

CIANOBACTERIAS, LA AMENAZA SILENCIOSA. PREVENCIÓN Y CONTROL DE BROTES

LIFE CERCETA PARDILLA

Acciones coordinadas para la recuperación de la cerceta pardilla
(*Marmaronetta angustirostris*) en España



Autoría:

Concha Raya

Coordinación y revisión:

Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico

Edita:

El LIFE Cerceta pardilla tiene el objetivo de mejorar el estado de conservación de 3.000 hectáreas de humedales para revertir el riesgo de extinción del pato más amenazado de Europa, en situación crítica en España.

En este proyecto, que coordina la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, participan el propio ministerio, a través de la Dirección General del Agua, la Confederación Hidrográfica del Segura y Tragsatec; la Junta de Andalucía, a través de la Consejería de Sostenibilidad y Medio Ambiente y la Agencia de Medio Ambiente y Agua; la Generalitat Valenciana; el Gobierno de la Región de Murcia, así como las organizaciones SEO/BirdLife y ANSE. Cuenta con la contribución del Programa LIFE de la Unión Europea.

Fecha de edición

31/12/2025



Índice

1. Introducción, generalidades y problemática global	5
2. Características biológicas y potencial perjudicial	7
3. Afección directa y áreas e interés específico	10
4. Dificultades para la gestión	16
5. Propuestas de manejo	18
5.1. Establecimiento de un sistema de información y vigilancia continuada .	18
5.2. Establecimiento de un sistema de niveles de alerta.....	22
5.3. Actuaciones preventivas estructurales o de largo plazo	33
6. Demandas de conocimiento básico y aplicado	39
7. Declaración de alerta máximo. Toma de decisiones.....	40
8. Conclusiones	43
9. Bibliografía.....	45



Resumen ejecutivo

Las cianobacterias son microorganismos fotosintéticos muy antiguos y altamente adaptables, presentes en prácticamente todos los ecosistemas acuáticos. Su capacidad para proliferar de forma explosiva bajo condiciones ambientales favorables —especialmente en humedales eutrofizados y sometidos a estrés climático— constituye una amenaza creciente para la biodiversidad, los ecosistemas lacustres y, en particular, para especies en peligro como la cerceta pardilla.

En los humedales mediterráneos, el incremento de temperaturas, la escasez de agua, el aporte excesivo de nutrientes de origen agrícola y la alteración hidrológica favorecen episodios de floraciones masivas de cianobacterias, muchas de ellas productoras de toxinas (cianotoxinas). Estas floraciones generan pérdida de oxígeno, alteran profundamente la calidad del agua y causan mortandad directa o indirecta en aves acuáticas y en otros organismos.

Así pues, se hace necesaria la intensificación de la monitorización, la implementación de medidas de rescate de puestas o polladas en situaciones críticas y dirigir movimientos o sueltas hacia humedales más seguros. Se destaca también la necesidad de disponer de humedales alternativos, capaces de actuar como refugio en episodios de riesgo elevado.

Dada la versatilidad y capacidad de adaptación de las cianobacterias, el reto para la conservación de los humedales mediterráneos exige una acción integrada, anticipada y coordinada, capaz de reducir el riesgo de floraciones tóxicas y preservar la funcionalidad ecológica necesaria para la supervivencia de especies amenazadas.



Executive summary

Cyanobacteria are very ancient and highly adaptable photosynthetic microorganisms, present in virtually all aquatic ecosystems. Their ability to proliferate explosively under favorable environmental conditions, especially in eutrophic wetlands and those under climate-related stress, poses a growing threat to biodiversity, lake ecosystems, and particularly to endangered species such as the marbled teal.

In Mediterranean wetlands, rising temperatures, water scarcity, excessive nutrient input from agricultural sources, and hydrological alterations promote massive cyanobacterial blooms, many of which produce toxins (cyanotoxins). These blooms cause oxygen depletion, severely degrade water quality, and result in direct or indirect mortality of waterbirds and other organisms.

Thus, it is necessary to intensify monitoring, implement rescue measures for clutches and broods in critical situations, and guide movements or releases toward safer wetlands. The need for alternative wetlands capable of acting as refugees during high-risk episodes is also emphasized.

Given the versatility and adaptive capacity of cyanobacteria, the challenge of conserving Mediterranean wetlands requires integrated, anticipatory, and coordinated actions capable of reducing the risk of toxic blooms and preserving the ecological functionality essential for the survival of threatened species.



1. Introducción, generalidades y problemática global

Las cianobacterias son organismos primitivos que aparecen sobre la Tierra desde los primeros albores de la vida. Tienen su origen en el Precámbrico (3.500 a 3.700 millones de años), siendo los organismos responsables de crear la atmósfera abundante en oxígeno que hoy conocemos sobre la Tierra, mediante la realización de la fotosíntesis gracias a la presencia en sus células de la clorofila a (oxifotobacterias).

Evidencian características compartidas entre las bacterias procariontes y las algas eucariontes, lo que ha generado siempre controversia en su encuadre taxonómico en la ordenación de los seres vivos. Se definen como procariontes pertenecientes al *Phyllum Cyanobacteria*, especie de cajón de sastre heterogéneo que sirve para encuadrar organismos muy diversos, relacionados parcialmente, pero divergentes de otros taxones. Una nomenclatura dual en su recorrido desde la primitiva nominación como Cianofíceas o algas verde-azuladas, para pasar luego a definirse como Cianobacterias, o más recientemente incluso Cianoprocariontes.

Desde sus orígenes hasta la actualidad han colonizado con éxito prácticamente todos los ecosistemas de la tierra, por igual ambientes terrestres, como suelos o superficies húmedas, como medios acuáticos tanto marinos como salobres o de agua dulce, siendo éstos donde aparece la mayor diversidad y concentración de cianobacterias. Su distribución parece indicar características marcadas de ubicuidad y adaptación al medio, resilientes a diferentes condiciones ambientales, llegando a ser dominantes tanto en latitudes polares como ecuatoriales.

La mayor parte de las cianobacterias conocidas se encuentran en sistemas de agua continentales, en la columna de agua o el bento de lagos, ríos, lagunas y arroyos de todo el mundo, donde desempeñan un papel clave en la producción primaria acuática, como componentes del fitoplancton.

Sin embargo, hay dos componentes en su biografía biológica que las mantienen de actualidad social y obligarán a reforzar los conocimientos sobre estos seres vivos en los próximos años.

Por un lado, se caracterizan por ser capaces de proliferar de manera exponencial en muy poco tiempo en condiciones ambientales favorables, provocando grandes explosiones de “algas” que tapizan los sistemas de aguas dulces o salobres, naturales o bien directamente relacionados con actividades humanas. Estas proliferaciones cursan con cambios del medio natural y generan impactos ecológicos de envergadura.

Su capacidad de adaptarse a condiciones cambiantes del medio natural de forma inmediata les permite ser dominantes sobre otras comunidades biológicas. Todo ello basado en una “memoria” evolutiva, generada a lo largo de largos periodos de condiciones cambiantes, que



les ha permitido combinar un primitivismo unicelular y una especialización de orgánulos adaptados a diversas funciones, a la vez que pautas de agregación celular a modo de “colaboración mutua”.

Pero su característica más compleja para confrontar su impacto ambiental consiste en la producción de toxinas, de manera asimismo explosiva, que puede afectar gravemente la salud de las personas, normalmente a través del suministro de agua a las comunidades, pero también por el baño u otras actividades recreativas.

Pero estos tóxicos afectan de manera habitual a los animales domésticos y sobre todo pueden generar un gran impacto por envenenamiento progresivo o agudo en la fauna silvestre, produciendo la muerte del individuo en muchos casos. Todos los taxones animales se ven afectados, si bien es cierto que hay algunas especies animales o también vegetales más sensibles que otras y que los diferentes venenos son agresivos en diferentes intensidades, según la especie que las produzca, incluso las condiciones ambientales.

Tratamos de encuadrar por tanto un grupo que alberga alrededor de 5.000 a más de 6.000 especies diferentes conocidas, con una enorme variabilidad dentro del taxón. Las contemplamos ahora bajo el prisma de su amenaza ambiental, pero sin olvidar que muchas de sus especies son fundamentales en procesos de producción masiva de alimentos (acuicultura, proteínas alimentación humana, algas, biofertilizantes, etc.) de la innovación en biocombustibles o incluso en la fijación de residuos o captura de elementos contaminantes.

Son renombradas sobre todo en la investigación biotecnológica, tanto para su uso médico directo (antitumorales, antibacterianos o viricidas), como en suplementación médica preventiva, para vehicular tratamientos y en la producción de materias primas de interés médico (antioxidantes, pigmentos, etc.). No debemos olvidar que aún hoy representan el origen necesario de más del 50% del oxígeno que respiramos.

Sin embargo, su capacidad de modificar los sistemas ecológicos es enorme, tanto los medios humanizados como los hábitats naturales. Sus interacciones con todos los elementos del ecosistema pueden desestabilizar en ocasiones los complejos mecanismos de equilibrio de estos, aunque representan asimismo un potencial de regeneración y remediación de sistemas naturales ya degradados. La gestión adecuada de las cianobacterias es una herramienta compleja, pero comprender su funcionamiento e interacciones es un reto que no podemos soslayar.



2. Características biológicas y potencial perjudicial

Las cianobacterias presentan una gran variedad morfológica, con niveles de organización biológica unicelular, colonial y filamentosa. Además, pueden presentar células diferenciadas con la función de fijar el nitrógeno atmosférico (heterocistos), o desarrollar células de resistencia (acinetos) para sobrevivir bajo condiciones extremas (sequías, inundaciones, etc.).

Algunas cianobacterias presentan vesículas o vacuolas de gas, que utilizan para regular su posición en la columna de agua, lo que les permite mejorar la exposición a la luz, disminuir la mortalidad por sedimentación o acceder a capas más profundas con mayor disponibilidad de nutrientes.

Se caracterizan por poseer pigmentos fotosintéticos típicos de algas eucariotas y plantas, la clorofila a y carotenos, así como pigmentos específicos, las ficobilinas, que les dan el color verdeazulado típico.

Las cianobacterias, bajo determinadas circunstancias ambientales, pueden proliferar de manera brusca aumentando su biomasa de manera explosiva. Este fenómeno se conoce como floración (“bloom” en inglés) y puede estar formada por una o varias especies de cianobacterias, generarse en períodos que pueden ser de pocas horas a varios días, o permanecer períodos más largos como todo el verano, todo el año o de forma permanente.

Las floraciones de cianobacterias planctónicas ocurren en los cuerpos de aguas continentales de todo el planeta y pueden estar formadas por distintas especies de cianobacterias o dominadas por una única. Las floraciones pueden ser evidentes a simple vista, en forma de una densa capa de espuma superficial de coloración generalmente verde, mediante acumulaciones de granos de arena verde flotantes o como intensa pintura verdeazulada próxima a la superficie.

Como norma, estas proliferaciones en masa ocurren en aguas ricas en nutrientes (particularmente fósforo y nitrógeno) en temperaturas cálidas (15 a 30 °C) y donde el pH oscila entre 6 y 9, aunque se evidencian también crecimientos con parámetros más extremos. Con todo, las proliferaciones cianobacterianas necesitan aguas poco revueltas y sin vientos para poder desarrollarse y dichos blooms cambian el aspecto del agua y causan turbidez. La materia orgánica que generan causa que otras bacterias heterótrofas se coman sus productos secundarios formando gases como CO² y CH⁴.

Al igual que otros autótrofos, las cianobacterias consumen oxígeno en ausencia de luz solar, lo que valorado en momentos de intensa proliferación puede causar un estado de anoxia nocturna del medio acuático.



Si el cuerpo de agua es muy reducido como un lago o laguna poco profundos, el oxígeno se consume con mayor rapidez, lo que puede provocar la muerte de animales acuáticos. De la misma manera, la muerte masiva de la biomasa de cianobacterias provoca procesos de degradación de la materia orgánica, lo que ocasiona asimismo una severa condición de hipoxia en el medio acuático.

La frecuencia y virulencia de las floraciones han aumentado recientemente en el mundo a consecuencia de la intensificación de ciertas actividades humanas. Parece que los procesos aparejados al cambio climático están creando asimismo condiciones ventajosas para una proliferación masiva, al ocupar los nuevos nichos creados de manera más eficiente que otras especies.

El principal motivo de preocupación por las floraciones cianobacterianas, es que estos organismos pueden producir toxinas. La alta biomasa concentrada en las floraciones, sumada a la presencia de las cianotoxinas, puede representar un problema para los otros organismos del medio acuático y para el ser humano.

La función natural de las toxinas producidas no está clara. Es preciso indicar que existen cada día mayores conocimientos sobre las especies más problemáticas de cianobacterias, pero la experimentación se produce en condiciones laborales controladas y normalmente se miden las respuestas a uno o pocos estímulos controlables y capaces de simularse.

Sin embargo, parece incontestable que las condiciones en el medio natural no son siempre reflejo de las producidas “in vitro”. Las interacciones e interdependencias entre seres vivos son mucho más complejas en la naturaleza, e incluso en ocasiones puede que la misma acción desencadene respuestas diversas por factores que desconocemos. No es por ello infrecuente encontrar en la bibliografía referencias contradictorias respecto a una determinada acción o propiedad de estos organismos, y muy posiblemente ambas interpretaciones sean correctas.

En general, la producción de tóxicos revela un sistema de defensa frente a condiciones ambientales abióticas como temperatura, radiación solar, salinidad, pH, tóxicos y otras. Pero presumiblemente las cianobacterias segregan asimismo tóxicos para favorecer su pervivencia en el ecosistema, evitar la depredación y favorecer la competencia con algas y plantas por los recursos o el espacio.

