

# Apropiación social de tecnologías libres: una experiencia de monitoreo ambiental participativo y educación ambiental

**Kevin Poveda Ducón** (autor de contacto)

*Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental/Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas/Universidad Nacional de San Martín (Buenos Aires, Argentina)*  
[kpoveda@unsam.edu.ar](mailto:kpoveda@unsam.edu.ar) | <https://orcid.org/0000-0003-1364-4959>

**Estefanía Piegari**

*Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental/Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas/Universidad Nacional de San Martín (Buenos Aires, Argentina)*  
[epiegari@unsam.edu.ar](mailto:epiegari@unsam.edu.ar) | <https://orcid.org/0000-0002-9739-2463>

**Ignacio Boron**

*Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental/Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas/Universidad Nacional de San Martín (Buenos Aires, Argentina)*  
[iboron@unsam.edu.ar](mailto:iboron@unsam.edu.ar) | <https://orcid.org/0000-0003-3751-6724>

**Luciano Iribarren**

*Grupo de Didáctica de las Ciencias/Instituto de Física de Líquidos y Sistemas Biológicos/Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas/Universidad Nacional de La Plata (Buenos Aires, Argentina)*  
[luciano.iribarren@gmail.com](mailto:luciano.iribarren@gmail.com) | <https://orcid.org/0000-0003-4244-1325>

## Extracto

Se sistematiza una experiencia de articulación entre universidad, escuelas y movimientos sociales involucrados en conflictos ambientales por contaminación del agua. Se promovió la educación ambiental y la apropiación social de tecnologías de desarrollo libre mediante el monitoreo participativo de contaminación del agua en humedales urbanos del Área Metropolitana de Buenos Aires (Argentina). Para ello, se utilizó un bioensayo basado en microalgas, acoplado a tecnologías de la información y la comunicación (TIC), desarrolladas por el grupo de Sensores Comunitarios (CoSensores). Se presentan reflexiones en torno al desarrollo de tecnologías libres desde una perspectiva de educación popular vinculada al pensamiento ambiental latinoamericano.

**Palabras clave:** calidad del agua; medioambiente acuático; educación ambiental; contaminación; urbanización; tecnologías de la información y la comunicación (TIC); conocimiento colaborativo.

Recibido: 23-02-2023 | Aceptado: 26-10-2023 | Publicado: 06-05-2024

**Cómo citar:** Poveda Ducón, K., Piegari, E., Boron, I. e Iribarren, L. (2024). Apropiación social de tecnologías libres: una experiencia de monitoreo ambiental participativo y educación ambiental. *Tecnología, Ciencia y Educación*, 28, 163-190. <https://doi.org/10.51302/tce.2024.18667>

# Social appropriation of free technologies: an experience of participatory environmental survey and environmental education

**Kevin Poveda Ducón** (corresponding author)

*Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental/Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas/Universidad Nacional de San Martín (Buenos Aires, Argentina)*  
[kpoveda@unsam.edu.ar](mailto:kpoveda@unsam.edu.ar) | <https://orcid.org/0000-0003-1364-4959>

**Estefanía Piegari**

*Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental/Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas/Universidad Nacional de San Martín (Buenos Aires, Argentina)*  
[epiegari@unsam.edu.ar](mailto:epiegari@unsam.edu.ar) | <https://orcid.org/0000-0002-9739-2463>

**Ignacio Boron**

*Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental/Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas/Universidad Nacional de San Martín (Buenos Aires, Argentina)*  
[iboron@unsam.edu.ar](mailto:iboron@unsam.edu.ar) | <https://orcid.org/0000-0003-3751-6724>

**Luciano Iribarren**

*Grupo de Didáctica de las Ciencias/Instituto de Física de Líquidos y Sistemas Biológicos/Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas/Universidad Nacional de La Plata (Buenos Aires, Argentina)*  
[luciano.iribarren@gmail.com](mailto:luciano.iribarren@gmail.com) | <https://orcid.org/0000-0003-4244-1325>

## Abstract

An experience of articulation between universities, schools and social movements involved in environmental conflicts due to water contamination is systematized. Environmental education and social appropriation of freely developed technologies were promoted for participatory monitoring of water pollution in urban wetlands of the Buenos Aires Metropolitan Area (Argentina). For this purpose, a bioassay based on microalgae was used, coupled with information and communication technologies (ICT) developed by the Community Sensors group (CoSensores). Reflections are presented on the development of free technologies from a perspective of popular education linked to Latin American environmental thought.

