



TRABAJO FINAL DE MÁSTER

MONITORIZACIÓN DE FLORACIONES
DE CIANOBACTERIAS MEDIANTE
CIENCIA CIUDADANA: PROYECTO
“CYANOLAB”



Estudiante: ANDREA BELDA ABAD

Especialidad: FÍSICA Y QUÍMICA

Tutora: ROSA MARÍA MARTÍNEZ MARTÍNEZ

Curso académico: 2023/24

ÍNDICE

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1. INTRODUCCIÓN | 4 |
| 1.1. OBJETIVOS | 4 |
| 2. MÉTODOS..... | 5 |
| 3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA | 6 |
| 3.1. CIENTÍFICA..... | 6 |
| 3.2. DIDÁCTICA | 7 |
| 4. PROPUESTA..... | 10 |
| 4.1. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)..... | 13 |
| 4.2. COMPETENCIAS CLAVE (CC)..... | 13 |
| 5. CONCLUSIONES..... | 14 |
| 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 16 |
| 7. ANEXOS | 18 |
| 7.1. EJEMPLO DE CARTEL PARA CONCIENCIAR A LA CIUDADANIA SOBRE LOS RIESGOS DE LAS CIANOBACTERIAS | 18 |



RESUMEN

Las floraciones de cianobacterias nocivas en cuerpos de agua dulce suponen una amenaza tanto para la salud humana como para el medio ambiente. Por esta razón, su detección temprana es crucial para evitar problemas sanitarios y ambientales, dado que, en los últimos años, el aumento de la temperatura global y la concentración de nutrientes en los cuerpos de agua provocado por el cambio climático ha intensificado la proliferación.

La ciencia ciudadana junto con la investigación científica puede ser clave para la monitorización de las floraciones de cianobacterias, por tanto, se ha diseñado un proyecto denominado "Cyanolab", en el que se busca se involucren institutos de todas partes de España. Se capacitará a los profesores y a los estudiantes en la recolección de datos, de forma que puedan identificar y reportar la presencia de cianobacterias del cuerpo de agua más cercano, proporcionando a los científicos datos más amplios y precisos. Estos permitirán la creación de una base de datos sobre la presencia y distribución de las floraciones de cianobacterias en cuerpo de agua específicos implementar medidas preventivas. Por tanto, el proyecto "Cyanolab" desempeña un papel fundamental al aumentar la conciencia ambiental y promover la participación ciudadana en la ciencia.

Palabras clave: cianobacterias, ciencia ciudadana, monitoreo, cambio climático



ABSTRACT

Harmful cyanobacteria blooms in freshwater bodies pose a threat to both human health and the environment. For this reason, its early detection is crucial to avoid health and environmental problems since the increase in global temperature and the concentration of nutrients in bodies of water caused by climate change has intensified proliferation.

Citizen science together with scientific research can be key to monitoring cyanobacteria blooms, therefore, a project called "Cyanolab" has been designed, which seeks to involve institutes from all over Spain. Teachers and students will be trained in data collection so that they can identify and report the presence of cyanobacteria from the nearest body of water, providing scientists with broader and more accurate data. These will allow the creation of a database on the presence and distribution of cyanobacteria blooms in bodies of water and implement specific preventive measures. Therefore, the "Cyanolab" project plays a fundamental role in increasing environmental awareness and promoting citizen participation in science.

Palabras clave: cyanobacteria, citizen science, monitoring, climate change

1. INTRODUCCIÓN

La ciencia ciudadana ha sido considerada durante mucho tiempo como una herramienta con un gran potencial en el campo de la educación científica y el aprendizaje (Bonney et al., 2009). También es un campo de investigación en rápido crecimiento, con una creciente prominencia en áreas como la astronomía, la ecología, la meteorología y la medicina (Lewandowski et al., 2017). Dado que el término "ciencia ciudadana" se aplica a la ciencia que involucra a personas que no son científicos profesionales, ocupa una posición única en la comunidad científica.

En las últimas décadas, se ha observado un aumento en la frecuencia y la distribución geográfica de las floraciones de cianobacterias, también conocidas como algas verde-azules. La presencia de floraciones de cianobacterias es una preocupación creciente en todo el mundo debido a sus posibles efectos adversos sobre la calidad del agua, la vida acuática y la salud pública. Por tanto, monitorear y gestionar las poblaciones de cianobacterias en las fuentes de agua es esencial para prevenir impactos dañinos en los ecosistemas y las actividades humanas (Walter et al., 2018). Además, los ríos son ambientes dinámicos que por su estructura y funcionamiento son fundamentales en la conectividad del agua de las cuencas a lo largo de diferentes paisajes del territorio por donde fluyen. Por ello, es necesario ampliar la investigación acerca de diferentes aspectos de las cianobacterias bentónicas, por su potencial papel en los procesos de toxicidad (Aboal y col. 2005).

Con el aumento de la temperatura debido al cambio climático, se espera que los episodios tóxicos sean más frecuentes y abarquen áreas más extensas, lo que requiere una preparación y respuesta adecuadas. Por tanto, es necesario implementar políticas ambientales y de salud pública para abordar este problema, así como desarrollar tecnologías para detectar y controlar eficazmente las toxinas y las floraciones de algas (Vasconcelos et al., 2010).