Se considera que entre el 50 y el 75% de las floraciones de cianobacterias que se producen son tóxicas. Dentro del florecimiento de una sola especie puede haber cepas tóxicas y no tóxicas, y a su vez pueden producir una o varias toxinas a la vez. Varias especies diferentes pueden sorprendentemente producir la misma toxina.

Las cianotoxinas pertenecen a distintos grupos según su estructura química (péptidos cíclicos, alcaloides y lipopolisacáridos), cada uno de los cuáles muestran mecanismos de



toxicidad específicos y diferenciales en vertebrados. Por su mecanismo de acción algunas son potentes neurotóxicos -anatoxina, saxotoxina-, otras tienen toxicidad sobre el hígado – microcystinas-, y una gran mayoría son dermatóxicas, con mecanismos irritativos de la piel y mucosas, o sencillamente citotóxicas. Las moléculas tóxicas se sintetizan en todos los estadios del crecimiento celular y generalmente se hallan contenidas dentro de las cianobacterias o unidas a ellas.

Las toxinas se liberan habitualmente al medio circundante en situaciones de ruptura celular, en el proceso de senescencia natural o por acción de factores medioambientales, por lo que los animales tienen que ingerir células enteras para verse afectados (intoxicación) o entrar en contacto con el agua que las contienen. Sin embargo, según observaciones de laboratorio también puede producirse liberación de toxinas por parte de células vivas, en un porcentaje reducido del contenido celular.

Las toxinas liberadas en el agua tienen una persistencia variable (pocos días a meses) antes de ser biodegradadas o destruidas mediante fotólisis o biodegradación por bacterias. Las concentraciones elevadas de toxinas, suponiendo una alta peligrosidad para el entorno, resultan generalmente de la acumulación masiva de células en las floraciones. Cuando éstas se concentran en forma de espumas superficiales, al ser transportadas por el viento a las orillas quedan también al alcance de los animales terrestres para su ingestión.

El crecimiento de cianobacterias en ambientes naturales depende de su capacidad para optimizar la utilización de los recursos imprescindibles para su crecimiento y minimizar las pérdidas de biomasa. Los factores desencadenantes de un crecimiento acelerado en la población de cianobacterias están ampliamente consensuados en torno a la temperatura del agua, la irradiación o luminosidad y los nutrientes disponibles, preferentemente el fósforo dada la capacidad de algunas especies para sintetizar compuestos nitrogenados de forma eficiente captando el nitrógeno atmosférico, bien de forma estructural y mantenida, bien puntualmente ante bajas condiciones de nitrógeno inorgánico en el agua.

Las pérdidas o bien la multiplicación controlada de biomasa se deberían a la competencia con otras especies por los mismos recursos, así como a la depredación que sufren por parte de virus cianófagos y sobre todo zooplancton. Sin embargo, esta tasa de depredación no se señala como significativa para el control poblacional natural, bien por la inhibición vírica a altas concentraciones de radiación UV bien por la escasa palatabilidad de las cianobacterias para su consumo.

La gran variabilidad de tamaños celulares entre las diferentes especies hace en muchos casos ineficiente el consumo de células de cianobacterias, bien por pequeñas o bien directamente imposible por gran el tamaño celular. También la capacidad de agregación celular limita grandemente la acción de los depredadores como posible método de control de las cianobacterias.



Una menor presencia de cianobacterias puede estar causada asimismo por sedimentación hacia zonas afóticas (oscuras), donde no es posible realizar la fotosíntesis, así como por el “lavado” por arrastre de las corrientes hacia estratos inferiores del curso de agua. Sin embargo, en estos casos el problema se traslada de localización, pero no desaparece.

Las cianobacterias pueden captar eficientemente la luz en una amplia banda de longitud de onda, siendo capaces de crecer en condiciones no óptimas para el fitoplancton en general, gracias a su adaptabilidad a intensidades de luz bajas o extremadamente altas.

Para lograr un crecimiento continuo se ven obligadas por una parte a minimizar el hundimiento y prolongar su permanencia en la zona eufótica de la columna de agua y así mejorar la exposición a la luz, mientras por el contrario necesitan también incrementar el acceso a capas más profundas con mayor presencia de nutrientes.

Para ello utilizan como mecanismo las vesículas de gas, que les permiten regular su posición en la columna de agua, colocándose en cada momento en el nicho más favorable para su supervivencia y crecimiento. Este procedimiento supone una ventaja competitiva de gran importancia, pero sobre todo en los sistemas de aguas profundas (embalses, lagos, etc.), pero mucho menor en sistemas de aguas someras como lagunas o marismas.

La disponibilidad de luz como factor clave está muy ligada a la turbulencia del agua por causa del viento sobre el humedal. En general las condiciones de viento moderado o fuerte no son benéficas para el crecimiento de las cianobacterias, que se desarrollan mucho mejor en ambiente calmados.

Las cianobacterias se desarrollan preferentemente en ambientes acuáticos entre 25 y 30° C, aunque su versatilidad les permite sobrevivir en las condiciones polares. La temperatura no es por sí misma un factor desencadenante de floraciones, sino que necesita combinarse con luminosidad, con la que frecuentemente se asocia, y con disponibilidad de nutrientes, en proporción ideal similar a la presente en la célula, esto es 106 partes de carbono por 16 de nitrógeno y una de fósforo, siendo por tanto el fósforo el factor limitante dada la sobreabundancia de carbono y nitrógeno.

3. Afección directa y áreas e interés específico

Las proliferaciones de cianobacterias pueden tener un gran impacto en el funcionamiento de los ecosistemas, provocando alteraciones en las relaciones tróficas entre los distintos organismos, en la biodiversidad, en las características fisicoquímicas del agua (modifican el pH y la cantidad de oxígeno disuelto) y en la mortandad directa o menoscabo de organismos de su entorno por acción letal o incapacitante de las toxinas.



El problema de gestión en los reservorios de agua se agrava con la presencia de cianobacterias productoras de cianotoxinas, ante la posibilidad de la ingestión de agua tóxica tanto por parte de poblaciones humanas, como de la fauna doméstica y salvaje que dependen de estas masas de agua. Cuando las cianotoxinas aparecen en zonas de alto valor ecológico, como es el caso de los espacios naturales protegidos, pueden generar sucesos graves de intoxicación en los que se ven afectadas especies amenazadas. En los taxones en peligro, son los censos poblacionales reducidos el factor que multiplica las consecuencias negativas de tales episodios, de manera que estas mortandades muy difíciles de controlar pueden agravar aún más su precario estado de conservación, aunque sea por una simple afectación azarosa.

Los efectos de las cianotoxinas por si solos pueden no resultar siempre letales, pero convierten los animales que las ingieren en individuos más vulnerables a otros procesos o amenazas medioambientales, facilitando finalmente la muerte. Esto es especialmente cierto con las especies migradoras, que ya han consumido sus reservas energéticas en el viaje y llegan debilitadas a zonas donde se han producido eventos tóxicos. Por la misma razón, cualquier proceso sistémico fisiológico como la muda, o patológico que supongan una exigencia energética o nutricional adicional, deja debilitados a los animales.

Bajo estas condiciones, incluso pequeñas dosis de toxina podrían provocar una incapacidad a los animales para comer o enfrentarse a su entorno, muriendo así de inanición o facilitando su predación.

En los últimos años las cianobacterias están aumentando su presencia en los ambientes acuáticos por diferentes motivos ecológicos, cambios probablemente debidos muchos de ellos a un origen antropogénico, lo que hace más relevante la importancia de las acciones de gestión del medio natural. Los factores más evidentes son:

1. Eutrofización en las cuencas hidrográficas, con un marcado incremento de nutrientes asociados a vertidos de aguas residuales domésticas o industriales, a las prácticas de agricultura y ganadería intensivas, a la contaminación general derivada de una economía preferentemente lineal y a la intervención masiva en el control sobre el ciclo del agua. La causa primaria que desencadena un estado eutrófico es el aporte de una carga de nutrientes, principalmente nitrógeno y/o fósforo, en una tasa mayor a la que el sistema acuático puede procesar de manera equilibrada. En los entornos ligados a cursos fluviales y embalses el origen prioritario de nutrientes (y contaminantes) son los desechos orgánicos urbanos, domésticos e industriales, mientras que en los sistemas húmedos de cuencas cerradas más o menos amplias como los sistemas endorreicos son los aportes difusos por escorrentía que provienen de la actividad agrícola-ganadera, mayoritariamente inorgánicos, quienes provocan una mayor transformación en estos humedales de las condiciones previas al desarrollo intensivo.



Todo el crecimiento de los organismos autótrofos está ligado a la disponibilidad de energía y carbono, siendo el CO₂ atmosférico y la energía solar elementos básicos y casi exclusivos del proceso fotosintético que termina con la producción de moléculas orgánicas complejas y liberación de oxígeno para producir una atmósfera oxidante.

Los desarrollos de las cianobacterias están asociados a este proceso, pero sus explosiones se relacionan en gran medida con altas concentraciones de nutrientes. En ecosistemas de agua dulce la disponibilidad de fósforo es a menudo el factor limitante clave que controla la proliferación de cianobacterias. Cambios legislativos han permitido la reducción de vertidos de fósforo en las aguas domésticas, pero los depósitos sedimentarios muy ricos en este mineral hacen imprescindible tener en cuenta esta reserva parcialmente secuestrada de fósforo para la gestión activa de los humedales. En la liberación y disponibilidad de este nutriente el hierro juega un papel clave, poniendo este recurso a disposición de la producción primaria.

La disponibilidad de N puede ser una variante para tener en cuenta, no tanto por su carácter limitante, como por el hecho de que puede influir en la dominancia de especies de cianobacterias que fijen o no el nitrógeno.

Cuando los niveles de nitratos en agua se muestran bajos, son las cianobacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico (diazótrofas) las que proliferan, dejando fuera de competición a especies no fijadoras y presentando una gran ventaja competitiva frente al resto de los organismos fotosintéticos. Se acepta mayoritariamente que es el nitrógeno disuelto el elemento que permite explicar la dominancia de ciertos géneros o especies de cianobacterias (Codd et al., 1999) mientras que son los valores de fosfato los que permiten orientar sobre cuándo se va a producir un incremento explosivo de cianobacterias.

En muchas ocasiones los indicadores más precisos son las relaciones N-nitrógeno/P-fósforo y N/P/C-carbono. Se volvería de esta manera a la relación esencial de la estructura de la vida en el fitoplancton con la fórmula 106 C : 16 N : 1 P, aunque muchos estudios indican cómo las cianobacterias podrían “puentear” estas exigencias.

Pero, además, la abundancia/escasez de elementos minerales no sólo tiene efecto sobre el crecimiento de las cianobacterias, sino que de forma compleja y poco conocida aún en sus relaciones causa/efecto, es clave en la posible intensificación del proceso de producción de toxinas por parte de las cianobacterias.

Muchos de los estudios sobre la producción de toxinas se realizan en el ambiente controlado de laboratorio, donde se puede medir los aportes de nutrientes y las respuestas en forma de producción de tóxicos. Sin embargo, en el medio natural es mucho más complejo realizar estas determinaciones, tanto por la incapacidad de controlar las condiciones externas como



por la multiplicidad de especies de cianobacterias presentes y la influencia de las respuestas cruzadas por interferencia entre ellas.

La investigación en cianobacterias, aunque amplísima y extendida en todo el mundo, tienen un campo enorme de trabajo y queda aún hoy lejos de ofrecer patrones de gestión con validez absoluta. Como se verá más adelante, solo la integración de conocimientos y experiencias, así como el rigor científico, permitirán seguir avanzando en la apertura de modelos de gestión eficiente de los problemas causados por el favorecimiento antropogénico de la proliferación cianobacteriana y sus consecuencias.

Un hecho que no debe ser soslayado en la gestión del medio natural son las grandes concentraciones de aves en algunos humedales durante el periodo seco que, suponiendo un aporte muy significativo de materia orgánica a través de las heces, puede contribuir de forma importante a los fenómenos de eutrofización, disminuyendo la calidad de las aguas.

Las aves utilizan los humedales que se mantienen con agua como zona de cría, descanso, alimentación o protección y dormitorio, de forma que parte de los nutrientes devueltos a través de la excreta de heces en forma de N y P soluble pueden empeorar las condiciones del medio.

Asimismo, la presencia de ungulados, domésticos o silvestres, no parece ser un sistema demasiado conveniente para el control del exceso de nutrientes en los humedales a través del pastoreo, sino que se demuestra totalmente contraproducente por el aporte de deyecciones y ocasional presencia de cadáveres.

El aporte externo de agua en los humedales debe tener en cuenta siempre su origen. Dada la progresiva inexistencia de aguas “naturales” sin influencia de las actividades humanas, es siempre preciso ser consciente de los efluentes primarios o secundarios en la misma, esto es, el porcentaje de agua procedente de vertidos domésticos o industriales y la calidad del tratamiento de estos en cuanto a la retirada de nutrientes y tóxicos en el proceso.

2. Condiciones ambientales originadas por el cambio climático progresivo, como el calentamiento global con aumento de la temperatura media y dilatación del período de superación del umbral de activación, episodios más concentrados e intensos de calor, alteraciones del régimen de precipitaciones con aumentos severos de sequía e inundaciones, y aumento del dióxido de carbono atmosférico e incluso otros gases de efecto invernadero.

