

La evaluación de la calidad de agua

5

En los ecosistemas acuáticos, ningún componente existe en forma independiente. Los seres vivos se relacionan entre sí y con los factores abióticos. Cada cuerpo de agua constituye un ecosistema, delicadamente balanceado en continua interacción con la atmósfera y la tierra circundante.

Todos los procesos y fenómenos que se producen en la tierra y en la atmósfera afectan a los cuerpos de agua.

Los organismos vivos requieren de ríos saludables para su sobrevivencia. El agua dulce constituye el *hábitat* de una variedad de organismos acuáticos; el oxígeno disuelto en ella soporta la vida de peces, plantas y otros organismos aeróbicos. Los sedimentos proveen de alimento y refugio a una gran variedad de animales y plantas.

En el caso de las poblaciones humanas, a través de su historia, los ríos han jugado un rol doble, proveyendo del agua requerida para la subsistencia de las poblaciones humanas y sirviendo como recurso para la disposición de sus desechos. Sin un adecuado y cuidadoso manejo, ambos roles pueden entrar en conflicto, determinando resultados potencialmente peligrosos.



La actividad humana puede producir alteraciones en los ecosistemas acuáticos. Así, por ejemplo, las *aguas residuales domiciliarias* e *industriales* no tratadas y la escorrentía que proviene de las zonas agrícola-ganaderas ribereñas, enmendadas con *fertilizantes*, ingresan en el río. Como consecuencia de ello, las concentraciones de nitrógeno y fósforo en las aguas pueden aumentar significativamente. Este enriquecimiento en nutrientes puede determinar un incremento explosivo en la densidad de las poblaciones de organismos fotoautótrofos. Como resultado de la actividad fotosintética, la concentración de oxígeno en el agua se incrementa durante el día, mientras la fase de captura de energía tiene lugar. Por la noche, cuando

prevalece una condición de intenso consumo de oxígeno por parte de la comunidad fitoplanctónica debido a los procesos de respiración celular, se evidencia una situación de anoxia en el medio, determinando una disminución de la biodisponibilidad de oxígeno para peces y otros organismos. La eliminación de desechos orgánicos y la muerte de la alta densidad de organismos fotoautótrofos resultará en un incremento de la cantidad de materia orgánica no viva depositada sobre los sedimentos y en una intensa actividad de la comunidad detritívora aeróbica, que consumirá el oxígeno remanente.

Este proceso es conocido con el nombre de *eutrofización* y afecta la estabilidad de los ecosistemas y la sobrevivencia de los organismos acuáticos. Constituye un claro ejemplo de los efectos potenciales de la actividad humana no controlada sobre los cuerpos de agua naturales.

Nos introducimos así en la relación entre la condición de los ecosistemas acuáticos y la presencia de potenciales contaminantes. Antes de seguir adelante, conviene revisar el significado de algunos términos que emplearemos frecuentemente.

Se entiende por **contaminación** a la alteración de la integridad física, biológica, química y radiológica del agua o de otro medio, debida o inducida por la actividad humana. Está determinada por la presencia de una o más sustancias que, por su composición química, ubicación o concentración en el medio, altera el funcionamiento de los procesos naturales y produce efectos indeseables en el ambiente y sobre la salud humana (U.S.EPA, 2008; OECD, 2007).

La contaminación supone la mayor amenaza para la salud de los ríos y las cuencas hidrográficas.

Un **contaminante** es un agente o sustancia introducido en el ambiente como resultado, por lo menos en forma parcial, de la actividad humana y que produce efectos adversos sobre los organismos y el ecosistema (Newman y Unger, 2003; U.S. EPA, 2008).

La condición de **"tóxico"** se aplica al agente o sustancia que puede producir un efecto adverso sobre la estructura y/o función del sistema en estudio (Newman y Unger, 2003; U.S. EPA, 2008; Newman y Clemens, 2008).

En relación a estos conceptos, es necesario discriminar entre los términos **"efecto"** y **"respuesta"**. Entendemos por **"efecto"** al cambio biológico producido, tanto en el nivel de organismo individual como en niveles de organización inferiores o superiores al individuo, asociado a la exposición a un agente o sustancia contaminante. El término **"respuesta"** se aplica a la proporción de la población expuesta al tóxico que manifiesta un determinado efecto. Como consecuencia de la exposición a una determinada concentración de una sustancia química, la población expuesta manifiesta una **respuesta** del 50% de mortalidad, o lo que es igual, muere el 50% de la población. El efecto considerado en este caso es la muerte (Newman y Unger, 2003; Newman y Clemens, 2008).



El **riesgo** es la frecuencia esperable de efectos adversos sobre un ecosistema como consecuencia de la exposición a un potencial agente contaminante o factor estresante (U.S. EPA, 1998; Newman y Unger, 2003; Newman y Clemens, 2008).

En el área de las ciencias ambientales es usual utilizar el término **"estrés"** (derivado del inglés "stress") para referirse al **efecto o respuesta**, que se manifiesta en algún nivel de organización biológico, frente a un factor desorganizante o detrimental. El fenómeno o agente que produce estrés es denominado **"factor estresante"** (U.S.EPA, 2008).

El término **"impacto ambiental"** se refiere a las consecuencias provocadas por cualquier acción que modifique la **integridad** de un ecosistema, parcial o totalmente, incluyendo los organismos presentes, o su **sustentabilidad**, esto es, su capacidad de mantener condiciones favorables futuras para el desarrollo de la vida. No existe una valoración cuantitativa universalmente aceptada para determinar el grado de afectación de un impacto, excepto en aquellos casos en que resulta posible establecer una relación entre la concentración de una determinada sustancia o mezcla de sustancias y sus efectos sobre el ambiente (U.S. EPA, 1998).

La calidad de agua

5.1

La *calidad de agua* describe la condición de un cuerpo de agua y su aptitud para diferentes propósitos. En un cuerpo de agua saludable, la calidad de agua está asociada a la sobrevivencia de una rica y variada comunidad biótica, al uso humano, como fuente de agua potable y/o recreación, y a las aplicaciones agrícolas del recurso.

El agua de los ríos y lagos más prístinos, no sometidos a las emisiones derivadas de la actividad humana, no es absolutamente pura. Todas las aguas contienen una variedad de sustancias naturalmente presentes, como hemos visto en el *Capítulo 4*.

La *calidad del agua* es definida en términos de las características físicas del agua y la presencia y concentración de sustancias químicas y organismos potencialmente patógenos. No es constante; cambia con las estaciones del año y las áreas geográficas que componen la cuenca hidrográfica, aún cuando no exista evidencia de contaminación.

No es posible evaluar la *calidad de agua del río* mediante una única medición. Para hacerlo, se requiere analizar la presencia y concentración de numerosas sustancias químicas, la presencia de una variedad de organismos y las características físicas del medio. Así, el conjunto de estas determinaciones será considerado como una indicación o estimación de la calidad de agua. Cada uno de los parámetros seleccionados, tales como pH, salinidad, conductividad, concentración de diferentes sustancias químicas en el medio, tipo y densidad de organismos presentes, etc., será considerado como un indicador o estimador requerido para la evaluación de la calidad de agua del ecosistema acuático en cuestión.

Como resultado del proceso de evaluación de la calidad de agua será posible la elaboración de conclusiones en relación a la condición del ecosistema acuático, de manera de generar las acciones tendientes a mejorar o mantener la calidad de agua del río, dependiendo de los usos previstos para el recurso. Así, el agua utilizable como fuente de agua potable puede ser usada para la irrigación de terrenos dedicados a las prácticas agrícolas, pero el agua apta para irrigación puede no reunir las condiciones requeridas para su uso como agua potable.

La legislación local, regional y nacional provee información acerca de los valores o el rango de valores que deberían alcanzar estos indicadores de calidad de agua a fin de proteger los diferentes usos específicos del agua. Estos valores, establecidos sobre una base científica, previstos en la legislación, suelen ser denominados *valores o niveles guía* de parámetros de calidad de agua para un determinado cuerpo de agua o para una región. Más adelante, haremos referencia a algunos criterios seguidos en el establecimiento de estos niveles guía.

La *calidad de agua* es afectada por numerosos factores. Las sustancias químicas presentes en el aire, tales como gases naturales del aire (dióxido de carbono, oxígeno, nitrógeno),



partículas sólidas en suspensión, gases volcánicos, compuestos químicos tóxicos (dióxido de azufre, plomo, entre otros) se disuelven o son suspendidos en la lluvia que precipita sobre el suelo y los cuerpos de agua. La escorrentía fluye sobre y a través del suelo, las rocas y las áreas urbanizadas, disolviendo y arrastrando otras sustancias, tales como carbonato de calcio y metales, nutrientes, como fósforo y nitrógeno, desechos animales, incluyendo bacterias coliformes fecales y patógenos, y productos derivados del petróleo, entre otros. Cuando la escorrentía alcanza los cuerpos de agua, estas sustancias y organismos se introducen en ellos, modificando la calidad del medio.

Las actividades humanas pueden causar variaciones en los factores abióticos de los ecosistemas acuáticos, determinando cambios dramáticos en el componente biótico. El desarrollo de las actividades humanas puede conducir, entre otros resultados no deseados, a:

- ❖ La emisión de contaminantes como resultado de las descargas de efluentes y residuos sólidos de origen domiciliario, industrial, agropecuario y minero, no adecuadamente tratados;
- ❖ Modificaciones no controladas del caudal de los ríos como resultado de la construcción de presas y embalses,
- ❖ La salinización de las aguas y el aumento de los procesos de sedimentación en el cauce como resultado del lavado de suelos, deforestación y construcción de rutas,
- ❖ La introducción de especies animales y vegetales foráneas,
- ❖ La remoción y destrucción de hábitat naturales;
- ❖ El desarrollo de actividades recreativas no controladas, conduciendo a la emisión de hidrocarburos como resultado de la navegación a motor,
- ❖ La descarga de efluentes con elevada temperatura derivados de centrales eléctricas, y
- ❖ La eutrofización a consecuencia de la emisión excesiva de nutrientes.