**Keywords:** water quality; aquatic environment; environmental education; contamination; urbanization; information and communication technologies (ICT); collaborative learning.

Received: 23-02-2023 | Accepted: 26-10-2023 | Published: 06-05-2024

**Citation:** Poveda Ducón, K., Piegari, E., Boron, I. and Iribarren, L. (2024). Social appropriation of free technologies: an experience of participatory environmental survey and environmental education. *Tecnología, Ciencia y Educación*, 28, 163-190. <https://doi.org/10.51302/tce.2024.18667>



## Sumario

1. Introducción
  2. Marco teórico
    - 2.1. Movimientos sociales y apropiación social de las TIC desde una mirada político-pedagógica
    - 2.2. Organizaciones socioterritoriales participantes: conflictos ambientales por contaminación de cuencas y pérdida de espacios naturales en el Área Metropolitana de Buenos Aires
    - 2.3. Las escuelas y su rol en los conflictos ambientales
    - 2.4. El aporte del grupo CoSensores desde las universidades públicas
  3. Metodología
  4. Sistematización y análisis de la experiencia
  5. Conclusiones
- Referencias bibliográficas

**Nota:** los autores del artículo declaran que todos los procedimientos llevados a cabo para la elaboración de este estudio de investigación se han realizado de conformidad con las leyes y directrices institucionales pertinentes. Asimismo, los autores del artículo han obtenido el consentimiento informado (libre y voluntario) por parte de todas las personas intervinientes en este estudio de investigación.

## 1. Introducción

Desde el año 2013, CoSensores se constituyó como un grupo de extensión interdisciplinario conformado por investigadores y estudiantes (hombres y mujeres) de universidades nacionales pertenecientes a las áreas de biología, química, física, ciencias ambientales e ingeniería ambiental, entre otras, que trabajan junto a comunidades organizadas en el desarrollo de métodos y herramientas que permiten evaluar la presencia de contaminantes de manera sencilla y autónoma en el territorio, acompañando acciones y procesos reivindicativos (Lanzarotti *et al.*, 2016).

El presente trabajo sistematiza una experiencia de colaboración entre universidad, escuela y movimientos sociales realizada con el objetivo de construir conocimiento en relación con la apropiación social de las TIC en el marco de actividades de educación ambiental. A través de encuentros de participación comunitaria realizados en dos escuelas secundarias, se llevó a cabo una experiencia de aplicación de herramientas TIC y de un bioensayo<sup>1</sup> de desarrollo libre para el monitoreo participativo de contaminación en cursos de agua en áreas naturales. Dicha experiencia atendió a la necesidad de monitorear la calidad del agua y del ambiente de forma autónoma, según la legislación existente (Autoridad del Agua [Rel. 40/06], Decreto 831/93 y Ley general del ambiente [25.675]).

Se presentan reflexiones en torno al rol de algunas tecnologías de desarrollo libre<sup>2</sup> para la educación ambiental:

- ¿Qué sentidos críticos podrá adquirir la integración de las TIC con la educación ambiental en la articulación de escuelas públicas de nivel secundario del Área Metropolitana de Buenos Aires (Argentina) con universidades públicas y organizaciones sociales?
- ¿Qué pueden aportar las herramientas elaboradas por el grupo CoSensores en barrios afectados por la contaminación ambiental?
- ¿Qué roles pueden tener las organizaciones socioambientales locales en este tipo de actividades?

<sup>1</sup> Los «bioensayos» consisten en la exposición en laboratorio de sistemas biológicos de distinto nivel de organización a muestras ambientales para, de esa forma, inferir el grado de toxicidad de dicha muestra a través de mediciones de variables de respuesta de los sistemas expuestos (Voudouris, 2012).