Las cianobacterias tienen un crecimiento más elevado en relación con las algas eucariotas debido a una mayor adaptación a un rango térmico variable. Las temperaturas óptimas de crecimiento se complementan entre distintas especies de cianobacterias e incluso se observan resultados de rango más amplio en condiciones de laboratorio. Esta capacitación adaptativa, complementada con un mejor aprovechamiento de la intensidad lumínica gracias



a otros pigmentos asociados a los diferentes tipos de clorofilas, les otorga una ventaja competitiva clara frente a otros componentes del fitoplancton en el marco del calentamiento global.

Diversos estudios muestran un claro componente estacional en la aparición de las floraciones, centradas en los meses estivales, cuando se dan las condiciones adecuadas para su desarrollo. En este sentido, el aumento de la temperatura media y la prolongación de los períodos cálidos favorece a su vez la ampliación del período de crecimiento óptimo de las cianobacterias, la aparición de floraciones más tempranas y el desarrollo precoz de brotes tóxicos.

Las cianobacterias pueden formar densas floraciones superficiales que sombrean el resto del cuerpo de agua e impiden el acceso a la luz del fitoplancton eucariota no flotante más profundo y también a los macrófitos sumergidos enraizados en el fondo, mejorando la ventaja competitiva de las cianobacterias en el uso de los recursos.

El aumento de la temperatura del agua a su vez disminuye la viscosidad de esta y la resistencia a la migración vertical, lo que facilita el ascenso en la columna de agua (optimizando la producción fotosintética) y el descenso (que favorece la adquisición de nutrientes del sedimento) por la alta movilidad de las cianobacterias. Algunas cianobacterias forman vesículas de gas que las proveen de flotabilidad, pudiendo ascender o descender a voluntad en el cuerpo de agua, lo que permite una gran ventaja competitiva en sistemas de aguas profundas y estratificados.

Las cianobacterias presentan adaptaciones que les permiten asimismo adaptarse a elevadas intensidades lumínicas. En diversos estudios se cita el papel de las propias toxinas producidas por las cianobacterias en el proceso de protección química frente a un metabolismo excesivamente activo, por causa directa de la radiación solar intensificada.

Los cambios en el patrón de precipitaciones, con un aumento severo de sequías e inundaciones, pueden beneficiar el dominio de las cianobacterias tóxicas. Las sequías parecen estar incrementándose en intensidad y duración debido probablemente al calentamiento global. Esto tiene serias implicaciones en la dotación de las reservas de agua para cubrir las necesidades humanas, urbanas, industriales y agrícolas, lo que, combinado con la creciente utilización de cultivos en regadío, con el arrastre de sales por lavado, ha dado lugar a un aumento de las salinidades de los sistemas de agua dulce en muchas regiones del mundo.

La salinización tiene importantes repercusiones en la composición del plancton de agua dulce y posiblemente potenciará las cianobacterias tóxicas tolerantes de una moderada salinidad, lo que permite la expansión de floraciones en aguas salobres ricas en nutrientes.



Se pone de manifiesto cada vez más la continuidad del sistema acuático integral, de manera que progresivamente las aguas marinas costeras comienzan a comportarse de manera similar a las estuarinas, fluviales y lacustres en cuanto a la proliferación de cianobacterias y sus problemas consecuentes.

Los episodios de precipitaciones más intensas incrementan el enriquecimiento de las masas de agua con nutrientes procedentes del entorno debido a una mayor erosión, lavado por escorrentía superficial y descarga de aguas subterráneas. A corto plazo, las descargas de agua dulce podrían impedir las floraciones de cianobacterias tóxicas al promover el lavado y la mezcla de la columna de agua. Sin embargo, a medida que la descarga del agua disminuya y el tiempo de residencia del agua aumente, la carga de nutrientes capturada en los humedales receptores podría potenciar la aparición de floraciones.

Un factor clave del calentamiento global es el aumento de los gases de efecto invernadero en la atmósfera, sobre todo el dióxido de carbono. En las aguas enriquecidas con nutrientes, las floraciones de algas presentan altas tasas de fotosíntesis y por lo tanto una alta demanda de CO_2 para convertirlo en compuestos complejos base de la proliferación celular.

Cuando el CO_2 atmosférico se disuelve en los sistemas acuáticos reacciona con las moléculas de agua para producir ácido carbónico (CO^3H^2), que es muy inestable e inmediatamente se disocia en iones bicarbonato (CO^3H)- o carbonato (CO^3)²⁻ más iones H^+ cuya concentración determina el pH del agua. El Carbono Inorgánico Disuelto (DIC en inglés - *Dissolved inorganic carbon*) es la suma del CO_2 , el ácido carbónico (CO^3H^2) minoritario, los iones bicarbonato (CO^3H)- y carbonato (CO^3)²⁻.

En la proliferación de las cianobacterias, el secuestro fotosintético de CO_2 hace que disminuya la capacidad del sistema acuático para mantener un sistema de equilibrio en la disponibilidad de iones bicarbonato (CO^3H)- y detrae la carga de H^+ , lo que provoca el aumento del pH de las aguas afectadas.

A niveles de pH superiores a 9, comunes en las floraciones de cianobacterias tóxicas, el CO_2 libre representa menos del 1% del carbono inorgánico total disuelto (CID) y puede convertirse en un factor limitante para la fotosíntesis y el crecimiento del fitoplancton.

En estas condiciones, las cianobacterias tóxicas flotantes tienen una clara ventaja sobre las poblaciones de fitoplancton plantónicas, al poder interceptar directamente el CO_2 que se difunde en el agua desde la atmósfera hacia las capas superiores del medio acuático, minimizando así la limitación del CID al crecimiento celular y la continuidad fotosintética. También pueden detraer carbono de los compuestos de bicarbonato disueltos, lo que continuaría con la elevación del pH.



Así pues, con el aumento progresivo de las concentraciones atmosféricas de CO², es probable que aumente la competitividad de las cianobacterias tóxicas en superficie. Por debajo de las cuáles, la menor intensidad de luz y la limitación del CID actuarán en detrimento del crecimiento fotosintético de las poblaciones de algas eucariotas y macrófitos sumergidos, asegurando aún más el dominio de floraciones de cianobacterias tóxicas.

4. Dificultades para la gestión

Como se ha documentado, las cianobacterias ocupan un nicho ecológico tan amplio y de manera tan oportunista que su presencia en las zonas de interés preferente, en nuestro caso para la conservación de la fauna asociada a los humedales, supone un verdadero quebradero de cabeza en la gestión de éstos.

El impacto negativo para la conservación viene dado por la explosiva capacidad de multiplicación de su biomasa inicial, compitiendo y desplazando a otras especies que ocupan estos nichos. Pero, sobre todo, viene marcado por la enorme toxicidad de buena parte de los metabolitos producidos en la explotación ventajosa de sus recursos competitivos. Esta afectación tóxica, que se presenta de una manera que podríamos calificar de disruptiva, es generalizada, intensa y difícil de contrarrestar.

El análisis de las fortalezas de su impacto sobre los objetivos de conservación nos puede permitir comprender mejor su naturaleza y avizorar posibles mitigaciones de su acción negativa.

- Las cianobacterias son un grupo taxonómico extremadamente amplio, con numerosas especies diferentes, capaces de aprovechar características específicas para mejorar su presencia en el medio en unas condiciones dadas. La presencia de diferentes especies dominantes en un mismo medio con muestreo rutinario es habitual.
- Su variabilidad intrínseca asimismo es muy elevada para una especie dada, ya que su presunto “primitivismo” permite una gran cantidad de variantes genéticas. Esta dispersión de características diferenciales provoca en muchos casos la controversia en la definición o catalogación por encontrarse evidencias diferentes en un mismo proceso analítico o experimental, sin que las metodologías sean en ningún caso erróneas. Se evidencia que diferentes cepas de una misma especie presentan una pauta de acción diferente, por ejemplo, en lo relativo a la producción de toxinas.
- Entre sus características más negativas, la producción de metabolitos tóxicos para la fauna superior está la producción de una gran diversidad de toxinas. Pero, además, una importante variabilidad y una cierta convergencia en las mismas, ya que diferentes especies de cianobacterias pueden producir el mismo tóxico y a la vez una especie potencialmente produce diversas toxinas.



- La acción de las toxinas es altamente deletérea tanto por sus tropismos de acción (hepatotóxicas y neurotóxicas principalmente) como por la independencia de su concentración (intoxicaciones masivas con muerte temprana o progresivas con deterioro escalonado e irrecuperable de los individuos intoxicados).
- Aunque quedan muchos aspectos por dilucidar en su acción, se avanza en el conocimiento de que las cepas que producen toxinas lo hacen presuntamente para defenderse de condiciones desfavorables del medio (sobreintensidad metabólica, penuria o exceso de nutrientes, presencia de tóxicos, etc.). De esta manera se produce en general una selección natural positiva de las cepas tóxicas, frente a aquéllas que no producen toxinas.
- Su mecanismo de acción es explosivo. Pueden duplicar su biomasa en un espacio de tiempo muy inferior a otros taxones que ocuparan nichos ecológicos similares y sus estrategias competitivas son difíciles de contrarrestar. Este mecanismo vital convulsiona y perturba los sistemas que pudiéramos denominar en equilibrio, rompiendo la distribución gaussiana típica de parámetros de crecimiento en curvas de ascenso y descenso progresivos, pasando a provocar representaciones temporales en modelo de dientes de sierra, mucho más complejos de atajar o prevenir en un proceso de mantenimiento sostenible.
- Su versatilidad y explosividad les hacen ser las candidatas mejor posicionadas para adaptarse a sistemas ecológicos cambiantes, a causa de condiciones ambientales que se extreman o desregulan de una manera difícilmente previsible.
- Por las características citadas, tienen tendencia a generar un empobrecimiento claro de la diversidad biológica en su entorno, generando comunidades biológicas “empobrecidas” y dominadas por pocas especies que por ende necesitarían inputs externos importantes para revertir hacia la complejidad.
- Son especies “invasoras”, que colonizan cada vez en mayor medida áreas geográficas en las que dichas especies o géneros no habían estado presentes hasta hace muy poco tiempo, habiendo conseguido ganar estos nuevos hábitats gracias a la globalización de actividades comerciales, recreativas, e incluso investigadoras.

Toxicidad, explosividad de crecimiento, eliminación de competencia, desequilibrio, versatilidad, conocimiento insuficiente, carácter pluripolar y a veces contrapuesto, primitivismo, adaptación continua, enmascaramiento, incluso ceguera biológica, etc. Muchos son los adjetivos para calificar a un grupo de seres vivos altamente eficaces a nivel biológico, que ya estaban aquí o se han introducido cada vez más intensamente en nuestros ecosistemas lacustres para quedarse largo tiempo. Y a los que nos vemos obligados a contrarrestar de una manera activa, inteligente, concienzuda y compartida si queremos ganar algunas batallas en la conservación de nuestros humedales y de nuestras especies más amenazadas.



5. Propuestas de manejo

Una vez puesto de manifiesto el extraordinario potencial biológico de las cianobacterias como grupo taxonómico, todas las conclusiones de manejo preventivo de sus efectos perniciosos deberían basarse en la aceptación de su presencia continuada en los ecosistemas.

La clave de las propuestas de acción debe tomarse en base a la información rigurosa y temprana, al manejo preventivo, a la puesta en marcha de nuevas acciones experimentales de mitigación o remediación y en la asunción de riesgos controlados de acción sobre los humedales o directamente sobre las especies en peligro.

Con el fin reducir el deterioro de los humedales y su ecosistema, las pérdidas de aves acuáticas y la desaparición de especies en peligro real de extinción, se proponen una serie de actuaciones preventivas y de control de cianobacterias en humedales. Cada una de las administraciones competentes debería valorar las acciones pertinentes y priorizarlas, para la dotación de recursos y su puesta en marcha de manera anticipada a la aparición de las condiciones críticas.

Muchas de las acciones aquí propuestas son transversales a otros procesos de información, manejo de áreas naturales o control de mortandades, por lo que debería perseguirse el objetivo de incorporarlas dentro de sistemas integrales de manejo, adecuándoles la intensidad necesaria de actuación en función de una estimación del riesgo, por susceptibilidad histórica o potencial a la afección por cianobacterias estimado en cada caso.

Un elemento constante en la bibliografía es la necesidad de comprender realidades globales, pero adaptarlas a la experiencia y realidad de gestión en cada caso concreto o en cada humedal, donde la experiencia de los gestores será clave en la prevención.

5.1. Establecimiento de un sistema de información y vigilancia continuada

Dado que existen grandes lagunas de conocimiento, es fundamental la estructuración de un sistema de información lo más exhaustivo y continuo posible que nos permita la toma de decisiones. Los elementos básicos son determinar en cada momento la presencia de cianobacterias en el humedal, la determinación de las especies presentes y de manera imprescindible su densidad en el humedal.

En paralelo, deberemos informar sobre todos los parámetros que puedan entenderse significativos en la presencia de las diferentes especies de cianobacterias, así como registrar aquellas variables que puedan desencadenar el crecimiento explosivo y la producción de toxinas por las mismas.