Dada la complejidad y la magnitud de este problema, es fundamental involucrar investigadores, profesionales del medio ambiente, autoridades gubernamentales, comunidades locales y ciudadanos en general, en la búsqueda de soluciones efectivas y sostenibles. La colaboración interdisciplinaria y la participación de la sociedad son cruciales para mejorar la comprensión de las floraciones de cianobacterias, desarrollar estrategias de monitoreo y gestión más efectivas, y promover prácticas de conservación del agua y políticas ambientales más sólidas. Esto se podría conseguir con un proyecto de ciencia ciudadana que implique actividades como la recolección de muestras en diferentes ubicaciones, la observación y documentación de la presencia y la extensión de las floraciones de cianobacterias. Asimismo, los estudiantes podrían recibir orientación sobre cómo llevar a cabo estas actividades de manera segura y efectiva, y se les podría proporcionar herramientas necesarias para realizar las mediciones.

1.1. OBJETIVOS

El objetivo principal de este Trabajo de Fin de Máster se basa en la creación de una propuesta de proyecto de ciencia ciudadana con el fin de detectar la presencia de cianobacterias en diferentes ríos, lagos, pantanos o embalses.

Los objetivos específicos son:

- Diseñar y realizar cursos de formación para docentes sobre las cianobacterias y sus impactos ambientales y de salud.
- Investigar el impacto de la toxicidad de las cianobacterias en la salud y en los ecosistemas acuáticos.
- Implementar planes de acción para controlar y reducir la proliferación de cianobacterias en lagos, ríos, embalses y/o pantanos.
- Detectar precozmente la presencia de cianobacterias con el fin de prevenir episodios tóxicos que puedan ocasionar problemas sanitarios y ambientales.
- Capacitar a los estudiantes en la recolección y análisis de datos científicos.
- Fomentar el pensamiento crítico y el método científico de los alumnos a través de la participación en un proyecto de investigación real.
- Aumentar la conciencia pública sobre los riesgos asociados con las cianobacterias y las medidas preventivas necesarias para proteger la calidad del agua y la salud pública.
- Difundir los resultados del proyecto a través de publicaciones, talleres y eventos comunitarios.

2. MÉTODOS

La búsqueda bibliográfica que se ha llevado a cabo se ha dividido en dos partes, por un lado, una revisión científica sobre las cianobacterias, y, por otro lado, una revisión sobre ciencia ciudadana, además, de una búsqueda sobre diferentes proyectos de ciencia ciudadana.

Por tanto, la revisión bibliográfica se ha realizado mediante una búsqueda múltiple utilizando la base de datos Google Académico-Google Scholar, y se han empleado las siguientes ecuaciones de búsqueda:

- “Cyanobacteria” AND “lakes”
- “Cyanobacteria” AND “human health”
- “Cyanobacteria” AND “citizen science”
- “Environmental citizen science”
- “Cyanobacteria” AND “Environmental citizen science”

Además, para facilitar la búsqueda se ha añadido como filtro adicional la publicación de artículos de 2014 a 2024. Una vez analizados los artículos que se han seleccionado previamente, se han incluido en esta revisión un total de 21 artículos.

Cabe destacar que también se han utilizado diferentes páginas web de interés para completar la revisión de la parte didáctica:

- Observatorio de la Ciencia Ciudadana en España. Su objetivo es recopilar los proyectos de ciencia ciudadana que se realizan en España para dar difusión y crear una red de colaboración y participación ciudadana (<https://ciencia-ciudadana.es/>).
- Scientix es la comunidad número uno para la educación científica en Europa. Su objetivo es promover y apoyar una colaboración a nivel europeo entre profesores e investigadores para inspirar a los estudiantes a seguir carreras en el campo de

- la ciencia, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas (STEM) (<https://www.scientix.eu/>).
- Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Se desarrollan todos los 17 ODS, incluyendo las metas de cada uno, datos destacables y cómo colaborar en cada uno (<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>).
 - CSIC. Ciencia Ciudadana. Se describen los proyectos de ciencia ciudadana relacionados con investigaciones que se llevan a cabo en el CSIC (<https://www.csic.es/es/ciencia-y-sociedad/ciencia-ciudadana>).

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1. CIENTÍFICA

Las cianobacterias, también conocidas como cianofíceas, son organismos procariotas que caracterizan por llevar a cabo la fotosíntesis oxigénica, es decir, poseen pigmentos capaces de absorber dióxido de carbono y liberar oxígeno.

Cabe destacar que este tipo de algas posee características tanto de bacterias, como es la carencia de orgánulos rodeados por membranas y la presencia de una estructura de pared celular, como de algas eucariotas. De estas mantienen la presencia de clorofila “a” (pigmento principal involucrado en la captación de luz), la estructura de los tilacoides y la actuación como productores primarios en la naturaleza. Esto último es importante porque son las responsables de la producción de una gran cantidad de oxígeno y la base de numerosas cadenas alimentarias.

Las cianobacterias han estado presentes en la Tierra durante más de 3500 millones de años. Actualmente, se encuentran en una gran variedad de hábitats, desde ambientes acuáticos hasta terrestres, e incluso son capaces de sobrevivir en entornos extremos. Su amplia distribución se debe a diversas características generales y específicas de ciertos grupos de especies. Muchas de estas cianobacterias pueden tolerar una amplia gama de condiciones ambientales, incluyendo extremos (Castenholz, 2015).