La protección de los ecosistemas acuáticos tiene como objetivo la preservación y la mejora, en los casos en que haya sido afectada, de la *integridad ecológica* de los mismos, incluyendo la diversidad biológica, la abundancia relativa de especies y los procesos ecológicos (Kalf, 2002).

La *integridad ecológica* es una medida de la salud o de la condición de un ecosistema y ha sido definida como la capacidad de un ecosistema acuático para sostener y mantener procesos ecológicos significativos y una comunidad de organismos con una composición de especies, diversidad y organización funcional tan comparables como resulte posible a las de los hábitat naturales en la región (Schofield y Davies, 1996).

La *diversidad biológica* o *biodiversidad* es definida como la variedad y variabilidad entre organismos vivos, los *genes* que ellos contienen y los ecosistemas de los cuales forman parte. La diversidad puede ser definida como el número de ítems (organismos, genes, ecosistemas) y sus frecuencias relativas. La biodiversidad incluye, entonces, unidades organizadas a niveles diferentes, desde ecosistemas complejos hasta las estructuras bioquímicas que constituyen la base molecular de la herencia (*genes*). En consecuencia, es posible considerar incluidas en el término biodiversidad a la diversidad genética, la diversidad específica y la diversidad de ecosistemas (Margalef, 1983, 1998; Townsend et al., 2008; U.S. EPA, 2008)

Es evidente que el establecimiento de un nivel de protección que garantice el mantenimiento de la biodiversidad implica una gran dificultad. Idealmente, este nivel de protección debería garantizar el potencial futuro evolutivo de las especies y los ecosistemas. Sin embargo, el desarrollo de las actividades humanas probablemente cause alguna pérdida del componente genético de la biodiversidad, la reducción de la densidad poblacional de alguna especie e interfiera en mayor o menor grado con los procesos del ecosistema. En consecuencia, la protección de la biodiversidad implica asegurar que estos factores no se conviertan en una amenaza para la integridad del ecosistema o la conservación de las especies (Kalf, 2002).

Las distintas comunidades humanas han seleccionado, a lo largo de su historia, diferentes criterios para la evaluación de la calidad de agua de sus ecosistemas dulceacuícolas. Estos criterios han implicado, en la mayoría de los casos, el establecimiento de:

- ❖ Valores niveles guía incluidos en la legislación local, regional o nacional, aplicables a ecosistemas acuáticos particulares o a diferentes usos previstos para el recurso;
- ❖ Rangos de variación aceptable para un dado indicador a partir de una condición de referencia, que, generalmente, es definida a partir de sitios no impactados por la actividad humana, correspondientes a la misma región;
- ❖ Niveles de variación aceptable en los indicadores de calidad de agua seleccionados, establecidos, por ejemplo, en base a estudios previos que aseguran, con un cierto nivel de certidumbre, la protección del 90% de las especies presentes.

La protección de los ríos frente a la contaminación debida a las actividades humanas no es el único desafío a enfrentar por la sociedad. Aún cuando las fuentes de agua dulce en la Tierra son continuamente renovadas a través del ciclo del agua en la naturaleza, como hemos visto previamente, grandes regiones del planeta carecen de un aprovisionamiento suficiente. En consecuencia, resulta de la mayor importancia para la comunidad humana el desarrollo de tecnologías que tiendan a la conservación del recurso.

Se reconocen tres *categorías* relacionadas con la condición de los ecosistemas acuáticos:

❖ *Ecosistemas prístinos, no perturbados o altamente valiosos*: típicamente, pero no únicamente, ubicados en parques nacionales, reservas ecológicas o en zonas remotas y/o inaccesibles, cuya integridad ecológica es considerada como intacta.

❖ *Ecosistemas leve a moderadamente perturbados*: en los cuales la diversidad biológica puede haber sido afectada en un menor grado por la actividad humana. Las comunidades biológicas permanecen en una condición saludable y la integridad del ecosistema es mantenida. Típicamente, los ecosistemas dulceacuícolas en esta condición presentan una cuenca libre o levemente obstruida por obstáculos y una vegetación ribereña razonablemente intacta. Los cuerpos de agua leve a moderadamente alterados, que reciben la escorrentía proveniente de zonas sometidas a una explotación agrícola ganadera controlada, pertenecen a esta categoría.

❖ *Ecosistemas altamente perturbados*: en los cuales la diversidad biológica ha sido alterada significativamente y la integridad del ecosistema está considerablemente degradada. Los cursos de agua que atraviesan regiones urbanas e industrializadas y los que reciben escorrentía de zonas sometidas a una intensa actividad hortícola son ejemplos de esta condición. Esta categoría reconoce que el ecosistema acuático degradado, luego de su restauración, puede ser retornado a una condición de leve a moderada perturbación.

En la selección de estos criterios de calidad de agua se han tenido en cuenta, además, las expectativas de la comunidad humana instalada en la zona en relación al ecosistema, en

cuanto a, por ejemplo, su valor histórico, cultural, recreativo, y los factores socio-económicos asociados con su explotación y el uso del recurso.

Así, en el caso de ecosistemas acuáticos prístinos, el nivel de protección está generalmente asociado al mantenimiento de la condición del ecosistema, mientras que en el caso de ambientes leve a moderadamente perturbados, tiende a asegurar la modificación del estado actual a fin de alcanzar una condición de menor perturbación, dependiendo del estado inicial del ecosistema.

La tendencia internacional seguida para el establecimiento de un cuerpo legislativo para la protección de los ecosistemas acuáticos se dirige hacia la elaboración de niveles de protección locales y regionales, en los que se tiene en cuenta:

- ❖ La naturaleza de los contaminantes que puedan alcanzar ese particular ecosistema acuático, con especial énfasis en aquellos compuestos químicos altamente tóxicos para los organismos vivos autóctonos y que presenten alta persistencia en el medio
- ❖ La capacidad del ecosistema para recuperarse en un corto período de tiempo del impacto debido a la contaminación, y
- ❖ La percepción del valor ecológico y de conservación del ecosistema para la comunidad.

Contaminación y calidad de agua

5.2

Uno de los problemas críticos que se plantea a la comunidad humana es la disyuntiva entre el desarrollo de actividades industriales, agrícolas y comerciales en la ribera y el mantenimiento de la calidad del agua de los ríos y arroyos receptores de las emisiones generadas por ellas. La resolución de esta problemática implica una intensa interrelación entre el conocimiento, establecido sobre una base científica, de las condiciones hidrológicas y físico-químicas de los cuerpos de agua y de la biota acuática asociada a ellos, y el establecimiento de normativas locales y regionales, estrategias y criterios para el control de las emisiones.

En relación con lo anterior, frecuentemente, se utiliza el concepto de *capacidad de carga* (LC, “loading capacity”) o *carga máxima diaria total* (TMDL, *total maximum daily load*), definida como la mayor cantidad de contaminantes que puede recibir un cuerpo de agua sin que se alteren las condiciones estandarizadas de su calidad de agua.

Este concepto está, estrechamente, asociado a la *capacidad asimilativa* del río, definida como la capacidad del ecosistema natural para recibir distintos materiales, incluyendo desechos de origen antropogénico, a ciertas concentraciones sin que se produzca la degradación de las condiciones del medio, sin efectos *deletéreos* y sin daño para la vida acuática ni para la población humana que consume sus aguas (Cairns, 1977, 2006). Algunos autores utilizan el término “*capacidad de autodepuración*” del río con el mismo criterio.

Aún los compuestos químicos orgánicos complejos, como plaguicidas e hidrocarburos, pueden ser degradados en los ecosistemas acuáticos a través de procesos abióticos y bióticos. Entre los procesos naturales que degradan y disminuyen las concentraciones de las sustancias orgánicas complejas en el ambiente se cuentan la mineralización microbiana, la oxidación, la hidrólisis y la *fitólisis*, como vimos en el *Capítulo 4*. La degradación de estos compuestos se produce más lentamente que en el caso de compuestos orgánicos simples, y, en consecuencia, será más reducida la capacidad de asimilación y la capacidad de carga del río para los primeros.

La *capacidad asimilativa* del río no es ilimitada; puede ser excedida y superada, como resultado de la emisión de efluentes y residuos en exceso, con severas consecuencias para la integridad del ecosistema.

La estimación de la capacidad de carga y de la capacidad asimilativa de un río implica la obtención de información proveniente de evaluaciones de calidad de agua realizadas en la zona en estudio y su aplicación en modelos predictivos. Estos últimos son usados para establecer las relaciones causa - efecto entre la cantidad y tipo de contaminantes emitidos, los cambios esperados en la calidad de agua y en la integridad del ecosistema, y la capacidad de autodepuración del río.

La capacidad de carga y la capacidad asimilativa del río son afectadas, particularmente, por las condiciones ambientales naturales, incluyendo:

- ❖ Las características hidrológicas locales (velocidad de corriente, caudal, profundidad del cauce, pendiente, etc.)
- ❖ Las características físico-químicas del medio (temperatura, salinidad, conductividad, pH, etc.)
- ❖ Los procesos químicos producidos en el agua (formación de complejos, etc.)
- ❖ Las comunidades biológicas presentes y los procesos bioquímicos asociados a ellas (demanda de oxígeno local, tasa fotosintética de las poblaciones algales y de macrófitas, tasa de respiración, procesos de nitrificación, etc.).

En consecuencia, las capacidades de carga y asimilativa deben ser establecidas localmente, para cada tramo del río.

Los resultados de estos estudios proveen información cuantitativa disponible para ser utilizada por los organismos reguladores y de control a fin de tomar decisiones y establecer criterios efectivos con el fin de proteger la calidad de agua del río.

