

Manejo y control de cianobacterias en lagos, reservorios y ríos. Alertas

Darío Andrinolo y Marcia Ruiz

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA, INSTITUTO NACIONAL DEL AGUA - CIRSA

Resumen

El propósito de este capítulo es ayudar a quienes tengan la responsabilidad de valorar o manejar los riesgos en la salud humana vinculados a la presencia de cianobacterias tóxicas o potencialmente tóxicas en el ambiente. Es pensado como una guía general para la gestión de riesgos, ya sea durante algún acontecimiento, a causa de la sospecha de un peligro potencial o como práctica recomendable para el control de cuerpos de agua destinados al uso humano.

El control de los peligros que implican a la salud humana las floraciones cianobacterianas, forman parte de un panorama más amplio de la calidad de agua que involucra la gestión del recurso hídrico, la protección ambiental y la formulación de políticas generales de desarrollo sustentable.

La implementación de programas de monitoreo y el manejo de los riesgos deberá pensarse en función de las características del cuerpo de agua, de su uso, y en función de quién o quiénes son los interesados en llevarlos a cabo y quiénes son las autoridades políticas con jurisdicción sobre el mismo.

En nuestro país, el control de los recursos hídricos se encuentra distribuido y disperso en distintas dependencias del estado nacional, provincial y municipal; así como también bajo el dominio de instituciones binacionales o concesionado a empresas privadas (ej: plantas potabilizadoras), en donde todas poseen distintas injerencias sobre el recurso hídrico.

En este contexto, los actores involucrados con el control y el manejo del fenómeno cianobacteriano y sus consecuencias sobre la salud deberán crear para cada caso las vinculaciones pertinentes y eficaces que puedan dar una respuesta efectiva a la existencia de esta problemática.

Una vez que las asociaciones, las agencias y los grupos que pueden involucrarse alrededor del tema son identificados, entonces las herramientas que da el conocimiento deben ser revisadas y estudiadas para cada caso en particular.

Palabras clave: Cianobacteria, control y manejo del riesgo.

1. Qué hacer y con quiénes

Solo a modo de ejemplo, podemos graficar una situación donde el objetivo sea controlar floraciones de cianobacterias en una playa de un embalse donde la comunidad realiza actividades de recreación en la temporada estival. En este caso, el manejo del riesgo puede consistir solo en la observación directa por parte de los guardavidas.

Otra situación más compleja es el manejo del riesgo de una cuenca compartida entre varias provincias o naciones, donde sus autoridades se planteen asegurar la calidad del recurso hídrico que se utiliza para abastecer a la población de agua potable, asegurar recursos ictícolas, etc.

En la primera situación, la simple observación diaria del embalse es el monitoreo y el manejo del riesgo lo constituye la advertencia del peligro o la prohibición del baño. Ambas actividades las puede realizar incluso la misma persona.

En la segunda situación, se necesitarán desarrollar técnicas de muestreo y análisis, expresión correcta (y consensuada) de los resultados, una red coordinada de alerta y respuestas, donde se involucra a muchas instituciones y personas.

Aunque disímiles y con complejidades diferentes, ambas acciones se basan en conceptos generales como ser: conocer la biología de las cianobacterias y poseer las herramientas necesarias para prevenir la exposición a las algas y sus toxinas que es, en definitiva el control y manejo de las floraciones. Comprender el fenómeno cianobacteriano dentro del contexto dentro del cual se enmarca y desarrolla resulta necesario para los responsables del control y estimación del riesgo así como para los encargados del desarrollo de acciones concretas a nivel de salud y posible manejo de las floraciones y de los ambientes donde se desarrollan los florecimientos, ya sea a corto y largo plazo.

2. Gestión del recurso hídrico y manejo del riesgo

Se considera a los florecimientos cianobacterianos como indicadores de estrés ambiental (1). El incremento de los florecimientos en la última década y los problemas asociados con las cianobacterias se asocian a desequilibrios ambientales que afectan los ecosistemas acuáticos. Este incremento se asocia a cambios climáticos (intensidad de fenómenos como el de la niña, el calentamiento global, etc.), fenómenos regionales como el sobre-embalsamiento de los ríos, las prácticas agrícolas que causan incremento de nutrientes en los cuerpos de agua debido a la sobre-fertilización y al lavado de los fertilizantes por lluvias y a fuentes puntuales de aguas residuales domiciliarias sin el debido tratamiento (2). Esto genera como consecuencia el fenómeno conocido como Eutrofización el cual se describe en detalle en el capítulo 5 del presente manual.

En aguas eutróficas e hipereutróficas (aguas enriquecidas), las cianobacterias a menudo dominan el fitoplancton intermitentemente o continuamente desde la primavera hasta el otoño. En algunas regiones se pueden apreciar florecimientos aun en invierno. Si las cianobacterias están presentes y resultan dominantes traen como consecuencia amenazas potenciales para la salud debido, fundamentalmente, a la producción de toxinas. Una alta biomasa de cianobacterias también puede contribuir a problemas estéticos, poniendo en peligro el uso recreativo (debido a la presencia de espumas en la superficie y olores desagradables), afectando el sabor del agua potable tratada y su carácter de potable debido a que las toxinas pueden sortear los sistemas de potabilización y llegar al agua de red.

Debido a esta problemática, la gestión de los recursos hídricos es una componente integral de la gestión preventiva de la calidad del agua de consumo. La prevención de la contaminación microbiana y química del agua de origen es la primera barrera contra la contaminación del agua de consumo que supone un peligro para la salud pública.