Existen aproximadamente 390 géneros de cianobacterias, con más de 1500 especies descritas que exhiben una amplia variedad morfológica. Estas pueden ser unicelulares o filamentosas, y pueden asociarse para formar colonias. De todas especies conocidas de cianobacterias, alrededor de 13 géneros y 17 especies agrupan a poblaciones que han demostrado ser altamente tóxicas en varias regiones del mundo (Asencio y Hoffmann, 2013). Estas poblaciones pueden proliferar de manera descontrolada, dando lugar a lo que se conoce como floraciones de algas nocivas (FAN), las cuales producen cianotoxinas (Aguilera et. al., 2018). La presencia de cianotoxinas supone una amenaza para la salud humana y animal, así como para el ecosistema acuático en general (Lins et. al., 2016; Walter et. al., 2018), dado que, se han observado números casos de envenenamiento en animales (Wood, 2016). Este hecho sugiere que los problemas de salud y las muertes de animales sirven como indicadores importantes de los riesgos para la salud humana (Hilborn y Beasley, 2015). Los estudios han observado que el contacto con agua contaminada por cianotoxinas ya sea a través de la piel o la ingestión, puede provocar serios problemas de salud a corto y largo plazo, incluyendo riesgos letales, dolencias nerviosas y posibles casos de cáncer. Estas toxinas también pueden tener impactos ambientales graves al acumularse y transferirse a través de las cadenas tróficas,

afectando tanto a plantas como a animales (Cantoral et al., 2017). Además, las cianotoxinas pueden acumularse en diversos organismos acuáticos y persistir en el medio ambiente debido a su estabilidad y resistencia a los tratamientos convencionales de agua (Vilar y Ferrão-Filho, 2022).

Las cianotoxinas están en línea con la mayoría de otras sustancias para las cuales la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha establecido valores de referencia, dado que los riesgos para la salud dependen de la cantidad y la duración de la exposición (Chorus et. al., 2021).

La eutrofización de lagos, ríos y embalses se ha acelerado en los últimos años debido a la urbanización y la industrialización, lo que ha provocado el aumento de las FAN en lugares donde no se había dado anteriormente. Por lo tanto, no es la biosíntesis de toxinas en sí misma la que ha generado un nuevo riesgo para la salud, sino la proliferación significativa de cianobacterias tóxicas en los cuerpos de agua como resultado de las actividades humanas. Este riesgo para la salud probablemente se intensifique a medida que las floraciones de cianobacterias aumenten (Huisman et al., 2018). Por otro lado, es de suma importancia señalar que el cambio climático es probable que promueva las FAN al aumentar la temperatura del agua, por lo que los efectos serán más pronunciados en cuerpos de agua poco profundos. Asimismo, provocará un aumento en las concentraciones de nutrientes, principalmente fósforo y nitrógeno, que favorece la proliferación de las cianobacterias. Esto supone que los episodios tóxicos seguramente serán cada vez más frecuentes y abarcarán mayores extensiones globales de incidencia, lo que requerirá que las regiones estén preparadas para minimizar los riesgos potenciales (Chorus et. al., 2021). Por tanto, la eutrofización antropogénica y el cambio climático desempeñan un papel clave en la expansión de dichas floraciones, dado que este problema acabará afectando a áreas previamente no afectadas (Aguilera et. al., 2018).

3.2. DIDÁCTICA

La ciencia ciudadana es un término que fue acuñado en la década de los 90, haciendo referencia a la implicación de los ciudadanos en la investigación científica (Vohland et. al., 2021). En los últimos años se ha observado un rápido crecimiento en la cantidad, complejidad y diversidad de proyectos de ciencia ciudadana dado que ha aumentado la participación y el interés por parte de instituciones tanto públicas como privadas. Además, la relación entre ciencia y sociedad se ha visto favorecida gracias a los avances científicos y tecnológicos y a su globalización (Oltra et. al., 2022).

Los proyectos de ciencia ciudadana, según lo descrito por Bonney et al. (2009), pueden clasificarse en tres tipos principales: contributivos, colaborativos y co-creados. Cada categoría refleja diferentes niveles de participación y motivación para los voluntarios ciudadanos.

- **Proyectos Contributivos:** los científicos definen las preguntas de investigación, y los ciudadanos principalmente recolectan datos según protocolos preestablecidos.
- **Proyectos Colaborativos:** los ciudadanos participan en múltiples etapas del proceso de investigación, incluyendo la recolección de muestras, el análisis de datos y la interpretación, y a veces en la presentación de los resultados.

- **Proyectos Co-Creados:** los ciudadanos generalmente identifican las preguntas de investigación y trabajan en estrecha colaboración con los científicos para abordar preocupaciones específicas de la comunidad, como cuestiones ambientales o de salud pública.