Un aspecto crítico en el proceso del establecimiento de criterios para la protección del ecosistema es la caracterización de las fuentes de potencial contaminación, a fin de permitir la estimación de las capacidades de carga y asimilativa del cuerpo de agua.

Las fuentes de potencial contaminación pueden ser categorizadas como *puntuales* o *no puntuales*. Estas dos categorías son gobernadas por diferentes mecanismos, resultando en impactos diferentes sobre el cuerpo de agua receptor. En la **TABLA 9** se resumen las características de ambos tipos de emisiones.

Las *fuentes de emisión puntuales* son aquellas cuyo punto de ingreso al cuerpo de agua es único, identificable y mensurable, incluyendo tuberías, canales, túneles, zanjas, conductos, fisuras, contenedores, tanques, camiones, sistemas de alimentación de ganado, sistemas de recolección de *lixiviados*, etc.

El caudal de emisión de estas *fuentes puntuales* suele ser controlado y conocido por las agencias gubernamentales de regulación. Por otra parte, la normativa local o nacional, como ocurre en nuestro país, establece el requerimiento de monitoreo sostenido en el tiempo de los parámetros físico-químicos convencionales de calidad de agua de estas fuentes de emisión. Los resultados de estas determinaciones son registrados e informados, generalmente, a los organismos de control.

Las *fuentes de emisión no puntuales* implican el ingreso a través de múltiples puntos no necesariamente conocidos, difusos, extendidos en el área y difícilmente mensurables. La escorrentía superficial, proveniente de áreas irrigadas o de la precipitación es un ejemplo típico de estas emisiones no puntuales.

Otras *fuentes no puntuales* de difícil control incluyen la infiltración de aguas subterráneas, la deposición de contaminantes atmosféricos y la erosión natural de rocas y suelos.

Fuente de emisión puntual (Efluente industrial)	Fuente de emisión no puntual (Escorrentía por precipitación)
Flujo relativamente constante	Flujo altamente dinámico, con intervalos de emisión intermitentes, azarosos
Baja variabilidad de caudal y tipos de contaminantes presentes, menor a un orden de magnitud	Elevada variabilidad de caudal y tipos de contaminantes presentes, varios órdenes de magnitud
Impactos más severos producidos durante las condiciones de bajo caudal	Impactos más severos producidos después de una tormenta, elevado caudal
Concentraciones de contaminantes relativamente predecibles	Concentraciones de contaminantes variables, no predecibles

Tabla 9: Comparación entre fuentes de emisión puntuales y no puntuales típicas (modificado de U.S.EPA, 1997).

La contribución del agua subterránea es de particular preocupación si existe evidencia o sospecha de que el acuífero está contaminado. En ese caso, se requiere la identificación de los potenciales contaminantes presentes y la evaluación de la magnitud de su descarga.

La erosión y los procesos de disolución de rocas y suelos son mecanismos naturales y deberían ser considerados como parte de las descargas al cuerpo de agua no controladas. La deposición atmosférica es resultado, por lo menos parcialmente, de las actividades industriales y urbanas desarrolladas a escala regional, lo que dificulta su control a escala local.

El uso de la ribera y las características hidrológicas de la cuenca son los principales determinantes de la magnitud de la carga contaminante con la que contribuyen estas emisiones no puntuales. La deforestación de las áreas naturales y el uso agrícola, urbano e industrial de la ribera resultan en cambios a gran escala de la carga contaminante, proveniente de fuentes de emisión no puntuales, sobre los ríos y arroyos.

La magnitud de la incidencia del problema de la contaminación debida a estas fuentes no puntuales ha sido mejor comprendido en los últimos 10 o 20 años. Los diferentes países y regiones han propuesto, investigado e implementado prácticas agrícolas y urbanas tendientes a la reducción de la carga contaminante de las emisiones no puntuales.

Cuando una sustancia química es emitida e ingresa en el río, es sometida a procesos de transporte y transformación química y física que alteran su concentración en el medio. A fin de determinar las capacidades de carga y asimilativa del cuerpo de agua es necesario conocer y evaluar la magnitud de estos procesos a escala local.

Los principales procesos que determinan la existencia de una dada concentración de un contaminante en el río son:

❖ **Advección**, que representa el proceso de transporte primario del contaminante en la dirección de la corriente. En los ríos y arroyos, los movimientos laterales de las sustancias químicas que ingresan son poco relevantes.

❖ **Dispersión**, que es entendida como el transporte por mezclado dentro del mismo cuerpo de agua, en sentido longitudinal (en la dirección de la corriente), lateral y vertical (en la columna de agua). Cuando se analizan los efectos de una carga continua de contaminantes, el efecto de la dispersión puede ser ignorado dado que su contribución a la concentración resultante del contaminante es usualmente pequeña en relación a la ad-

vección. Por otra parte, cuando se analiza el transporte de una carga discontinua, por ejemplo, resultado de un derrame, la dispersión debe ser considerada en el análisis.

❖ **Reacción**, que incluye la degradación de los materiales biodegradables descargados en el cuerpo de agua como resultado de la actividad biológica, y una gran diversidad de reacciones químicas producidas en el agua, tales como oxidación, hidrólisis y fotólisis, entre otras. Estos procesos contribuyen a la atenuación de la concentración de contaminantes en el medio (U.S. EPA, 1997).

La interacción de estos factores determinará la concentración de un determinado contaminante en un punto del río, en cada momento. Así, la concentración de los materiales no biodegradables o poco reactivos dependerá de los procesos de advección y dispersión. La concentración de los materiales reactivos y biodegradables dependerá, además, de las reacciones químicas en las que participen.

Para cada **fente de emisión puntual** particular, existente o prevista en el futuro, será posible determinar las **capacidades de carga y asimilativa parciales** del cuerpo de agua, sobre la base de la caracterización de la emisión, del conocimiento de las condiciones hidrológicas, físicas y químicas, y de los procesos de transporte de los contaminantes. Se estimará, así, la porción de las capacidades de carga y asimilativa del río correspondiente a esa fuente de emisión particular.

Del mismo modo, se establecen las capacidades de carga y asimilativa asociadas a las **fuentes de emisión no puntual**, incluyendo el ingreso del agua proveniente de los afluentes del río, y del agua subterránea, que puedan aportar potenciales contaminantes.

La **capacidad de carga** y la **capacidad asimilativa** del río u arroyo en la zona de interés será estimada, entonces, a partir de la suma de estas capacidades de carga y asimilativa parciales más un margen de seguridad, establecido a partir de los modelos predictivos mencionados antes.

Indicadores de calidad de agua y niveles guía

5.3

La calidad del agua del río es determinada mediante la realización de mediciones de distintos parámetros físico-químicos y biológicos en el campo o en muestras de agua, materiales en suspensión, sedimentos y biota, extraídas directamente desde el cuerpo de agua y enviadas a un laboratorio para su análisis.

Así, el pH, el color y la turbidez son determinadas en el campo, mientras que las concentraciones de metales, nutrientes, plaguicidas, otras sustancias químicas y microorganismos coliformes totales, fecales y patógenos, entre otras determinaciones, son llevadas a cabo en el laboratorio.

Se requiere, además, la realización de ensayos **ecotoxicológicos**, para analizar la potencial toxicidad del agua y los sedimentos del fondo sobre los organismos acuáticos, y evaluaciones respecto de las formas de vida presentes en el cuerpo de agua y en la zona ribereña, a fin de determinar si se observan fluctuaciones en la diversidad de grupos de organismos presentes, densidad y distribución espacial de sus poblaciones.

Estos parámetros físico-químicos y biológicos son considerados como *indicadores* de la calidad de agua. Un *indicador* ambiental es una variable que pretende reflejar el estado del ambiente, o de algún aspecto del mismo, en un momento y un espacio determinados. Son herramientas fundamentales en los procesos de evaluación y de toma de decisiones en relación a la problemática ambiental.

Los parámetros físico-químicos considerados como indicadores de la calidad de agua son seleccionados entre aquellos para los cuales sea posible establecer una relación entre su valor o concentración en el medio y la manifestación de efectos adversos en el ecosistema, tal como se muestra en la FIGURA 33. En ella se representa el grado de perturbación del ecosistema frente a valores crecientes de un indicador hipotético, como por ejemplo, la concentración de un determinado metal pesado en el medio.

Así, a algún valor del indicador de calidad de agua seleccionado, el ecosistema mostrará que ha sido adversamente afectado por la presencia de ese factor estresante, y el valor del indicador en ese punto será usado como criterio para tomar la decisión de que el ecosistema ha sido impactado.

Sin embargo, a fin de preservar la integridad del ecosistema, en la mayoría de las situaciones, será necesario tomar una decisión antes de que el ecosistema resulte adversamente afectado, de manera que sea posible implementar adecuadas acciones correctivas antes de que el ecosistema resulte dañado. En consecuencia, para cada parámetro físico – químico y biológico, considerado como indicador del estado de condición del ecosistema, será necesario seleccionar un “*valor umbral*” del indicador tal que este valor resulte ser inferior a aquel que determina el deterioro del ecosistema.

Si el impacto del indicador sobre el ecosistema es irreversible y persistente, se requerirá que el valor umbral sea muy inferior a aquel que determina un daño irreversible, de manera de evitarlo. Del mismo modo, si existe escaso conocimiento acerca de la forma en que un dado contaminante afecta al ecosistema, el valor umbral debería ser lo suficientemente reducido como para prever la potencial mayor sensibilidad del ecosistema respecto de lo esperado.

En consecuencia, en el proceso de establecer estrategias de control y manejo del recurso, el primer paso es determinar el valor umbral para cada uno de los indicadores de calidad del medio seleccionados. Este no es un ejercicio sencillo y requiere la estrecha interrelación entre el conocimiento científico, la comunidad humana involucrada y los organismos encargados del monitoreo, control y manejo del recurso.

