

Informe final publicable de proyecto

Modelización de los efectos del cambio y la variabilidad climática en la intensificación de las floraciones de cianobacterias tóxicas en el río Uruguay y Río de la Plata

Código de proyecto ANII: ICC_X_2021_1_171370

28/06/2023

KRUK GENCARELLI, Carla Cecilia (Responsable Técnico - Científico)

GONZÁLEZ PENSADO, Solana (Investigador)

SAMPOGNARO CHARQUERO, Lia (Investigador)

SEGURA CASTILLO, Angel Manuel (Investigador)

CRISCI KARLEN, Carolina (Investigador)

DELBENE LEZAMA, Lucía (Investigador)

PERERA FERRER, Luis Gonzalo (Investigador)

PICCINI FERRÍN, Claudia (Investigador)

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA. FACULTAD DE CIENCIAS (Institución Proponente) \\
MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CULTURA. INSTITUTO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS "CLEMENTE ESTABLE" \\
UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA. CENTRO UNIVERSITARIO REGIONAL ESTE \\
UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA. FACULTAD DE CIENCIAS

Resumen del proyecto

En este proyecto hemos analizado las causas y efectos de las floraciones de cianobacterias tóxicas en dos de los principales ecosistemas acuáticos de Uruguay, el Río Uruguay (RU) y el Río de la Plata (RdLP). Se construyó una base de datos histórica (1963-2021) con información de cianobacterias, cianotoxinas, niveles de alerta y forzantes ambientales y climáticas. El análisis temporal mostró el aumento sostenido de las cianobacterias desde 1960 al presente, con un salto exponencial en el año 2000, asociado al cambio en los usos de suelo particularmente el cambio hacia cultivos industriales, fuerza promotora de las cianobacterias tóxicas. En las condiciones actuales de eutrofización los cambios climáticos y sus efectos sobre la hidrología y salinidad nos permiten pronosticar un incremento aún mayor de la toxicidad de las floraciones aumentando los niveles de riesgo para la población.

Se revisó el estado del arte en cuanto a niveles guía de cianotoxinas y se estimaron las dosis de exposición para distintos grupos poblacionales y su aplicación en los monitoreos y sistemas de alerta de nuestro país. Los valores de cianotoxinas observados en el RU y RdLP son muy elevados y presentan riesgos importantes para niños y niñas y especialmente con bajos pesos. Se realizaron talleres de mapeo del territorio hídrico y de cuerpo-territorio en Carmelo, localidad que desde hace más de dos décadas presenta floraciones de cianobacterias en sus playas. La población, y los/as profesionales de la salud conocen la problemática y sus efectos en las personas. Sin embargo, no visualizan alternativas a la situación y las generaciones más jóvenes han incorporado la responsabilidad de esta problemática, situación que preocupa.

Se realizan algunas sugerencias para mejorar la situación actual en Uruguay en un marco de aumento de la producción agrícola y de cambio climático.

Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias de la Tierra y relacionadas con el Medio Ambiente / Geociencias multidisciplinaria / Modelación estadística y calidad de agua

Palabras clave: salud pública / eventos extremos / calidad de agua /

Introducción

En este trabajo evaluamos como distintas forzantes, incluyendo los cambios climáticos, cambios en los usos del suelo y las actividades en las cuencas de drenaje afectan el desarrollo de las floraciones de cianobacterias tóxicas e incrementan el riesgo a la salud. Combinamos esta información con análisis de revisión de valores guía de cianotoxinas y monitoreos y actividades participativas con comunidades afectadas. El objetivo final es contribuir a las políticas de prevención, mitigación y adaptación a nivel local y nacional.

Floraciones de cianobacterias: causas

La eutrofización, la intensificación agropecuaria y la construcción de embalses han afectado la calidad del agua de ecosistemas acuáticos a nivel mundial, siendo las floraciones de cianobacterias tóxicas la expresión más negativa de estos cambios (ej. Crisci et al. 2017; Goyenola et al., 2021). En Uruguay y el mundo, las floraciones tóxicas más frecuentes son las especies del complejo *Microcystis aeruginosa* (CMA) (Izaguirre & O'Farrell, 2014; Bonilla, et al., 2015; Harke, et al., 2016; González-Piana, et al., 2017; Kruk et al., 2017; Martínez de la Escalera, et al., 2017). Este complejo produce microcistinas con efectos hepatotóxicos y neurotóxicos que pueden causar la muerte de animales y personas (Harke, et al., 2016). En el RU y el RdLP la toxicidad puede ser muy alta (Kruk, et al., 2019). Se han confirmados dos casos de intoxicación aguda por recreación en el embalse de Salto Grande (Giannuzzi, et al., 2011) y en playas de Montevideo donde una niña de 20 meses requirió trasplante de hígado (Vidal, et al., 2017). En ambos casos, los diagnósticos primarios fueron erróneos, lo que destaca la invisibilidad del riesgo de exposición a floraciones y la falta de conexión entre el ambiente y la atención en salud. Situación de riesgo que es probable se intensifique en escenarios de cambios climáticos.

Las floraciones CMA se desarrollan en ambientes dulce-acuícolas de aguas quietas con nutrientes, especialmente embalses y playas. La hidrología (ej. caudales) y los vientos afectan su distribución (Segura et al., 2017; Crisci et al., 2017; Haakonsson et al., 2019; Kruk et al., 2020; Somma et al., 2021) pudiendo favorecer su acumulación en zonas de agua salobre y su llegada al océano (Martínez de la Escalera, et al., 2017; Kruk, et al., 2019, 2020). Los cambios climáticos pueden actuar de forma sinérgica acelerando la eutrofización y favoreciendo las floraciones (Moss, et al., 2011; Paerl y

Huisman, 2008; Li et al., 2021). En Uruguay, asociado a la acción humana, se ha registrado un aumento de la temperatura media anual y de las precipitaciones, con variación de los vientos, lo cual provoca modificaciones de los caudales del Río de la Plata y RU (Barreiro et al., 2019; 2021). La temperatura media anual ha aumentado 0.8°C y las proyecciones a futuro indican incrementos de entre 1.5 y 5.5 °C (Barreiro et al., 2019). Las mayores temperaturas favorecen directamente el crecimiento de las cianobacterias y su producción de toxinas (Martínez de la Escalera et al., 2017; Segura et al., 2017; Martínez de la Escalera, 2019).

Floraciones de cianobacterias: consecuencias

En nuestra región, el 75% de las floraciones producen cianotoxinas (Giannuzzi, et al., 2017) metabolitos tóxicos para animales, ganado y la especie humana (Preece, et al., 2017; Chorus, et al., 2021). Estas floraciones afectan los usos del agua (ej. potabilización, turismo, abrevadero, pesca) y generan riesgos para la salud pública (Juanena et al., 2020). Las vías de exposición incluyen contacto directo, aspiración, ingestión accidental y consumo de agua o alimentos contaminados (ej. peces) (Testai, et al., 2016). Niños y niñas, inmunodeprimidos, embarazadas y quienes tienen mayor exposición (ej. guardavidas) son más vulnerables. Las cianotoxinas afectan distintos órganos y sistemas incluso simultáneamente (sistema inmune, nervioso, gastrointestinal, respiratorio, piel) (Giannuzzi, et al., 2017). Los efectos pueden ser agudos o crónicos y muchas veces pasan desapercibidos por los especialistas de la salud y los propios afectados (Chen, et al., 2009; Giannuzzi, et al., 2017).