Las motivaciones para participar en la ciencia ciudadana varían ampliamente. Las motivaciones comunes incluyen aprender sobre el medio ambiente, proteger los recursos locales, disfrutar de la naturaleza y participar en actividades comunitarias (Merenlender et al., 2016; Frensley et al., 2017). Algunos ejemplos de proyectos se recogen en la Tabla 1, en la que se indican las fortalezas y dificultades que se han encontrado.

| PROYECTO | DESCRIPCIÓN | FORTALEZAS | DIFICULTADES |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------|
| Aqua | Consiste en monitorear la calidad del agua en casa evaluando cloro, pH, sabor y olor, permitiendo a los participantes subir sus propios análisis y ayudar a crear un mapa detallado de la calidad del agua. | Mayor conocimiento sobre la calidad del agua | Precisión y confiabilidad de los datos |
| | | Participación ciudadana | Sostenibilidad del proyecto |
| | | Educación y aprendizaje | Comunicación y coordinación |
| | | Potencial para mejorar la gestión del agua | Aspectos legales y éticos |
| Natusfera | Consiste en utilizar la plataforma creada para que ciudadanos registren y compartan observaciones de la naturaleza, contribuyendo al conocimiento de la biodiversidad. | Aumento del conocimiento de la biodiversidad | Precisión y confiabilidad de los datos |
| | | Participación ciudadana | Sostenibilidad del proyecto |
| | | Educación y aprendizaje | Necesidad de capacitación y apoyo |
| | | Apoyo a la gestión ambiental | Potenciales sesgos en los datos: |
| | | Herramienta tecnológica innovadora | Aspectos éticos y legales |
| Posimed | Consiste en coordinar y colaborar entre las redes autonómicas de control de las praderas de <i>Posidonia oceánica</i> en varias regiones de España, para mejorar su conservación. | Monitoreo a largo plazo | Dependencia de voluntarios |
| | | Amplia cobertura espacial | Recursos limitados |
| | | Participación ciudadana | Variabilidad natural |
| | | Capacitación y sensibilización | Impactos antropogénicos |
| | | Generación de conocimiento científico | |

| | | | |
|--------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| SoilSkin - "La Piel Viva del Suelo" | Busca divulgar la importancia de los ecosistemas formados por musgos, líquenes y algas en los primeros centímetros del suelo, involucrando a ciudadanos en la exploración y conservación de estas comunidades. | Aumento del conocimiento sobre las comunidades biológicas del suelo | Precisión y confiabilidad de los datos |
| | | Participación ciudadana | Sostenibilidad del proyecto |
| | | Educación y aprendizaje | Necesidad de capacitación y apoyo |
| | | Apoyo a la investigación científica | Sesgos en los datos: |
| | | Sensibilización sobre la importancia del suelo | Aspectos éticos y legales |
| InvaPlant | Busca mejorar el conocimiento y seguimiento de la flora exótica invasora en España, concienciar sobre su impacto y capacitar a la ciudadanía para registrar su presencia mediante una aplicación. | Aumento del conocimiento sobre la flora exótica invasora | Precisión y confiabilidad de los datos |
| | | participación ciudadana | Sesgos en los datos |
| | | Educación y aprendizaje | Sostenibilidad del proyecto |
| | | Apoyo a la toma de decisiones | Necesidad de capacitación y apoyo |
| | | Bajo costo | Aspectos éticos y legales |

Tabla 1. Fortalezas y dificultades de diferentes proyectos de ciencia ciudadana publicadas en el Observatorio de la Ciencia Ciudadana en España. (2020, agosto 13).

Tras analizar en profundidad diversos proyectos y estudios sobre ciencia ciudadana, podemos establecer las ventajas y desventajas que esta generalmente presenta (Tabla 2).

| VENTAJAS | INCONVENIENTES |
|-------------------------------------|----------------------------------------|
| Aumento del conocimiento científico | Precisión y confiabilidad de los datos |
| Participación ciudadana | Sesgos en los datos |
| Educación y aprendizaje | Sostenibilidad del proyecto |
| Apoyo a la toma de decisiones | Necesidad de capacitación y apoyo |
| Reducción de costos | Aspectos éticos y legales |

Tabla 2. Ventajas y desventajas de la ciencia ciudadana.

Además, se ha visto que muchos científicos ciudadanos han contribuido significativamente al conocimiento de las invasiones biológicas y su manejo, como en los proyectos InvaPlant o SoilSkin. Por tanto, se considera que cualquier proyecto de ciencia ciudadana debe adoptar las siguientes acciones para maximizar las posibilidades de éxito:

- Conocer a la audiencia: al inicio del proyecto se debe identificar el trasfondo social, cultural y de conciencia ambiental de los posibles participantes (Ganzevoort et al., 2020).
- Combinar múltiples métodos de comunicación: los métodos utilizados deben maximizar el alcance y la participación de una audiencia más amplia, como, por ejemplo, muestreo de campo, redes sociales, entrevistas personales/cuestionarios.
- Proporcionar formación y recursos adecuados: ofrecer capacitación y recursos necesarios para que los participantes puedan llevar a cabo sus tareas de manera efectiva es crucial.
- Reconocer y celebrar los logros de los participantes: asegurarse de que los científicos ciudadanos se sientan valorados por sus contribuciones es fundamental para mantener su motivación y compromiso a largo plazo.

4. PROPUESTA

En base a los diferentes estudios y proyectos de ciencia ciudadana encontrados en la búsqueda bibliográfica se ha creado la propuesta para un proyecto de ciencia ciudadana denominado “Cyanolab”. Este nace con el objetivo de monitorear y reportar la presencia de floraciones de cianobacterias nocivas en lagos, embalses, ríos o pantanos, y, para ello, involucrará a los estudiantes en la observación, reporte y recolección de muestras para su posterior análisis en el laboratorio.

