Bioaccumulation in aquatic systems: methodological approaches, monitoring and assessment. *Environmental Sciences Europe*. Bridging Science and Regulation at the Regional and European Level, 27, 5 DOI: 10.1186/s12302-014-0036-z

Srebotnjak, T., Carr, G., de Sherbinin, A. y Rickwood, C. 2012 A Global Water Quality Index and hot-deck imputation of missing data. *Ecological Indicators*, Volumen 17, 108-119, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.04.023>

CEPE 1992 Convención sobre la Protección y Utilización de los Cursos de Agua Transfronterizos y los Lagos Internacionales. Disponible en: <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/water/pdf/watercon.pdf>

WFD-UKTAG 2014 *UKTAG River Assessment Method Benthic Invertebrate Fauna*. Water Framework Directive – Grupo Consultor Técnico del Reino Unido. Disponible en: <https://www.wfduk.org/sites/default/files/Media/Characterisation%20of%20the%20water%20environment/Biological%20Method%20Statements/River%20Invertebrates%20WHPT%20UKTAG%20Method%20Statement.pdf>

OMS 2011 Guías para la Calidad del Agua Potable. Cuarta edición. Organización Mundial de la Salud, Ginebra. Disponible en: http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/dwq-guidelines-4/en/

OMM 2012 *Glosario Internacional de Hidrología*. No. 385. Organización Meteorológica Mundial y Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Disponible en:
http://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_385-2012.pdf

Ziglio, G. *et al.* [Eds] 2006 *Biological Monitoring of Rivers: Applications and Perspectives*, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, Reino Unido doi: 10.1002/0470863781.ch11 Disponible en:
<http://onlinelibrary.wiley.com/book/10.1002/0470863781>

7. FUENTES ADICIONALES DE INFORMACIÓN

Documento Guía WFD No. 4 (2003): Identification and Designation of Heavily Modified and Artificial Water Bodies. Publicado por la Dirección General del Medio Ambiente de la Comisión Europea, Bruselas.

Documento Guía WFD No. 7 (2003): Monitoring under the Water Framework Directive. Publicado por la Dirección General del Medio Ambiente de la Comisión Europea, Bruselas.

WFD 2004 Groundwater Monitoring – Technical Report on groundwater monitoring. Disponible en:
<https://circabc.europa.eu/sd/a/729b38fe-4141-48e8-b808-04c3ecc91975/Groundwater%20monitoring%20Report.pdf>

8. ANEXOS

8.1 GLOSARIO

Los conceptos y definiciones utilizados en la metodología se basan en marcos y glosarios internacionales existentes (OMM 2012) salvo se indique lo contrario.

Acuífero: Formación geológica capaz de almacenar, transmitir y producir cantidades explotables de agua.

Agua subterránea: Agua del subsuelo que ocupa la zona saturada.

Lago: Cuerpo continental de agua superficial quieta de extensión considerable.

Contaminación de fuente no localizada: Contaminación que surge de fuentes dispersas, como fertilizantes, químicos y pesticidas utilizados en prácticas agrícolas.

Contaminación de fuente localizada: Contaminación que proviene de una fuente ubicada con precisión.

Contaminación: Introducción en el agua de cualquier sustancia extraña que vuelve al agua no apta para los usos previstos.

Contaminante: Sustancia que altera e interrumpe el equilibrio de un sistema hídrico y perjudica la conveniencia de usar el agua para un propósito previsto.

Río: Gran cuerpo / masa de agua corriente que sirve de drenaje natural para una cuenca terrestre.

Cuenca hidrográfica: Área geográfica que posee una desembocadura común para su escorrentía superficial.

Agua superficial: Agua que fluye o yace sobre la superficie del suelo.

Sustancia tóxica: Sustancia química que puede alterar las funciones fisiológicas de seres humanos, animales y plantas.

Aguas fronterizas: Aguas superficiales o subterráneas que marcan o atraviesan fronteras o están situadas en las fronteras entre dos o más Estados. Por lo que respecta a las aguas transfronterizas que desembocan directamente en el mar, su límite lo constituye una línea recta imaginaria trazada a través de la desembocadura entre los dos puntos extremos de las orillas durante la bajamar (CEPE, 1992).

Cuerpo de agua: Masa de agua que se distingue de otras masas de agua.

8.2 EJEMPLOS DE VALOR META

País/Estado	Alaska	Australia y Nueva Zelanda	Canadá	Irlanda ²	South África
Propósito de regulaciones	Peces y vida acuática	Protección de ecosistemas acuáticos ¹	Protección de vida acuática	Buen estado ecológico	Good quality aquatic ecosystems
pH	6.5 - 8.5	6.0-8.0	6.5-9.0	4.5 or 6.0 ³ – 9.0	Max 5% deviation from background
Oxígeno disuelto (% de saturación)	< 110	80-120		80-120	80-120
Oxígeno disuelto (mg/l)	7 - 17				
Amoníaco total -N (mg/l)				0.065	.007
Amoníaco no ionizado NH ₃ (µg/l)			19		
Amonio NH ₄ ⁺ (µgN/l)		6 - 100			
Nitrato (NO ₃ ⁻) mg/l			13		
Total N (µg/l)					500-2500
ríos de tierras altas		100 - 480			
ríos de tierras bajas		200 - 1200			
lagos		350			
Fosfato (mg/l)		0.004 – 0.040		0.035 ⁴	0.005 – 0.025
Total P (µg/l)					
ríos de tierras altas		10 – 30			
ríos de tierras bajas		10 – 100			
lagos		10 – 25			
Conductividad (µS/cm)					Max 15% deviation from unimpacted
ríos		20 – 2200			
lagos		90 – 1500			
Fitoplancton clorofila a (µg/l)					
ríos y arroyos		3 – 5			
lagos y reservorios		3 – 5		<9.0 or <10.0 ⁵	

Guía para el Monitoreo Integrado del ODS 6
 Metodología de monitoreo paso a paso para el indicador 6.3.2

Referencia de fuente	Departamento de Conservación del Medio Ambiente (2016)	ANZECC y ARMCANZ (2000)	CCME (sin fecha)	Ministerio del Medio Ambiente (2009)	Department of Water Affairs and Forestry (1996)
<p>¹ Default trigger values. Different regions have specific ranges for different waterbodies within the overall range given here; ² Based on the EU Water Framework Directive requirements for good status in rivers and lakes (EU 2000); ³ Depends on water hardness; ⁴ Applies to rivers only ⁵ Depending on lake type</p>					