El contacto con las cianotoxinas durante la recreación afecta la salud causando afecciones agudas y crónicas. Sin embargo, los impactos de la pérdida de calidad ambiental y de agua en particular no afectan de forma homogénea a las personas y poblaciones. Este impacto se diferencia por géneros, edades, grupos económicos, comorbilidades. Por ejemplo, dada la división sexual del trabajo y los roles de género, existen impactos ambientales diferenciados entre varones y mujeres donde éstas suelen ser las más afectadas (Bidegain, 2016). A nivel mundial, las consecuencias negativas más frecuentes son la falta de acceso o contaminación de fuentes de agua (UNEP, 2005; Akiyode, 2010; Salazar, 2012; Colectivo CASA, 2015; Carbajal, 2016; Delbene-Lezama, 2018). Por otro lado, las políticas públicas asociadas a lo ambiental, por su fuerte componente técnico, suelen catalogarse como neutras al género. Sin embargo tanto las políticas, como el Estado, no son neutros al género, ya que actúan bajo lógicas que homogenizan a una población intrínsecamente diversa a un sujeto masculino estándar (Fraser, 1994; Connell, 1997; Alfaro, 2002). Esto suele contribuir a profundizar problemas de desigualdad ya existentes o instalar nuevas.

Sinergia cambio climático y cambio del uso del suelo

En el ecosistema, las mayores temperaturas favorecen la anoxia, la estratificación y la liberación de nutrientes desde el sedimento, así como la disminución de la herbivoría, generando condiciones positivas para el desarrollo de floraciones (Paerl y Huisman, 2008; Meerhoff, et al., 2012). En cuanto a las lluvias, se ha observado un aumento de las medias anuales (10 - 20%) y máximas diarias (Barreiro et al., 2021), favoreciendo la escorrentía desde los suelos y la entrada de nutrientes a los cuerpos de agua (Ockenden, et al., 2017; Goyenola et al., 2021). En sectores del país donde se espera disminución de las lluvias (Barreiro et al., 2021), la construcción de embalses como reservorio de agua acarrearía mayor riesgo de crecimiento de cianobacterias tóxicas (Martínez de la Escalera, 2019; 2023).

La variabilidad climática a nivel regional altera también el ciclo hidrológico, pudiendo acelerar la conectividad entre las actividades contaminantes y los ecosistemas acuáticos (Navas et al., 2019; UNEP-WCMC – GRID-Arendal, 2021) magnificando los impactos sobre la zona costera (Defeo et al., 2008; Martínez et al., 2017; 5CN, 2019; De Abreu et al., 2019). A nivel regional los caudales de los ríos, la temperatura, el viento y la salinidad son las principales forzantes de las cianobacterias (Martínez de la Escalera et al., 2017; Kruk et al., 2020). El eventos de aumento de los caudales de los ríos (Barreiro et al., 2019) junto con cambios en los vientos aumentan la distribución del agua dulce, nutrientes y cianobacterias a lo largo de toda nuestra costa incluyendo la marina. Las mayores salinidades limitan el crecimiento de las cianobacterias pero no su presencia, seleccionando a los organismos de mayor tamaño, con mayor velocidad de flotación y mayor toxicidad (Kruk et al., 2017; Kruk et al., 2020).

En resumen, los cambios en el uso de la tierra, en combinación con la variabilidad climática y de la hidrología pueden incrementar la intensidad y toxicidad de las floraciones de cianobacterias, y por tanto los riesgos a la población. La población más vulnerable, con menos herramientas para su adaptación, serán aquellas personas con baja capacidad económica para trasladarse a otros lugares, o invertir en compra de agua embotellada o filtros de agua, así como también pescadores viviendo en zonas de frecuentes floraciones y las mujeres en particular dentro de cada uno de estos

grupos. El grado y forma de estos efectos son aún poco claros (Chorus et al., 2021) y los estudios para la zona escasos (e.g. 5CN, 2019).

Objetivos

El objetivo general de esta propuesta fue analizar las consecuencias del cambio y la variación climática sobre la frecuencia e intensidad de las floraciones de cianobacterias en términos de abundancia, toxicidad y niveles de riesgo en los dos principales ríos de Uruguay (RU y RdLP). Asimismo se incorporó el análisis de las demás dimensiones causantes de las floraciones incluyendo los cambios en el uso del suelo, la contaminación de origen fecal y los cambios hidrológicos. Para analizar los escenarios futuros se utilizaron los resultados de los datos históricos, la identificación de años con condiciones extraordinarias y horizontes temporales y proyecciones de emisiones de carbono (IPCC AR6). Se analizaron además los valores de niveles de riesgo sugeridos en concentración de cianotoxinas y las dosis de exposición de distintos grupos poblacionales en las condiciones observadas en playas recreativas del RU y RdLP. Se utilizarán metodologías de análisis extremales y Machine Learning en combinación con un enfoque transdisciplinario y una lectura basada en género con identificación de los grupos más vulnerables en el territorio. Los resultados podrán aportar al diseño de medidas y objetivos de corto y mediano plazo para la mitigación y adaptación al cambio climático, así como la reducción de sus efectos y la alerta temprana.

En este marco los principales objetivos de este trabajo y las metodologías asociadas se organizan en siete principales objetivos cuyos detalles se incluyen en los Anexos mencionados:

- 1) Generar de una base de datos de información histórica sobre cianobacterias, toxinas y forzantes a nivel climático, hidrológico, de usos de suelo de variables limnológicas y oceanográficas en el RU y el RdLP. Realizar un análisis descriptivo de esta información (Anexo 1).
- 2) Analizar los niveles de alerta, sus variables determinantes y su distribución temporal y espacial en el RU y RdLP (Anexo 2)
- 3) Analizar la importancia relativa de las distintas forzantes de las cianobacterias y los niveles de alerta con un enfoque histórico (Anexo 3).
- 4) Análisis de valores extremos en caudales y variables meteorológica sujeto de proyecciones de escenarios climáticos y como forzantes de las floraciones de cianobacterias (Anexo 4)
- 5) Realizar una revisión de los valores y formas de selección de los niveles guía basados en cianotoxinas utilizados para la prevención durante la recreación. Evaluación su aplicación en Uruguay y estimar las dosis de exposición con los valores históricos observados en los monitoreos de toxicidad en playas recreativas del RU y RdLP (Anexo 5).
- 6) Evaluar los cambios en la concentración de cianotoxinas y el subsecuente riesgo a la salud asociado a exposición recreativa a floraciones de cianobacterias tóxicas en distintas proyecciones de escenarios climáticos para Uruguay (Anexo 6).
- 7) Realizar talleres de mapeos colectivos y actividades de divulgación de los resultados en comunidades expuestas a las floraciones de cianobacterias (Anexo 7).

Metodología/diseño del estudio

- 1) Construcción de base de datos y análisis de niveles de alerta (Anexo 1)

Nuestro objetivo fue construir un repositorio de información sobre cianobacterias y sus principales forzantes en dos de los principales ecosistemas de Uruguay, el RU y RdLP. Para ello construimos una base de datos combinando información de distintas fuentes nacionales e internacionales (5 en total), incluyendo monitoreos e investigaciones (total de sitios: 82; total de casos: 25906; total de variables: 109). La información incluye variables indicadoras de la abundancia y distribución de cianobacterias, su toxicidad, los niveles de riesgo para la salud y variables explicativas limnológicas y oceanográficas, desde 1963 hasta el presente. Complementariamente, se analizaron para períodos más extensos (1900-2021) variables hidrológicas y climáticas regionales para modelar sus efectos sobre las floraciones de cianobacterias.

- 2) Análisis comparativo de niveles de alerta (Anexo 2)

Para este objetivo se analizaron bases de datos históricas de monitoreo de floraciones de cianobacterias en playas recreativas (77 en total) realizados por la Comisión Administradora del Río Uruguay (CARU) y el Laboratorio de Calidad Ambiental de la Intendencia de Montevideo (IM) en el RU y RdLP, respectivamente, y se describieron temporalmente y para cada sitio los niveles de riesgo (verde/amarillo/rojo) para la salud de las personas en relación a cada una de las variables medidas (abundancia de cianobacterias, concentración de clorofila-a y microcistina) y sus respectivos valores

guía. En las playas del RU (50 en total desde Artigas hasta Colonia) monitoreadas por CARU-CTM se observaron alertas rojas y amarillas durante todos los años (2008 a 2022) y los meses (Ene a Dic).