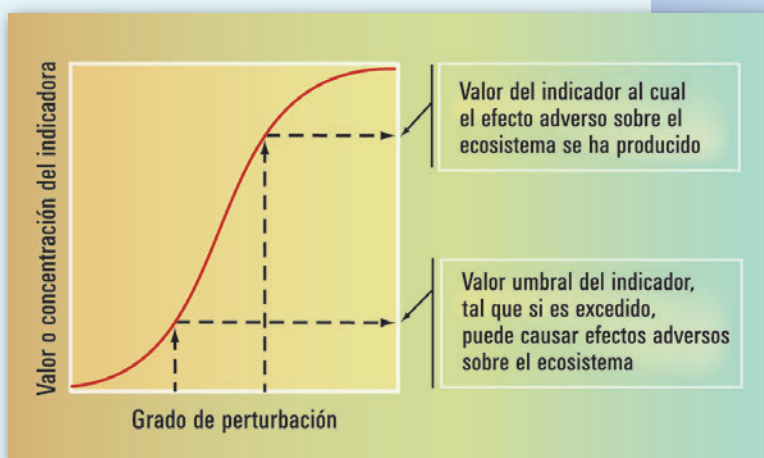


Figura 33: Descripción gráfica de la relación entre el valor del indicador y el grado de perturbación del ecosistema. El valor umbral del indicador de calidad de agua es aquel a partir del cual se manifiestan efectos adversos sobre el ecosistema, requiriendo acción correctiva.

Este valor umbral del indicador dependerá de:

- ❖ La naturaleza del impacto sobre el ecosistema
- ❖ El grado de conocimiento científico que exista acerca de la relación entre el indicador y el impacto ecológico esperado, y
- ❖ El tiempo requerido estimado para que las acciones correctivas implementadas ejerzan efecto sobre la condición del ecosistema.

En el caso de los indicadores no biológicos, el valor umbral para una determinada sustancia química es estimado sobre la base de ensayos ecotoxicológicos, generalmente llevados a cabo en laboratorio, utilizando un amplio rango de especies de organismos acuáticos sensibles. A partir de estos ensayos, se determina la concentración del potencial contaminante que no genera efectos adversos significativos sobre la población más sensible, entre las seleccionadas, a consecuencia de la *exposición crónica* al mismo. Esto es, cuando el período de exposición a la sustancia o agente evaluado cubre, al menos, una generación de los organismos utilizados en los ensayos. Más adelante analizaremos el tipo de ensayos requeridos para el establecimiento de estos criterios.

A partir de la estimación del valor umbral determinado para la especie más sensible entre las utilizadas en los ensayos ecotoxicológicos y las consideraciones mencionadas antes, tales como el uso previsto del recurso, condición previa del ecosistema, etc., se establece el *valor o nivel guía* regulatorio para cada indicador. Finalmente, en la legislación local, regional y nacional se incluyen los valores guías de calidad de agua para diferentes parámetros físico-químicos así determinados.

Un problema diferente se plantea en el caso de parámetros como la salinidad, el pH y la temperatura, los que varían naturalmente de forma estacional estacional y, entre los distintos ecosistemas, y a los cuales las comunidades biológicas están adaptadas.

Los valores guía para estos factores, potencialmente, estresantes son definidos a partir de valores de referencia determinados en ecosistemas no impactados por la actividad humana, correspondientes a la misma región, al conocimiento de los efectos debidos a su variación sobre los organismos vivos y a la aplicación de modelos matemáticos que permiten predecir su impacto en un determinado ecosistema.

En el caso de los indicadores biológicos, el establecimiento de un valor umbral y, en consecuencia del valor guía correspondiente, es más complejo y requiere, en la mayoría de los casos, la comparación de los resultados obtenidos en el ecosistema evaluado en relación a un sitio de referencia no perturbado por acción humana, ubicado en la misma región. En el caso particular de los indicadores asociados a la presencia en el cuerpo de agua de microorganismos potencialmente patógenos para el hombre, el valor umbral se establece sobre la base de información epidemiológica que permita establecer correlaciones entre las densidades de microorganismos patógenos y/o microorganismos indicadores de su posible presencia, como es el caso de las bacterias coliformes fecales, y los efectos sobre la salud de los individuos que utilizan el agua con fines recreativos. Similar procedimiento se sigue en el caso de los microorganismos potencialmente patógenos para la biota acuática.

A partir de las consideraciones anteriores, resulta que para el establecimiento de criterios de calidad de agua en ecosistemas acuáticos existen cuatro fuentes de información disponible:

- ❖ Información acerca de efectos biológicos y ecológicos disponibles en la bibliografía científica;
- ❖ Datos provenientes de ecosistemas de referencia no afectados por la contaminación ubicados en la región o cercanos a ella;
- ❖ Información procedente de la aplicación de modelos matemáticos predictivos, y
- ❖ Juicio profesional experto.

En un ecosistema particular, puede ocurrir que algunas de las variaciones detectadas en un indicador resulten ser ecológicamente triviales; en consecuencia, producirían sólo pequeños cambios, sin o con reducida significación ecológica. En consecuencia, la existencia de esa variación no justificaría la necesidad de aplicación de acciones correctivas. Por otra parte, un importante número de indicadores resultan ser altamente variables en condiciones naturales, por lo que se requiere una evaluación intensa, con muestreos sucesivos, a fin de detectar cambios significativamente importantes, desde el punto de vista ecológico.

En el proceso que lleva al establecimiento de una regulación, es importante balancear todos los puntos de vista mencionados.

En nuestro país, existe un relativamente limitado conocimiento de los aspectos antes señalados para la mayoría de los ecosistemas dulceacuícolas, lo que dificulta significativamente el proceso de toma de decisiones. Más adelante analizaremos brevemente los antecedentes regulatorios en la Argentina.

Los valores o niveles guía de calidad de agua no son establecidos para ser usados como “números mágicos”, de tal manera que, si su valor es excedido, inmediatamente se infiere la existencia de un problema ambiental en el ecosistema evaluado. Son diseñados para ser utilizados en conjunción con el juicio profesional de evaluadores entrenados; constituyen, en definitiva, una evaluación inicial de la condición del cuerpo de agua.

Los resultados de esta evaluación inicial de la calidad de agua del ecosistema acuático permitirán generar dos posibles procesos alternativos. Si los resultados encontrados presentan valores inferiores o en el rango de los valores guía establecidos, se debería continuar el monitoreo periódico del cuerpo de agua, a fin de asegurar que se mantenga la condición de bajo riesgo de que la integridad del ecosistema resulte alterada. Si, por el contrario, los resultados resultan ser superiores a los de los valores guía y se concluye que existe un potencial riesgo significativo para el ecosistema, se deberían desarrollar estrategias de acciones correctivas, remediación y manejo del recurso. Más adelante analizaremos estas alternativas.

Es posible que, luego del monitoreo extendido de un cuerpo de agua particular, el incremento de la información y comprensión de la condición del ecosistema, determine la necesidad de corregir los valores guía previamente establecidos a la luz de los conocimientos adquiridos.

En consecuencia, el desarrollo de criterios de calidad de agua para un determinado ecosistema no se completa con el establecimiento de valores guía. Se trata de un proceso continuado en el tiempo, en continua revisión sobre la base de la información y el conocimiento generados con rigor científico.

Los niveles guía de calidad de agua, entonces, se diseñan para ser aplicados dependiendo de los distintos usos

Por otra parte, en el proceso de establecimiento de valores guía de calidad de agua para parámetros físico-químicos y biológicos, se requiere tener en cuenta:

- ❖ Que los valores de los indicadores varían naturalmente en los ecosistemas acuáticos, y
- ❖ Que no todas estas variaciones son ecológicamente importantes.



previstos para el cuerpo de agua, incluyendo protección de la vida acuática, agua de bebida para consumo humano, agua de bebida para ganado y vida silvestre, irrigación de zonas agrícolas, provisión del recurso para industrias y recreación. De todas ellas, la experiencia internacional muestra que los criterios más exigentes corresponden a la protección de la vida acuática, dadas las condiciones de su exposición al medio y su susceptibilidad a cambios generados en las condiciones ambientales.

Legislación nacional, provincial y organismos de aplicación

5.4

La Constitución Nacional, reformada en 1994, en su Artículo 41, consagra el derecho *“a un ambiente sano, equilibrado, apto, para el desarrollo humano y para que las actividades productivas satisfagan las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras”*. Atribuye a la Nación la potestad de dictar Normas ambientales que *“contengan los presupuestos mínimos de protección, y a las provincias, las necesarias para complementarlas, sin que aquellas alteren las jurisdicciones locales”*.

De acuerdo a la Ley 25.675, Ley General del Ambiente, en su Artículo 6, *“se entiende por presupuesto mínimo, establecido en el Art.41 de la Constitución Nacional, a toda norma que concede una tutela ambiental uniforme o común en todo el territorio nacional, y tiene por objeto imponer condiciones necesarias para asegurar la protección ambiental. En su contenido, debe prever las condiciones necesarias para garantizar la dinámica de los sistemas ecológicos, mantener su capacidad de carga y, en general, asegurar la preservación ambiental y desarrollo sustentable”*.

La organización federal de nuestro país implica la existencia de cuatro niveles jurisdiccionales:

- ❖ Nación
- ❖ Provincias
- ❖ Municipios y
- ❖ Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

Así, los órganos de gobierno nacionales son los encargados de dictar Normativas que establezcan niveles mínimos de protección. Las provincias tienen la facultad de complementar, enriquecer y ampliar esa normativa, implementando igual o mayores recaudos que los instrumentados para el control de la contami-

nación a nivel nacional, esto es, no podrán incluir en su normativa criterios inferiores a los niveles mínimos de protección ambiental establecidos a nivel nacional (Iglesias y Martínez, 2008).