<sup>2</sup> Por «tecnologías de desarrollo libre», entendemos el desarrollo y la puesta a punto de herramientas para que las mismas comunidades puedan evaluar la calidad de agua en el territorio. Se trata de herramientas «libres» cuya concepción puede ser enmarcada bajo la filosofía de la cultura libre (Lessig, 2005), movimiento que promueve la creación de obras que puedan ser modificadas y reproducidas libremente. A su vez, puede ser entendida como una herramienta «convivencial» en tanto que pretende promover los lazos sociales y la colaboración entre las personas (Illich, 1978).

Elaboramos estas preguntas como ejes de análisis, asociando cada una de ellas a objetivos de generación de conocimiento:

- Conocer los sentidos críticos que puede adquirir el cruce entre las TIC y la educación ambiental.
- Caracterizar el aporte de las herramientas elaboradas por el grupo CoSensores.
- Indagar acerca del rol que tienen las organizaciones socioambientales en este tipo de experiencias.

Estos objetivos guiaron la redacción del presente artículo a partir de la sistematización de una experiencia educativa realizada por el grupo CoSensores junto a escuelas secundarias de gestión estatal y organizaciones socioambientales. La misma se realizó en el marco del programa de voluntariado universitario Biosensores Comunitarios<sup>3</sup>, impulsado desde la Secretaría de Extensión de la Universidad Nacional de San Martín.

Dentro de la variedad de enfoques existentes en el campo de la educación ambiental, en el cruce con la didáctica de las ciencias naturales, consideramos, como Dumrauf y Mengascini (2008), que los enfoques para la educación científica en Latinoamérica necesitan privilegiar el análisis crítico e integral de las crisis y conflictos ambientales regionales, a fin de comprender realidades próximas, propias y de manera compleja, vistas como parte de la situación de emergencia planetaria. En el marco de este tipo de abordajes para la educación ambiental, las pedagogías del conflicto ambiental (Canciani *et al.*, 2017; Iribarren, Guerrero *et al.*, 2021) proponen la articulación entre escuelas y organizaciones vinculadas a conflictos ambientales, tal como se realizó en la experiencia que aquí sistematizamos.

## 2. Marco teórico

### 2.1. Movimientos sociales y apropiación social de las TIC desde una mirada político-pedagógica

En las últimas décadas, los movimientos sociales han incorporado las TIC en forma activa para potenciar su acción y lucha (Castells, 1999; Valderrama, 2008). En Latinoamérica, las asambleas ciudadanas practican nuevas apropiaciones tecnológicas. Estos procesos de apropiación también se han visto acelerados últimamente por la pandemia provocada por la COVID-19, con la que la participación en redes sociales aumentó su importancia como espacio público en disputa. Numerosas investigaciones han indagado en el modo en que las TIC favorecen el trabajo colaborativo (Cabero-Almenara y Marín-Díaz, 2013, 2014), no solo

---

<sup>3</sup> Voluntariado impulsado desde la Secretaría de Extensión de la Universidad Nacional de San Martín, en el marco del cual se desarrolla la presente experiencia.

en los movimientos sociales, sino también en el ámbito escolar, y es apreciado positivamente por educadores en formación (Ramos Marcillas y Rodríguez Rubial, 2017). Asimismo, las investigaciones en torno a la producción de conocimiento colaborativo mediado por las TIC en escuelas dan cuenta del enorme potencial pedagógico que poseen (Hsu y Ching, 2013).

Este marco invita a replantearse el empleo de las tecnologías en el ámbito escolar, teniendo en cuenta las formas en las que las utilizan los movimientos sociales. También permite reflexionar sobre las creaciones tecnológicas de las universidades públicas, inspiradas en las necesidades de los territorios. De esta forma, el uso pedagógico de las TIC en la escuela puede potenciarse y alcanzar dimensiones político-pedagógicas poco exploradas. Esta articulación se presenta fértil, con movimientos socioterritoriales involucrados en problemáticas y conflictos ambientales, donde la cultura digital y la educación en el uso de las tecnologías amplían su sentido pedagógico y social (Iribarren, Guerrero *et al.*, 2021)<sup>4</sup>.