3) Cambios temporales de cianobacterias y análisis comparativo de forzantes (Anexo 3)

Aquí, realizamos un análisis histórico en detalle de la abundancia de cianobacterias en el RU (c.a. 1900 km de largo, cuenca de 365 000 km²) ya que para este sistema contamos con 60 años de información. Los datos de cianobacteria (cel/ml) compilados de las diversas fuentes para el RU alcanzan un total de 1713 datos entre 1963 y 2019, y su dinámica temporal fue evaluada mediante un modelo lineal simple y en segmentos. Evaluamos las relaciones interanuales entre la abundancia de cianobacterias y el cambio de uso de suelo, caudal de ríos, aguas residuales urbanas, temperatura y precipitación desde 1963 hasta el presente, considerando el fósforo total en agua durante la última década. Se construyeron modelos de vías para evaluar la contribución relativa así como las interacciones de los diferentes potenciales factores impulsores de la abundancia de cianobacterias, incluyendo el efecto del clima (precipitación, temperatura máxima), hidrología (flujo acumulado del río) y uso de la tierra (área de tierra con cultivos anuales y pastos, área natural).

4) Análisis extremales (Anexo 5)

La serie de datos históricos del caudal medio diario (m³ seg⁻¹) del RU entre 1908 y 2020 proviene del Sistema Nacional de Información Hídrica de Argentino de (SNIH) (<https://snih.hidricosargentina.gob.ar>) y corresponden a la Estación 3802 en Paso de los Libres. La Precipitación acumulada a 5 días fue estimada a partir de información satelital CHIRPS Versión 2.0, a escala global con una resolución de 0.05° disponible desde 1981 al presente. La información fue descargada en formato .ncdf del servidor de la ERDDAP de la NOAA. La temperatura del agua se obtuvo de mediciones de boyas equipadas con termómetros a lo largo del RU. El acceso a esta información es público a través de la página web (<http://190.0.152.194:8080/mapa/verTemperaturas.php?selLugares=103&FechaDesde=15-12-2008&FechaHasta=18-10-2021>) y fueron descargados los valores de temperatura del agua registrados para 10 estaciones entre 2008 y 2021 (estaciones: Bella Unión, Federación, Salto Grande, Concordia, Puerto Yeruá, Paysandú, Concepción del Uruguay, Fray Bentos, La Concordia y Nueva Palmira). Al tener diferente cobertura temporal y datos faltantes, la información de los termómetros fue agregada por zona del río en unidades coherentes para maximizar el uso de la información. Se realizó la correlación entre la temperatura del aire y del agua en las estaciones que se poseía información.

Se utilizó la transformada de ondículas continuas (wavelets) para el análisis de los patrones temporales en las series de caudal y precipitación (Cazelles et al. 2008). Se utilizó la ondícula madre de Morlet para descomponer la señal. En los casos que fue requerido, se interpoló la serie para lograr intervalos regulares. A partir del resultado del análisis, se extrajeron los períodos de mayor energía y se analizó su evolución temporal. Además, se exploró la relación entre las series de precipitación y caudal mediante la exploración de la coherencia de series por su relevancia en los procesos hidrodinámicos (Cazelles et al. 2007).

Se ajustaron mediante máxima verosimilitud modelos de distribuciones extremales generalizadas. Se tomaron los máximos valores de una secuencia de datos finita para cada una de las variables que describen la hidrodinámica del río y la precipitación en su cuenca. Según la teoría extremal, el tomar el máximo de una variable aleatoria independiente e idénticamente distribuidas (iid) conlleva a una distribución asintótica que satisface la propiedad de "estabilidad-max" (Katz et al. 2005; Embrechts et al. 2008). Hay tres distribuciones canónicas de valores extremos que son conocidas como Weibull, Gumbel, y Fréchet. Estas distribuciones son el resultado de tomar el máximo de distribuciones iid acotadas (e.g., Uniforme), no acotadas pero con colas livianas (e.g., Gaussiana), y no acotadas pero con colas pesadas (e.g., Cauchy) respectivamente. Se aplicó una distribución extremal generalizada (GEV) perteneciente a una familia de distribuciones continuas que incluye las tres distribuciones mencionadas (detalles en Anexo 4).

5) Revisión de literatura valores guía y aplicación a valores observados (Anexo 4)

Se revisaron los valores guía de concentraciones de cianotoxinas en aguas recreativas y los criterios utilizados para su definición a nivel nacional e internacional, considerando la heterogenidad de la población (i.e., edad, sexo) en el análisis de los impactos negativos en la salud. La búsqueda bibliográfica fue realizada en tres etapas e incluyó la revisión del libro de Chorus y Welker (2019), la búsqueda de artículos en Google Scholar a partir de palabras clave (e.g. floraciones de cianobacterias, toxinas, valores guía, aguas recreativas), así como de las referencias citadas en los artículos hallados, alcanzando un total de 57 publicaciones.

6) Análisis de los escenarios climáticos (Anexo 6)

Para identificar cambios en ocurrencia e intensidad de floraciones con el tiempo se analizarán series históricas de abundancia (1963-2019, semanal a mensual) con técnicas clásicas para datos extremos de uso incipiente en ciencias ambientales.

Se utilizó la base de datos generada en el proyecto y detallada en los Anexos 1, 2 y 3 combinando información de todos los sitios en el RU y RdIP y organizándose en zonas geográficas en base a las características locales (Figura 1). Se siguieron una serie de etapas para la evaluación de los cambios en los riesgos asociados a cianobacterias en distintos escenarios climáticos incluyendo análisis de las variables forzantes climáticas e hídricas por separado, luego generando relaciones con las medidas in situ, y finalmente estas con la concentración de microcistinas y alertas. Los valores pronosticados en los escenarios del IPCC-AR6 fueron identificados en el espacio bidimensional entre la concentración de microcistinas y las forzantes y en zonas específicas del RU y RdIP. Para generar predicciones de las floraciones en futuros climáticos se utilizaron dos horizontes temporales (2020-2044 y 2075–2099) y tres escenarios de emisiones del IPCC-AR6 (SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5) para los cuales existen análisis previos (Barreiro et al., 2021).

Se describe como se espera cambien los valores de cianotoxinas y niveles de alerta en tres sitios representativos de distintas zonas del territorio y de su conectividad: a) RU: embalse de Salto Grande-Zona II, Nueva Palmira y Carmelo-Zona V y b) RdIP: Montevideo-Zonas VI y VII.

7) Actividades participativas de divulgación e intercambio (Anexo 7)

Se realizaron varias actividades de intercambio y divulgación. Estas fueron enfocadas en la comunidad de Carmelo y en coordinación con docentes del Liceo N°2 de Carmelo. Se trabajó en forma virtual (5 encuentros) y en forma presencial (3 días y 4 talleres). En conjunto con las docentes del centro educativo se definieron los intereses y los grupos con quienes trabajar, así como las actividades a desarrollar. Como herramientas participativas se utilizaron los mapeos de territorio hídrico y de cuerpo territorio.

Se buscó identificar los principales aportes de los resultados a los objetivos y enfoques del PNCC (2017) y NDC (2017).

Resultados, análisis y discusión

1) Repositorio de información histórica (Anexo 1)

Fue posible construir una base de datos sobre monitoreo y forzantes ambientales de cianobacterias en el RU y el RdIP de distintas fuentes (5 en total), sitios (82) y alcanzando 25906 casos y 109 variables (Tabla 1, Figura 1A y B).

Tabla 1. Fuentes de datos incluyendo tipo de datos, período, frecuencia, cantidad de sitios y sistema. Comisión Técnica Mixta: CTM; Comisión Administradora del Río Uruguay: CARU; Intendencia de Montevideo: IM; Laboratorio tecnológico del Uruguay: LATU; Obras sanitarias del estado: OSE; Sistema nacional de información Argentina: SNAI; Climatic research unit: CRU; abundancia de cianobacterias: cya; clorofila-a: chl; microcistina: mcy.