Cuando se observan desarrollos masivos de cianobacterias en los cuerpos de agua, es necesario evaluar el riesgo e implementar un plan de gestión que involucre medidas de mitigación, monitoreos periódicos, planes de acción y contingencia, así como información y participación de los distintos sectores involucrados en el uso del recurso hídrico (3) denominado *Manejo del Riesgo* (Ver recuadro 1).

El *primer objetivo* es caracterizar el peligro, ambiental y/o para la salud, que representan las cianobacterias y sus toxinas en el cuerpo de agua en estudio, para lo cual se debe estudiar la naturaleza e intensidad de los florecimientos algales, la identidad y concentración de las toxinas, su variabilidad temporal y la permanencia

CIANOBACTERIAS COMO DETERMINANTES AMBIENTALES DE LA SALUD

de las mismas en los distintos compartimentos del ambiente como ser toxinas libres, adsorbidas en sustratos o bioacumuladas en peces y otros organismos (4).

Lo anterior conduce a evaluar el riesgo que representa la presencia de las cianobacterias y las toxinas producidas en concentraciones naturales sobre la salud de las personas expuestas. Para ello, se deben analizar las vías de exposición y los posibles efectos agudos y crónicos, siendo este tipo de patologías más difícil de demostrar que los casos agudos. Cuando se pueda, es importante hacer un estudio epidemiológico y realizar un seguimiento a las personas expuestas con el fin de evaluar los efectos a largo plazo (5).

El monitoreo de cianobacterias en los cuerpos de agua es una acción complementaria imprescindible para caracterizar el peligro. Conocer la dinámica poblacional, las especies potencialmente tóxicas y las toxinas que se expresan en el sistema permitirá conocer el peligro y en algunos casos predecir la aparición de florecimientos (6).

El *segundo objetivo* es la *evaluación* y el *manejo de riesgo*. Para la evaluación del riesgo es necesario establecer las vías y la intensidad de la exposición. Esto requiere la integración de datos de calidad del medio ambiente con una estimación de la tasa de contacto humano con los medios contaminados. Este aspecto de la evaluación del riesgo debe basarse en datos locales, ya que permite una evaluación de las condiciones particulares y las prácticas culturales locales que afectan el potencial de riesgo. Los datos locales sobre los patrones de consumo de alimentos, los patrones de actividad al aire libre, los tipos de vivienda, la prevalencia de condiciones de salud, etc. pueden ser importantes para el proceso de evaluación. Estos datos se pueden obtener del departamento de salud local y los ministerios de servicios sociales, los ministerios o secretarías del medio ambiente (responsables primarios del monitoreo imprescindible del fenómeno cianobacteriano), organizaciones no gubernamentales, o de investigaciones sociológicas realizadas como parte del análisis.



Fig. 1. La foto grafica un evento de exposición directa de personas a un intenso florecimiento de *Microcystis aeruginosa* en la Isla Santiago en la entrada del puerto La Plata en la margen sur del Río de La Plata.

En el caso de la figura, las vías de exposición al florecimiento y las toxinas son por contacto directo, por ingesta de alimentos tomados del río, quizás por ingesta de agua de red y por vía respiratoria debido a los aerosoles formados por las olas y el viento o por la aspiración de partículas de cianobacterias secas. Esta situación es agravada por la larga duración de los florecimientos, en el verano 2005-2006 (7).

Los organismos de salud y de ambiente deben tener a disposición una serie de datos derivados del monitoreo permanente preventivo de los cuerpos de agua, y así realizar una evaluación del riesgo. Ello implica capacitación y recursos destinados a la detección de las cianobacterias y sus toxinas. La falta de monitoreo e información sobre este fenómeno lleva al personal de salud, sobre todo los de APS (Atención Primaria de Salud) que subestimen el riesgo potencial y no tengan herramientas que vinculen posibles síntomas con su causa. En el ámbito de salud a su vez existe un amplio desconocimiento de las enfermedades transmitidas por el ambiente y entre ellas la toxicosis cianobacteriana. Esto incide en la ausencia de detección. Debe prestarse especial atención a los indicios de afecciones de diverso orden, ya sea desde simple enrojecimiento de la piel, hasta casos agudos graves que han ocurrido durante los últimos años, desde que los florecimientos se evidencian y están en permanente contacto con las personas. Caruarú nos da una idea cierta de su potencial gravedad (8).



Fig. 2. Expresión en una revista de temas generales de la tragedia de Caruarú.

En nuestro país la toxina más estudiada es la Microcystina, sin embargo, no necesariamente implica que sea monitoreada regularmente en los principales cuerpos de agua. De las otras toxinas conocidas anatoxina, cylindrospermopsina y saxitoxinas sólo existen registros puntuales. Pocos laboratorios en el país tienen capacidad técnica y la infraestructura necesaria para la detección y cuantificación de alguna de las toxinas mencionadas.

Es necesario constituir una red de laboratorios que realicen investigación y desarrollo en torno a la temática y transfieran habilidades-acciones hacia aquellos organismos fundamentalmente estatales o de incumbencia colectiva como las plantas de tratamiento de agua potable (9).

Esta red nacional de referencia en cianotoxinas debería aportar al sistema de evaluación y manejo del riesgo las siguientes herramientas:

1. Identificar nuevas toxinas.
2. Desarrollar métodos de detección y cuantificación.
3. Distribuir estándares analíticos.
4. Capacitar en taxonomía de cianobacterias.
5. Capacitación de Recursos Humanos en todas las áreas.
6. Desarrollos tecnológicos para el manejo y control de los Florecimientos Algales Nocivos (FAN) y sus impactos.