5.1.1.- Inventario y catalogación de humedales

Es necesario caracterizar los humedales concernidos, aprovechando en lo posible los sistemas ya existentes, con una descripción de al menos los parámetros significativos para la mortandad por cianobacterias:

- Antecedentes de brotes de cianobacterias, fechas e impacto de mortalidad.
- Definición exhaustiva de los condicionantes ambientales y de gestión del humedal que pudieron desencadenar episodios previos de mortalidad de avifauna.
- Antecedente de mortandades posiblemente asignadas a otra causa.
- Posibles proliferaciones masivas bacterianas, algales o de otros microorganismos con efectos reducidos sobre mortalidad de avifauna o sin mortalidad.
- Caracterización de las aguas del humedal: oligotrófico, mesotrófico, eutrófico o hipereutrófico.
- Humedales que reciben efluentes de estaciones depuradoras de aguas residuales o entorno humanizado con aporte de productos químicos de síntesis.
- Tipo de producción agrícola del entorno y posible pastoreo de ganado.
- Fluctuación de los niveles de la lámina de agua.
- Hábitat de especies amenazadas, con presencia esporádica o permanente.
- Capacidad de gestión de las masas de agua:
 - Se puede desecar.
 - Hay recursos hídricos para poder introducir agua y favorecer su oxigenación.

Además de poder añadir todas las actuaciones programadas a que el humedal estuviera sometido de rutina, tales como vigilancia, analítica biológica y físico-química de aguas, censos de avifauna, proyectos de investigación, gestión del territorio, etc.

5.1.2.- Recogida de información en proceso continuado. Protocolos

Se trataría de mantener de forma continuada un sistema de información sobre los humedales que permita la gestión razonada de los mismos. El objetivo principal sería tratar de asociar la información significativa asociada a los casos explosivos de floraciones por cianobacterias, información que pueda permitir la alerta y acción tempranas en evitación del deterioro de las condiciones de equilibrio del humedal y las consiguientes mortandades, directas o indirectas por otros factores.

Dada la gran dificultad para establecer relaciones causa-efecto, por el comportamiento biológico tan diverso y cambiante de este grupo taxonómico, es en este caso más necesaria si cabe la búsqueda de una metodología rigurosa en la recogida de información. Más teniendo en cuenta la particularidad de comportamiento de cada especie / cepa en relación con cada enclave determinado y su realidad ecológica, bien por sus condiciones ambientales, bien por



la comunidad natural en equilibrio en ese asentamiento. La utilidad de los datos recogidos se mejoraría con:

- Establecimiento de protocolos que permitan limitar al máximo la subjetividad en el proceso de registro de información.
- Formación común a todos los encargados del inventario de información.
- Mantenimiento del sistema durante un período dado, revisión e implantación de los sistemas a implementar de forma permanente.
- Puesta en común de experiencias con otros grupos de trabajo.

Se establecen los siguientes protocolos de recogida de información en humedales:

PV - PROTOCOLO VIGILANCIA

Personal administrativo especializado (guardería/técnicos/vigilantes) realiza revisión visual del humedal, al menos en tres ubicaciones, cubriendo la máxima superficie posible de agua libre sobre todo la menos expuesta al viento, para registrar:

- Presencia / ausencia de turbidez y de proliferaciones de cianobacterias evidentes.
- Registro de temperatura ambiente, viento y humedad
- Presencia y censado de especies en catálogo de amenaza.
- Incidencias (vertidos, mortandad, pastoreo, etc.).

PMA - PROTOCOLO MUESTREO AGUA

Personal administrativo especializado (guardería/técnicos /vigilantes) toma muestras de agua de acuerdo con el protocolo propuesto por el laboratorio, preferentemente duplicadas en al menos dos localizaciones por humedal, preferentemente en el interior. Sobre las muestras tomadas se hace una determinación directa de turbidez a contrastar con la observación de transparencia directa del vaso lagunar.

Se propone realizar en humedales diana determinaciones directas en el humedal mediante analizadores portátiles o se instalan sistemas de medición continua, al objeto de reducir el tiempo de espera, normalizar los resultados y ser eficiente en el gasto, dado que la analítica de laboratorio es costosa económica y laboralmente. Se precisan al menos las siguientes determinaciones en estos casos de muestreo automático:

- Temperatura del agua.
- Tasa de clorofila a y de pigmentos diferenciales para cianobacterias.
- Turbidez (implementado en el análisis de clorofila para corrección de ésta).
- pH.
- Conductividad.



- Demanda Biológica de Oxígeno (DBO).
- Determinación específica básica de género / especie de cianobacterias.

Complementadas por los análisis laboratoriales más precisos para los casos necesarios de alertas o trabajos de investigación:

- Clorofila a (700 nm) y otros pigmentos y clorofilas (420 a 700 -750 nm).
- Determinación de especies / cepas de cianobacterias.
- Densidad celular de cianobacterias y sobre todo biovolumen total.
- Análisis de cianotoxinas (microcystinas, anatoxinas, saxitoxinas y otras).
- Nivel de fosfatos y Fósforo total.
- Amonio, nitratos, nitritos y Nitrógeno total.

PM - PROTOCOLO MORTANDADES / ENFERMOS

Personal administrativo especializado (guardería/técnicos /vigilantes) o personal eventual contratado e incluso voluntarios, ambos bajo dirección de los primeros, recogen cadáveres para su traslado a CRAS y/o su eliminación como residuos peligrosos (SANDACH 1). Salvo especies incluidas en el catálogo de amenazas, que se vehiculan para su manipulación según los protocolos vigentes, orientados a recoger el máximo de información posible sobre las mismas y toma de muestras. Imprescindible uso de EPIs, dada la toxicidad sobre piel y mucosas de muchas cianotoxinas por contacto directo o inhalación.

Sobre cada individuo se deben hacer al menos las siguientes determinaciones:

- Detección de marcas individuales, si existen, para registro del código. Tipo y numeración.
- Detección de dispositivos de seguimiento telemétrico, si hubiera, para su retirada y envío a los equipos responsables del programa de seguimiento.
- Identificación de especie, sexo y edad si es posible.
- Estado corporal para determinar la intensidad de intoxicación y el período de inicio de afectación.

En el caso de animales enfermos se consigna, además de estos parámetros, una evaluación somera del estado general del animal y la respuesta de huida.

Los animales enfermos son derivados a emplazamientos de cuidados específicos, al objeto de suministrarles suero alimentario y a ser posible antitoxina, centros a ser posible establecidos en las mismas cercanías del humedal de forma provisional. Todo ello con el objeto de reducir los tiempos de inicio de tratamiento y reducir las condiciones de estrés de los animales.



5.1.3.- Puesta en común y análisis de la información

El control de cianobacterias en las aguas superficiales es una tarea enormemente dilatada en la gestión del uso público del agua para abastecimiento doméstico, agricultura e industria, así como en el uso recreativo de las aguas dulces y marinas.

Se trataría en un primer lugar de intentar coordinar la enorme maquinaria de trabajo rutinario existente hoy en día en prevención y control de floraciones cianobacterianas y sus tóxicos en el dominio del abastecimiento humano e incluso del ocio y hacerla extensible a las acciones de conservación del medio natural. Incluidas éstas claramente como objetivo en la Directiva Marco del Agua (DMA) de la administración europea y similares ordenaciones de gestión administrativa a lo largo del mundo. Toda la experiencia, conocimiento, medios materiales y humanos, así como rutinas de acción deben compartirse con los gestores del medio natural.

En otro estrato hay que fomentar la colaboración y coordinación entre todos los agentes implicados directamente en la gestión de humedales: administración gestora del humedal, profesionales de campo, administración competente en prevención, científicos, personal eventual y finalmente también en cierta medida los medios de información y público en general.

El establecimiento de una red de uso compartido de información puede contribuir al incremento de la eficiencia en la prevención. Es decir, contribuye a mejorar resultados en el esfuerzo sobre la eficacia de las determinaciones causa / efecto, en la carrera para acortar los tiempos de intervención y en optimizar los medios disponibles evitando acciones redundantes.

El objetivo final sería establecer una red tan amplia como sea posible que aúne los esfuerzos de diferentes administraciones, tanto en el ámbito territorial como en el operacional.

Las acciones sanitarias preventivas cada vez aceptan más el concepto de una única salud (individuos silvestres y domésticos, pero también especies animales y personas). Es por tanto el agua un continuo transversal entre el dominio natural y el urbano o antrópico, pero también animales salvajes y domésticos se ven gravemente afectados por esta amenaza para posibilitar un frente común de trabajo.

5.2. Establecimiento de un sistema de niveles de alerta

El proceso de vigilancia continuada descrita en el apartado anterior tendría como objetivo, en el ámbito de competencia del ente administrativo responsable de cada humedal, el establecimiento de unos niveles de vigilancia / alerta frente a la aparición de brotes de cianobacterias y su impacto sobre el ecosistema acuático, así como sobre las posibles



intoxicaciones por cianotoxinas, al objeto de minimizar / controlar la dimensión de la mortandad sobrevenida.

Los objetivos específicos serían:

- Aumentar el conocimiento de las condiciones ambientales, físico-químicas y biológicas del agua, y de la comunidad biológica del humedal y su relación con el desencadenamiento de la proliferación de las cianobacterias y sus toxinas
- La puesta en marcha de las medidas administrativas necesarias para hacer frente a las exigencias de cada uno de los estados de alerta.
- La detección temprana de la presencia de la proliferación masiva de cianobacterias y la probable intoxicación consecuente en aves acuáticas u otros vertebrados o invertebrados del humedal, que activarían los protocolos más exigentes del proceso preventivo orientados a evitar el crecimiento masivo de cianobacterias y reducir la mortandad.
- El aumento del conocimiento sobre las explosiones masivas de distintas cianobacterias, los elementos estimulantes de producción de toxinas y la mejora progresiva de los protocolos de prevención y control.
- La posibilidad de la revisión protocolizada de la campaña de acción y la relevancia del conocimiento social de las acciones preventivas.
- Las acciones especiales sobre las especies amenazadas.
- La adopción de forma progresiva de límites específicos locales cuantificados y válidos en cada caso para adoptar el cambio del nivel de alerta, al objeto de realizar una gestión posibilitista y eficaz.

Se consideran en general en la gestión tres niveles diferenciados de actuación, definidos en la figura a continuación, que podrían generalizarse con los nombres de:

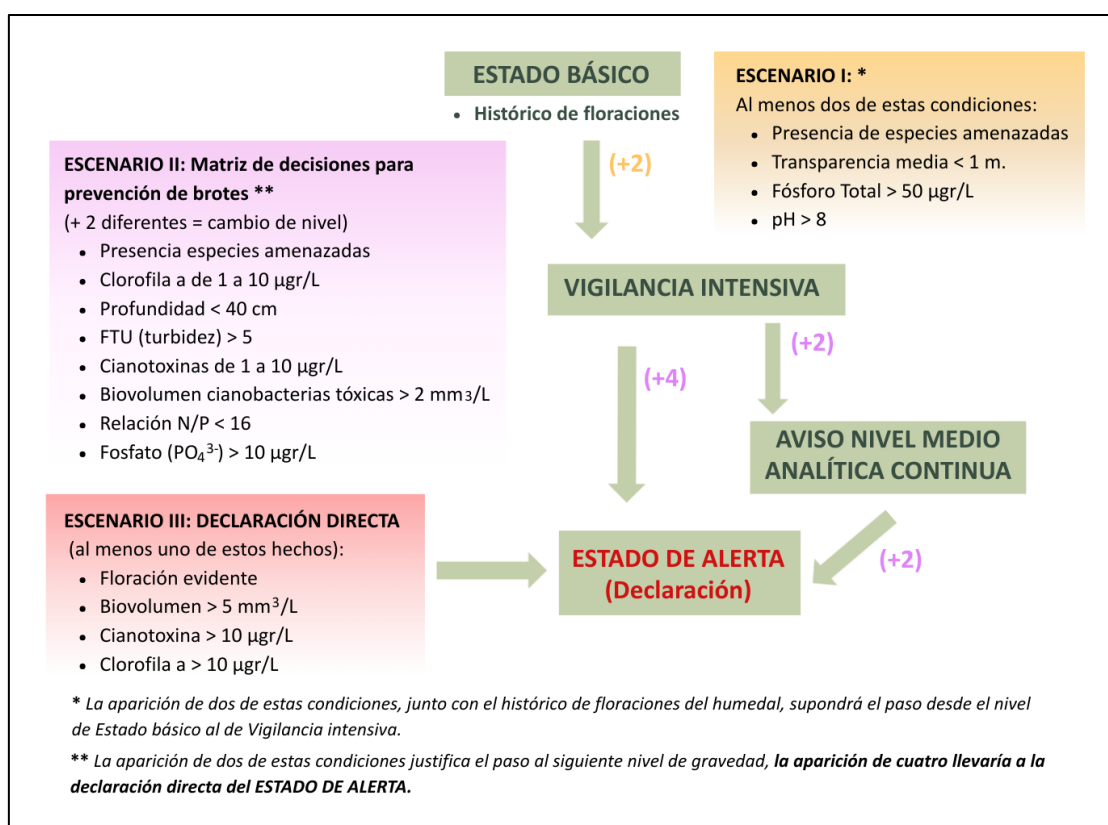
- **Nivel 1 - BAJO – VIGILANCIA intensiva.**
- **Nivel 2 - MEDIO – AVISO** - muestreo continuado por alerta.
- **Nivel 3 - ALTO – ALERTA - intervención urgente.**

Los humedales con aguas procedentes de vertidos continuados desde una EDAR pasarían directamente a un nivel medio de muestreo rutinario intensificado.

Cada uno de los niveles va ascendiendo en la exigencia de las acciones a implementar, en función de los parámetros que se describen en este capítulo, e incluyen en todos los casos los niveles de acción inferiores, a los que el humedal no revertiría hasta no verse eliminadas las condiciones que lo hicieron subir de nivel de actuación.



Una vez que los sistemas se pongan en funcionamiento, se puede modificar y complejizar la matriz de toma de decisiones para que sea más precisa y eficaz, implementando posibles variaciones locales extraídas de la experiencia controlada. Los sistemas de análisis de nivel 2 deben ser disciplinados dada su complejidad.