2) Análisis comparativo de niveles de alerta (Anexo 2)

Los monitoreos de cianobacterias en el RU y RdIP se basan en distintas formas de identificar niveles de alerta (Tabla 2). En el RU la mayor proporción de niveles de alerta ocurrió en Verano, en los meses de Febrero, Marzo y Abril, y los años 2012 y 2016. Las playas más comprometidas fueron las del Departamento de Salto. Al comparar los niveles de las alertas determinadas a partir de los valores indicativos para cada variable se observó que la alerta derivada de la clorofila-a es la más conservativa en términos de protección a la población por detectar en mayor porcentaje de niveles de riesgos amarillos y rojos. Esto ocurrió tanto a nivel de cada playa como temporalmente al observarse alertas de riesgo durante todos los meses del año derivadas tanto de los altos niveles de clorofila-a como de abundancia de cianobacterias. Las playas de Gualeguaycito Chico y Las Palmeras fueron las que presentaron mayor cantidad de alertas rojas, coincidiendo las estimaciones derivadas de la clorofila-a, las cianobacterias y la microcistina. En las playas del RdIP (21 en total al oeste y este de Montevideo) monitoreadas por IM se observaron alertas rojas y amarillas durante todos los años (2009 a 2019) y meses (Ene a Dic). La mayor proporción ocurrió en Verano, en los meses de Febrero, Marzo, y el año 2019. Las playas con más proporción de alertas rojas fueron Ramírez y Puerto Buceo del lado este, seguidas de Punta Espinillo y Punta Yeguas del lado oeste. Las alertas derivadas de los niveles de microcistinas y clorofila-a detectados en el agua del RdIP fueron las que presentaron mayor porcentaje de casos rojos en las playas y durante los meses del año, respectivamente. Se observaron importantes diferencias en las metodologías de identificación de alertas y por tanto en los

resultados de exposición de las y los bañistas durante la recreación.

Tabla 2. Niveles de riesgo a exposición de floraciones de cianobacterias para aguas recreativas del RU y el RdIP establecido por la Comisión Administradora del RU (CARU) y la Intendencia de Montevideo (IM) respectivamente.

3) Cambio histórico en cianobacterias e importancia de sus forzantes (Anexo 3)

El análisis de los cambios históricos en la abundancia de cianobacterias en el RU mostró un aumento exponencial durante las últimas seis décadas, congruente con un aumento en la concentración de fósforo (Figura 2). Se observó un cambio brusco en la tasa de aumento después del año 2000, alcanzando niveles por encima de la alerta de salud pública desde 2010. Los análisis de ruta mostraron una fuerte correlación positiva entre las cianobacterias y el área de cultivo en todo el nivel de captación. A escala interanual, la precipitación, la temperatura y el flujo de agua no afectaron a las cianobacterias.

4) Análisis de valores extremos en variables ambientales (Anexo 4)

Los datos de caudal medio diario (1908-2021) mostraron un comportamiento donde los ciclos de largo plazo (6, 15 años) aportan mayor energía (Figura 3). Asimismo, los períodos relevantes cambian a lo largo de la serie siendo el 6 años del inicio a la década del '70 el ciclo, y el de 15 años más importante hacia el final coincidiendo con cambios en los vientos para la cuenca del RU (Baines & Folland 2007) y con registros paleolimnológicos (Marrero et al., 2014). Los resultados del ajuste de GEV indicó un tiempo de retorno para un caudal medio mensual de 15000 m³ s⁻¹ de 8 años en línea con las precipitaciones esperadas influenciados por el Niño Oscilación Sur (ENSO). El tiempo de retorno de un caudal semanal máximo de 25000 m³ s⁻¹ fue de 42 semanas, menos de 1 vez por año.

5) Revisión valores guía cianotoxinas y dosis de exposición (Anexo 5)

Los programas de monitoreo y los sistemas de alerta basados en valores guía (GV) de cianotoxinas se utilizan para establecer niveles de riesgo y proteger la salud pública. Sin embargo, los VG se aplican sin analizar la heterogeneidad de la población ni las características de los ecosistemas y las cuencas, ni considerar las percepciones locales y el contexto histórico. En la revisión de los VG encontramos que existen pocos VG y estos son provisorios y solo para algunas cianotoxinas (principalmente microcistina LR), esto debido principalmente a la escasez de estudios toxicológicos (Tabla 3). Asimismo, si bien se aplican correcciones por incertidumbre en general no representan la situación en la región, las variaciones de edad y comportamiento, así como lo sostenido de la problemática en nuestro país. Un 5 % de las instancias de monitoreo en el RU presentaron concentraciones de microcistina superiores al VG definido por la OMS (24 µg/L), mientras que en la costa montevideana este valor aumentó a un 76 %. Además, se utilizaron las características de las poblaciones locales (edad, peso corporal) para estimar la dosis de microcistina por persona. En presencia de espuma de cianobacterias, los niños especialmente de bajo peso (primer percentil) hubiesen recibido dosis (58 a 64 µg microcistina/kg cuerpo) comparables con la LD50 para animales de experimentación (Tabla 4). Estos resultados se discuten en el marco del aumento de las floraciones tóxicas debido a los cambios globales en el uso de la tierra y el clima.

6) Proyecciones de riesgo asociado a exposición recreativa a cianobacterias tóxicas en escenarios climáticos para Uruguay (Anexo 6)

La temperatura, el caudal y la salinidad tuvieron roles importantes en relación con la concentración de microcistinas y los niveles de alerta en el RU y RdIP. Estos niveles fueron mayores entre 25-30°C, rango con mayores tasas de crecimiento de las especies del complejo *Microcystis aeruginosa* (CMA) y la producción de microcistinas (Kruk et al., 2017; Martínez de la Escalera et al., 2017 y 2023). La temperatura no es el principal factor que explica el incremento histórico y sostenido de las floraciones de cianobacterias tóxicas (Kruk et al., 2023; Bonilla et al., 2023) si modula su abundancia y producción de toxinas en condiciones de eutrofia y aguas quietas (Martínez de la Escalera et al., 2023). Mayor riesgo también fue encontrado a menores caudales del RdIP pero mayores caudales también tuvieron efectos negativos sobre la salinidad, limitante del crecimiento del CMA. En el RdIP la toxina disminuyó con el aumento de salinidad pero la espuma de cianobacterias se registró hasta valores de salinidad de 20, probablemente asociado probablemente a procesos de dispersión y no a crecimiento local. Observándose que las condiciones proyectadas para los distintos escenarios de emisiones, especialmente aquellos menos conservativos tienden a un aumento de la concentración de microcistinas y por tanto al aumento del riesgo para la salud (Figura 4). En situaciones de lluvias la distribución será más amplia, las floraciones originadas aguas arriba podrán ser transportadas aguas abajo, llegando a zonas donde no pueden crecer localmente.

7) Mapeos colectivos y actividades de divulgación (Anexo 7)

El intercambio con las comunidades afectadas por los problemas ambientales es fundamental para contribuir a la búsqueda de soluciones. En este trabajo presentamos la relatoría de las actividades realizadas en la localidad de Carmelo. Su objetivo fue divulgar información sobre la problemática de cianobacterias y salud y en forma participativa evaluar la situación en la localidad. Estas actividades fueron realizadas en el Liceo N°2 de Carmelo en forma virtual y luego presencial, diseñadas en conjunto con docentes del centro educativo y luego desarrolladas con estudiantes de segundo ciclo diurno y nocturno. Se utilizaron mapeos de territorio hídrico y cuerpo territorio (Figura 5A y B). Las y los participantes reconocen y conocen la problemática de la contaminación del agua y en particular de las cianobacterias y sus efectos en la salud, esto es especialmente notorio entre las mujeres adultas. Asimismo, en el caso de los estudiantes más jóvenes se observa la naturalización de la misma y la responsabilización de las causas, mientras que las participantes reconocen las causas en el sistema agrícola intensivo.