El proyecto “Cyanolab” busca capacitar a los docentes de secundaria y bachiller de los institutos que quieran inscribirse para colaborar en las actividades científicas. Por tanto, la dinámica de cada actividad consistirá en primero enseñar a los profesores de los institutos interesados para que luego estos la realicen con su grupo de estudiantes.

El contexto de “Cyanolab” es que las cianobacterias, también conocidas como algas verde-azules, son organismos fotosintéticos que pueden proliferar en agua dulce y salada, formando floraciones visibles. Algunas cianobacterias son inofensivas, en cambio, otras producen toxinas que pueden ser perjudiciales para la salud humana y animal. La presencia de cianobacterias tóxicas en lagos, embalses y ríos puede contaminar el agua, de forma que puede afectar tanto a las personas que beben del agua como a aquellas personas que realizan actividades recreativas en contacto con el agua. Por tanto, el monitoreo regular de las cianobacterias es crucial para detectar la proliferación de toxinas. Sin embargo, los sistemas tradicionales de monitoreo suelen ser costosos y escasos, lo que limita la cobertura espacial y temporal de los datos.

En cuanto a la motivación, este proyecto involucra a la comunidad en el monitoreo y reporte de cianobacterias en lagos o ríos de su región, de tal manera que, al participar, los estudiantes pueden aprender sobre las cianobacterias, sus riesgos y cómo identificarlas. Los datos recopilados por los estudiantes científicos pueden ser utilizados para crear mapas de distribución de cianobacterias, identificar áreas de riesgo y alertar a las autoridades y al público sobre la presencia de cianobacterias tóxicas para poder prevenir el baño y la ingesta del agua.

Por tanto, antes de empezar con las actividades internas del proyecto, se ofrecerán charlas de un experto a los docentes de diferentes institutos para explicar en qué consistirá y motivarlos a participar con sus grupos de estudiantes. Se busca que se realice

a nivel nacional, aunque se centrará en las zonas semiáridas, dado que es donde mayor cantidad de floraciones nocivas se ha detectado.

Una vez ya tenemos un número adecuado de institutos y de diferentes zonas geográficas, se les explicará a los docentes más detalladamente todo lo que se realizará en el proyecto, desde la parte en la que ellos participarán hasta lo que se realizará en el laboratorio por los científicos. Además, se pondrá a disposición una página web, a la que solo tendrán acceso los institutos que participen, donde se publiquen todos los resultados con una explicación adaptada. Esta información tendrá que ser transmitida por los profesores a sus estudiantes ajustándola a cada nivel educativo.

La siguiente actividad que se llevará a cabo será la salida al embalse, pantano o río más cercano, en la que irán acompañados por un experto que explicará cómo se pueden detectar las cianobacterias. Además, se les proporcionará todo el material necesario y se les explicará cómo utilizarlo, lo único que deberán traer de casa son botas de agua para poder acceder sin mojarse a los cuerpos de agua. Una vez sepan identificarlas, su trabajo como científicos será tomar una foto con cualquier dispositivo a la floración de cianobacteria para luego cogerla con guantes y ponerla en los recipientes que se les ha proporcionado. También a los cursos más avanzados se les enseñará a manejar los dispositivos que miden la temperatura, la humedad y el pH. Por otro lado, se les mostrará como recoger agua de diferentes profundidades del río.

Por tanto, la técnica de recogida de datos y muestras para el proyecto "Cyanolab" se puede dividir en varios pasos:

1. Preparación previa:
 - Antes de la salida al campo, los estudiantes recibirán una sesión sobre la identificación de cianobacterias, los riesgos asociados con las floraciones nocivas y los procedimientos de recolección de muestras.
 - Se les proporcionará el material necesario, que incluye guantes desechables, lupas, recipientes de muestreo estériles, etiquetas de identificación, y en el caso de los cursos más avanzados, dispositivos de medición de parámetros como pH, temperatura y humedad.
2. Identificación:
 - Durante la salida al campo, los estudiantes serán acompañados por un experto que les enseñará cómo identificar las cianobacterias y distinguirlas de otras formas de vida acuática.
3. Recolección de muestras:
 - Una vez que identifican una floración de cianobacterias, los estudiantes, utilizando guantes desechables, la recogen y la introducen en un recipiente estéril. Además, en esa misma zona, recolectar muestras de agua tanto de la zona superficial como de la zona más profunda.
4. Etiquetado:
 - Cada muestra de agua recolectada se etiqueta con la ubicación exacta de la recolección, la fecha y la hora.

Esta técnica de recogida de datos y muestras garantiza que los estudiantes puedan recolectar muestras de manera segura y efectiva, proporcionando datos de calidad para su análisis posterior en el laboratorio y contribuyendo así al monitoreo y la investigación de floraciones de cianobacterias en cuerpos de agua.

Las muestras son llevadas al laboratorio para analizarlas y los datos recolectados se utilizan para crear mapas de distribución de cianobacterias y gráficos de tendencias de su presencia en la región. Es importante señalar que se realizará un total de cuatro salidas, una en cada estación del año, para observar la evolución y el cambio de condiciones de una misma zona. Para mantener la motivación de los estudiantes sobre el proyecto, se les irán comunicando los diferentes resultados que se vayan obteniendo, asimismo, se les ofrecerá la asistencia al laboratorio para enseñarles los diferentes pasos que se llevan a cabo para la extracción de toxinas.