Torres (2019) analizó la historia reciente de políticas de inclusión digital comparando dos programas: Conectar Igualdad<sup>5</sup> –que tuvo la meta de construir capacidades sociales desde una mirada estatal que intentó promover la soberanía tecnológica– y Aprender Conectados<sup>6</sup> –que, en cambio, fue concebido desde una mirada neoliberal, buscando generar competitividad futura en el sector privado–. En ambos casos no se promovieron vínculos con organizaciones sociales y movimientos territoriales, los cuales pueden aportar a la apropiación social de la tecnología con horizontes «convivenciales»<sup>7</sup> (Illich, 1978). La idea misma de apropiación social en el contexto latinoamericano, para Neuman (2008), conlleva un sentido crítico de resistencia que implica hacer usos «otros»<sup>8</sup> respecto del contexto de producción original de las tecnologías. Estos usos se orientan a subvertir la historia de dominación y colonización que impregnan las relaciones norte-sur. A partir de esta actitud crítica, pueden ponerse en juego mediaciones diversas con la tecnología dadas por las diferentes identidades culturales que permiten explorar prácticas desde y para la autonomía. Al articular este tipo de objetivos, desde la educación popular latinoamericana, Paulo Freire (2012) recuerda lo siguiente:

---

<sup>4</sup> Se ha ensayado en otras experiencias que pueden consultarse, vinculadas a la elaboración de pedagogías del conflicto ambiental (Iribarren, Seoane *et al.*, 2021).

<sup>5</sup> Iniciativa lanzada desde el Ministerio de Educación de Argentina en el año 2010 que buscaba proveer de tecnología al sistema educativo, con programas de conectividad, equipamiento, capacitación docente en TIC y una plataforma educativa virtual de navegación gratuita.

<sup>6</sup> Iniciativa lanzada desde el Ministerio de Educación de Argentina en el año 2018, la cual proponía garantizar la alfabetización digital para el aprendizaje de saberes y competencias necesarias para la inserción en la «sociedad del futuro».

<sup>7</sup> Illich, uno de los referentes del pensamiento crítico latinoamericano de los años setenta del siglo XX, denominó «sociedad convivencial» a aquella en que la herramienta moderna está al servicio de la persona integrada en la colectividad y no al servicio de un cuerpo de especialistas. «Convivencial» es la sociedad en la que el hombre controla la herramienta.

<sup>8</sup> «Otros», en el sentido de usos realizados desde alguna «otredad», alguna identidad cultural.

La comprensión crítica de la tecnología, y de cuál es la educación que necesitamos para ella, debe estar fundada y, a la vez, ser una mediación cada vez más sofisticada en el mundo de hoy. Ella debe ser sometida necesariamente a la criba política y ética. Cuanto mayor viene siendo la importancia de la tecnología, tanto más se afirma la necesidad de una rigurosa vigilancia ética sobre ella, de una ética al servicio de la gente, de su vocación ontológica de ser más, y no una ética estrecha y malvada a favor del lucro y del mercado. Por eso mismo, la formación técnico-científica que con urgencia necesitamos es mucho más que el puro entrenamiento o adiestramiento para el uso de procedimientos tecnológicos (p. 128).

En esa línea, Mejía (2013) sostiene, respecto del involucramiento de los educadores populares en el uso de las TIC, lo siguiente:

La apropiación se convierte en un elemento central a estos procesos, entendida esta como la capacidad de los actores sociales populares de incluir los desarrollos de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación (NTIC), y sus soportes del conocimiento, en un ejercicio de negociación cultural con sus saberes y dinámicas territorializadas para incluirlas en sus procesos organizativos, de toma de decisiones, de dinámicas de participación. Es decir, convertir estos asuntos emergentes en estratégicos y políticos sacándolos de la lectura tecnicista e instrumental (p. 207).