Recuadro 1. Se debe diferenciar el Peligro del Riesgo

El **Peligro** es una propiedad de una sustancia química, física o biológica que presenta el potencial de producir daño en salud si está presente en el ambiente y entra en contacto con las personas.

El **Riesgo** se define como la probabilidad de efectos adversos en la población dada la exposición a un peligro.

El grado del riesgo puede ser determinado de dos formas:

- Medido directamente de la observación de patrones de incidencia de enfermedades pasadas o presentes en la población humana.
- Calculado indirectamente, por estimación del nivel teórico de la exposición humana y de la severidad de los efectos tal cual lo precedido por estudios experimentales.

Los riesgos sobre la salud derivados de la exposición a bajos niveles de peligros ambientales están comúnmente determinados por el método indirecto, debido a la no evidencia suficientemente consistente y confiable de efectos sobre la salud que sean medibles en poblaciones humanas expuestas a bajas concentraciones de agentes ambientales peligrosos.

2.1. Valoración de la fuente de agua

El monitoreo de cuerpos de agua (río, lago, embalse, etc.) y de sistemas de suministro (salida de la planta de tratamiento de agua potable), realizado con el fin de detectar cianobacterias y cianotoxinas, no es una práctica común en la mayoría de los países del mundo (10, 11, 12).

Es importante la inspección visual de la fuente de agua, la cual reconoce 3 situaciones:

- Ausencia de floraciones.
- Presencia de colonias dispersas.
- Presencia de acumulaciones. ESPUMA CIANOBACTERIANA.

Los cambios en la coloración constituyen un indicador de la presencia de algas, así como lo son la formación de espumas, natas, presencia de animales muertos y detección de olores extraños.



Fig. 3: *Floración de cianobacterias en el Embalse San Roque. Fuente de agua para la ciudad de Córdoba- Argentina.*

Cuando se realiza esta inspección previa, y se solicita un monitoreo de la fuente se debe analizar lo siguiente:

- *Distribución horizontal:* observar la superficie del lugar, perímetro, accidentes costeros, etc.
- *Distribución vertical:* Profundidad del sistema (profundo o somero), estratificación o mezcla, actividades que alteren la estructura vertical, la acción del viento.
- *Repetibilidad de la observación:* considerar que el registro se debe repetir con frecuencia y regularidad al seleccionar el sitio de observación.

A nivel de su uso recreativo una valoración del peligro potencial es complicada debido a los numerosos sitios en los cuales las personas pueden entrar en contacto con el agua y por la distribución heterogénea y rápidamente cambiante de las floraciones. Un monitoreo de todos los cuerpos de agua de uso recreativo es poco probable de ser realizado, por ello, para valorar el riesgo es necesario optar por enfoques tales como monitoreo visual incluyendo la participación de los responsables de los sitios de baño y del público en general. En este sentido la educación cumple un rol fundamental.

2.2. Programas y protocolos de inspección

Para evaluar los riesgos existentes es necesario la inspección de un sitio y considerar posibles sitios que se pueden ir adicionando, esto debe llevarse a cabo de forma regular a fin de promover medidas correctivas si fuera necesario.

El *protocolo de inspección* de un área recreativa, en términos de riesgos es el siguiente:

1. Determinar qué se va a inspeccionar y con qué frecuencia.

2. Establecer un patrón regular de inspección de las condiciones y controles.
3. Desarrollar una serie de listas de control adecuadas para una fácil aplicación. Las listas deberían reflejar estándares de normas locales y nacionales, cuando las mismas existiesen.
4. Establecer un método para la presentación de informes cuando haya algún equipo de campo defectuoso y hacer un seguimiento de los problemas.
5. El desarrollo de un sistema de información que permita un fácil acceso a las estadísticas sobre "cuándo", "dónde", "por qué" y "cómo", preguntas que necesitan respuestas.
6. Motivar e informar a los participantes del proceso de inspección a través de servicios de entrenamiento.
7. Usar expertos externos para revisar críticamente el alcance, la idoneidad y los métodos usados en el programa de inspección.

La frecuencia de la inspección puede variar según el tamaño de la superficie de las aguas recreativas, el número de características, el uso, la velocidad del cambio de los peligros encontrados y las acciones de remediación en el lugar o en un lugar específico, y el alcance de los incidentes pasados o daños.

Una forma de centralizar la información y tener controlado un gran embalse, lago o río es utilizar un equipo sencillo que permita determinar clorofila "*in situ*" (nos da una idea de la biomasa algal) y luego el envío de los datos a una central que recopile la información.

Las frecuencias en que deben realizar las inspecciones deberían tener en cuenta los períodos de máxima utilización (por ejemplo, la inspección en el momento de tomar medidas correctivas antes de los períodos de mayor uso) y los períodos de mayor riesgo. Los criterios para las inspecciones y las investigaciones pueden variar de país en país.

En algunos países, puede haber requisitos legales y/o normas establecidas por organizaciones de tipo voluntario (12).

2.3. Manejo de la información

En las zonas afectadas, es conveniente establecer con anticipación quiénes deben estar informados sobre los eventos relacionados con cianobacterias. En principio los actores fundamentales deben ser los encargados del manejo del riesgo, directores de plantas potabilizadoras, autoridades de salud, directores de hospitales y clínicas, centros de diálisis y médicos en general.

Estas vías de información deben ser de ida y vuelta, ya que la centralización de los efectos sobre la salud o calidad del agua que se hayan detectado son un valioso insumo para la caracterización del peligro.