Tabla 3. Revisión bibliográfica incluyendo las formas utilizadas por diferentes organizaciones y países para generar Valores Guía (VG) recreativos y los valores de los parámetros utilizados. En todos los casos P se mantiene constante con un valor de 1 (100% de la toxina se adquiere durante la actividad recreativa). Se incluyen también los niveles guía utilizados en el sistema de alerta por floraciones del RU por CARU. TDI: ingesta diaria admisible, NOAEL: nivel de toxina sin efectos adversos observados, LOAEL: valor de toxina con los menores efectos adversos encontrado, BMD: dosis de referencia con un nivel conocido de respuesta, BMDL: límite inferior de confianza de la BMD, UF: factores de corrección por incertidumbre, C: volumen de agua ingerida.

Tabla 4. Valores de dosis ingerida (TDI $\mu\text{g MC/kg}$ peso corporal) de microcistina (MC $\mu\text{g/L}$) por unidad de peso corporal para distintos grupos, varones y mujeres adultas, niño/a de acuerdo a OMS, niños y niñas de 3 años P50 y niños/as P1 de Uruguay. Se incluyen VG de MC de la CARU para el Río Uruguay y de la OMS, así como también valores observados (Obs) de MC en playas de Uruguay. Obs 1 corresponde al valor promedio de MC cuando no son 0, Obs 2: corresponde a valores frecuentes MC en espuma en playas de Montevideo y Obs 3: corresponde a uno de los mayores valores observados en las playas de Montevideo.

Conclusiones y recomendaciones

Se incluyen a continuación los principales resultados y conclusiones por objetivo, y en algunos casos algunas recomendaciones específicas. A continuación se incluyen las recomendaciones asociadas a aspectos del PNCC y a la aproximación de género en la temática de la investigación.

Objetivo 1. Fue construida una base de datos con información histórica sobre cianobacterias, toxinas y forzantes a nivel climático, hidrológico, con variables limnológicas y oceanográficas en dos de los principales ecosistemas acuáticos de Uruguay, el RU y el RdIP. La información quedará disponibilizada en un repositorio público e idealmente sería deseable se renovara periódicamente con los nuevos resultados. El acopio, revisión y preparación de la información requirió gran esfuerzo de trabajo. Se sugiere homogeneizar y facilitar el acceso a la información. Especialmente esto en el caso de la CARU que no tuvo respuesta positiva a un pedido formal de nuestro equipo de disponibilizar su información.

Objetivo 2. Fue posible analizar comparativamente y describir las categorizaciones de niveles de alerta aplicados en el RU y RdIP (Anexo 2). Se observaron importantes diferencias en las metodologías de identificación de alertas y por tanto en los resultados de exposición de las y los bañistas durante la recreación, siendo mayores los riesgos en las playas del RdIP debido al sistema de alerta utilizado. Los indicadores más conservativos y protectores de la salud fueron las estimaciones derivadas de la clorofila-a y la microcistina, a diferencia de lo ocurrido con las categorías visuales. Se sugiere la homogeneización de estas alertas utilizando las metodologías más conservativas con el objetivo de la prevención y cuidado de la salud pública.

Objetivo 3. Analizar los cambios históricos en la abundancia de cianobacterias y la importancia relativa de las distintas forzantes de las cianobacterias y los niveles de alerta con un enfoque histórico (Anexo 3). El aumento del área de cultivo agroindustrial fue la forzante que explicó el aumento exponencial de abundancia de cianobacterias en el RU. La precipitación, la temperatura y el flujo de agua no afectaron el cambio histórico de las cianobacterias. Las proyecciones actuales para la región implican un crecimiento continuo en las prácticas agrícolas de altos insumos, aumento de las represas de agua para riego y energía, y un aumento en la forestación con especies exóticas. Estas prácticas ya están teniendo graves efectos tanto en los ecosistemas acuáticos como en la salud humana y las proyecciones sugieren que

estas tendencias se intensificarán en el futuro. Para evitar una mayor degradación del agua y riesgos para la salud de las generaciones futuras, se requerirá un cambio a gran escala (transfronterizo) en la gestión agrícola hacia prácticas agroecológicas.

Objetivo 4. Análisis de valores extremos en caudales y variables meteorológicas sujeto de proyecciones de escenarios climáticos y como forzantes de las floraciones de cianobacterias (Anexo 4). Se observaron ciclos periódicos en dos de las principales forzantes climáticas (caudales y precipitaciones). Los ciclos observados tuvieron una periodicidad anual en caudales y cada 15 años en precipitaciones. Los caudales tuvieron magnitudes, que dependiendo del estado del río, se asociaría a apertura de las compuertas de la represa de Salto Grande para aliviar la presión sobre la misma. Estos eventos, si coinciden la temporada estival, donde las floraciones son recurrentes, pueden dar lugar al transporte aguas abajo de las floraciones como lo previamente registrado (Kruk et al., 2020). La serie temporal de la precipitación mostró además cambios de regímenes que pueden estar asociados a oscilaciones de mayor plazo o al cambio climático.

Objetivo 5. Realizar una revisión de los valores y formas de selección de los valores guía (VG) para la prevención de exposición a cianotoxinas durante la recreación y evaluación de su aplicación en Uruguay incluyendo estimación de las dosis de exposición en RU y RdIP (Anexo 5). Existen pocos VG y estos son provisorios y solo para algunas cianotoxinas (principalmente microcistina LR), esto debido principalmente a la escasez de estudios toxicológicos. Se observa que se toman los generados por la OMS y aplican en distintos países y lugares sin analizar la heterogeneidad de la población ni las características de los ecosistemas, su cuencas, ni las percepciones locales y el contexto histórico. En Uruguay se encuentra un alto porcentaje de situación de posibilidad de altas dosis de exposición, siendo esta especialmente importante en niñas y niños de bajo peso y en las costas del RdIP. En el marco del aumento de las floraciones tóxicas debido a los cambios globales en el uso de la tierra y el clima este problema seguirá en aumento.

Objetivo 6. Evaluar los cambios en el riesgo a la salud asociado a exposición recreativa a floraciones de cianobacterias tóxicas en distintas proyecciones de escenarios climáticos para Uruguay (Anexo 6). Fue posible relacionar los cambios en forzantes climáticas con los cambios en el ambiente a través de información histórica, determinando que las condiciones proyectadas para los distintos escenarios de emisiones, especialmente aquellos menos conservativos tienden a un aumento de la concentración de microcistinas y por tanto al aumento del riesgo para la salud. Esto asociado a aumentos de la temperatura del agua, aumento de los caudales y lluvias, y disminución de la salinidad en el RdIP. En situaciones de lluvias la distribución será más amplia, las floraciones originadas aguas arriba podrán ser transportadas aguas abajo, llegando a zonas donde no pueden crecer localmente. Futuros estudios deberán incluir el análisis de vientos y flujo de estos organismos en ambos sistemas. Será además importante incluir el análisis de los caudales del RdIP y sus tributarios (RU, Paraná y Paraguay) así como el análisis de precipitaciones y temperaturas a nivel de toda la cuenca del RdIP.

Objetivo 7. Realizar talleres de mapeos colectivos y actividades de divulgación de los resultados en comunidades expuestas a las floraciones de cianobacterias (Anexo 7). Las y los habitantes de Carmelo tienen interés, reconocen la problemática de las cianobacterias y sus conexiones con la pérdida de salud, especialmente las mujeres adultas. En varios casos, se naturaliza la situación y carga la responsabilidad sobre la población y no el sistema agrícola intensivo. Situación que preocupa y deja como perspectiva la realización de nuevas actividades y la necesidad de la continuidad en el trabajo con la localidad.