5.2.1.- Información para alertas – Consideraciones generales

Hay una serie de parámetros generales a diferenciar de los específicos a la hora de implementar la matriz de toma de decisiones para definir la situación del humedal en cuanto a la gestión frente a las cianobacterias. Haciendo las salvedades necesarias al hecho de que nos encontramos ante un proceso de interrelaciones muy dinámicas y cambiantes, los aspectos globales o generales nos permiten en principio enmarcar espacialmente por un lado y temporalmente por otro las acciones a desarrollar:

- Localizaciones preferentes: los lugares donde el histórico documentado, o las sospechas fundamentadas de su incidencia, hacen más probable la aparición de los problemas. La determinación de nuevas potenciales localizaciones es una tarea necesaria, a medida que la problemática sea más conspicua a nivel social o general, trascendiendo el actual conocimiento profesional.
- Períodos del año: dado que las explosiones masivas de cianobacterias son resultado de un crecimiento biológico acelerado por determinados factores abióticos de



sencilla determinación, deberíamos definir inicialmente épocas del año, que inicialmente podríamos dividir en dos etapas generales a variar dependiendo la latitud. Por tratar de igualarla a otros planteamientos de control y gestión las situaríamos entre noviembre a marzo con menor incidencia y de abril a octubre la de vigilancia incrementada.

5.2.2.- Información para alertas – Consideraciones específicas

Definimos otros aspectos específicos, medibles de forma objetiva, cuyo seguimiento y asociación nos pueden permitir determinar su significación y poner límites de acción en los sistemas de alarma. Como recordatorio, la evidencia de que es imprescindible marcar pautas determinadas de actuación, pero a la vez asumir la responsabilidad en la toma de decisiones en cada caso, ya que siempre existen evidencias en las que las floraciones no parecen ajustarse a límites estandarizados. La toma de datos de campo rigurosos y su asociación posterior con la teledetección sobre los mismos enclaves puede permitir automatizar sistemas de alerta futuros de importante eficiencia.

La bibliografía aporta por lo general patrones de control para las aguas de uso humano directamente en consumo (potabilizables) o para actividades recreativas de mayor o menor riesgo en la posible ingestión de tóxicos de origen en cianobacterias, como baño y buceo o actividades deportivas de competición o recreativas (natación, piragüismo, vela, etc.), más en agua dulce pero también en aguas costeras.

No existen sin embargo referencias al daño ambiental potencialmente causado por estas inflorescencias en la fauna silvestre, salvo la afección en peces cuyo consumo no es aconsejable en la pesca deportiva y/o comercial en situaciones de inflorescencias. Y la mortandad no desdeñable de perros en temporada de baño estival, no así en período de caza en humedales, época sin proliferación tóxica.

Los parámetros específicos más comúnmente utilizados en los programas de predicción y sus niveles serían:

1. Histórico de mortandades por cianotoxinas. Fecha de inicio de las proliferaciones:

Al objeto de mantener esos humedales en vigilancia intensiva, al menos durante el periodo de potencial eclosión cianobacteriana.



2. Evidencia de floraciones:

Sería aconsejable una inspección ocular SEMANAL, preferentemente en ausencia de viento y en las primeras horas del día, en los lugares identificados como localizaciones preferentes, atendiendo a la presencia de floraciones de cianobacterias superficiales o metalimnéticas para la detección de:

- densas espumas en la superficie de algas verdeazuladas (acumulativas)
- acumulaciones de granos de arena verde flotantes (acumulativas)
- intensa pintura verdeazulada cercana a la superficie (acumulativas-dispersivas)
- cambio de color del agua en ausencia de condicionantes externos (dispersivas)

Toda evidencia de floración supondría **pasar directamente a un nivel 3 de alerta**, con intervención directa sobre el humedal.

3. Turbidez y su evolución:

Toma de medidas en la columna de agua para observación directa estandarizada a través del disco de Secchi. Toma de muestras para observación directa en probeta transparente contra un patrón de colores o uso de un tubo de turbidez con el mismo patrón del disco de Secchi o de un turbidímetro calibrado.

La evolución de la turbidez está asociada, en condiciones meteorológicas controladas de viento o aportes de agua ya sedimentados, a la actividad biológica del entorno acuático. Sobre todo, en lo que respecta al crecimiento de fitoplancton / cianobacterias. En humedales poco profundos la situación de normalidad sería la visualización del fondo y alerta cualquier situación que impidiera dicho alcance.

Las aguas para consumo humano presencian exigencias mayoritarias de turbidez por debajo de 1 FTU (unidades de turbidez de formacina). Dado que la turbidez apreciable al ojo humano estaría en el entorno de la 5 FTU, y que esta escala es más usada para medir alta turbidez, acordamos en este nivel la consideración máxima para las aguas en los humedales. Se consideraría que **mediciones por encima 5 unidades FTU debería desencadenar un cambio en el nivel de alerta**.

En ausencia de mediciones de precisión, la contrastación de turbidez visualmente sobre plantilla debería ser el método de elección para la toma de decisiones.



4. Determinación de clorofila a:

Su importancia está dada como medida indirecta, fácilmente accesible por automatizable. Más que la medida absoluta puntual, la evolución de las medidas en el tiempo sería el elemento significativo de decisión para la prevención de inflorescencias, ya que la clorofila a está compartida por las cianobacterias con el resto de los organismos fotosintéticos, pero la respuesta activa de las cianobacterias a las condiciones favorables es más precoz e intensa que en el resto, lo que nos puede permitir anticipar las explosiones de biomasa.

De la misma manera, encontramos la determinación de la concentración de otras clorofilas y de pigmentos diferenciales (ficobiliproteínas) que permite la absorción de la luz a longitudes de onda muy variable respecto de la clorofila a. Muchas de estas determinaciones son también automatizables para la lectura sobre el terreno o en origen en modo continuo.

Por debajo de 1 µgr/litro de clorofila a nos encontraríamos siempre en un proceso de seguridad. Sin embargo, por encima de esta concentración habría que poner en marcha el control de otros parámetros complementarios, y **directamente por encima de concentraciones de 10 µgr/litro pasaríamos a determinar un estado 3 de intervención.**

Determinados países presentarían valores superiores de alerta, desde el doble a cinco veces superiores (OMS, UE). Sin embargo, también se describen floraciones por debajo del límite de 10 µgr/litro, aunque no realmente explosivas.

5. Determinación de cianotoxinas (si posible en equivalente de microcystinas):

De todas las cianotoxinas las microcystinas, hepatotoxinas producidas por el género *Microcystis spp.*, así como *Nodularia spp.*, *Anabaena spp.* y otras especies, son las más habituales, con alrededor de 240 variantes repertoriadas. Por ello se intenta convertir la toxicidad de otras menos conocidas a equivalentes de microcystina.

Por ello la identificación analítica de estas moléculas y su cuantificación en las aguas objeto de vigilancia suponen un elemento clave para la determinación del riesgo de la gravedad en las consecuencias de una proliferación de cianobacterias.

En situación normal de crecimiento explosivo, la producción de cianotoxinas por parte de las células es muy inferior en los primeros días de vida celular que hacia el final del ciclo de crecimiento (unos 30 días de media), generación tóxica que puede superar hasta en quince veces las tasas de las células jóvenes. Como la liberación de la toxina está ligada mayoritariamente a la senescencia celular, los primeros síntomas de inflorescencia son fundamentales para tratar de minorar el impacto tóxico de la eclosión. La acción preventiva temprana se demuestra nuevamente imprescindible.



Los límites admitidos de microcistina en el agua de consumo humano se cifran en 1 µgr/litro, para un peso medio de 60 kg y un consumo de 2 litros /día. Todos para un límite tolerable de ingestión diaria establecido experimentalmente en laboratorio en 0,04 µgr/kg de peso vivo. No existen evidentemente conocimientos de tolerancia al consumo en los vertebrados silvestres, pero podrían establecerse en valores similares.

El problema básico para la fauna silvestre es la bioacumulación tóxica a lo largo de la cadena trófica. De la misma manera que cada vez se acusa más el impacto de los tóxicos cianobacterianos a través de la acuicultura o captura recreativa o comercial de moluscos y peces para consumo humano, la bibliografía recoge concentraciones incrementales de toxinas en la necropsia de animales silvestres, resultado de mortandades asociadas a cianobacterias, en relación con su posición dentro de la pirámide trófica.

El impacto sobre los animales domésticos en épocas de baño está bien documentado y las muertes de perros de compañía forman parte de un proceso conocido a nivel de la clínica veterinaria en muchos países. Parece que la vía de ingestión de toxinas por la mucosa oral facilita su acción sobre el organismo, favorecida por la acción irritativa sobre las mucosas de otros productos químicos de las cianobacterias. El consumo de agua voluntario en animales en abrevaderos, o la ingestión directa de agregados macroscópicos de cianobacterias en caso de aves y rumiantes, pueden agravar los niveles de afección de la toxina.

Para las aguas de uso recreativo se utilizan parámetros de consumo accidental en caso de uso intensivo para personas, por lo que presentan en general en los diferentes países una tolerancia más elevada, en torno a los 10µgr/litro para la clausura de uso. No es desdeñable el impacto sobre ciertas actividades como el buceo y el remo reforzando por un lado la importancia de la vía penetración dérmica, así como la relevancia de la formación de aerosoles con toxina impactando sobre mucosas respiratorias.

La presencia de cianotoxinas en niveles traza se da por descontada en todos los humedales. Al tratarse además de moléculas en la mayor parte de los casos asociadas a una fotodegradación rápida, aunque con una enorme diversidad en los tiempos de neutralización natural en función de condiciones naturales y existencia de reservorios, la problemática más acuciante existe sobre todo en las elevadas concentraciones que se alcanzan, ligadas a las floraciones de crecimiento incontroladas, y la afección directa en esos momentos sobre la fauna y flora.

La presencia de cianotoxinas colocaría en todo caso los niveles de alerta para los humedales en el **grado máximo de intervención urgente en concentraciones en niveles por encima de 10 µgr/litro (10 ppb)** con analítica tradicional tipo ELISA o HPLC, siendo desde **1 hasta 10 µgr/litro** es un dato adicional significativo en la matriz de decisiones. Como se ha comentado previamente, el límite tolerable de ingestión diaria se fija experimentalmente en 0,04 µgr/kg de peso vivo.



6. Identificación específica de cianobacterias y cuantificación celular o estimación cuantitativa preferentemente mediante biovolumen (tesaurus al efecto):

Alrededor de cincuenta especies de cianobacterias son potenciales productoras de toxinas, existiendo para algunas de estas cepas que son no toxigénicas. La máxima precisión en el análisis favorece una gestión adecuada.

Al margen de la identificación morfológica al microscopio, se desarrollan algunos sistemas de análisis a través del ARN ribosómico que permiten determinar no solo la especie de Oprocariota sino, con la identificación de secuencias génicas asociadas a la toxicidad, la identificación de las cepas tóxicas dentro de las cianobacterias tóxicas más comunes. Algunos sistemas de identificación in situ mediante maquinaria portátil, apoyados luego en el laboratorio, son básicos en la reducción de tiempos de reacción ante eclosiones. Los biosensores son asimismo medios de elección a considerar.

Valores en el entorno de 20.000 células/ml de cianobacterias tóxicas son manejados habitualmente para definir el mayor grado de alerta previo a la floración. Pero existen especies con células muy pequeñas, cuya capacidad toxigénica es menor frente a células de mayor tamaño, donde el simple conteo no sería un elemento demasiado clarificador. Por ello se usa preferentemente el concepto de biovolumen, en función de la identificación individual y cuantificación, aplicando tamaños medios en función de la morfología para aproximar el volumen total.

Se definen concentraciones para **decretar la alarma de nivel superior alrededor de 2 y en algunos casos hasta 5 mm³/litro**, mientras una alarma de grado medio estaría asociada a volúmenes por encima de 1 mm³/litro. **Por encima de 5 mm³/litro se determina el paso a nivel de ALERTA MÁXIMA.**

7. Presencia / nidificación de especies incluidas en los catálogos oficiales de especies amenazadas:

El objetivo general es la protección ecosistémica, pero el objetivo particular del riesgo de mortandad asociado a especies vulnerables es un factor añadido para extremar los disparadores de alerta utilizando en esta amenaza sus rangos más bajos.

8. Evaluación del nivel de Fósforo total y del ión Fosfato (PO₄³⁻):

No hay unanimidad en la comunidad científica en cuanto a la importancia que debe darse a este factor. Los niveles de contaminación acumulada son preocupantes en su origen urbano, sobre todo previa al cambio de normativa en detergentes y favorecida por un insuficiente tratamiento correctivo en las aguas residuales. Más preocupante en sistemas acuáticos



naturales es su procedencia agrícola, incrementada en los últimos años, con especial impacto por los cultivos intensivos.

La denominada revolución transgénica, con el cultivo de plantas genéticamente modificadas para resistir herbicidas de síntesis y la intensificación de la fertilización representa un problema en muchos cuerpos de agua. Controvertidos productos químicos, con un crecimiento de uso exponencial en todo el mundo como el glifosato, están en el punto de mira, entre otras causas por el elevado aporte de fósforo en el proceso de descomposición.