En este sentido, Gendler *et al.* (2018) complejizan la noción de «apropiación de tecnologías» y la diferencian en una tipología que incluye apropiación adoptada o reproductiva, apropiación adaptada o creativa, apropiación cooptativa –directa, por compra e imitativa– y creación tecnológica –con fines económicos, sociales (de autofinanciamiento), activistas (de acción colectiva e intervención social) y estatales (de soberanía nacional digital)–. Estas categorías son dinámicas, pueden transformarse, superponerse e hibridarse, y permiten dar cuenta de cómo los individuos, los colectivos, las corporaciones y los Gobiernos, entre otros actores sociales, practican la apropiación tecnológica o crean tecnologías.

## 2.2. Organizaciones socioterritoriales participantes: conflictos ambientales por contaminación de cuencas y pérdida de espacios naturales en el Área Metropolitana de Buenos Aires

Los movimientos socioambientales en Latinoamérica vienen enfrentándose en las últimas décadas a la amenaza del extractivismo<sup>9</sup> sobre sus bienes comunes naturales (Machado

---

<sup>9</sup> Dicha categoría recorre hoy tanto la bibliografía crítica como el lenguaje de los movimientos socioterritoriales. En el campo de la reflexión social crítica, la noción facilita agrupar un conjunto diverso de actividades económicas que se caracterizan por una lógica de despojo y devastación ambiental de grandes territorios.

Aráoz, 2017). Esto también se expresa en el negocio inmobiliario. La mercantilización de las áreas naturales que acompaña al actual modelo de desarrollo urbano en el Área Metropolitana de Buenos Aires ha generado numerosos conflictos ambientales. Los proyectos inmobiliarios avanzan sobre ambientes naturales, impulsados por alianzas entre Gobiernos locales y capitales privados (D'Atri, 2017). Esto deriva en contaminación y en una alteración en la dinámica y en las propiedades de los cursos de agua, así como en la falta de acceso a ambientes naturales (Merlinsky, 2018).

Un gran número de organizaciones vecinales que denuncian vulneraciones a la legislación ambiental vigente en cuanto a la calidad del agua (Autoridad del Agua [Rel. 40/06] y Decreto 831/93) y el derecho humano a un ambiente sano, consagrado en la Constitución Nacional de la República Argentina (Ley general del ambiente [25.675]), se han autoconvocado en defensa de espacios verdes y públicos (Pintos y Narodowski, 2012).

La experiencia que aquí presentamos se articuló con las asambleas vecinales Unidos por el Río<sup>10</sup> e Isla Verde<sup>11</sup> del Área Metropolitana de Buenos Aires. La primera defiende, desde 2010, la costa del Río de la Plata en el partido de Vicente López. La segunda proviene del oeste del Área Metropolitana de Buenos Aires e impulsa una reserva ecológica en el partido de Morón. Esta reserva se encuentra amenazada desde 2015 por la puesta en funcionamiento de un aeropuerto para líneas *low cost* dentro de una base militar lindera. Ambas organizaciones mantienen un vínculo estrecho con las escuelas de la zona, realizando actividades, como charlas y salidas de campo. Junto a muchas otras, estas organizaciones consideran que la articulación con las escuelas es una estrategia fundamental para la defensa y el cuidado del territorio (Iribarren, Guerrero *et al.*, 2021).

### 2.3. Las escuelas y su rol en los conflictos ambientales

Las escuelas, si bien pueden colaborar en la legitimación de modelos de desarrollo insustentables, también son instituciones clave para la resistencia y la propuesta de otros mundos posibles, como ejemplifica el caso de Ana Zabaloy<sup>12</sup> y de muchos otros docentes que visibilizan los daños a la salud de sus estudiantes, producto de la fumigación directa con agrotóxicos (Ricca *et al.*, 2019).