Como se puede observar esta metodología es sencilla y accesible para todos los alumnos de secundaria y bachiller que deseen participar, dado que se utilizan herramientas básicas para la observación e identificación de cianobacterias, como lupas, guías de campo, guantes y aplicaciones móviles.

Por otro lado, los estudiantes se encargarán de desarrollar campañas o talleres de concienciación con los datos que se han obtenido para informar al resto de ciudadanos sobre los riesgos de las cianobacterias y las medidas de prevención. Para ello, trabajarán en grupos dividiéndose las tareas para la creación de folletos, carteles y/o vídeos para concienciar a la ciudadanía sobre los riesgos de las cianobacterias (Anexo 1). Asimismo, se encargarán de divulgar el proyecto “Cyanolab” en las redes sociales como Instagram, TikTok y Twitter para compartir información y actualizaciones sobre la campaña. Por último, para mantener y aumentar la participación, los estudiantes podrán organizar charlas y talleres en las escuelas locales, centros comunitarios y otras instituciones.



Figura 1. Descripción gráfica de la propuesta del proyecto “Cyanolab”.

Para mitigar los inconvenientes que han sido analizados en los otros proyectos, se propone implementar diversas estrategias. En cuanto a la precisión y confiabilidad de los datos, se estandarizarán los procedimientos mediante el desarrollo y distribución de protocolos detallados para la recolección y análisis de muestras, asegurando que todos

los participantes sigan los mismos métodos. Además, es crucial implementar sistemas de revisión y validación de los datos, incluyendo la verificación por parte de los expertos. Por otro lado, para abordar los sesgos en los datos, es esencial asegurar una amplia cobertura geográfica y temporal en la recolección de muestras, y realizar análisis estadísticos para identificar y corregir posibles sesgos.

En términos de sostenibilidad del proyecto, se debe buscar financiamiento a largo plazo a través de subvenciones, patrocinadores y asociaciones por parte de organizaciones ambientales y educativas. Además, el involucrar a la comunidad y otras instituciones educativas es fundamental para aumentar el apoyo y la continuidad del proyecto. En relación con la capacitación y apoyo necesarios, en el proyecto "Cyanolab" se ofrecerán programas de formación inicial y continua para docentes y estudiantes, proporcionando manuales y tutoriales en video. Por último, para paliar los aspectos éticos y legales, será imprescindible obtener el consentimiento informado de todos los participantes, además se les pedirá que firmen un certificado de confidencialidad sobre los datos recogidos.

4.1. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)

La propuesta del proyecto "Cyanolab" está alineada principalmente con los siguientes ODS:

- ODS4. Educación de calidad: el proyecto pretende involucrar a estudiantes y docentes en actividades científicas garantizando una educación inclusiva, equitativa y de calidad, además de, promover oportunidades de aprendizaje para todos.
- ODS6. Agua limpia y saneamiento: "Cyanolab" se centra en monitorear la calidad del agua y detectar la presencia de FAN, por lo que busca garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.
- ODS13. Acción por el clima: se abordan el impacto del cambio climático en los ecosistemas acuáticos, dado que la proliferación de cianobacterias está influenciada por este.

4.2. COMPETENCIAS CLAVE (CC)

Las diferentes actividades del proyecto "Cyanolab" incluyen varias competencias clave

- Competencia en comunicación lingüística: los estudiantes desarrollan habilidades de comunicación al informar sobre sus observaciones y participar en campañas de concienciación.
- Competencia matemática y en ciencia, tecnología e ingeniería: al participar en la recolección y análisis de muestras, los estudiantes aplican conocimientos y métodos científicos para medir parámetros ambientales.
- Competencia digital: los estudiantes utilizan dispositivos digitales para tomar fotos de las cianobacterias y subirlas en la página web dedicada al proyecto.
- Competencia personal, social y de aprender a aprender: los estudiantes se involucran en un proceso de aprendizaje continuo y autónomo, adquiriendo nuevas habilidades y conocimientos.
- Competencia ciudadana: se fomenta la participación en la comunidad y la sensibilización sobre problemas ambientales, promoviendo el trabajo en equipo y la responsabilidad cívica.

5. CONCLUSIONES

Se ha observado que la ciencia ciudadana ofrece una serie de beneficios para los científicos, dado que ha permitido promover la participación social en la investigación científica. Además de colaborar en la recolección de datos a gran escala y en la monitorización de diferentes especies invasoras. Por otro lado, se ha visto que los proyectos facilitan la educación y la concienciación sobre temas científicos, fomentando así el interés por la ciencia y la tecnología.

El proyecto de ciencia ciudadana “Cyanolab” ha surgido de la preocupación por el aumento de las proliferaciones de cianobacterias nocivas en cuerpos de agua dulce. Se destaca el impacto del Cambio Climático, que ha incrementado la temperatura global y la concentración de nutrientes en el agua. Los estudios analizados confirman que estas floraciones representan un riesgo significativo para la salud humana y los ecosistemas acuáticos, dado que las toxinas producidas por las cianobacterias contaminan el agua pudiendo limitar así las actividades recreativas en estas zonas, y además afectan la fauna y flora acuática. Por tanto, la detección temprana es crucial para prevenir problemas sanitarios y ambientales.