La Constitución Nacional, en su Art. 121, establece que las provincias conservan la totalidad del poder no delegado a la Nación, enfatizando que los recursos naturales están bajo el exclusivo control de las provincias.

Tanto a nivel nacional como a nivel provincial, existe una amplia y diversa cantidad de organismos con injerencia en la gestión del agua, a lo que se suma la movilidad de las estructuras administrativas gubernamentales a lo largo del tiempo (Pochat, 2005).

A nivel nacional, la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación es el organismo a cargo de la política ambiental. Existen, además, varios organismos guber-

naméntales que juegan un papel preponderante en la aprobación y gestión de políticas relacionadas con el ambiente, tales como el SENASA (Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria), la APN (Administración de Parques Nacionales), el INA (Instituto Nacional del Agua), el ETOSS (Ente Regulador del Agua), la Prefectura Naval Argentina, la Administración General de Puertos y la Gendarmería Nacional.

En lo que se refiere específicamente a los recursos hídricos, la organización institucional nacional se modificó numerosas veces a lo largo de su historia. Desde mayo de 2003, el organismo encargado de la gestión de los recursos hídricos es la Subsecretaría de Recursos Hídricos, dependiente de la Secretaría de Obras Públicas del Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios.

La Subsecretaría de Recursos Hídricos, a través del Programa de Calidad de Agua de su Dirección Nacional de Conservación y Protección de los Recursos Hídricos, desde 1998, ha iniciado la elaboración de niveles guía de calidad de agua ambiente, con el objetivo de contar con una herramienta adecuada en la toma de decisiones relacionada con la selección de estrategias apropiadas para la protección y la recuperación de la calidad de los recursos hídricos superficiales y subterráneos y la asignación del destino de los mismos. Estos niveles guía son establecidos a nivel nacional, esto es, para ser aplicados en todos los cuerpos de agua dulceacuícolas del país, dependiendo del uso propuesto para el recurso (protección de la vida acuática, recreación, agua de bebida), independientemente de las características particulares de cada uno de ellos. Discutiremos más adelante los niveles guía mencionados.

Existen otros organismos nacionales con injerencia en la gestión del agua. El Ministerio del Interior representa al Gobierno Nacional en los órganos de gobierno de algunos organismos de cuencas interjurisdiccionales e interviene en la búsqueda de soluciones en los conflictos de gestión de recursos hídricos interprovinciales. El Ministerio de Relaciones Exteriores, Comercio Internacional y Culto interviene en los asuntos que involucran recursos hídricos compartidos con los países limítrofes. En el ámbito del Ministerio de Economía, la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos supervisa la ejecución de programas de rehabilitación de áreas de riego y recuperación de áreas inundadas o salinizadas, y la Secretaría de Energía se ocupa del aprovechamiento hidroeléctrico de cuencas hídricas.

La existencia de distintos organismos vinculados a la gestión de los recursos hídricos determina, como se ha señalado antes, la superposición de misiones y funciones (Pochat, 2005).

De acuerdo al Decreto N° 27/03, sus objetivos son, entre otros:

- ❖ La asistencia a la Secretaría de Obras Públicas en la elaboración y ejecución de la política hídrica nacional y la propuesta del marco regulatorio relativo al manejo de los recursos hídricos, vinculando y coordinando la acción de las demás jurisdicciones y organismos con injerencia en la política hídrica
- ❖ La elaboración y ejecución de programas y acciones vinculadas a la gestión de los recursos hídricos internacionales compartidos, sus cuencas, cursos de agua sucesivos y contiguos y regiones hídricas interprovinciales
- ❖ La formulación y ejecución de programas y acciones de gestión y desarrollo de infraestructura
- ❖ La ejecución de la política nacional de prestación de los servicios públicos y de abastecimiento de agua potable y saneamiento básico
- ❖ La coordinación de las actividades inherentes al Comité Ejecutor del Plan de Gestión Ambiental y de Manejo de la Cuenca Hídrica Matanza-Riachuelo; y
- ❖ El ejercicio del contralor del accionar del Comité Interjurisdiccional del Río Colorado (COIRCO), la Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro (AIC) y la Comisión Regional del Río Bermejo (COREBE).

A nivel provincial, la distribución de responsabilidades institucionales es también compleja y varía de una provincia a otra. La Provincia de Buenos Aires, por ejemplo, ha centralizado la coordinación de la problemática ambiental en el Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible (OPDS), pero existen otras instituciones con responsabilidades ambientales que operan simultáneamente, como la Secretaría de Salud Pública de la Provincia de Buenos Aires, con competencia en saneamiento del medio. Cada una de las 23 provincias que conforman la República Argentina ha centralizado en una única autoridad provincial, con distinta jerarquía, la aplicación de las reglamentaciones vigentes y la coordinación de las políticas ambientales provinciales. Así, en algunas provincias, la autoridad de aplicación de las regulaciones ambientales es un ministerio, una secretaría, una subsecretaría, un instituto o una dirección general.

En lo que respecta a la legislación ambiental, la estructura federal del país ha determinado el desarrollo de una normativa diversa y compleja, sobre todo en los aspectos relacionados con las competencias y jurisdicciones. Los organismos de aplicación nacionales y provinciales han competido entre ellos por los recursos económicos requeridos y las responsabilidades. No se han generado mecanismos formales que faciliten y aseguren la coordinación eficiente de las competencias interjurisdiccionales (Iglesias y Martínez, 2008).

La Ley 25.765/02 de Política Ambiental Nacional, conocida como Ley General del Ambiente, establece, en su Artículo 1, “los presupuestos mínimos para el logro de una gestión sustentable y adecuada del ambiente, la preservación y protección de la diversidad biológica y la implementación del desarrollo sustentable”.

En su Artículo 3, establece que la Norma “regirá en todo el territorio de la Nación, sus disposiciones son de orden público, operativas y se utilizarán para la interpretación y aplicación de la legislación específica sobre la materia, la cual mantendrá su vigencia en cuanto no se oponga a los principios y disposiciones contenidas en ésta”.

Los objetivos de la Política Ambiental Nacional, según lo establecido en su Artículo 2, son:

- a)** Asegurar la preservación, conservación, recuperación y mejoramiento de la calidad de los recursos ambientales, tanto naturales como culturales, en la realización de las diferentes actividades antrópicas
- b)** Promover el mejoramiento de la calidad de vida de las generaciones presentes y futuras, en forma prioritaria
- c)** Fomentar la participación social en los procesos de toma de decisión
- d)** Promover el uso racional y sustentable de los recursos naturales
- e)** Mantener el equilibrio y dinámica de los sistemas ecológicos
- f)** Asegurar la conservación de la diversidad biológica
- g)** Prevenir los efectos nocivos o peligrosos que las actividades antrópicas generan sobre el ambiente para posibilitar la sustentabilidad ecológica, económica y social del desarrollo
- h)** Promover cambios en los valores y conductas sociales que posibiliten el desarrollo sustentable, a través de una educación ambiental, tanto en el sistema formal como en el no formal
- i)** Organizar e integrar la información ambiental y asegurar el libre acceso de la población a la misma
- j)** Establecer un sistema federal de coordinación interjurisdiccional, para la implementación de políticas ambientales de escala nacional y regional
- k)** Establecer procedimientos y mecanismos adecuados para la minimización de riesgos ambientales, para la prevención y mitigación de emergencias ambientales y para la recomposición de los daños causados por la contaminación ambiental”.

Dada la organización federal ya mencionada, esta Normativa establece, en su Artículo 9, la necesidad de “...la coordinación interjurisdiccional entre los municipios y las provincias, y de éstas y la ciudad de Buenos Aires con la Nación, a través del Consejo Federal de Medio Ambiente (COFEMA); el mismo deberá considerar la concertación de intereses de los distintos sectores de la sociedad entre sí, y de éstos con la administración pública”.

En consecuencia, el COFEMA, organismo creado en 1990 y que reúne a las autoridades ambientales de los estados provinciales, del estado nacional y de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, es el ente a cargo de asegurar la coordinación de la ejecución y cumplimiento de la política ambiental y su reglamentación.

En lo que respecta a la gestión ambiental de los recursos hídricos, la Ley 25.688/02 del Régimen de Gestión Ambiental de Aguas establece los presupuestos mínimos ambientales, para la preservación de las aguas, su aprovechamiento y uso racional. En su Artículo 4, crea los comités de cuencas hídricas, para las cuencas interjurisdiccionales, *“con la misión de asesorar a la autoridad competente en materia de recursos hídricos y colaborar en la gestión ambientalmente sustentable de las cuencas hídricas. La competencia geográfica de cada comité de cuenca hídrica podrá emplear categorías menores o mayores de la cuenca, agrupando o subdividiendo las mismas en unidades ambientalmente coherentes a efectos de una mejor distribución geográfica de los organismos y de sus responsabilidades respectivas”*.

Esta Normativa aún no ha sido reglamentada y el Plan Nacional para la preservación, aprovechamiento y uso nacional de las aguas aún no ha sido elaborado ni discutido en el ámbito del Congreso de la Nación. Por otra parte, la Ley 25.688/02 ha sido objeto de numerosas críticas y presentaciones judiciales impulsando la declaración de su inconstitucionalidad, ya que autoridades hídricas provinciales consideran que avanza sobre competencias provinciales no delegadas a la Nación en materia de cuencas y de organización de Comités de Cuencas, gestión de los recursos naturales, el desarrollo de instituciones locales y planificación, uso y gestión del agua (Petri, Rohrmann y Pilar, 2005; Pochat, 2005). La Comisión de Ambiente y Desarrollo Sustentable del Senado de la Nación se encuentra considerando una eventual modificación de esta Ley.