Dentro de los aportes a los objetivos y enfoques del PNCC (2017) y NDC (2017) se destacan los siguientes:

Niveles de riesgo ajustados a los sistemas de alertas temprana ya funcionando en Uruguay y a los sistemas nacionales de monitoreo y adaptación al cambio climático en cuanto a calidad de agua, salud, turismo y otros (PNCC-Párrafo 1) y a la gestión de los recursos hídricos (Párrafo 14). La revisión de los niveles y sistemas de alerta por riesgo a floraciones considerando edades, género, tiempo y lugar de exposición aportarán a fortalecer el Sistema Nacional Integrado de Salud (Párrafo 9) y junto con los análisis prospectivos contribuirá a la gestión de riesgos a floraciones masivas tóxicas (Párrafo 10). Los resultados aplicados a la gestión del uso de tierra y al cambio hacia producción agroecológica sin dudas contribuiría a la provisión de bienes ecosistémicos (ej. potabilización, recreación) (Párrafo 12), a la disminución de impactos en zonas fluviales y costeras (Párrafo 13) y a una mejor adaptación al cambio de clima y sus efectos sinérgicos en las floraciones. La identificación realizada de las zonas (departamentos, playas) y momentos (en el año, períodos más que anuales) de mayor vulnerabilidad aportará al área Social (Sección III NDC), a la Política Nacional de Aguas y a la Gestión de Riesgos de Desastres (Párrafo 3) y al Plan Nacional de Adaptación Costera y de Adaptación en Ciudades

(Párrafo 26). Las actividades con la población y la formación de recursos humanos contribuyeron al conocimiento de la problemática y a la capacidad de adaptación (Párrafos 5, 6 y 8). Asimismo, los sistemas de alerta aportarán al área de Salud para monitorear los efectos y reducir el riesgo, guiando la selección de medidas a nivel local. Finalmente, la información accesible y útil, y la preparación de materiales de fácil interpretación también serán relevantes para actuales y futuras investigaciones y planes de adaptación (Párrafos 7 y 8). En su conjunto la información permite generar un cuerpo de conocimientos para tomar decisiones informadas sobre las floraciones tóxicas. Los resultados son de interés y serán aplicados en el marco de trabajo con instituciones desde lo público (ej. OSE, CARU, CTM, IMM) hasta lo privado (ej. LATU, Ceibal, productores agropecuarios).

El desarrollo de políticas en cuanto a los efectos de cambio y variaciones climáticas sobre la gestión del agua son fundamentales pero no son frecuentes en América Latina (Locatelli et al., 2017; Silvarrey et al., 2020). Esta situación se da en un marco de incremento de las floraciones en toda la región conjuntamente con proyecciones de aumento de las actividades productivas y de cambios ambientales que favorecen a las floraciones. Por lo tanto tener un mejor entendimiento y pronósticos específicos de las floraciones de cianobacterias y sus riesgos asociados es fundamental para el desarrollo de políticas de mitigación y adaptación (Silvarrey et al., 2021). Se podrá aportar a una diversidad de políticas nacionales. Entre ellas cabe destacar que Uruguay no realiza registro de casos de afectación de salud por exposición a cianobacterias y las cianotoxinas no están incluidas en el Reglamento Bromatológico Nacional por lo que se podría aportar en este sentido.

Perspectiva de género

Se incluyó la perspectiva de género en varios componentes del proyecto incluyendo el equipo de trabajo. Se realizó un análisis con perspectiva de género (Parker, 1993) preguntándose constantemente en qué medida, un resultado, situación o decisión podría estar afectando de manera diferenciada a mujeres y varones (citada en GWA y PNUD, 2006). Este desglose se hizo además considerando distintas edades y roles de trabajo y género. En las actividades de difusión de resultados se buscó promover la mayor participación de la población más vulnerable. Para ello se seleccionó la localidad de Carmelo y el Liceo N°2 de Carmelo y se trabajó con grupos diurnos y nocturnos. Estos últimos principalmente integrados por mujeres trabajadoras y madres.

Referencias bibliográficas

- 5CN (2019). Quinta Comunicación Nacional a la Conferencia de las Partes en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático Uruguay. Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (MVOTMA) en el marco del Sistema Nacional de Respuesta al Cambio Climático (SNRCC).
- Akiyode, Oluwole Olusegun (2010). Gender mainstreaming of environmental concerns: panacea for environmental sustainability and peace in the Niger delta region. *Journal of Sustainable Development in Africa*, 12(2), 301-314.
- Alfaro, Rocío (2002). Algunos aportes feministas a la teoría del estado. *Revista de Filosofía de la Universidad de Costa Rica*, 40 (100), 119-123.
- Barreiro, M., F. Arizmendi, N. Díaz, R. Trinchin (2021). "Integración del enfoque de adaptación en ciudades, infraestructura y ordenamiento territorial en Uruguay" Análisis del clima y escenarios de cambio y variabilidad climática en Uruguay. CONVENIO PNUD-UDELAR Proyecto URU/18/002. Entregable 4. Junio 2021. Departamento de Ciencias de la Atmósfera Instituto de Física, Facultad de Ciencias. Instituto Uruguayo de Meteorología
- Barreiro, M., F., Arizmendi & Romina Trinchin (2019). Proyecto "Fortalecer las capacidades de Uruguay para la adaptación al cambio climático en la zona costera". Variabilidad observada del clima en Uruguay. Documento Preparatorio. NAP Costas. PRODUCTO 2. Departamento de Ciencias de la Atmósfera. Instituto de Física, Facultad de Ciencias. Noviembre 2019
- Bellanger, L; Perera, G. (2003). Compound Poisson limit theorems for high-level exceedances of some non-stationary processes. *Bernoulli* Vol 9, No.3, 497-515.
- Bidegain, Nicole (2017). La agenda 2030 y la Agenda regional de género. Sinergias para la igualdad en América Latina y el Caribe. Serie Asuntos de género. Santiago: CEPAL-Naciones Unidas.
- Biži?, M., T. Klintzsch, D. Ionescu, M. Y. Hindiyeh, M. Günthel, A. M. Muro-Pastor, W. Eckert, T. Urich, F. Keppler & H.-P. Grossart M. (2020). Aquatic and terrestrial cyanobacteria produce methane. *Science Advances*. 6(3). DOI: 10.1126/sciadv.aax5343
- Bonilla, S., Haakonsson, S., Somma, A., Gravier, A., Britos, A., Vidal, L., De León, L., Brena, B., Pírez, M., Piccini, C., Martínez De la Escalera, G., Chalar, G., González-Piana, M., Martigani, F. & Aubriot, L. (2015). Cianobacterias y cianotoxinas en ecosistemas límnicos de Uruguay. En: *INNOTEC*, 10, pp.9- 22.
- Bonilla, S., Aguilera, A., Aubriot, L., Huszar, V., Almanza, V., Haakonsson, S., Izaguirre, I., O'Farrell, I., Salazar, A., Becker, V., Cremella, B., Ferragut, C., Hernandez, E., Palacio, H., Rodrigues, L. C., Sampaio da Silva, L. H., Santana, L. M., Santos, J., Somma, A., ... Antoniadou, D. (2023). Nutrients and not temperature are the key drivers for cyanobacterial biomass in the Americas. *Harmful Algae*, 121, 102367. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2022.102367>
- Bourel, M., Segura, A. (2018) Multiclass classification methods in ecology. *Ecological Indicators* 85:1012-1021.
- Breiman, L. (2001). Random Forests. *Machine Learning* 45(1): 5-32.
- Breiman, L., Jerome H. Friedman, Richard A. Olshen and C. J. Stone (1984). *Classification and Regression Trees*. DOI:10.2307/2530946.
- Cazelles, B., Chavez, M., Berteaux, D., Ménard, F., Vik, J.O., Jenouvrier, S., et al. (2008). Wavelet analysis of ecological time series. *Oecologia*, 156, 287–304.
- Carvajal, Laura M. (2016). *Extractivismos en América Latina. Impactos en la vida de las mujeres y propuestas de defensa del territorio*. Bogotá: Fondo de Acción Urgente (FAU)-América Latina.
- Chen, J., Xie, P., Li, L. y Xu, J., 2009. First identification of the hepatotoxic microcystins in the serum of a chronically exposed human population together with indication of hepatocellular damage. En: *Toxicological Sciences*, 108, pp.81-89. <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfp009>
- Chorus, I.; Fastner, J.; Welker, M. (2021). Cyanobacteria and Cyanotoxins in a Changing Environment: Concepts, Controversies, Challenges. *Water*. 13:2463. <https://doi.org/10.3390/w13182463>
- Chorus y Welker (2019)
- Colectivo CASA (2015). *La tierra es nuestra madre, el agua es nuestra leche. La defensa de la madre tierra y del agua como estrategia de lucha contra la violencia medioambiental hacia las mujeres*. Oruro: Colectivo CASA.
- Connell, Robert W. (1997). La organización social de la masculinidad. En T. Valdés y J. Olavarría (Eds.), *Masculinidad/es. Poder y crisis* (p. 31-62). Santiago: FLACSO - Isis Internacional.
- Crisci, C., Ghattas, B., Perera, G. (2012). A review of supervised machine learning algorithms and their application to ecological data. *Ecological Modelling* 240, 113-122.
- Crisci, C., R. Terra, J. P. Pacheco, B. Ghattas, M. Bidegain, G. Goyenola, J. J. Lagomarsino, G. Méndez & N. Mazzeo (2017). Multi-model approach to predict phytoplankton biomass and composition dynamics in a eutrophic shallow lake governed by