Con este proyecto los estudiantes se encargarán de monitorear las floraciones de cianobacterias en el río, lago o embalse más cercano, y de recolectar las muestras necesarias, pudiendo así complementar la investigación científica y mejorar la comprensión de los factores que influyen en estas proliferaciones. Esta participación no solo les proporcionará una experiencia práctica en el campo, sino que también fomentará habilidades científicas. Además, su trabajo contribuirá a la creación de una base de datos a nivel nacional que podrá ser utilizada por investigadores para desarrollar estrategias de gestión más efectivas y personalizadas, y así prevenir la proliferación de cianobacterias tóxicas. Asimismo, se deben buscar estrategias específicas para mitigar los efectos del Cambio Climático en la proliferación de estas algas. Al involucrar a los estudiantes en la ciencia ciudadana, se promueve también una mayor conciencia y responsabilidad ambiental entre los jóvenes. Sin embargo, los datos obtenidos no están exentos de desafíos, dado que las mediciones pueden variar debido a la inexperiencia de los participantes y las limitaciones en el equipo utilizado. Para paliar estos problemas, es crucial implementar un programa de capacitación exhaustivo para los estudiantes, que incluya tanto teoría como práctica, asegurando que comprendan los protocolos estandarizados de recolección y análisis de muestras.

Además, es esencial establecer un sistema validación de datos, en el cual los científicos profesionales revisen y corroboren la información recopilada por los estudiantes. Este enfoque colaborativo no solo mejora la calidad y la fiabilidad de los datos, sino que también proporciona a los estudiantes una retroalimentación positiva. Esto supondría un desafío adicional en términos de financiamiento y recursos, y para ello, Es fundamental que los financiadores, tanto públicos como privados, reconozcan el valor de la ciencia ciudadana y estén dispuestos a invertir en su desarrollo y expansión.

Para futuros trabajos, se recomienda mejorar la infraestructura de apoyo a los proyectos de ciencia ciudadana, proporcionando recursos adecuados que garanticen la continuidad y el éxito a largo plazo. Además, es fundamental desarrollar estrategias de comunicación efectivas para involucrar a un público más amplio en la ciencia ciudadana.

Esto podría implicar la creación de campañas, talleres educativos y eventos comunitarios que destaquen la importancia y el impacto de la investigación.

En conclusión, la ciencia ciudadana es importante porque promueve la colaboración entre científicos y ciudadanos en la búsqueda de soluciones innovadoras para problemas ambientales urgentes, como las floraciones de cianobacterias tóxicas en cuerpos de agua. Al involucrar a estudiantes en actividades de monitoreo y recolección de datos, no solo se contribuye en el avance de la investigación científica, sino que también se promueve la conciencia ambiental y la participación cívica.



6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aboal, M., Puig, M. A., and Asencio, A. D. (2005). Production of microcystins in calcareous Mediterranean streams: the Alharabe River, Segura River basin in south-east Spain. *Journal of Applied Phycology*, 17, 231-243. doi: 10.1007/s10811-005-2999-z

Aguilera, A., Haakonsson, S., Martin, M. V., Salerno, G. L., and Echenique, R. O. (2018). Bloom-forming cyanobacteria and cyanotoxins in Argentina: A growing health and environmental concern. *Limnologica*, 69, 103-114. doi: <https://doi.org/10.1016/j.limno.2017.10.006>

Asencio, A. D., and Hoffmann, L. (2013). Chemosystematic evaluation of the genus *Scytonema* (Cyanobacteria) based on occurrence of phycobiliproteins, scytonemin, carotenoids and mycosporine-like amino acid compounds. *European journal of phycology*, 48(4), 331-344. doi: <https://doi.org/10.1080/09670262.2013.836682>

Bonney, R., Ballard, H., Jordan, R., McCallie, E., Phillips, T., Shirk, J., and Wilderman, C. C. (2009). Public Participation in Scientific Research: Defining the Field and Assessing Its Potential for Informal Science Education. A CAISE Inquiry Group Report. *Online submission*.

Cantoral Uriza, E. A., Asencio Martínez, A. D., and Aboal Sanjurjo, M. (2017). Cianotoxinas: efectos ambientales y sanitarios. Medidas de prevención. *HIDROBIOLÓGICA*, 27(2), 241-251. doi: <https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbs/hidro/2017v27n2/Cantoral>

Castenholz, R. W. (2015). General characteristics of the cyanobacteria. *Bergey's Manual of Systematics of Archaea and Bacteria*, 1-23. doi: <https://doi.org/10.1002/9781118960608.cbm00019>

Chorus, I., Fastner, J., & Welker, M. (2021). Cyanobacteria and cyanotoxins in a changing environment: Concepts, controversies, challenges. *Water*, 13(18), 2463. doi: <https://doi.org/10.3390/w13182463>

Frensley, T., Crall, A. W., Stern, M., Jordan, R., Gray, S., Prysby, M., et al. (2017). Bridging the benefits of online and community supported citizen science: a case study on motivation and retention with conservation-oriented volunteers. *Citiz. Sci.* 2, 1-14. doi:10.5334/cstp.84