La provincia de Mendoza fue la primera en sancionar una ley de aguas, en 1884, la cual creó el Departamento General de Aguas, en la actualidad Departamento General de Irrigación (DGI), con poder de policía de aguas. Sin embargo, la mayoría de las provincias, hasta mediados del siglo pasado, carecía de leyes específicas para el agua y la protección de los ecosistemas acuáticos.

En la década de 1970, las provincias de Córdoba y Santiago del Estero aprobaron códigos de aguas más evolucionados. Finalmente, en la última década del siglo XX, varias provincias promulgaron leyes más completas, en las que se considera al agua como un recurso natural integrante del ambiente. Estas normas recogen conceptos tales como la política y planificación hídrica, emergencias hídricas, áreas de riesgo hídrico, impacto ambiental, concesiones empresarias de obras y servicios relacionados

En el Artículo 8, la ley establece que “los instrumentos de la política y la gestión ambiental serán los siguientes:

1. El ordenamiento ambiental del territorio
2. La evaluación de impacto ambiental
3. El sistema de control sobre el desarrollo de las actividades antrópicas
4. La educación ambiental
5. El sistema de diagnóstico e información ambiental.
6. El régimen económico de promoción del desarrollo sustentable.”

En su Artículo 7°, establece que la autoridad nacional de aplicación deberá:

- a) Determinar los límites máximos de contaminación aceptables para las aguas de acuerdo a los distintos usos
- b) Definir las directrices para la recarga y protección de los acuíferos
- c) Fijar los parámetros y estándares ambientales de calidad de las aguas
- d) Elaborar y actualizar el Plan Nacional para la preservación, aprovechamiento y uso racional de las aguas, que deberá, como sus actualizaciones ser aprobado por ley del Congreso de la Nación. Dicho plan contendrá como mínimo las medidas necesarias para la coordinación de las acciones de las diferentes cuencas hídricas”.

con el agua, registro y catastro de aguas, prioridades de uso más flexibles, comités de cuencas, aguas interprovinciales, protección de cursos de agua superficial, acuíferos y cuencas hidrográficas. (Magnani, 2001, Pochat, 2005).

Parámetros de calidad de agua y niveles guía nacionales

5.5

Analizaremos los principales parámetros físico-químicos, microbiológicos y biológicos considerados como indicadores de la calidad de agua de los cuerpos de agua dulceacuícolas. En cada caso, cuando existan, se discutirán los niveles guía establecidos para los distintos usos del recurso elaborados por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación.

Al respecto, la Subsecretaría de Recursos Hídricos define al nivel guía para un parámetro específico como “... una expresión cuantitativa o narrativa emergente de un requerimiento científico inherente a un parámetro de calidad respecto a un destino específico asignado al agua ambiente”.



En consecuencia, los niveles guía establecidos se asocian estrechamente al uso del recurso agua.

Así, considera que los niveles guía de calidad de agua ambiente que veremos se han establecido con el objetivo de establecer pautas referenciales de calidad dirigidas a la protección de las fuentes de provisión de agua para consumo humano, de la vida acuática, de las fuentes de agua para irrigación de cultivos, de las fuentes de agua de bebida de especies de producción animal y de los cuerpos de agua utilizados para recreación humana.

De forma similar a lo discutido en el punto 5.5, los niveles guía establecidos por la Subsecretaría de Recursos Hídricos resultan ser más exigentes en el caso de estar dirigidos a la protección de la vida acuática en comparación con otros usos previstos del recurso.

En este *Capítulo* incluiremos los niveles guía de calidad de agua aplicables a los ambientes dulceacuícolas naturales de nuestro país, dirigidos a la protección de la biota acuática, establecidos por la Secretaría de Recursos Hídricos de la nación. En el caso en que estos valores guía no hayan sido aún elaborados, discutiremos aquéllos recomendados para los ambientes dulceacuícolas naturales de Canadá (Canadian Council of Ministers of the Environment, 2005) y Estados Unidos de Norteamérica (U.S.EPA, 2005).

Se establece, además, que los niveles guía nacionales de calidad de agua ambiente:

- ❖ Consideran el carácter esencial del agua para los seres vivos
- ❖ Protegen la salud y la calidad de vida de la población humana
- ❖ Protegen la supervivencia y la diversidad de la biota acuática
- ❖ Han sido elaborados a partir de información proveniente de estudios toxicológicos, ecotoxicológicos y epidemiológicos desarrollados en condiciones experimentales estandarizadas; esto es, surgen a partir de información de base científica
- ❖ Contemplan la eficiencia de la remoción de contaminantes como consecuencia de los procesos de potabilización, en el caso de las fuentes de agua para consumo humano
- ❖ Asumen que los efectos de los parámetros de calidad de agua sobre los organismos son independientes entre sí,
- ❖ No consideran los efectos aditivos, sinérgicos ni antagonicos que los componentes del agua pueden ejercer sobre los seres vivos
- ❖ No contemplan el carácter micronutriente que muchas sustancias tienen para los organismos
- ❖ Protegen a los usos del agua que están relacionados con la supervivencia, desarrollo y bienestar de los seres vivos
- ❖ Son aplicables a todos los cuerpos de agua del territorio argentino; su aplicación aun cuerpo de agua particular requiere la contrastación con las condiciones naturales específicas del mismo, adoptándose como premisa básica el principio de protección de sus condiciones cualitativas naturales.

Estos niveles guía son aplicados como:

- ❖ Instrumento de los presupuestos mínimos de protección ambiental, de acuerdo a lo establecido por la Constitución Nacional
- ❖ Herramienta para la especificación de objetivos y estándares de calidad de los recursos hídricos y para la clasificación de los cuerpos de agua, adaptando los criterios establecidos en ellos a las condiciones particulares del cuerpo de agua
- ❖ Herramienta para la evaluación de impacto ambiental de obras y acciones de aprovechamiento hídrico, para el control de la contaminación hídrica y para evaluaciones del riesgo asociado a factores físicos, químicos y biológicos de calidad del agua de cuerpos de agua naturales y de origen antropogénico; y
- ❖ Base para la cuantificación de los límites de calidad admisibles para los vertidos, de naturaleza puntual o dispersa, sobre dichos cuerpos.

El proceso de elaboración de los niveles guía nacionales de calidad de agua ambiente por parte de la Subsecretaría de Recursos Hídricos comprende las siguientes fases:

- ❖ Búsqueda, ubicación, selección, recopilación y evaluación sistemáticas de información básica y complementaria relativa a los parámetros de calidad de agua ambiente
- ❖ Identificación de parámetros prioritarios de calidad de agua ambiente
- ❖ Procesamiento e incorporación sistemáticos de información básica y complementaria en la Base de Datos para el Establecimiento de Niveles Guía Nacionales de Calidad de Agua Ambiente (Base NICAL)
- ❖ Cálculo de niveles guía nacionales para parámetros prioritarios de calidad de agua ambiente para cada destino de los cuerpos de agua siguiendo metodologías y procedimientos establecidos
- ❖ Revisión periódica de los niveles guía calculados.

A fin de facilitar su estudio, agruparemos los parámetros de calidad de agua, de acuerdo a un criterio similar al considerado por APHA – AWWA – WEF (2005), en:

- ❖ Propiedades físicas y de agregación: que incluye parámetros físicos y aquellos que son resultado de la presencia de un conjunto de constituyentes químicos.

- ❖ Constituyentes químicos inorgánicos

- No metálicos

- Metálicos

- ❖ Constituyentes orgánicos

- ❖ Parámetros biológicos, incluyendo microbiológicos.

Esta clasificación es sólo una de una de las formas posibles de agrupar los indicadores de calidad de agua y los potenciales contaminantes de los cuerpos de agua. De hecho, siempre encontraríamos la misma limitación: el número y diversidad de determinaciones a realizar

es extremadamente elevado. El intentar medir la existencia y concentración de cada uno de ellos, especialmente durante el desarrollo de monitoreos de rutina, extendidos en el tiempo, resulta una tarea compleja y altamente costosa. Por consiguiente, la tendencia habitual es seleccionar un número limitado de parámetros representativos de acuerdo a las consideraciones previamente discutidas, esto es, contaminantes potencialmente presentes en los cuerpos de agua evaluados, nivel de riesgo asociado a su presencia y concentración sobre la biota acuática, poblaciones humanas expuestas y procesos ecológicos.

Las metodologías internacionalmente recomendadas y reconocidas para la determinación de la mayoría de los parámetros utilizados como indicadores de calidad de agua se encuentran reunidas en APHA – AWWA – WEF, 2005, *Standard Methods for the examination of water and wastewater*, 21th edition, APHA – AWWA –

WEF Eds. La Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación, el Organismo para el Desarrollo Sustentable de la Provincia de Buenos Aires (OPDS) y los distintos organismos provinciales de regulación y control requieren, también, la utilización de esos mismos métodos.



Propiedades físicas y de agregación

5.5.1

Consideraremos los parámetros asociados a las propiedades físicas del agua, tales como temperatura, características organolépticas (color), y conductividad, y parámetros de agregación, tales como salinidad, pH, alcalinidad, dureza, turbidez y partículas sólidas en suspensión.

Temperatura

5.5.1.1

La temperatura del agua depende de la absorción de la radiación solar en las capas superficiales del líquido y está asociada a la energía cinética de las moléculas de agua.

Las variaciones de la temperatura afectan a casi todas las propiedades del agua, incluyendo a:

- ❖ La solubilidad de solutos y gases en el agua, incluyendo la concentración del oxígeno;
- ❖ La cinética y el equilibrio químico de las reacciones químicas y bioquímicas;
- ❖ La tensión superficial; y
- ❖ Los procesos metabólicos en la biota acuática, incluyendo a los microorganismos.