extreme meteorological events. *Ecological Modelling* 360: 80–93.

D'Anglada, L.V., and Strong, J. (2015). Drinking Water Health Advisory for the Cyanobacterial Microcystin Toxins, in: Health and Ecological Criteria Division (Ed), United States Environmental Protection Agency, Washington, DC.

de Abreu, R. C., Cunningham, C., Rudorff, C. M., Rudorff, N., Abatan, A. A., Tett, S. F. B., Dong, B., Lott, F. C. and Sparrow, S. N. (2019) Contribution of anthropogenic climate change to April-May 2017 heavy precipitation over the Uruguay River basin. *Bulletin of the American Meteorological Society*. ISSN 1520-0477 doi: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-18-0102.1> Available at <http://centaur.reading.ac.uk/79545/>

Defeo, O., McLachlan, A., Schoeman, D.S., Schlacher, T., J. Dugan (2008). Threats to sandy beach ecosystems: A review. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1–12

Embrechts, P.; Klüppelberg, C.; Mikosch, T. (1997). *Modelling Extremal Events for Insurance and Finance*. Springer. ISBN 978-3-642-33483-2

Embrechts, P., Klüppelberg, C. & Mikosch, T. (2008). *Modelling extremal events: for insurance and finance*. Stochastic modelling and probability. 4. corr. printing and 8. printing. Berlin.

Far, S.S. & Wahab, A.K.A. (2016). Evaluation of Peaks-Over-Threshold Method. *Ocean Sci. Discussions* 47, 1-25.

Farrer, D., Marina Counter, Rebecca Hillwig and Curtis Cude. (2015) Health-Based Cyanotoxin Guideline Values Allow for Cyanotoxin-Based Monitoring and Efficient Public Health Response to Cyanobacterial Blooms. *Toxins* 2015, 7, 457-477; doi:10.3390/toxins7020457. *Toxins*.

Fraser, Nancy. (1994). *La Lucha por las necesidades. Esbozo de una teoría crítica socialista-feminista de la cultura política del capitalismo tardío*. Lima: Propuestas 3, Documentos para el debate entre Mujeres.

Giannuzzi, L., Petcheneshky, T. y Hansen, M. (2017). *Cianobacterias como determinantes ambientales de la salud*. Buenos Aires: Ministerio de Salud de la Nación. 20ISSN 1688-6593

Giannuzzi, L., Sedan, D., Echenique, R. y Andrinolo, D., 2011. An acute case of intoxication with cyanobacteria and cyanotoxins in recreational water in Salto Grande Dam, Argentina. En: *Marine Drugs*, 9, pp.2164-2175. <https://doi.org/10.3390/md9112164>

González-Piana, M., Fabián, D., Piccardo, A. y Chalar, G., 2017. Dynamics of total microcystin LR concentration in three subtropical hydroelectric generation reservoirs in Uruguay, South America. En: *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 99, pp.488-492. <https://doi.org/10.1007/s00128-017-2195-2>

Goyenola, G., Kruk, C., Mazzeo, N. Nario, A. Perdomo, C., Piccini, C. & M. Meerhoff (2021). Producción, Nutrientes, Eutrofización y Cianobacterias en Uruguay: armando el rompecabezas. *INNOTEC*. No. 22 (e558). <https://doi.org/10.26461/22.02>

GWA y PNUD (Gender and Water Alliance y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo) (2006). *Guía de recursos para la transversalización del enfoque de género en la gestión del agua*. PNUD. [En línea]. Consultado: [2017, julio 17] Disponible en: <http://www.undp.org/content/dam/undp/library/Environment%20and%20Energy/Water%20and%20Ocean%20Governance/IWRMGenderResourceGuide-Spanish-200610.pdf>

Haakonsson, Signe Lorena Rodríguez-Gallego Andrea Somma Sylvia Bonilla (2017). Temperature and precipitation shape the distribution of harmful cyanobacteria in subtropical lotic and lentic ecosystems. *Science of The Total Environment* 609:1132. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.07.067.

Harke, M.J., Steffen, M.M., Gobler, C.J., Otten, T.G., Wilhelm, S.W., Wood, S.A. & Paerl, H.W., 2016. A review of the global ecology, genomics, and biogeography of the toxic cyanobacterium, *Microcystis* spp. En: *Harmful Algae*, 54, pp.4-20. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2015.12.007>.

Juanena, C., A. Negrin, A. Laborde (2020). Cianobacterias en las playas: riesgos toxicológicos y vulnerabilidad infantil. Artículo de actualización. *Rev Méd Urug*; 36(3): 301-310. doi: 10.29193/RMU.36.3.7

Katz, R.W., Brush, G.S. & Parlange, M.B. (2005). Statistics of extremes: modeling ecological disturbances. *Ecology*, 86, 1124–1134.

Kruk, C. Martínez, A., de la Escalera, G., Trinchin R., Manta G., Segura, A.M., Piccini, C., Brena, B M, Fabriano G, Pérez, M., Gabito, L., Alcántara, I. & Yannicelli, B. (2019). Exceptional bloom of toxic cyanobacteria on the Uruguayan coast, summer 2019. *INNOTEC*, 18: 1-34.

Kruk, C., A. Segura, Lucía Nogueira, Ignacio Alcántara, Danilo Calliari, Gabriela Martínez de la Escalera, Carmela Carballo, Carolina Cabrera, Florencia Sarthou, Paola Scavone, Claudia Piccini (2017). A multilevel trait-based approach to the ecological performance of *Microcystis aeruginosa* complex from headwaters to the ocean. *Harmful Algae*, 70:23-36. 10.1016/j.hal.2017.10.004

Kruk, C., Martínez, A., Martínez de la Escalera, G., Trinchin, R., Manta, G., Segura, A. M., Piccini, C., Brena, B., Yannicelli, B., Fabiano, G., Calliari, D. (2020) Rapid freshwater discharge on the coastal ocean as a mean of long distance spreading of an unprecedented toxic cyanobacteria bloom. *Science of the Total Environment* 754 (2021) 142362.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142362>

KRUK, C. , SEGURA, A.M., GERVASIO PIÑEIRO, Pablo Baldassini, Perez L., GARCIA-

RODRIGUEZ, F , GONZALO PERERA , PICCINI, C. (2023). Rise of toxic cyanobacterial blooms is promoted by agricultural intensification in the basin of a large subtropical river of South America. *Global Change Biology*, DOI: 10.1111/gcb.16587

Li, Y., J. Shang, C. Zhang, W. Zhang, L. Niu, L. Wang, & H. Zhang (2021). The role of freshwater eutrophication in greenhouse gas emissions: A review. En: *Science of The Total Environment*, 768, 144582, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144582>.