Además de la información contingente, se debe informar y capacitar al personal de salud sobre el diagnóstico y tratamiento de las intoxicaciones, promoviendo la vigilancia de los grupos de personas que podrían estar en riesgo y los procedimientos para la presentación de informes para las autoridades de salud pública.

La información de salud también debe ser puesta a disposición del público en general y para los usuarios de aguas recreativas en particular. La misma puede ser difundida a través de diversos medios, incluidas las escuelas, los avisos en el sitio (cuerpo de agua), los medios de comunicación y folletos específicos.

Estos deben contener información sobre las floraciones de algas y las algas tóxicas, los posibles efectos sanitarios, los procedimientos de información para cualquier problema de salud posiblemente vinculado con la recreación y medidas de protección recomendadas.

Como medida de precaución se recomienda lo siguiente, que debería ser incluido en la información pública:

- Evitar las áreas con concentraciones de algas visibles y/o espumas de algas en el agua como en la orilla.
- Tener en cuenta que el contacto de tipo directo y la ingesta por vía oral de cantidades apreciables de agua, se asocian a un elevado riesgo en salud.
- En la playa, hay que evitar sentarse a sotavento de cualquier material de secado de algas en la orilla, que podrían constituir un aerosol y ser inhalados.
- Si se realiza la práctica de algún deporte como es vela, windsurf o se va a realizar cualquier otra actividad que pueda suponer inmersión en el agua en la presencia de floraciones algales, se recomienda usar ropa que sea ajustada en las aberturas. El uso de trajes de neopreno para deportes acuáticos puede resultar un mayor riesgo de erupciones, ya que el material de algas en el agua atrapadas en el interior del traje de neopreno se pondrá en contacto con la piel durante largos periodos de tiempo.
- Una vez que la persona salió del agua, se recomienda una ducha o lavarse bien hasta eliminar cualquier material de algas que pudiera quedar adherido.
- Se recomienda lavar y secar toda la ropa y el equipo después de cualquier contacto con las floraciones de algas y la espuma.
- Si los efectos de salud son posteriores al contacto con el agua y dependiendo de los tipos de exposición, se sugiere consultar con un médico. En algunos países, la información sobre floraciones de algas nocivas se distribuye rápidamente a los usuarios del sistema ya sea por teléfono, contestador automático de teléfono, fax, correo electrónico, etc.

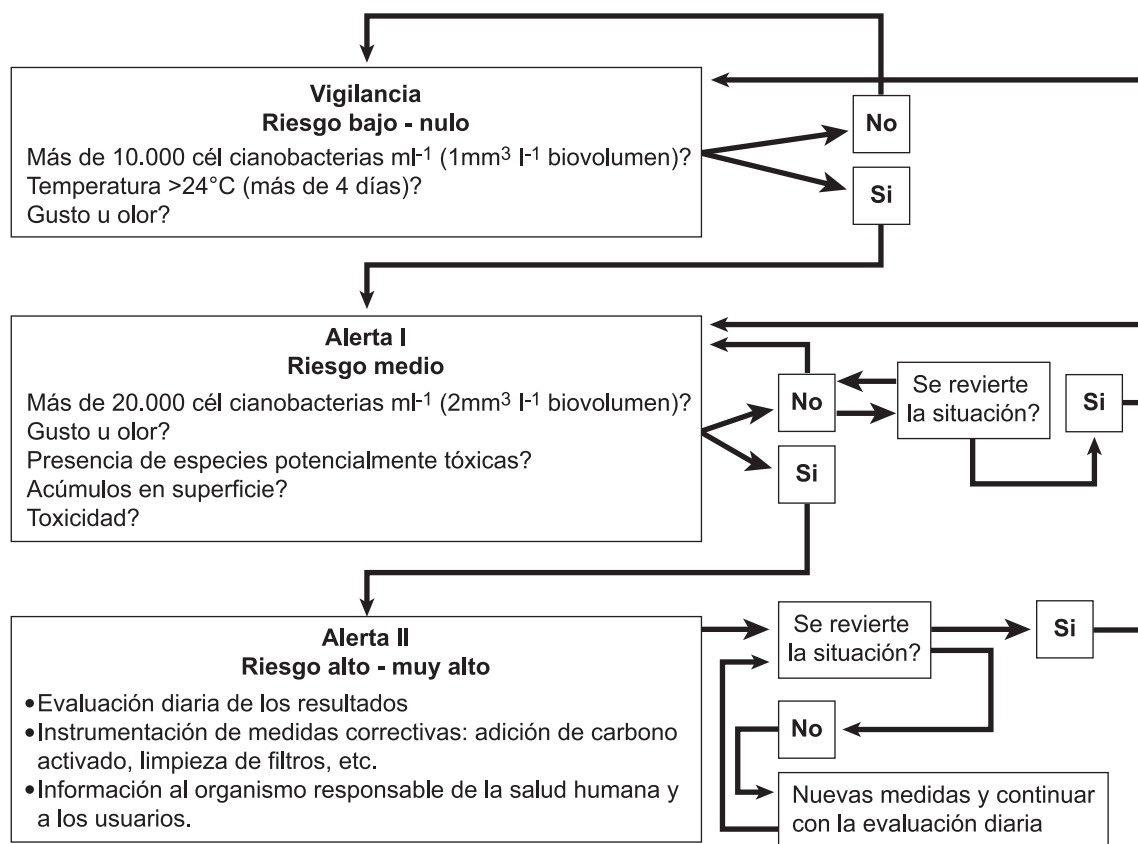
3. Alertas

Es necesario establecer puntos prioritarios que constituyen la base para generar herramientas para: la prevención, el manejo, el monitoreo y el control de las floraciones. Para ello es de fundamental importancia establecer protocolos básicos de recolección de muestras en el lugar del bloom o floración. De esta manera se evita realizar estimaciones erróneas sobre la especie cianobacteriana y su número. Es importante contar con un sistema de alerta, en el cual se acorte el tiempo entre la detección del bloom, la recolección de las muestras y su envío para el análisis. Como la duración de la floración es variable, si se realiza el muestreo a tiempo, se puede detectar el fenómeno en toda su dimensión.