En la experiencia aquí analizada, se trabajó con dos escuelas secundarias públicas de gestión estatal del partido de Vicente López, ubicadas en la zona norte del Área Metropolitana de Buenos Aires. La escuela secundaria técnica General Martín Miguel de Güemes

<sup>10</sup> <http://unidosporelrio-vl.blogspot.com/>

<sup>11</sup> <https://www.instagram.com/islaverde.org/?hl=es>

<sup>12</sup> <https://www.pagina12.com.ar/199578-murio-la-directora-de-una-de-las-escuelas-fumigadas-con-agro>



(EEST4) y la escuela secundaria Paula Albarracín (ES21), en Villa Adelina, donde se imparte un bachillerato en Artes. Ambas trabajan con comunidades de bajos recursos económicos, afectadas por la vulneración de diversos derechos.

Por ello, la escuela representa no solo un lugar al que asisten los estudiantes para educarse, sino también para encontrar allí un espacio de contención social. Sin embargo, ambas escuelas funcionan en condiciones de precariedad edilicia y carencias que les dificultan sostener la matrícula y evitar la pérdida de estudiantes hacia otras escuelas. Aun en este escenario, las instituciones cuentan con un plantel docente de larga experiencia, formación y compromiso que elige trabajar en ellas y crea sentido de pertenencia. En palabras de Alba, una de las docentes de la EEST4, «nada nos detiene porque tenemos convicción y porque nuestros chicos, que son nuestro capital, lo merecen. Pero, por encima de todas las cosas, nos necesitan. Necesitamos mostrarles otro horizonte. Ellos también son el futuro. De nosotros, de las autoridades y de la sociedad depende en gran parte su futuro». De las palabras de esta profesora se deduce una visión en la práctica docente que se vincula con los principios de la educación popular. Se evidencia el objetivo de transformación de la realidad a través de la educación, recordando que «todo acto educativo es un acto político» (Freire, 2006, p. 107). También la responsabilidad frente al futuro de sus estudiantes, ya que «no hay educación para la liberación, cuyos sujetos actúen coherentemente, que no esté imbuida de un fuerte sentido de responsabilidad» (Freire, 1996, p. 100).

## 2.4. El aporte del grupo CoSensores desde las universidades públicas

Para Unidos por el Río e Isla Verde, es vital medir el impacto del extractivismo urbano<sup>13</sup> sobre los cursos de agua. Sin embargo, las técnicas tradicionales de medición en campo y en laboratorio resultan inaccesibles. El grupo CoSensores, junto a diferentes organizaciones del territorio, viene desarrollando herramientas tecnológicas libres, de bajo costo, para la evaluación comunitaria de la calidad de las aguas superficiales. Esto permite a las organizaciones acceder a herramientas adecuadas para realizar monitoreos ambientales preliminares de manera autónoma, periódica y participativa. Asimismo, el grupo considera fundamental ofrecer formación sobre la forma de funcionamiento de estas herramientas

---

<sup>13</sup> En las ciudades, no son los terratenientes «sojeros», ni las megaminerías, ni las petroleras, sino la especulación inmobiliaria la que expulsa y aglutina población, concentra riquezas, produce desplazamientos de personas, se apropia de lo público, provoca daños ambientales y desafía a la naturaleza, todo esto en un marco de degradación social e institucional. Se nutre de la misma lógica extractivista que los monocultivos y la megaminería, dando resultados similares: destrucción de la multiplicidad, acumulación y reconfiguración negativa de los territorios urbanos (Viale, 2017).

tecnológicas, proponiendo miradas críticas y criterios en torno a su aplicación y a la información obtenida. De esta forma se parte del diálogo con la comunidad, no solo para la interpretación de los resultados obtenidos, sino también para la modificación y la reapropiación de las herramientas tecnológicas.

### **3. Metodología**

La metodología empleada es la sistematización de experiencias educativas (Barragán Cordero y Torres Carrillo, 2017). En coherencia con los planteamientos de la educación popular latinoamericana, este enfoque metodológico forma parte de la tradición epistemológica de investigación-acción participativa (IAP), desde la que nos propusimos asumir nuestra responsabilidad social como comunidad científica e investigar la realidad para transformarla (Fals Borda, 1979).