La solubilidad del oxígeno en el agua se reduce con el incremento de la temperatura. En la **TABLA 10** se indican los valores de la concentración de saturación del oxígeno en agua a distintas temperaturas del medio. Al mismo tiempo, el aumento de la temperatura del agua determina un incremento de la tasa metabólica y, en consecuencia, del requerimiento de oxígeno de la biota acuática. Luego, si la demanda de oxígeno del sistema excede la disponibilidad de oxígeno en el medio, los organismos aeróbicos, incluyendo peces e invertebrados, resultan afectados y pueden alcanzar una condición de *hipoxia*, en que el organismo se vea privado del suministro adecuado de oxígeno.

Cada una de las especies de organismos presentes en el medio acuático presenta un

	Temperatura del agua (°C)					
	5	10	15	20	25	30
Saturación de oxígeno en agua (mg/l)	12,757	11,27	10,072	9,077	8,244	7,539

Tabla 10: Saturación de oxígeno en el agua, expresada en mg/L, a distintas temperaturas del agua dulce (salinidad: 0 ‰); modificado de Andrews (2003).

rango de temperaturas óptimas para su sobrevivencia; en consecuencia, resultará afectada cuando la temperatura del medio excede el valor máximo de ese rango. Así, por ejemplo, un aumento en la temperatura del agua puede determinar elevada mortalidad en peces que requieren ambientes fríos y alta disponibilidad de oxígeno en el medio, tal como por ejemplo los salmónidos de ambientes fríos.

Algunos pocos grados de diferencia en la temperatura del agua puede indicar una situación de contaminación térmica del cuerpo de agua, afectando el ecosistema, elevando la demanda de oxígeno por aumento de la tasa metabólica de los organismos, incrementando el crecimiento de las especies algales y plantas, y disminuyendo, al mismo tiempo, la disponibilidad de oxígeno en el medio.

Así, la emisión de un efluente a elevada temperatura en un cuerpo de agua receptor natural puede afectar drásticamente la biota acuática, generando cambios dramáticos en la densidad y tipo de poblaciones de microorganismos y organismos superiores. Los efluentes industriales procedentes de la industria alimenticia, tal como cervceras y elaboradoras de conservas, papeleras, industrias químicas, textiles, y centrales termoeléctricas deben ser estrictamente controlados en relación con su temperatura de emisión.

Finalmente, la temperatura del agua es importante en el mantenimiento de los patrones climáticos locales. Como hemos visto, el agua tiene una más elevada capacidad calorífica que el aire. En consecuencia, el aumento de la temperatura de los cuerpos de agua, aunque sea en pocos grados, puede alterar los procesos de evaporación y condensación locales, modificando la temperatura del aire de la región.

La temperatura es un indicador de la calidad de agua que debe ser medido *“in situ”*, utilizando termómetros o electrodos de temperatura con un rango apropiado para las condiciones del medio. Esta medición suele ser acompañada por la determinación simultánea de la temperatura del aire, a fin de evaluar la diferencia existente entre ambas.

Dada la variabilidad estacional y regional de la temperatura en los cuerpos de agua del país, la Subsecretaría de Recursos Hídricos aún no ha elaborado niveles guía en relación con este parámetro.

En la **TABLA 11** se resumen algunos de los niveles guía reconocidos para su aplicación en Canadá por Canadian Council of Ministers of the Environment, elaborados por Government of British Columbia, Ministry of Environment, Environmental Protection Division (2001), para los distintos usos previstos del agua en ríos y arroyos.

Es necesario observar que el criterio establecido para la protección de vida acuática es más estricto que para los otros potenciales usos del recurso, como hemos comentado antes. Además, se discrimina entre los niveles guía establecidos para cursos de agua donde la riqueza ictícola y su distribución en el ecosistema es conocida de aquellos de los que no se tiene información. En el primer caso, el nivel guía establecido considera una variación de $\pm 1^{\circ}\text{C}$ respecto del rango de temperatura para cada fase del ciclo de vida de la especie ictícola más sensible presente en el ecosistema evaluado. En el segundo caso, se considera aceptable una variación horaria que no exceda $\pm 1^{\circ}\text{C}$ respecto de la temperatura máxima media semanal para el ecosistema evaluado, y considera, dado que se trata de ambientes fríos, una temperatura máxima diaria de 19°C .

Usos del agua	Nivel guía recomendado
Vida acuática dulceacuícola; ríos y arroyos con distribución ictícola conocida	No debe ser significativamente mayor, en unidades de calor, que el valor esperado ajustado estacionalmente para el ecosistema de referencia considerado.
Vida acuática dulceacuícola; ríos y arroyos con distribución ictícola no conocida	Temperatura Máxima Diaria = 19°C La tasa de variación horaria no debería exceder de $\pm 1^{\circ}\text{C}$
Agua de bebida para ganado y vida silvestre; irrigación, abastecimiento de agua para industrias	Variación de $\pm 1^{\circ}\text{C}$ respecto del valor medio estacional máximo del ambiente natural de referencia. La tasa de variación horaria no debería exceder de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.
Recreación y Estética	Temperatura máxima de 30°C , tal que las características térmicas del agua usada para baño y natación no debería causar un incremento o descenso apreciable en la temperatura interna corporal de bañistas y nadadores.

Tabla 11: Niveles Guía de Calidad de Agua para temperatura dirigidos a la protección de la biota acuática, fuente de agua de bebida y recreación (Modificado de Gouvernement of British Columbia, Canadá, Ministry of Environment, Environmental Protection Division, 2001).

En el caso de que el recurso sea utilizado para irrigación, abastecimiento de bebida para ganado y vida silvestre, y uso industrial, se considera aceptable una variación de $\pm 1^{\circ}\text{C}$ respecto de la temperatura del ambiente natural de referencia, no afectado por la actividad humana, en la región. En el caso de las actividades recreativas, se acepta una temperatura máxima de 30°C , tal que las características térmicas del agua no causen un incremento o descenso apreciable en la temperatura interna del individuo expuesto (TABLA 10 ver en pág. 99).

La Subsecretaría de Recursos Hídricos no ha elaborado niveles guías de calidad de agua ambiente para esta variable. Resulta obvio que, si se decidiera aplicar un criterio similar en nuestro país, debería ser adecuado a las condiciones climáticas de cada una de nuestras regiones geográficas.

Color

5.5.1.2

El color del agua es el resultado de la luz reflejada por el cuerpo de agua, luego de que la luz incidente ha sido absorbida por las moléculas de agua y los materiales disueltos, coloidales y en suspensión presentes en el medio.

Así, en el agua pura, la luz es altamente absorbida por las moléculas de agua en la región roja del *espectro de radiación visible* y pobremente absorbida en la región azul. La luz azul es refractada, reflejada y reemitida, causando que el color visible del agua pura tienda al azul (Canadian Council of Ministers of the Environment, 2001).

El color del agua que depende de las sustancias inorgánicas y orgánicas coloidales o disueltas en ella, tales como sales metálicas, sustancias húmicas y fúlvicas, es considerado como el *color verdadero* del agua (U.S. EPA, 1986, 2003; Hongve y Akesson, 1996, Marín Galván, 2003).

Esta coloración puede ser modificada por la presencia de colorantes y otros compuestos químicos disueltos en el agua, provenientes de fuentes antropogénicas. Los compuestos orgánicos, tales como las sustancias húmicas, pueden absorber selectivamente las longitudes de onda en la región *ultravioleta (UV)* e *infrarroja (IR)* del *espectro de radiación solar*. La presencia de sustancias húmicas puede determinar la existencia de color marrón claro u oscuro en el agua. Cuando las sustancias húmicas forman quelatos de hierro es frecuente un intenso color amarillo.

El color verdadero depende también de aquellos factores, como la temperatura y el pH, que pueden afectar la solubilidad y estabilidad de los materiales disueltos en el agua. Las aguas altamente ácidas presentan un color azul-verdoso superficial, pero sus muestras, mantenidas en botellas de vidrio transparente, resultan ser muy claras.

El color verdadero del agua es medido, usualmente, por comparación con una escala colorimétrica estandarizada, siguiendo las recomendaciones del *Método 2.120 B* (APHA – AWWA – WEF, 2005, Standard Methods for the examination of water and wastewater).

Este método comparativo, también denominado *método de Hazen*, se basa en la comparación visual de una muestra de agua natural, previamente filtrada a fin de remover las

partículas en suspensión y otros materiales, con soluciones coloreadas estandarizadas, de concentración conocida, conteniendo generalmente sales cloradas de platino y cobalto. La unidad de color, conocida como *unidad Hazen*, es definida como la debida a una solución acuosa conteniendo 1 mg/L de platino, bajo la forma de ión cloroplatinato. El color de la muestra de agua es determinado por comparación visual con la serie de soluciones coloreadas, con unidades Hazen de color conocidas.



El *color aparente* del agua depende del material suspendido en el medio, tal como restos vegetales, fito y zooplancton y sedimentos inorgánicos en suspensión (APHA – AWWA – WEF, 2005). Así, la presencia de elevadas concentraciones de fitoplancton en el medio puede determinar la presencia de distintos grados de color verde, azul-verdoso, amarillo o rojo. La presencia de un fuerte color púrpura en el agua suele deberse a la existencia de una alta densidad de *bacterias púrpuras del azufre*, organismos anaeróbicos aerotolerantes fotosintéticos.

Se denomina *zona eufótica* a la zona superior, iluminada, de los ecosistemas acuáticos, donde los organismos productores primarios pueden llevar a cabo fotosíntesis. En relación al color aparente, un relativamente pequeño incremento en la atenuación de la luz blanca que penetra en el agua, debido a la presencia de materia orgánica o partículas en suspensión, puede tener un profundo impacto en el límite inferior de la zona eufótica. Este efecto puede conducir a la reducción de la productividad primaria (Del Giorgio y Peters, 1994) y de la densidad de macrófitas sumergidas, a modificaciones en la composición de la comunidad algal y en el comportamiento de algunos invertebrados y peces en los ecosistemas dulceacuícolas (Canadian Council of Ministers of the Environment, 2001).