A continuación se explican los árboles de decisión para agua potable y agua de tipo recreativa.

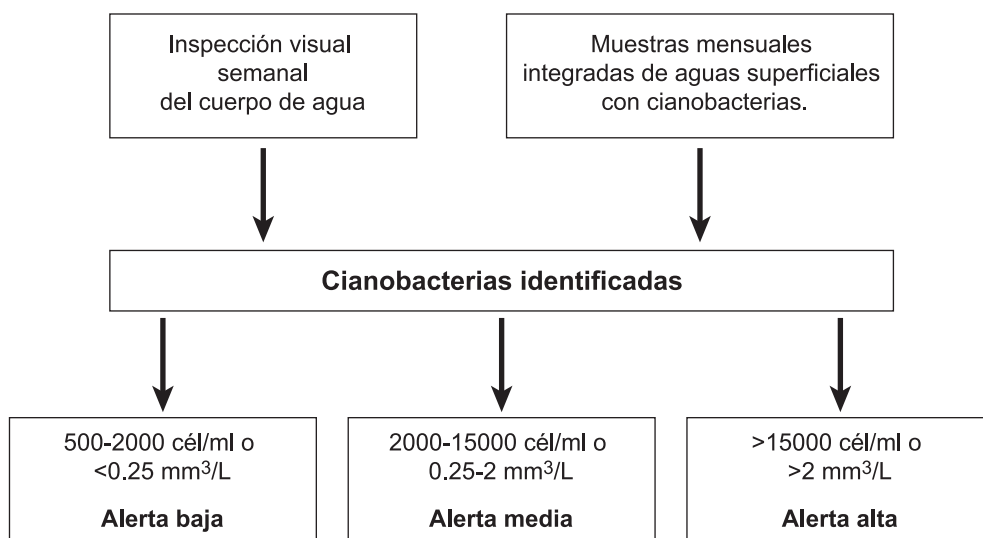
3.1. Árbol de Decisión para Agua Potable

Fig. 4. *Árbol de decisión incorporando los 3 niveles: Vigilancia, Alerta I y Alerta II, para el monitoreo de floraciones de cianobacterias potencialmente tóxicas en fuentes de agua para potabilizar. Según un esquema establecido por Bonilla y col. 2009 (13) y simplificado de varias fuentes (14; 15).*



3.2. Árbol de Decisión para Agua Recreativa

Tabla 1. Guía para la práctica segura en el manejo de aguas recreativas (6)



Alerta Baja

Estas condiciones se presentan con un recuento de fitoplancton entre 500-2000 cél/ml, las cuales normalmente no serían visibles. Aunque existe la posibilidad de un desarrollo rápido de floración, si las condiciones siguen siendo favorables. En el extremo superior de este rango de algunos géneros de algas azul-verdes pueden afectar el sabor y olor del agua.

Alerta Media

Se presenta cuando el recuento de fitoplancton varían entre 2000-15000 cél/ml: Estos números indican que las algas verde azules se pueden multiplicar y el agua puede tener color verdoso y sabor a moho u orgánicos y presencia de olor. Las espumas pueden estar presentes en concentraciones de más de 5000 cél/ml. La Unidad de Salud Pública local debe ser notificada por el oficial encargado de suministros de agua para uso doméstico si los recuentos de células son superiores a 2000 cél/ml y si el agua es usada para consumo humano.

Alerta Alta

Se presenta cuando el recuento de fitoplancton es mayor a 15000 cél/ml: La toxicidad es asumida y el agua se presume no apta para el contacto humano o uso doméstico. El agua es generalmente de color verde con un fuerte olor y sabor a humedad y olor orgánico. Las espumas pueden estar presentes y se movilizan de acuerdo a la dirección del viento.

Otro esquema es el que sugiere la OMS (Organización Mundial de la Salud) donde establece los niveles y estándares de riesgo a nivel recreativo, usando distintos colores para establecer los riesgos, teniendo en cuenta lo siguiente:

1. **Relativamente poco riesgo de efectos nocivos:** recuento de fitoplancton 20.000 cél.mL⁻¹, 10µg.L⁻¹ de clorofila-a (Microcystina (MC): 4µg.L⁻¹) (Verde) ●
2. **Probabilidad moderada de efectos nocivos:** 100.000 cél.mL⁻¹, 50µg.L⁻¹ de clorofila-a (MC: 20 µg.L⁻¹) (Amarillo) ●
3. **Alta probabilidad de efectos nocivos:** Espumas (Rojo). ●

Para esclarecer lo detallado anteriormente se detallan a continuación algunas medidas para el manejo de aguas recreativas en el cuadro siguiente:

Nivel guía o Situación	Riesgo para la Salud	Medidas recomendadas
III- Presencia de acumulaciones de algas en sitios de baño (espumas)	<ul style="list-style-type: none"> • Intoxicación aguda potencial • Potenciales enfermedades de largo plazo (con algunas especies de cianobacterias). • Efectos adversos de corto plazo (ej: irritación de la piel, problemas gastrointestinales) 	<ul style="list-style-type: none"> • Acción inmediata para prevenir el contacto con las acumulaciones de algas. • Monitoreo diario de cianobacterias • Investigar sobre la presencia de toxinas • Posible prohibición de actividades de contacto directo. • Información a autoridades de Salud Pública. • Seguimiento de la Salud Pública. • Informar a las plantas potabilizadoras
II- de Cianobacteria: 100000 cél.ml ⁻¹ Clorofila a: 50µg.L ⁻¹ (con dominancia cianobacterias)	<ul style="list-style-type: none"> • Efectos adversos de corto plazo (ej: irritación de la piel, problemas gastrointestinales). Probablemente en bajas frecuencias 	<ul style="list-style-type: none"> • Observar cuidadosamente la formación de acúmulos de algas. • Restringir el uso de las aguas para baño. • Investigar el peligro (identificación y cuantificación de toxinas). • Colocar avisos de riesgo en las playas. • Informar a las autoridades de Salud Pública. • Informar a las Plantas potabilizadoras
I- Cianobacteria: 20000 cél/ml Clorofila-a: 10µg.L ⁻¹ (con dominancia de cianobacterias)		<ul style="list-style-type: none"> • Colocar avisos sobre el riesgo (Ver Fig. 5) • Informar a las autoridades de Salud Pública.



Fig. 5. Al final de la temporada estival 2009-2010 se definió la implementación de una bandera para señalar situaciones de posible riesgo para salud de los bañistas en las aguas del Río de la Plata en Montevideo.

4. Valores guía recomendados por OMS y por algunos países

Los valores guía son acuerdos tomados por la comunidad científica a partir de datos obtenidos de diversas fuentes como experimentos con animales y datos epidemiológicos de los que se estima la dosis de consumo seguras para la población en base al conocimiento actual que se posee y a las que se aplican diversos factores de seguridad con el objetivo que sean seguras incluso en poblaciones sensibles.

La OMS ha propuesto un nivel de seguridad en agua potable solo para microcistina, que es la toxina más frecuente a nivel mundial y se cuentan con abundantes datos experimentales y epidemiológicos.

Para MCs se ha determinado un NOAEL que es la dosis en la cual no se observan efectos adversos (No Observed Adverse Effects Levels) de $40 \mu\text{g} \cdot \text{Kg}^{-1}$ de peso considerando como daño a observar la producción de lesiones preneoplásicas hepáticas en ratas y ratones.

Al valor de NOAEL se le aplica un factor de incertidumbre de 1000. Este factor de incertidumbre representa las dudas sobre si el valor del NOAEL propuesto es el adecuado para trasladarlo directamente en un valor compatible con la salud de la población en general. Así el factor de incertidumbre marca dudas razonables como ¿Hay suficiente base experimental o epidemiológica sobre los efectos tóxicos de Microcistina como para respaldar el NOAEL propuesto?; ¿Los humanos somos más sensibles a MCs que ratones y ratas? del conjunto que representan los humanos, ¿habrá algún grupo de mayor riesgo de ser afectado por MCs?

En la práctica, con el NOAEL y el Factor de Incertidumbre (FI = 1000 para MCs), se estima la Ingesta Diaria Admisible o TDI:

$$\begin{aligned} \text{TDI} &= \text{NOAEL} / \text{FI} = 40 \mu\text{g} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot 1000^{-1} \\ \text{TDI} &= 0,04 \mu\text{g} \cdot \text{Kg}^{-1} \text{ de peso} \end{aligned}$$

Estos valores de TDI se aplican luego a la estimación de valores guías (VG) que proveen las concentraciones máximas aceptables de MC-LR en las diversas fuentes de exposición con las que el hombre puede entrar en contacto. Así, considerando que siendo la ingesta la principal vía de exposición, asignándole una importancia relativa del 80%, que un hombre promedio pesa 60 kg y consume 2 litros de agua al día se deduce el Valor Guía (VG) de la OMS (16).

$$\begin{aligned} \text{VG} &= (\text{TDI} \times 80\% \times 60 \text{ kg}) \cdot 2\text{L}^{-1} \\ \text{VG} &= (0,04 \mu\text{g} \cdot \text{Kg}^{-1} \times 0,8 \times 65) \cdot 2^{-1} \text{ Litros} \\ \text{VG} &= 1,04 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1} \end{aligned}$$

Estos valores están en constante revisión y testeo de su utilidad-seguridad y, hasta donde llega nuestro conocimiento, no ha habido eventos de intoxicaciones humanas en situaciones donde se hayan respetado estos límites sugeridos.

Algunos países han incorporado dentro de su normativa de la calidad de agua concentraciones límites para las cianotoxinas más comunes. Esto obliga a los proveedores de agua potable a implementar en sus laboratorios de control de calidad el análisis de toxinas.