Sin embargo, dependiendo de diferentes condiciones ambientales, las cianobacterias pueden explotar el fósforo de manera muy eficiente, reseñándose inflorescencias con lecturas de fósforo total por debajo del límite de detección analítica. La recomendación general sería que los niveles de ión fosfato (PO_4^{3-}) **por encima de 10 µgr/litro serían significativos para su incorporación en la matriz de decisiones.**

Para el fósforo total **se utilizan valores de cambio de estado de 100 µgr/ litro, pero muchos autores señalan que este punto de corte debería situarse entre 20 y 50 µ/litro.** Dado que no existen variaciones inmediatas de estos valores, salvo escorrentía ligada temporalmente a fertilización agrícola intensa, sería más interesante usar estos valores para la catalogación anual o plurianual del humedal, correlacionándolo con patrones climáticos o hidrológicos del cuerpo de agua.

De esta manera, con concentraciones de fósforo total a partir de 20 µ/litro, las condiciones generales de transparencia del agua, los patrones de mezcla de agua en el humedal y persistencia temporal de la misma (en sistemas abiertos) y el pH servirían para una situación en aviso permanente a pesar de no tener histórico de floraciones.

9. Evaluación del nivel de Nitrógeno inorgánico disuelto (DIN), por la suma de iones amonio (NH_4^+), Nitritos (NO_2^-) y Nitratos (NO_3^-):

Es realmente complejo el establecimiento de valores diana de nitrógeno como factor desencadenante de un cambio en los niveles de alerta, ya que la química de este elemento y sus iones en el agua es muy compleja. Además, existe la posibilidad de gran número de especies de cianobacterias de utilizar el nitrógeno atmosférico para la síntesis de moléculas orgánicas complejas.

En situaciones de elevada concentración o bien de escasez, pueden desencadenarse floraciones para especies diferentes. Incluso la escasez puede ser ventajosa para las cianobacterias frente a otros organismos competidores para el nitrógeno. Se utiliza la relación nitrógeno/fosfato como posible indicador de alertas, con cifras de normalidad en torno a valores de 16 o ligeramente superiores. Se pondrían en **alerta las medidas de control**



para valores derivando marcadamente por debajo de 16, donde el fósforo domina frente a la situación de equilibrio.

10. pH:

Las floraciones cianobacterianas cursan con aumentos de pH marcados, pero se admite en general que esto es más una consecuencia que una causa. La tendencia general es que los humedales con pH más elevados presentan más riesgo de crecimiento masivo de cianobacterias, pero en la serie analítica existen humedales no afectados por eclosiones masivas con pH estructurales por encima de 9 puntos.

A vigilar y tomar en consideración, más que el valor absoluto debe considerarse la estabilidad/variación de este de forma concomitante a variación de parámetros estacionales meteorológicos e hidrológicos.

11. Temperatura del agua, asociada en su evolución a temperatura ambiente, condiciones de la masa de agua y temperaturas anuales:

Hay una clara asociación climática de la temporada de riesgo de las inflorescencias, que pueden aparecer casi durante todo el año en regiones tropicales y subtropicales y normalmente se restringen a un período de 4 a 6 meses en las áreas templadas. Para muchas especies hay un rango intermedio óptimo de crecimiento entre 20 y 25°C, aunque otras especies tóxicas son eficientes bien por encima de este rango.

La intensidad lumínica provoca asimismo una representación gaussiana del crecimiento de las cianobacterias, aunque determinadas estrategias de autoprotección celular prolongan la actividad metabólica de las mismas en situaciones de intensidad lumínica por encima de lo esperado. Puntualmente se asocia también con este hecho la producción de toxinas como respuesta metabólica de protección.

Los meses de junio a septiembre serían los de máxima incidencia, pero la diversidad de adaptaciones específicas hace que el funcionamiento como grupo de especies pueda alargarse antes y después de estos períodos de vigilancia intensiva. La coincidencia es unánime en que son ya y serán en el futuro uno de los grupos biológicos con mejor capacidad de adaptación a las condiciones cambiantes dentro del llamado marco del cambio climático, dada su capacidad de respuesta rápida a la variación de los patrones climáticos y una mayor tendencia a la disrupción de estos.

12. Nivel de agua y su evolución, referenciado a las medias mensuales del histórico:

Es importante controlar las variaciones de nivel asociadas a las variables climáticas. La evaporación acelerada de la masa de agua supone la evidencia de incremento de las



condiciones de estrés para la comunidad biológica sumergida, la concentración de todos los parámetros y el desencadenamiento de procesos de descomposición de materia orgánica con anaerobiosis progresiva de la masa de agua. Determinados autores cifran por debajo de 40 cm de profundidad el encendido de alertas.

En resumen, dada la enorme variabilidad de condiciones en las que se presentan problemas y la evidencia multitietiológica de muchos de ellos, normalmente las acciones que desencadenan la toma de decisiones son varias actuando de manera simultánea.

Es por ello por lo que se definen unos determinados niveles críticos en varios parámetros significativos como valores únicos para el encendido de la alerta máxima y otra serie de valores para los mismo u otros parámetros que, en función de su presencia conjunta (dos o cuatro), determinarían los niveles de intensificación de la vigilancia o decisiones más drásticas.

Se remarca la necesidad de ajustar con la experiencia local los niveles de actuación y sobre todo la toma de decisiones, a la vez que se recomienda el mantenimiento de una estructura de funcionamiento lo más homogénea posible durante los primeros años de acción del sistema de prevención, para poder extraer conclusiones que se puedan generalizar. Si en los años previos esa experiencia existe con información objetiva, se recomendarían ya protocolos específicos para cada humedal.

La asociación de los datos obtenidos con modelos de previsión climática puede ser de gran utilidad a la hora de determinar modelos preventivos eficaces. Para los períodos de estrés hídrico importante con la desaparición de humedales alternativos, la concentración de grandes cantidades de aves en muy poco espacio es un elemento a tener en cuenta, siempre que se disponga de los datos de censos adecuados. El manejo “artificializado” de determinados espacios naturales es una realidad que hay que tener siempre en consideración.

Como otros muchos ejemplos donde el manejo preventivo exitoso se traduce en la ausencia de problemas, la elaboración de un sistema eficaz de alertas puede desembocar en la falta de visibilidad de los resultados positivos de la acción. Por ello, y aunque no se incluye en el esquema de funcionamiento, se propondría la existencia de una **fase o nivel 4 de valoración de resultados y divulgación de la acción preventiva.**

Es necesaria una comunicación efectiva a la sociedad de los riesgos ambientales de las cianobacterias, al objeto de atraer la colaboración ciudadana para los sistemas de vigilancia y facilitar la toma de posición ante posibles alertas afectando no solo al entorno natural sino al humano. Transmitir que la noticia no es la catástrofe o la mortandad, sino precisamente la ausencia o minoración extrema de la misma gracias al trabajo preventivo podría ser un buen ejercicio pedagógico. La cuantificación económica de las contingencias negativas evitadas



(mortandades, afectación a especies en peligro, contaminación de humedales, etc.) sería asimismo interesante.

5.3. Actuaciones preventivas estructurales o de largo plazo

Se incluyen aquí todas las actuaciones de cierta envergadura, destinadas a paliar o minimizar los efectos favorecedores de las mortandades cíclicas y afectación de humedales, que intervienen bien atajando las condiciones estructurales que hacen de los humedales un potencial problema de floración de cianobacterias o bien proponiendo soluciones a medio y largo plazo que permitan acciones correctivas en momentos de crisis.

Muchas de estas acciones necesitarían complementarse para una acción eficaz.

5.3.1.- Control de nutrientes

Muchos de los procesos negativos para la conservación que suceden en los humedales están provocados por el nivel de eutrofización de estos. La presencia incrementada de nutrientes, muchos de ellos de origen antrópico y en especial fósforo (P) y en menor medida nitrógeno (N), permite una elevada producción primaria en época de temperatura del agua y luminosidad creciente. Al iniciarse el proceso de restricción hídrica del humedal, una buena parte de la masa biológica producida comienza a morir y descomponerse, elevando el consumo de oxígeno disuelto en el agua y modificando drásticamente las condiciones del medio acuático.

Asociada a la multiplicación celular, muchas de las cianobacterias tóxicas presentes de manera frecuente en los humedales incrementan la producción de toxinas y con ello la afección de la comunidad biológica.

Es por tanto necesario intervenir a medio y largo plazo en el control y disminución de los nutrientes y la materia orgánica del humedal. Por un lado, hay que reducir la incorporación de estos a través de la entrada de agua del sistema hídrico, para lo que habría que reducir en lo posible la sobrefertilización agrícola en el entorno del humedal, particularmente en época de riesgo de incorporación por escorrentía.

Es constatable que existe un impacto importante por parte de los sistemas agrícolas, por lo que se proponen diversas acciones en el entorno agrario de las lagunas:

1. Formación y vigilancia en la aplicación de las dosis de fertilizantes estrictamente recomendadas en una política de buenas prácticas agrarias.
2. Fomento de la transición en el entorno cercano de los humedales hacia sistemas agrícolas con bajo consumo en fertilizantes, o su inclusión en sistemas agroecológicos con fertilización orgánica basados en compuestos húmicos.



3. Sistema de captura de nutrientes en la entrada de los humedales a través de lagunaje filtrante de captación y sedimentación de partículas y nutrientes, balsas con mucha vegetación que permitan la retención del agua previa a la entrada del humedal.
4. Establecimiento de vegetación perilagunar diversificada y densa para forzar la ralentización de la escorrentía difusa hacia el humedal y mejorar la retención de nutrientes.
5. Establecimiento de islas flotantes de vegetación creando microsistemas de captación de nutrientes a través de las raíces libres, mejorando la transparencia del agua, estableciendo sistemas de competencia favorecida frente a cianobacterias y generando pequeños microhábitats donde pueden desarrollarse mejor los predadores de estas.
6. Reducción o prohibición de determinados productos químicos de síntesis usados como herbicidas, plaguicidas o fungicidas que liberan importantes cantidades de fósforo en el proceso de degradación.
7. Cosecha de vegetación perilagunar e intralagunar al objeto de capturar y retirar de forma definitiva determinadas cargas del humedal. Podas estacionales durante el período seco o de bajo nivel de agua que minoren la sobrecarga orgánica del sedimento del humedal.
8. Retirada urgente de cadáveres y restos orgánicos en caso de mortandades.

La ordenación territorial para un control y descenso permanente de nutrientes tiene que estar complementada en el caso que se produzca la incorporación al humedal, de forma puntual o periódica, de aguas procedentes de actividades humanas domésticas o industriales. La entrada intencionada en el humedal de agua con una alta carga de materia orgánica procedente de EDAR o de sistemas de riego supone un hecho frecuente de gestión de niveles de agua en muchos humedales.

En caso de que sea la fuente necesaria y continua de suministro al humedal, es importante demandar a la EDAR un proceso más sofisticado (y por ello evidentemente más caro) de captura de la materia orgánica en el agua de salida, sobre todo en el caso del fósforo.

De la misma manera se debe exigir al emisor del efluente un protocolo que demuestre un sistema de desvío de agua de salida en el caso de averías de la planta o de incorporación de agua por encima de los límites de procesado, por ejemplo, en el caso de tormentas.

Un aspecto relevante es la reducción de la carga biológica del humedal en lo referente al pastoreo doméstico. Salvo como factor potencial de eliminación de la vegetación emergente/riparia en épocas que el humedal se encuentra seco, con redileo nocturno fuera del humedal, las cargas de materia orgánica a través de deyecciones y la posible aparición de cadáveres de reses debe ser evitada en todos los casos.



5.3.2.- Gestión de los sedimentos

Asociada a la anterior, la acción propuesta debe analizarse con prudencia, ya que en el fondo del vaso del humedal se encuentran formas de resistencia y propagación de comunidades vegetales y animales, trascendentales en la renovación del humedal tras un periodo seco.

Sin embargo, el acúmulo de materia orgánica en el sedimento genera en muchos casos una bomba de relojería en el fondo del humedal. Sobre todo, en el caso del Fósforo, cuya ausencia o limitación permitiría el crecimiento bajo control de la comunidad fotosintética del humedal y que sin embargo es un problema creciente a pesar de las normativas de control de vertido implementadas en los últimos años tras un período sin control.

El control del contenido en fósforo de los detergentes y otros productos industriales e incluso determinadas experiencias de secuestro de fósforo en deyecciones animales e incluso humanas están haciendo disminuir progresivamente el vertido de fósforo a los sistemas acuáticos. Sin embargo, los sedimentos de los entornos acuáticos siguen presentando elevadas tasas de fósforo, que en muchos casos se siguen incrementando con el paso del tiempo, sobre todo por el origen agrario de los aportes.

Por ello se hace imprescindible iniciar experiencias de trabajo en retirada de sedimentos, para analizar si el balance entre las acciones que tienen un resultado positivo frente a las alteraciones negativas hacia el medio natural permite al compensar ambas y asumir el riesgo de las actuaciones en retirada de sedimentos.

La movilización de la materia orgánica a partir de los sedimentos, provocada tras una nueva inundación, es negativa para la conservación del humedal. De la misma manera el dragado del fondo está mayoritariamente desaconsejado, siempre que se pueda acceder al sedimento en un período seco o al menos de mínima actividad biológica

Se han realizado en ocasiones procesos de profundización del humedal tras episodios de colmatación, retirando previamente y reponiendo después la capa superior del sedimento. Quizá pudiera estudiarse la implantación para estas acciones, o para la remoción sin más de sedimentos, la aplicación de un nuevo fondo “artificial” con el aporte de semillas y elementos de resistencia obtenidos mediante cultivo externo.