Locatelli, B., P. Aldunce, A. Fallot, E. Sabourin & J. Tapasco (2017). Review. Research on Climate Change Policies and Rural Development in Latin America: Scope and Gaps. Mencionan la baja presencia de políticas que relacionan agua y cambio climático en america latina incluyendo a uruguay. *Sustainability*, 9, 1831; doi:10.3390/su9101831.

Locatelli, B., Paulina Aldunce 3 , Abigail Fallot 1 Eric Sabourin 1,5 and Jeimar Tapasco (2017). Review. Research on Climate Change Policies and Rural Development in Latin America: Scope and Gaps. *Sustainability*, 9, 1831; doi:10.3390/su9101831.

Martínez de la Escalera, G. (2019) Dinámica y condicionantes ambientales de genotipos tóxicos del complejo *Microcystis aeruginosa* en el río Uruguay y Río de la Plata. Tesis de Doctorado. Programa de posgrado PEDECIBA, Área Biología, sub-área Microbiología. Universidad de la República. Montevideo – Uruguay.

Martínez de la Escalera, G., Kruk, C., Segura, A. M., Nogueira, L., Alcántara, I., Piccini, C. 2017. Dynamics of toxic genotypes of *Microcystis aeruginosa* complex (MAC) through a wide freshwater to marine environmental gradient. *Harmful Algae* 62: 73–83.

Martínez de la Escalera, G. , KRUK, C. , SEGURA, A.M. , PICCINI, C. (2023). Effect of hydrological modification on the potential toxicity of *Microcystis aeruginosa* complex in Salto Grande reservoir, Uruguay. *Harmful Algae*, 2023. DOI: doi.org/10.1016/j.hal.2023.102403

Martínez, A; Méndez, S; Fabre, A; Ortega, L. (2017) Intensificación de floraciones de dinoflagelados marinos en Uruguay INNOTEC, núm. 13. 19-25 Laboratorio Tecnológico del Uruguay Uruguay. DOI: <https://doi.org/10.26461/13.02>

Mathias Bourel, Angel M Segura, Carolina Crisci, Guzmán López. Lia Sampognaro. Victoria Vidal, Carla Kruk. Claudia Piccini, Gonzalo Perera (2021). Machine learning methods for imbalanced data set for prediction of faecal contamination in beach waters. *Water Res.* 2021 Sep 1;202:117450. doi: 10.1016/j.watres.2021.117450. Epub 2021 Jul 23.

Moss, B., Kosten, S., Meerhoff, M., Battarbee, R.W., Jeppesen, E., Mazzeo, N., Havens, K., Lacerot, G., Liu, Z., De Meester, L., Paerl, H. y Scheffer, M., (2011). Allied attack: climate change and nutrient pollution. En: *Inland Waters*, 1, pp.101-105. <https://doi.org/10.5268/IW-1.2.359>

Navas, R., Jimena Alonso, Angela Gorgoglione and R. Willem Vervoort (2019) Identifying Climate and Human Impact Trends in Streamflow: A Case Study in Uruguay. *Water* 2019, 11, 1433; doi:10.3390/w11071433

O'Farrell, I. & I. Izaguirre (2014). Phytoplankton of the middle and lower stretches of the Uruguay River. *Advanc. Limnol.* 65, p. 113–126. 0.1127/1612-166X/2014/0065-0037.

Ockenden, M.C., Hollaway, M.J., Beven, K.J., Collins, A.L., Evans, R., Falloon, P.D., Forber, K. J., Hiscock, K.M., Kahana, R., Macleod, C.J.A., Tych, W., Villamizar, M.L., Wearing, C., Withers, P.J.A., Zhou, J.G., Barker, P.A., Burke, S., Freer, J.E., Johnes, P.J., Snell, M. A., Surridge, B.W.J. y Haygarth, P.M. 2017. Major agricultural changes required to mitigate phosphorus losses under climate change. En: *Nature Communications*, 8, pp.161. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-00232-0>

Paerl, H. & Huisman, J., (2008). Blooms like it hot. En: *Science*, 320, pp.57-58. <https://doi.org/10.1126/science.1155398>

PNCC (2016). Política Nacional de Cambio Climático. Instrumento estratégico y programático preparado por el Sistema Nacional de Respuesta al Cambio Climático y Variabilidad, Gabinete Nacional Ambiental, 27 de abril de 2017. República Oriental del Uruguay

Preece, E.P., Hardy, F.J., Moore, B.C. & Bryan, M. (2017). A review of microcystin detections in Estuarine and Marine waters: Environmental implications and human health risk. En: *Harmful Algae*, 61, pp.31-45. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2016.11.006>

Salazar, Maritza (2012). El agua, la tierra, la ciudad en Cotopaxi: un aporte desde el diálogo entre mujeres diversas. *Flor del guanto*, 4, 12-15.

Segura, A. M., Piccini, C., Nogueira, L., Alcántara, I., Calliari, D. and Kruk, C. (2017) Increased sampled volume improves *Microcystis aeruginosa* complex (MAC) colonies detection and prediction using Random Forests. *Ecological Indicators*. 79: 347–354. [dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.04.047](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.04.047)

Silvarrey Barruffa, A., R. Faggian A , V. Sposito A and M. Duarte Guigou B (2020) Using models to inform water policy in a changing climate: comparing the Australian and Uruguayan experiences. *Marine and Freshwater Research*. <https://doi.org/10.1071/MF19266>

Silvarrey Barruffa, A., R. Faggian A , V. Sposito A and M. Duarte Guigou B (2020) Using models to inform water policy in a changing climate: comparing the Australian and Uruguayan experiences. *Marine and Freshwater Research*. <https://doi.org/10.1071/MF19266>

Silvarrey, A., V Sposito & Robert Faggian (2021). *Marine and Freshwater*. Climate change and cyanobacteria harmful algae

blooms: adaptation practices for developing countries. *Marine and Freshwater Research*. <https://doi.org/10.1071/MF21081>

Silveira L., Usera G., Alonso J., Scavone M., Chreties Ch, Perera G., González M. (2014). Nuevas curvas intensidad-duración-frecuencia de precipitación para el departamento de Montevideo, Uruguay. *Agrociencia Uruguay - Volumen 18 1:113-125* - enero/junio 2014

Somma, A. & Sylvia Bonilla & Luis Aubriot (2021). Nuisance phytoplankton transport is enhanced by high flow in the main river for drinking water in Uruguay. *Environmental Science and Pollution Research* <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14683-y>

Testai, E., Scardala, S., Vichi, S., Buratti, F.M. & Funari, E. (2016). Risk to human health associated with the environmental occurrence of cyanobacterial neurotoxic alkaloids anatoxins and saxitoxins. En: *Critical Reviews in Toxicology*, 46, pp.385-419. <https://doi.org/10.3109/10408444.2015.1137865>

UNEP (United Nations Environment Program) (2005). *Mainstreaming gender in environmental assessment and early warning*. Nairobi: UNEP.

UNEP-WCMC y GRID-Arendal 2021. *Desafíos y oportunidades para la economía azul en Uruguay. Resumen de políticas*.

Vidal, F., Sedan, D., D'agostino, D., Cavalieri, M.L., Mullen, E., Parot Varela, M.M., Flores, C., Caixach, J. y Andrinolo, D., 2017. Recreational exposure during algal bloom in carrasco beach, Uruguay: A Liver Failure Case Report. En: *Toxins*, 9, pp.267. <https://doi.org/10.3390/toxins9090267>

Licenciamiento

Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional. (CC BY-NC)