En este sentido, nos pusimos en contacto con asambleas socioambientales y escuelas para participar de una experiencia de educación ambiental basada en la investigación de la calidad del agua del ambiente local, que otorgó importancia fundamental a los saberes de la comunidad en todo el proceso.

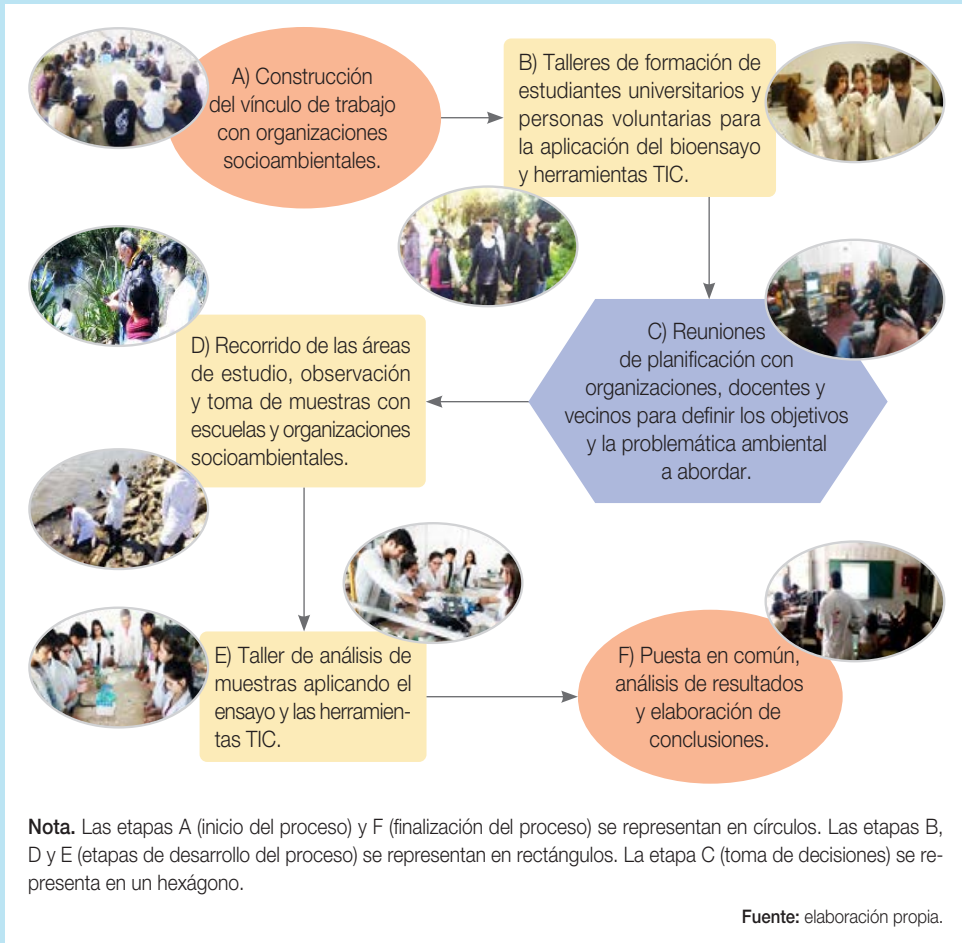
Siguiendo la orientación metodológica de la IAP para la sistematización de experiencias educativas, se conformó un grupo de sistematización y análisis que se enfocó en la reconstrucción del significado de la experiencia para los docentes de la escuela media y los investigadores de las universidades involucrados.

En cuanto a las técnicas para la obtención de información, se recurrió a la observación participante, a la realización de entrevistas y a la reconstrucción narrativa de la experiencia. En una primera etapa, se trabajó partiendo de registros fotográficos y de informes internos, entre otras fuentes de información. En una segunda etapa del proceso, se retomó el contacto con los docentes de las escuelas participantes y con los integrantes de las organizaciones socioambientales, y se realizaron entrevistas y retroalimentación en torno a la experiencia. Una vez llevado a cabo un segundo análisis colectivo, se elaboraron los ejes de sistematización.