En la siguiente tabla se resumen valores guías adoptados por otros países y en donde se ve que de algunas toxinas no se han sugerido valores:

Tabla 2: Límites adoptados por algunos países (Chorus, 2005) (5)

Toxina	OMS ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Australia ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Brasil ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Canadá ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Nueva Zelandia ($\mu\text{g.L}^{-1}$)
Microcistina-LR	1	1.3	1 (No especifica variedad)	1,5	1 (p)
Nodularina	sg	sg	1 (p)	sg	1 (p)
Cilindrospermopsina	sg	1	15 (p)	sg	1 (p)
Anatoxina-A	sg	3	sg	sg	6 (p)
Anatoxina-A(S)	sg	sg	sg	sg	1 (p)
Saxitoxinas	sg	3	3 (p)	sg	3 (p)

sg: sin valor guía, **p:** provisorio

5. Medidas de gestión

No hay mecanismos viables a corto y medio plazo para evitar la presencia de contaminantes orgánicos toxigénicos en el ambiente que pueden afectar a los seres vivos y en particular al hombre, sobre todo en los reservorios de uso múltiple. Sin embargo, hay medidas preventivas y paliativas que deben ser practicadas. Esas medidas se extienden desde la protección del reservorio, pasando por modificaciones técnicas de los métodos de captación de agua, y terminando en las diferentes etapas del tratamiento, incluida la desinfección (2).

Un aspecto que debe ser abordado con bastante rapidez se refiere a la creación de normas de calidad para el agua con fines recreativos, sugiriendo valores de concentración de cianobacterias y cianotoxinas en donde se prevenga el riesgo a la salud.

5.1 Corto Plazo

El riesgo para la salud humana en el uso recreativo por la exposición a las cianobacterias y sus toxinas surge a través de tres vías:

- el *contacto directo* de las partes expuestas del cuerpo, incluidas las zonas sensibles, como los oídos, ojos, boca y garganta, y las zonas cubiertas por un traje de baño (que puede recoger el material celular);
- por *ingestión* accidental por captación de agua que contiene las células;
- mediante *aspiración* de agua con contenido celular (inhalación).

Diferentes metabolitos de cianobacterias es probable que participen en la presencia de los síntomas asociados a estas vías de exposición.

Es importante tener en cuenta lo que se menciona en el apartado 2.4, por lo que se recomienda la intervención para activar campañas eficaces de información pública para educar a la gente sobre la evitación del contacto con espuma. Además, en algunos casos (por ejemplo, áreas con formación de espuma frecuente), la restricción de las actividades de contacto con el agua es apropiada. Un programa de vigilancia intensificada debe aplicarse, sobre todo en busca de acumulaciones de espuma. Las autoridades de salud deben ser notificadas inmediatamente.

Por más que haya una vigilancia adecuada, aunque a veces es difícil de lograrlo, hay pocas opciones de tratamiento inmediato que estén disponibles (que no sea impedir o desalentar el consumo o la cancelación de los deportes acuáticos). La provisión de información pública adecuada es la medida clave a corto plazo.

Las medidas a corto plazo, deberán proporcionar la información adecuada al público sobre el riesgo de cianobacterias asociadas con el uso de una determinada zona de aguas recreativas, siendo no sólo importante para evitar este peligro, sino también para la comprensión de los síntomas posibles causados por la exposición y la identificación de su causa. La comunicación de las advertencias al público se puede producir a través de los medios de noticias locales, mediante la publicación de avisos de advertencia y por otros medios. Se puede acompañar la información sobre otros parámetros de calidad del agua recreativa con seguimiento regular de las autoridades y/o alguna información adicional sobre cianobacterias.

5.2. Largo Plazo

El objetivo de las medidas a largo plazo para minimizar los riesgos de salud debido a las algas tóxicas y cianobacterias es prevenir o reducir la formación de las floraciones de cianobacterias en el agua utilizada para actividades acuáticas recreativas.

Esto puede lograrse entre otros factores si la concentración de fósforo total se encuentra por debajo de la "capacidad de carga", que sostiene sustancialmente la densidad de la población algal. Sin embargo en la mayoría de los cuerpos de agua esto es muy difícil de controlar y mantener por lo que se deberían implementar diversas acciones que tiendan a garantizar la salud de los ecosistemas evitando su hipereutrofización.

La experiencia en numerosos cuerpos de agua muestra que esto puede ser logrado si las concentraciones de fósforo total son $0.01-0.03\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (dependiendo del régimen del volumen y mezcla de la masa de agua). Este umbral puede ser difícil de alcanzar en los cuerpos de agua con múltiples fuentes de contaminación por nutrientes. Sin embargo, las fuentes de nutrientes son muy variables a nivel local. Por lo tanto, es necesario identificar las principales fuentes y el desarrollo de estrategias para la prevención de la formación de las floraciones de cianobacterias (6).

En particular, los nutrientes de entrada por escorrentía agrícola puede, en muchos casos ser reducido al disminuir la aplicación de fertilizantes para que coincida con la demanda real de la cosecha o por la protección de la costa de la erosión mediante la plantación de arbustos a lo largo de una franja de unos 20 m de ancho a lo largo de la costa, en lugar de arar y abonar hasta el mismo borde de la costa del agua.

Sin los nutrientes esenciales, principalmente nitratos y fosfatos, las algas normalmente no van a alcanzar las proporciones de una floración. Una excesiva entrada de nutrientes de fuentes terrestres es uno de los factores más influyentes para la promoción, y minimizando la disponibilidad de nutrientes a menudo contribuyen a controlar el crecimiento de algas.

Así, para reducir la carga de nutrientes que llega a un cuerpo de agua, se hace necesario el ordenamiento territorial y uso del suelo en la cuenca hidrográfica, adoptar buenas prácticas agrícolas y agroindustriales (agricultura orgánica, control de la erosión, sistema de riego apropiado, período correcto para la aplicación de los fertilizantes en función de los cultivos, etc.), y minimización y tratamiento adecuado de aguas residuales domésticas e industriales (17).