5.3.3- Gestión de los niveles de agua. Aportes suplementarios / vaciado

Los ciclos estacionales de los humedales mediterráneos se ven deteriorados como consecuencia de la acción humana sobre el entorno, provocando mayores dificultades de adaptación por parte de la comunidad biológica de los mismos a las variaciones de patrones meteorológicos y a los procesos de cambio climático.



Aunque criticada por algunos sectores, la intervención humana a través de la gestión de los ciclos de llenado / mantenimiento / vaciado en determinados humedales es imprescindible para una gestión adecuada de las comunidades naturales sostenidas en ellos. Al igual que otros muchos sistemas naturales, a la actividad humana ha tenido históricamente gran influencia en el perfil actual de los mismos.

Dentro de la aceleración intensiva de los impactos en los últimos años, los sistemas acuáticos por sus características han sufrido mucho más intensamente la destrucción antropogénica de la situación de equilibrio compartido.

Se trataría simplemente de intentar compensar aquellas acciones negativas que se causan de manera directa o indirecta, voluntaria o involuntaria, a las zonas húmedas. Impactos perjudiciales como son el secuestro de agua para abastecimiento o riego, la colmatación, los vertidos de nutrientes y productos químicos, la desecación para cambio de uso, la extracción de recursos, las basuras conspicuas, etc.

En un primer lugar habría que recuperar sistemas naturales de captación de agua, impactados por la acción humana en la planificación del territorio sin tener en cuenta la conservación de estos, devolviendo al humedal parte de sus fuentes de suministro originales.

Pero sobre todo se trataría de planificar un sistema de abastecimiento artificial de agua para determinados humedales a través, bien de un proceso de estocaje específico en superficie o en subsuelo (pozos reservados), bien a través del uso del dominio público o privado de riego o de otros sistemas de abastecimiento.

El objetivo sería mantener los niveles de agua demandados desde la gestión del humedal para al menos completar de forma exitosa el período de cría, sin la aparición de las condiciones de desarrollo de las eclosiones de cianobacterias. La competencia por el uso del agua, sobre todo en los años secos, haría imprescindible el blindaje de las cantidades de agua que se estimen necesaria para la conservación.

De la misma manera hay que realizar actuaciones de drenaje, que permitan desecar determinados humedales de manera inmediata cuando las decisiones de gestión así lo requieran. Imprescindible en humedales con mortandades históricas. Este proceso de mezcla con aporte de agua, e incluso la actuación de vaciado parcial para lavado de cianobacterias y nuevo llenado pueden ser eficaces en la paralización de un brote.

Con carácter general, estas actuaciones de “infraestructura” y gestión de agua serían prioritarias en aquellos humedales con un histórico más relevante de afección a la avifauna y potencialmente también en aquellas áreas significadas por albergar poblaciones de especies en peligro.



5.3.4- Lucha biológica

La gran variabilidad de especies y cepas de cianobacterias, muchas de ellas tóxicas pero otras muchas no tóxicas, e incluso con diferentes comportamientos de intensidad de toxicidad en diferentes condiciones ambientales, hace posible en potencia una intervención biológica en el medio para favorecer especies o variedades que no presenten acciones perjudiciales para el humedal.

En la bibliografía se citan asimismo intervenciones en el medio natural al objeto de favorecer aquellas especies competidoras de cianobacterias al objeto de limitar las explosiones, como podría ser elementos del zooplancton, diversas especies de hongos y bacterias e incluso plantas macrófitas.

El amplio interés en el cultivo de cianobacterias para usos médicos, alimentarios, energéticos y otros está generando progresivamente un cuerpo de conocimiento de procesos controlados que pueden resultar de gran interés de cara a poder producir elementos naturales no agresivos capaces de competir con las floraciones agresivas simplemente por ocupación alternativa del nicho ecológico.

Especial mención presentan los moluscos bivalvos filtradores, capaces de retener importantes cantidades de cianobacterias en el proceso filtrante, aunque la mayoría de las experiencias han sido realizadas con especies no pertenecientes al propio ecosistema del humedal, demandándose necesaria una recuperación de las especies pertenecientes a la fauna local, cumpliéndose de esta manera una acción de conservación necesaria.

De la misma manera que aceptamos cultivos transgénicos en el entorno próximo de los humedales, no es descabellado conceptualmente que pudiéramos desarrollar o favorecer cianobacterias con crecimiento de intensidad más moderada y sin manifestaciones de toxicidad, utilizando cepas ya existentes o incluso pudiendo modificar genéticamente algunas de sus características más negativas.

Existe un elevado conocimiento de acción laboratorial al respecto y la eficacia de su utilización efectiva en el medio natural debe ser la consecuencia de un análisis argumentado, no obviando la realidad de un problema que se acrecienta día a día.

Todas las acciones de intervención biológica en el medio necesitan un cuidadoso análisis previo y una simulación de consecuencias que es necesario supervisar, pero es cierto que hoy en día numerosas agresiones al ecosistema por acción externa directa (introducción de especies de forma accidental o interesada, liberación tras cautividad, fomento de presencia en el medio de especies asilvestradas o domésticas promovidas por la acción residencial, favorecimiento de hibridaciones, etc.) no por ser ignoradas por la gestión responsable son menos dañinas para el entorno natural.



5.3.5.- Acción directa sobre las especies en peligro

Es imprescindible el seguimiento de las especies diana en situación poblacional mermada, donde la exposición a un riesgo cualquiera se magnifica por el impacto estadístico tan elevado y el compromiso de supervivencia en tanto que especie.

La capacidad de intervenir en la retirada de puestas o polladas debe ser considerada cuando esa mortalidad evitable puede incidir directamente sobre individuos de especies protegidas.

De la misma manera, la capacidad de atraer estas especies hacia los humedales más seguros desde el punto de vista de menor probabilidad de existencia de floraciones de cianobacterias tóxicas. Serían los humedales de elección para posibles sueltas o hacking de los pollos retirados en humedales críticos.

5.3.6.- Humedales alternativos

La reducción de humedales disponibles en período seco hace que la avifauna se concentre en ocasiones en unos pocos humedales, concentración de población poco aconsejable. Por un lado, porque incrementa las condiciones de deterioro del humedal en cuanto a materia orgánica y utilización de recursos disponibles. Pero por otro porque al estar concentrada, la avifauna es mucho más susceptible ante el posible estallido de una intoxicación por toxina producidas por cianobacterias y otras enfermedades o intoxicaciones.

Aunque pueda ser criticable, es preciso priorizar las especies de la avifauna de mayor valor en el ámbito de la conservación, por lo que sería necesario ofertar humedales alternativos para ser potencialmente ocupados por las especies de mayor censo en épocas de cuello de botella de disponibilidad de hábitat.

Estos humedales alternativos, en gran medida artificializados, pueden formar parte de un sistema interconectado que permita la gestión del agua en las épocas críticas. Lo ideal sería contar con una tríada de localizaciones de las que una actuaría principalmente como reservorio de agua de calidad controlada. El humedal intermedio se encontraría en las condiciones lo más originales posible y correspondería al humedal primitivo. Por debajo de éste habría una tercera cubeta de recepción de agua problemática donde se pudieran realizar algunos tratamientos o manejo específico sin especial afección a la fauna, disponiendo de capacidad de recuperación de éste agua antes de ser reincorporada al sistema lagunar o vertida al medio natural.

La necesaria gestión de los censos en las poblaciones de animales silvestres es un hecho innegable si la disponibilidad de los recursos es limitada y las interacciones entre ellas pueden poner en peligro especies ya amenazadas por otras causas.



6. Demandas de conocimiento básico y aplicado

Para una gestión eficaz del riesgo creado por inflorescencias tóxicas de cianobacterias es preciso incidir en el futuro en un conocimiento aplicado a la detección precisa, anticipada y asequible de las intoxicaciones en el medio natural.

Gran parte del conocimiento vendrá de la mano con las necesidades en la gestión del agua para usos domésticos y agrícolas, industriales y recreativos, así como del interés de las cianobacterias como plataforma de producción primaria proveedora de bienes de consumo a bajo coste con la utilización de recursos ya disponibles.

Toda la gestión de toma de decisiones deberá olvidar en un futuro próximo la elección intuitiva más o menos documentada por la elección de plataformas de decisión multicriterio, cuya alimentación corresponda a sistemas más precisos de medición unidos a la experiencia previa razonada.

Se presentan someramente algunos factores de interés en cuyo conocimiento se considera necesario profundizar:

- ✓ Sistemas de vigilancia automática mediante teledetección: Apoyándose en la red de supervisión satelital continua y en los sistemas de control de recursos naturales, el objetivo es tanto hacer una valoración general de los cuerpos de agua como un análisis continuado de las variaciones, pudiendo llegar a la determinación específica de cianobacterias, la cuantificación de su densidad y la relación con variables ambientales.
- ✓ Sistemas de detección in situ con transmisión en tiempo real: Por ejemplo, las sondas permanentes en humedales capaces de analizar parámetros significativos, cada vez de manera más precisa y de transmitirlos en tiempo real a un centro de toma de decisiones. Muchas mediciones de una precisión elevada con un sistema fácilmente sostenible por coste económico siempre serán más eficientes que una visita presencial con criterio perfecto, pero cara y dilatada en el tiempo.
- ✓ Secuenciación genética de las especies más problemáticas y asociación a criterios de toxicidad, lo que puede permitir desarrollar sistemas precisos y rápidos de identificación específica y cuantificación de la toxicidad potencial, permitiendo incrementar los análisis y avanzar la información para la toma de decisiones.
- ✓ Detección analítica de cianotoxinas más precisa, sobre todo en el ámbito de las toxinas neurotóxicas hoy menos conocidas.



- ✓ Reproducción in vivo de experiencias de laboratorio, al objeto de tener mayor certeza ante el comportamiento real en el medio ambiente de muchas cianotoxinas cuya acción laboratorial presenta controversia, pudiendo realizar diversas acciones y sus contrarias.
- ✓ Sistemas de bloqueo del fósforo en los humedales: Ante la difícilmente previsible reducción de los inputs de nutrientes sobre las zonas húmedas, sería necesario conocer más sobre los procesos naturales o intervenidos de secuestro del fósforo, en evitación de su papel en la estimulación de eflorescencias masivas de cianobacterias tóxicas.
- ✓ Sistemas de prevención del crecimiento incontrolado, al objeto de favorecer las relaciones en el ecosistema que permitan ralentizar los procesos de multiplicación celular, permitiendo la competencia y la intervención para la mitigación.

7. Declaración de alerta máximo. Toma de decisiones

En este apartado se reflejan todas las estrategias posibles de acción tras la declaración de una alerta de máximo nivel, al objeto de reducir el impacto sobre el ecosistema mediante la mitigación de la intensidad de la inflorescencia, la reversión de esta o el acortamiento de su duración.

Tras la confirmación de un brote de cianotoxinas, las actuaciones posteriores se dirigen a mitigar el impacto de intoxicación sobre la fauna silvestre y a la reversión de las condiciones ecológicas que impidan el mantenimiento del brote. Aunque las actuaciones de gestión del hábitat tras la detección del brote conllevan un coste elevado y unos efectos variables, resulta recomendable acometer una serie de acciones para mitigar y reducir el impacto, como son:

A. Manejo de los niveles, renovación de agua del humedal

En humedales con posibilidad de manejo y cuando el volumen de agua disponible y/o desechable así lo aconseje, es importante realizar un efecto lavado del contenido del humedal, preferentemente progresivo. Con agua en la entrada disponible, se propone un vaciado rápido para la eliminación del contenido en cianobacterias a la vez que se recarga el humedal por la entrada, con el objeto de no desestabilizar en exceso la comunidad biológica presente en el mismo.

Se trata de una solución temporal, utilizada sobre todo para el mantenimiento del período de cría si éste se encuentra en período crítico, preferentemente en el caso de especies amenazadas, y hasta que pueda darse éste por concluido. Si el agua de entrada es de buena calidad, se dispondría de un lapso temporal de entre 15 a 30 días hasta que el problema comience a generarse nuevamente.



Al no actuar directamente sobre las células de cianobacterias no se provocaría un incremento brusco de los niveles de cianotoxinas en agua, resultante en procesos que provocan la lisis celular con liberación de la toxina intracelular.

Idealmente se dispondría de un entorno alternativo para recoger las aguas desechadas, con menor valor ecológico que el de referencia, al objeto de poder realizar en él tratamientos o acciones de neutralización de las cianotoxinas o de las propias células, antes de liberar finalmente las aguas a un nuevo uso o de su vertido al medio.

En el caso de humedales conectados podría recuperarse el agua tras el tratamiento o realizar en la cubeta de recogida determinadas experiencias de manejo de inflorescencias. No sería adecuado utilizar el agua para riego agrícola sin tratamiento.

B. Remoción de la fauna del humedal

Cuando no pueda actuarse en el cambio de las condiciones de la inflorescencia, en un caso de alerta temprana es posible incidir sobre la macrofauna de interés al objeto de desplazarla a emplazamientos alternativos.

Se trataría de recuperar mediante captura la macrofauna de anfibios y peces para llevarla a nuevos emplazamientos y de incrementar las molestias de manera evidente para ahuyentar a las aves del humedal. Dada la posibilidad de bioacumulación de tóxicos, sería necesaria una etapa de vigilancia previa antes de la liberación definitiva de los animales en otro emplazamiento que pudiera trasladar el problema.

Dada una previsible incidencia temprana de la intoxicación, es posible encontrarse ya con animales afectados por una intoxicación no letal sino debilitante, por lo que habría que instaurar sistemas de captura y tratamiento de animales enfermos o limitados en su autonomía.

En el caso de existir ejemplares no autónomos de aves o incluso puestas es necesario contar con la programación adecuada para la reubicación de huevos a incubar o de pollos que no puedan volar todavía.