Tal como ocurre con el color verdadero, la transmisión de la luz blanca y, como resultado, el color aparente del agua exhiben considerable variación espacial, y estacional en los ecosistemas acuáticos. En consecuencia, es difícil especificar un valor guía universal, aplicable a todos los ecosistemas acuáticos, para esta variable.

La experiencia internacional muestra que resulta más efectiva la comparación con el color aparente esperado, ajustado estacionalmente, para el ecosistema en consideración. En caso de observar un descenso significativo en la transmisión de la luz visible en comparación con las condiciones naturales en los sistemas acuáticos cercanos, se debería evaluar la incidencia de actividades antropogénicas en el área, tales como construcción de rutas, deforestación, etc., potencialmente causantes de esa situación. El nivel guía para el color aparente, en consecuencia, es tal que el porcentaje de transmisión de la luz blanca por metro no debería ser significativamente menor que el valor esperado (Canadian Council of Ministers of the Environment, 2001).

El color aparente del agua es estimado generalmente por la capacidad del agua de transmitir la luz, medida mediante métodos recomendados para la determinación de la turbidez del agua de los que hablaremos más adelante.

La Subsecretaría de Recursos Hídricos no ha elaborado aún niveles guías de calidad de agua ambiente para esta variable.

Color		Nivel guía para la protección de la vida acuática dulceacuícola, estuarial y marina
Canadian Council of Ministers of the Environment	Verdadero	No debe ser significativamente mayor, en unidades de color, que el valor esperado ajustado estacionalmente para el ecosistema de referencia considerado.
	Aparente	La transmisión media de la luz blanca por metro no deberá ser menor que el valor esperado, ajustado estacionalmente, para el ecosistema de referencia considerado.
U.S. EPA	Aparente	El incremento del color, en combinación con la turbidez, no debería reducir la profundidad del límite inferior de la zona eufótica en más del 10% respecto del valor medio establecido estacionalmente en el ecosistema considerado.

Tabla 12: Niveles Guía de Calidad de Agua para temperatura dirigidos a la protección de la biota acuática, fuente de agua de bebida y recreación (Modificado de Government of British Columbia, Canadá, Ministry of Environment, Environmental Protection Division, 2001).

En la **TABLA 12** se resumen los niveles guía de calidad de agua para la protección de la vida acuática recomendados por Canadian Council of Ministers of the Environment (2001) y U.S. EPA (1986, 2006a), actualmente vigentes en ambos países.

Conductividad

5.5.1.3

La conductividad eléctrica es una medida de la capacidad de una solución acuosa para conducir la corriente eléctrica y está relacionada con la concentración de iones en la solución, tales como los aniones cloruro, nitrato, sulfato y fosfato, y los cationes sodio, magnesio, calcio, hierro y aluminio. En consecuencia, esta variable depende directamente de la concentración de sales inorgánicas disueltas en el agua y constituye un estimador de la salinidad del medio.

Es necesario tener en cuenta que si bien la conductividad se relaciona con el número de iones presentes en el medio, no da indicación respecto de cuáles son ellos.

El agua pura presenta una conductividad muy baja ($0,055 \mu\text{S}/\text{cm}$), aunque nunca alcanza un valor de 0. Valores de conductividad superiores a las del agua pura indican la presencia de una mayor concentración de iones presentes.

Los compuestos orgánicos, tales como aceites, fenoles, alcoholes e hidratos de carbono

Los factores que determinan el grado en el cual el agua puede conducir una corriente eléctrica incluyen:

- ❖ La concentración de iones
- ❖ La movilidad de los iones presentes
- ❖ El estado de oxidación (valencia) de los iones, y
- ❖ La temperatura del agua; así, a medida que aumenta la temperatura, se incrementa la conductividad. Por esta razón, esta variable es medida a una temperatura ambiental determinada (usualmente, 25°C).

no son buenos conductores de la electricidad y, en consecuencia, tienen una baja conductividad en agua.

La conductividad en arroyos y ríos es afectada por la geología de la cuenca. Así, cuando existe un lecho de roca granítica, compuesta por materiales inertes que no se ionizan al ser lavados por el agua, se observa una baja conductividad en el medio. Por otra parte, los ríos que presentan un lecho de arcilla presentan una conductividad más elevada debido a la presencia de materiales que se ionizan cuando son lavados por el agua.

Los efluentes y residuos de origen domiciliario e industrial, emitidos en cuerpos de agua naturales, pueden generar variaciones en la conductividad del medio, dependiendo de sus componentes. Así, el vertido de efluentes domiciliarios no adecuadamente tratados, con elevada concentración de cloruros, fosfatos y nitratos, podría aumentar la conductividad del cuerpo de agua; un derrame de petróleo podría disminuirla.

Cada ecosistema acuático particular presenta un rango de conductividad relativamente constante, de manera que, una vez establecido, la información puede ser utilizada como una línea de base para determinar la existencia de variaciones significativas en los valores observados en un muestreo particular. Si esas variaciones significativas se verifican, pueden ser consideradas como una indicación de la existencia de una fuente de contaminación que afecta al cuerpo de agua.

Los efectos indirectos del exceso de iones disueltos en el agua determinan la reducción de la biodiversidad de la flora ribereña y de las macrófitas sumergidas, lo que se asocia a la modificación o eliminación de hábitat disponibles para otros organismos.

En relación con los potenciales usos del recurso, los valores de baja conductividad aseguran su aptitud para su utilización en irrigación y abastecimiento de bebida para el ganado. El uso agrícola – ganadero del recurso está limitado por la excesiva concentración de sólidos disueltos en el agua. Una elevada conductividad en el agua implica una menor disponibilidad del recurso para las plantas, que sólo pueden utilizar agua pura para sus procesos metabólicos, aún cuando el suelo esté humedecido.

La unidad básica de medición de la conductividad es el micromhos/cm ($\mu\text{mho/cm}$) o microSiemens/cm ($1 \mu\text{S/cm}$), tal que:

$$1 \mu\text{S/cm} = 1 \mu\text{mho/cm}$$

5.1.

La conductividad del agua es medida mediante detectores especiales unidos a un medidor, denominado **conductímetro**, siguiendo las recomendaciones del **Método 2.510B** (APHA – AWWWA – WEF, 2005, Standard Methods for the examination of water and wastewater). Cuando se aplica un voltaje eléctrico entre dos electrodos contenidos en el detector inmerso en el agua a ser evaluada, el descenso en el voltaje causado por la resistencia del líquido para conducir la electricidad es utilizado para calcular la conductividad por centímetro. El equipo de medición convierte la información generada en el detector a microSiemens por centímetro o micromhos por centímetro, ajustando el resultado a una temperatura de 25°C. Algunos conductímetros pueden ser utilizados, además, para medir la concentración de sólidos disueltos y la salinidad del agua.

El agua destilada presenta una conductividad en el rango de 0,5 a 3,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Los estudios en cuerpos de agua naturales dulceacuícolas que mantienen una fauna ictícola abundante presentan un rango de conductividad entre 150 y 1.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Los valores de conductividad que se encuentren fuera de ese rango podrían indicar que la calidad de agua no es adecuada para algunas especies de peces y macroinvertebrados (Margalef, 1998). Los efluentes de origen industrial pueden alcanzar valores de conductividad superiores a 10.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Esta variable es usualmente determinada *in situ*, utilizando un conductímetro de campo, para evitar alteraciones en la muestra de agua al ser trasladada al laboratorio que pudieran modificar el resultado.

En relación con la calidad de agua para su uso en irrigación y abastecimiento de agua de bebida para ganado, se considera como nivel guía recomendado un valor de conductividad no superior a 2.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. (U.S. EPA, 1986, 2006a, Canadian Council of Ministers of the Environment, 2001).

La Subsecretaría de Recursos Hídricos no ha elaborado aún niveles guías de calidad de agua ambiente para esta variable. U.S. EPA (2006a) y Canadian Council of Ministers of the Environment (2001) no han incluido la conductividad entre los niveles guía para la protección de la vida acuática; el criterio recomendado es la determinación de variaciones significativas en los valores observados en un muestreo particular respecto del rango promedio de esta variable en el ecosistema evaluado.

Salinidad

5.5.1.4

La salinidad es una medida de la cantidad de sales disueltas en una solución acuosa y su determinación permite estimar la concentración de sólidos disueltos en el medio.

Esta variable es un importante factor limitante en la distribución de los organismos acuáticos. Dependiendo de la tolerancia que manifiestan a variaciones de la salinidad en el medio, se distinguen dos grupos de organismos:

- ❖ ***Estenohalinos***, organismos que no son capaces de soportar fluctuaciones en la salinidad del medio y, en consecuencia, se encuentran limitados a las aguas marinas o a los hábitat dulceacuícolas; incluyen la mayoría de las especies exclusivamente marinas o dulceacuícolas, y

- ❖ ***Eurihalinos***, organismos que pueden habitar ambientes con salinidad variable, tales como la lisa (*Mugil* sp.), la raya (*Raja platana*), que ingresa desde el océano hasta el Río de la Plata, y una especie de anchoa (*Lycengraulis simulator*), que alcanza el estuario del río de la Plata y el Paraná (Ringuelet, 1956, 1961; Fuster de Plaza, 1962).

La salinidad del agua puede incrementarse como consecuencia de la actividad antropogénica. Así, los efluentes de origen domiciliario suelen presentar una elevada concentración de cloruro de sodio, como resultado del uso de sustancias ablandadoras del agua, con el objeto de reducir su dureza por disminución de la concentración de sales de calcio y magnesio presentes. La escorrentía proveniente de los residuos de la actividad minera, dispuestos de forma inadecuada en el suelo, suelen contener una muy elevada concentración de sales minerales que alcanzan los cuerpos de agua naturales. En consecuencia,