Así mismo el embalsamiento de los cursos de agua enlentece todo el sistema y establece condiciones para la proliferación de floraciones cianobacterianas. Estos claros ejemplos indican que la mejor forma

de mitigar los florecimientos es cuidando el ambiente, incorporando las “buenas prácticas amigables ambientalmente” en los emprendimientos ya sean agrícolas, industriales o energéticos, desarrollando y aplicando las tecnologías necesarias para hacer uso de los recursos naturales en forma sustentable en el tiempo.

Referencias

1. Internacional sobre Enfoques Regionales para el Desarrollo y Gestión de Embalses en la Cuenca del Plata. Itaipú (Paraguay- Brasil), 11-14 de marzo 2008. Instituto Argentino de Recursos Hídricos; p. 12.
2. Ceballos BSO, Oliveira P, Azevedo, SMF, Bendate M. Fundamentos biológicos e ecológicos relacionados a las cianobacterias. In: Contribuição ao estudo da remoção de cianobactérias e microcontaminantes orgânicos por meio de técnicas de tratamento de água para consumo humano. Organizador; Valter Lucio de Pádua. Editora Semograf/prosab/ cef/cnpq/ct-hidro-mct. Brasil, 2007: 23-81.
3. Ryding SO, Rast W. (Eds). The control of eutrophication of lakes and reservoirs. Man and the Biosphere series. UNESCO. 1989; Vol 1.
4. Aranda-Rodríguez R, Benoit F, Giddings M. Canada: The Development of a Microcystin Drinking Water Guideline. In: Chorus I. (Ed.). Current Approaches to Cyanotoxin Risk Assessment, Risk Management and Regulations in Different Countries. 2005 Federal Environmental Agency. Dublin. 117p (disponible en: <http://www.umweltbundesamt.de/wasser/themen/downloads/trinkwasser/Cyanotoxinregelungen-international.pdf>).
5. Chorus I. Current approaches to cyanotoxin risk assessment, risk management and regulations in different countries. Federal Environmental Agency. Editorial: Section II 3.3. Berlín-Alemania. 2005. Disponible en: www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/2910.pdf.
6. Chorus I, Mur L. Preventive measures. In: Chorus I, Bartram J, editors. Toxic Cyanobacteria in Water. London: E&FN Spon. 1999.
7. Echenique R, Rodríguez J, Caneo M, y cols. Microcystins in the drinking water supply in the cities of Ensenada and La Plata (Argentina). En: Congresso Brasileiro De Ficologia, 11; Simpósio Latino-Americano Sobre Algas Nocivas, Itajaí, SC. Aplicações da Ficologia: anais.. Rio de Janeiro: Museu Nacional. Organização da Sociedade Brasileira de Ficologia. (Série Livros, 30). 2006, p.141-148.
8. Jochimsen EM, Carmichael WW, An J, Denise M, Cookson ST, Holmes, C.E.M., Antunes, M.B.C., Melo, F.D.A., Lyra, T.M., Barreto, V.S.T., Liver failure and death after exposure to microcystins at a hemodialysis center in Brazil. New Engl. J. Med. 1998; 33: 873–878.
9. Salerno G, Andrinolo D, Ruibal Conti AL, Meichtry N, Fiore M and Agujaro L, Cianobacterias toxigénicas en el MERCOSUR: Búsqueda de estrategias para determinar sus alcances e impactos regionales, y desarrollar medidas de prevención y manejo de sus riesgos. 2005 www.icaa.gov.ar/Documentos/Cianobacterias_toxicas_en_Mercosur.pdf.
10. Chorus I, Bartram J. Toxic cyanobacterias in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management. Published on the behalf of WHO by E&FN Spon, London. 1999.
11. Ruibal Conti AL, Reguerira M, Guerrero JM. Levels of microcystins in two reservoirs used for water supply and recreation: Differences in the implementation of safe levels, Environ. Toxicol 2005; 20: 263–269.
12. Otaño S, Román N. Floración de cianobacterias sobre la costa del Río Uruguay: verano del 2008. V Taller Embalses. 2008, Concordia.
13. Bonilla S, Kruk C, De León L, Vidal L, Brena B. Cianobacterias Planctónicas del Uruguay. Ed Sylvia Bonilla 2009; Cap. 6 – Medidas de gestión y sistemas de vigilancia. PHI-VII / Documento Técnico N° 16.
14. Brasil, Regulacion MS n.o 518/2004 / Ministerio da Saude. Brasilia, Secretaria de Vigilância em Saude. Coordenacao-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. Geral de Vigilância em Saude Ambiental. 2004; 28 pp.

15. Cybis LF, Bendati MM, Marodin Maizonave CR, Werner VR, Domingues CD. Manual para estudo de cianobacterias planctonicas em mananciais de abastecimento publico: Caso da represa Lomba do Sabao e lago Guaiba, Porto Alegre, Rio Grande do Sul. Porto Alegre, PROSAB: 2006; 144pp.
16. WHO. Guidelines for safe recreational water environments. 2003; volume 1: Coastal and fresh waters. Geneva. http://whqlibdoc.who.int/publications/2003/9241545801_contents.pdf.
17. Ruibal L, Ruiz M, Otaño S. Enfoques para la evaluación y el manejo del riesgo de cianobacterias. Cap 9. En Cianobacterias y Cianotoxinas. Identificación, Toxicología, Monitoreo y Evaluación de Riesgo. Editado por Leda Giannuzzi (et. al.) 1º Edic. Buenos Aires 2009; 159-192.