Ganzevoort, W., and Van den Born, R. J. (2020). Understanding citizens' action for nature: the profile, motivations and experiences of Dutch nature volunteers. *J. Nat. Conserv.* 55, 125824. doi:10.1016/j.jnc.2020.125824

Hilborn, E. D., & Beasley, V. R. (2015). One health and cyanobacteria in freshwater systems: animal illnesses and deaths are sentinel events for human health risks. *Toxins*, 7(4), 1374-1395. doi: <https://doi.org/10.3390/toxins7041374>

Huisman, J., Codd, G. A., Paerl, H. W., Ibelings, B. W., Verspagen, J. M., & Visser, P. M. (2018). Cyanobacterial blooms. *Nature Reviews Microbiology*, 16(8), 471-483. doi: <https://doi.org/10.1038/s41579-018-0040-1>

Lewandowski, E., Caldwell, W., Elmquist, D., and Oberhauser, K. (2017). Public perceptions of citizen science. *Citiz. Sci. Theory Pract.* 2, 1-9. doi: 10.5334/cstp.77

Lins, R. P., Barbosa, L. G., Minillo, A., & De Ceballos, B. S. (2016). Cyanobacteria in a eutrophicated reservoir in a semi-arid region in Brazil: dominance and microcystin events of blooms. *Brazilian Journal of Botany*, 39, 583-591 <https://doi.org/10.1007/s40415-016-0267-x>

Merenlender, A. M., Crall, A. W., Drill, S., Prysby, M., and Ballard, H. (2016). Evaluating environmental education, citizen science, and stewardship through naturalist programs. *Conserv. Biol.* 30, 1255–1265. doi:10.1111/cobi.12737

Oltra, A., Piera, J., y Ferrando, L. (2022). Breve guía sobre ciencia ciudadana CSIC.

Vasconcelos, V., Martins, A., Vale, M., Antunes, A., Azevedo, J., Welker, M., Lopez, O., and Montejano, G. (2010). First report on the occurrence of microcystins in planktonic cyanobacteria from Central Mexico. *Toxicon*, 56(3), 425-431 <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2010.04.011>

Vidal, L., Ballot, A., Azevedo, S. M. F. O., Padisák, J., & Welker, M. (2021). Introduction to cyanobacteria. *Toxic Cyanobacteria in Water, 2nd ed.; Chorus, I., Welker, M., Eds*, 163-211

Vilar, M., & Ferrão-Filho, A. (2022). (Eco) Toxicology of Cyanobacteria and Cyanotoxins: From Environmental Dynamics to Adverse Effects. *Toxics*, 10(11), 648 <https://doi.org/10.3390/toxics10110648>

Vohland, K., Land-Zandstra, A., Ceccaroni, L., Lemmens, R., Perelló, J., Ponti, M., ... & Wagenknecht, K. (2021). The science of citizen science evolves. *Chapter 1. in Vohland, K. et al, Eds. (2021) The Science of Citizen Science. Springer* <https://doi.org/10.1007/978-3-030-58278-4. pp 1-12>

Walter, J. M., Lopes, F. A., Lopes-Ferreira, M., Vidal, L. M., Leomil, L., Melo, F., ... & Thompson, F. L. (2018). Occurrence of harmful cyanobacteria in drinking water from a severely drought-impacted semi-arid region. *Frontiers in Microbiology*, 9, 176 <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00176>

Wood, R. (2016). Acute animal and human poisonings from cyanotoxin exposure—A review of the literature. *Environment international*, 91, 276-282 <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.02.026>

7. ANEXOS

7.1. EJEMPLO DE CARTEL PARA CONCIENCIAR A LA CIUDADANIA SOBRE LOS RIESGOS DE LAS CIANOBACTERIAS

PROYECTO "CYANOLAB"

¡¡CUIDADO CON LAS CIANOBACTERIAS!!

1 ¿QUÉ SON LAS CIANOBACTERIAS?

- **Descripción:** microalgas que pueden formar floraciones en cuerpos de agua (ríos, lagos, embalses y estanques).
- **Apariencia:** Pueden verse como manchas verdes.

2 RIESGOS PARA LA SALUD

- **En Humanos:** irritación de piel, ojos y garganta, náuseas, vómitos y diarrea, problemas hepáticos si se ingieren toxinas.
- **En Animales:** intoxicación grave o mortalidad.

3 MEDIDAS DE PREVENCIÓN

- **No Nades.** Evita nadar en aguas con floraciones visibles.
- **No Bebas Agua Contaminada.** No utilices el agua de fuentes no potables para beber ni cocinar.
- **Protege a tus Mascotas.** No permitas que tus mascotas beban o naden en aguas afectadas.
- **Informa.** Reporta cualquier floración sospechosa a las autoridades locales.

4 ¿QUÉ HACER EN CASO DE CONTACTO?

- **Lava Inmediatamente:** Enjuaga con agua limpia y jabón el área de la piel que haya estado en contacto con el agua contaminada.
- **Consulta a un Médico:** Si experimentas síntomas tras el contacto con el agua, busca atención médica.

PARTICIPA EN EL PROYECTO

Ayuda a monitorear las cianobacterias de tu entorno.

Informa a tu familia y amigos sobre los riesgos de las cianobacterias.