En la acción sobre el humedal es fundamental una retirada urgente y exhaustiva de cadáveres, que agravan la potenciación de otras enfermedades.

C. Acciones para la ruptura de la dinámica de proliferación de cianobacterias en el humedal

Muy costosas y en general poco eficaces, se pueden realizar ciertas acciones tendentes a romper la dinámica de las condiciones ambientales coordinadas que promueven la inflorescencia, aún a riesgo de un empeoramiento puntual de las condiciones.



La oxigenación forzada del agua mediante aireadores que crean burbujas de aire en el interior del agua provoca una mayor incorporación de oxígeno al agua, con un puntual descenso del pH, a la vez que una mezcla de agua y aumento de turbidez, que puede desestabilizar el crecimiento de cianobacterias. Pero asimismo puede estimular un incremento en la liberación de toxinas.

El dragado de sedimentos para interrumpir el suministro de fósforo, la interferencia para alterar las condiciones lumínicas sobre el cuerpo de agua, la generación de turbulencias que impida un estancamiento de la lámina de agua son otras alternativas.

D. Desecación del humedal

Se trata de una actuación ejecutiva e inmediata si existen humedales alternativos y se ha completado el período de cría. En caso contrario, cuanto antes se pueda realizar menor va a ser la carga de toxinas vertidas al entorno y el impacto sobre la comunidad del humedal.

E. Sustancias químicas de control

Se reflejan alternativas como la adición de compuestos naturales capaces de neutralizar en cierta manera células y toxinas, como podría ser la paja de cereales o algunas cortezas en descomposición. Se reseñan efectos positivos con la paja de cebada fermentada y la corteza de eucalipto, al igual que con ciertos extractos naturales de plantas, en la mayoría por la generación de compuestos húmicos y una flora bacteriana específica, capaces ambos de neutralizar células y toxinas.

También existe la posibilidad de añadir al agua peróxido de hidrógeno (H_2O_2), elemento desinfectante relativamente asequible y sin metabolitos secundarios perjudiciales. Pero la dosificación debe ser muy precisa para no afectar a otra biota de interés, ya que existe un riesgo muy elevado de que las condiciones de aplicación varíen mucho de las pautas de dosificación establecidas en laboratorio, con unas condiciones diferentes.

Parece concluirse la necesidad de realizar estudios de campo con tratamientos reiterados a baja dosificación, dada la rápida degradación de la molécula en el agua, y en periodos estimados previos a la aparición de inflorescencias, donde su acción podría ser más eficaz. También se evitaría así la liberación de cianotoxinas por muerte celular, de manera que se incorporaría al posible catálogo de acciones preventivas más que a tratamientos.

La precipitación directa y clausura de nutrientes en el sedimento mediante adición de compuestos químicos es otra alternativa poco aconsejable.



De la misma manera el tratamiento directo con alguicidas o incluso con herbicidas agrícolas está prohibido en la gran mayoría de países por su intensa afectación a flora y fauna de los humedales y su nulo interés a futuro por la generación de resistencias.

F. Revisión de condiciones ambientales

El conocimiento directo de las condiciones en el origen de las floraciones es el mejor tratamiento que puede realizarse ante un brote. Es necesario dedicar el tiempo suficiente a analizar los procesos a corregir ante una crisis, evidenciando que los paliativos que podamos implementar son escasos y bastante ineficaces cuando no contraproducentes.

Se retoma en este sentido el hecho de la importancia de convertir el “cero problemas” en lo que podría denominarse problema cero. La información más sensible y exacta de que las cosas funcionan en un humedal sin brotes debe ser la base de partida para conocer cuándo el humedal entra en desequilibrio y futuros problemas. Es importante darle a la información subyacente **cero problemas** su adecuado valor

8. Conclusiones

Monitorizar las cianobacterias es imposible, ya que se trata de un grupo enormemente amplio y diversificado que debemos contemplar en su conjunto, ya que a nivel de acción muchas actúan de forma complementaria o sustitutiva.

Su primitivismo les otorga ventajas competitivas enormes en el medio ambiente, ya que han tenido oportunidad de adaptarse a lo largo de la historia evolutiva más dilatada de los seres vivos en el planeta. A la vez de una multiplicidad de respuestas adaptativas como grupo, la versatilidad de las diferentes especies e incluso cepas o subvariantes taxonómicas es muy remarcable.

Las condiciones climatológicas cambiantes por venir en los próximos años parecen acordar un escenario conveniente para la expresión de sus potencialidades, en detrimento de otros grupos biológicos ahora aventajados. Por otra parte, las transformaciones ambientales aceleradas de origen antropogénico están realmente en el origen de su alarmante impacto en los últimos años, sobre todo en los ecosistemas acuáticos.

La producción de toxinas de efecto bioacumulativo y marcada gravedad representan una amenaza para las poblaciones humanas, fundamentalmente a través de los ciclos de uso del agua, pero también de manera incremental a través de los ciclos alimentarios.

Existe un enorme cuerpo de conocimiento y documentación sobre multiplicidad de aspectos en el dominio de las cianobacterias. Dos son los avances que se pueden concluir en esta área, la puesta en común de la información y el incremento de la traslación al medio natural de las



experiencias realizadas en medios controlados de laboratorio, dada la previsible disimilitud de los resultados.

Es imprescindible integrar el impacto ambiental al mismo nivel del impacto agrícola o industrial de las cianobacterias, a través de modelos de monitorización de costes, de la educación ambiental y del concepto de una sola salud.

La introducción de la variable ambiental del impacto de las cianobacterias en los modelos de desarrollo puede complejizar cálculos y fórmulas, incluso los costes en una primera aproximación, pero es fundamental para construir un futuro en equilibrio.



9. Bibliografía

Agence Nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES). 2020. Évaluation des risques liés aux cyanobactéries et leurs toxines dans les eaux douces (actualisation). Avis de l'Anses. Rapport d'expertise collective (édition scientifique)

Asencio, A. D., M. Aboal & M. A. Puig. 2002. Presencia de microcystinas en embalses de la cuenca del Segura, Sureste español. XI Asociación Española de Limnología, Madrid, Spain: 166

Bassin versant de la Sèvre Nantaise, Établissement public. 2023. Les cyanobactéries. Document d'information.

Blais, S. 2008. Guide d'identification des fleurs d'eau de cyanobactéries. Comment les distinguer des végétaux observés dans nos lacs et nos rivières (3^{ème} édition). Direction du suivi de l'état de l'environnement, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, ISBN : 978-2-550-52408-3 (version imprimée), 54 p.

Bonnaffé, W., Danet, A., Leclerc, A., Frossard, V., Edeline, E., Sentis, A. 2024. The interaction between warming and enrichment accelerates food- web simplification in freshwater systems. Ecology Letters. 2024; 27:e14480. <https://doi.org/10.1111/ele.14480>

Bradt, S. & M. J. Villena. 2001. Detection of microcystins in the coastal lagoon La Albufera de Valencia, Spain by an enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA). Limnetica, 20: 187-196

Burford, M.A. 2019. Solutions for managing cyanobacterial blooms: A scientific summary for policy makers. IOC/UNESCO, Paris (IOC/INF-1382).

Capó Martí, M.A. et al. 2007. Toxicología clínica, alimentaria y ambiental. Editorial Universidad Complutense de Madrid

Carmichael, W.W. 1994. The Toxins of Cyanobacteria. Scientific American, January 1994, vol. 270, No. 1, pp: 78-86.

Cirés Gómez, S. y Quesada de Corral, A. 2011. Catálogo de cianobacterias planctónicas potencialmente tóxicas de las aguas continentales españolas. Publicaciones de Dirección General del Agua de la Secretaría de Estado de Medio Rural y Agua del Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. NIPO: 770-11-119-0. ISBN: 978-84-491-1072-6

Cirujano Bracamonte, S. 2024. Los humedales españoles. Paisaje vegetal y gestión. Fundación Global Nature.

Costas, E. y López-Rodas, V. 2003. Cianobacterias tóxicas y mortandades masivas en el Parque Nacional de Doñana: red de alerta temprana y estrategia de gestión. Proyectos de



investigación parques nacionales: 2003-2006. Madrid, España: Ministerio de Medio Ambiente. Pp: 67-75

Cromie, R.L., R. Lee, R.J. Delahay, J.L. Newth, M.F. O'Brien, H.A. Fairlamb, J.P. Reeves y D.A. Stroud. 2012. Ramsar Wetland Disease Manual: Guidelines for Assessment, Monitoring and Management of Animal Disease in Wetlands. Ramsar Technical Report No. 7. Ramsar Convention Secretariat, Gland, Switzerland. 361 pp

De Boutray Marie-Laure, Maghsoudi Ehsan, Ndong Mouhamed, Dorner Sarah. 2017. Revue de littérature sur les cyanotoxines dans les milieux aquatiques d'eau douce: leurs effets potentiels sur la santé des usagers et les critères ou seuils d'alerte de toxicité chronique et aiguë. Polytechnique Montréal. Chaire de recherche du Canada en protection des sources d'eau potable.

Dormoy-Boulanger, J., Gregory-Eaves, I., Juneau, P. & Beisner, B. E. (2020). Effets de différentes conditions environnementales sur la production, l'excrétion et la dégradation des cyanotoxines dans les écosystèmes d'eau douce et saumâtre. *Le Naturaliste Canadien*, 144(2), 65–76. <https://doi.org/10.7202/1073989ar>.

Erratt, K.J., Creed, I.F. y Trick, C.G. 2022. Harmonizing science and management options to reduce risks of cyanobacteria. *Harmful Algae* 116 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.hal.2022.102264>

Fournier, C., Quesada, A., Cirés, S. y Saberioon M. 2024. Discriminating bloom-forming cyanobacteria using lab-based hyperspectral imagery and machine learning: Validation with toxic species under environmental ranges. *Science of The Total Environment*, Volume 932, July 2024, 172741. ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172741>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969724028882>)

Institut National de la Recherche Agricole et Environnemental (INRAE). 2021. Cyanosafe. <https://www.inrae.fr/actualites/cyanosafe-etude-risques-lies-aux-efflorescences-cyanobacteries-potentiellement-toxiques>

Lamont-Doherty Earth Observatory. Columbia Climate School. Columbia University of New York https://www.ldeo.columbia.edu/edu/k12/snapshotday/SpanishTranslations/Turbidity_secchi_tube.pdf

Lanzarot Freudenthal, MP. 2007. Cianobacterias tóxicas y mortandades en masa de fauna salvaje en las marismas de Doñana. Tesis Doctoral. Facultad de Veterinaria. Departamento de Producción Animal. Universidad Complutense de Madrid.



Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. Bilan du Plan d'intervention sur les algues bleu-vert 2007-2017 et recommandations, 49 pages. [En ligne]. <http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/algues-bv/bilan/bilan-plan-abv-2007-2017.pdf>

Ministère du Travail, de la Santé et des Solidarités. Agence Nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES). 2024. Réunion technique sur les cyanobactéries https://sitesv2.anses.fr/fr/system/files/Réunion%20Technique%20Cyanobactéries%202024_06_27_DEF.pdf

Ministerio de Salud, Presidencia de la Nación. Departamento de Salud Ambiental. Argentina. 2011. Cianobacterias como Determinantes Ambientales de la Salud. Serie: Temas de Salud Ambiental n° 5

Ministerio de Salud, Presidencia de la Nación. Departamento de Salud Ambiental. Argentina. 2017. Cianobacterias como Determinantes Ambientales de la Salud. Segunda edición revisada y ampliada. Serie: Temas de Salud Ambiental n° 5

Quesada, A., Sanchís, D. and D. Carrasco. 2004. Cyanobacteria in Spanish reservoirs. How frequently are they toxic? *Limnetica* 23(1-2): 109-118 (2004)

Sanseverino, I., Niegowska, M., Loos, R. and Lettieri, T. Good practice for cyanobacterial and algal bloom detection across Europe, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2023, doi:10.2760/380493, JRC133331.

Santé Canada – Health Canada. 2022. Recommandations au sujet de la qualité des eaux utilisées à des fins récréatives. Les cyanobactéries et leurs toxines. (Guidance for Providing Safe Drinking Water in Areas of Federal Jurisdiction). Document technique

Stroom J.M. y Kardinaal, E. A. 2016. How to combat cyanobacterial blooms: strategy toward preventive lake restoration and reactive control measures. *Aquat Ecol* (2016) 50:541–576. DOI 10.1007/s10452-016-9593-0

Testai et al., 2016. Review and analysis of occurrence, exposure and toxicity of cyanobacteria toxins in food. EFSA supporting publication 2016:EN-998. 309 pp.

UNESCO. 2009. Cianobacterias Planctónicas del Uruguay. Manual para la identificación y medidas de gestión. Sylvia Bonilla (editora). Documento Técnico PHI-LAC, N° 16

Vassallo, J., M. Aboal & M. A. Puig. 2002. Importancia de la carga de nutrientes en la producción de microcistinas por cianobacterias bentónicas fluviales. XI Asociación Española de Limnología, Madrid, Spain:169.



Xiaochuang Li, Dreher, T.W. y Renhui Li. 2016. An overview of diversity, occurrence, genetics and toxin production of bloom-forming Dolichospermum (Anabaena) species. *Harmful Algae* 54(2016): 54-68.

Zepernick Brittany N., Steven W. Wilhelm & George S. Bullerjahn, Hans W. Paerl. 2023. Climate change and the aquatic continuum: A cyanobacterial comeback story. *Environmental Microbiology Reports* (2023), 15:3 – 12