### **4. Sistematización y análisis de la experiencia**

La experiencia se llevó a cabo durante los meses de julio y diciembre de 2018. Participaron el grupo CoSensores, las escuelas EEST4 y ES21 y las organizaciones socioambientales Unidos por el Río e Isla Verde. Como se puede observar en la figura 1, el proceso se desarrolló a través de seis etapas.

Figura I. Diagrama de flujo de la experiencia e imágenes representativas



### Etapa A. Construcción del vínculo de trabajo con organizaciones socioambientales

El grupo CoSensores participaba en distintos espacios asamblearios, como la Red de Áreas Protegidas Urbanas (RAPU), el Encuentro Socio Ambiental de Buenos Aires (ESABA) y el Encuentro de Pueblos Fumigados de la Provincia de Buenos Aires. Estos espacios permitieron generar el vínculo con las organizaciones Unidas por el Río e Isla Verde y entablar la colaboración en el voluntariado universitario Biosensores Comunitarios ya mencionado. A su vez, el contacto con ambas escuelas se hizo a través de los docentes Alba (ES21) y Juan (EEST4), quienes ya estaban vinculados con las organizaciones involucradas en este voluntariado.



## Etapa B. Talleres de formación en la aplicación de bioensayos comunitarios y herramientas TIC

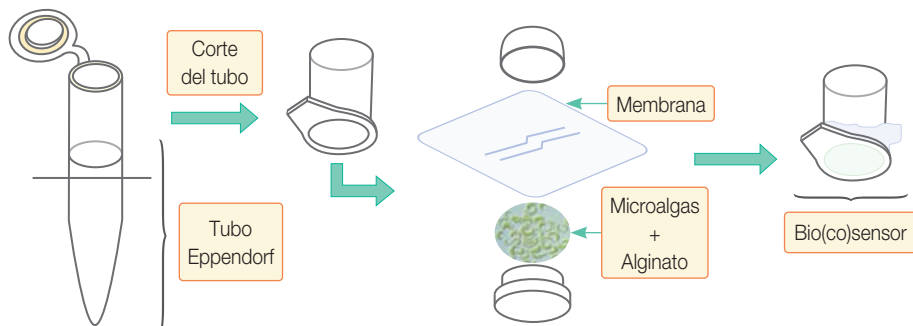
Previo al inicio de las actividades en las escuelas, se llevaron a cabo dos instancias de formación en el armado y aplicación de las tecnologías: en primer lugar, a un grupo de estudiantes universitarios integrantes del grupo CoSensores y, en segundo lugar, al grupo de docentes de las escuelas secundarias y a los miembros de las organizaciones sociales.

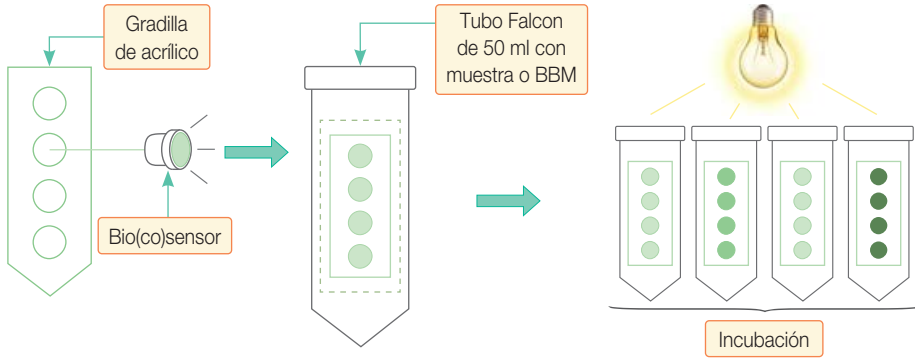
El equipo de voluntarios se formó a partir de una convocatoria abierta realizada por la Secretaría de Extensión Universitaria de la Universidad Nacional de San Martín para participar en talleres de formación de dos instancias: una, enfocada en la construcción, y otra, en la aplicación de herramientas para el monitoreo participativo de la calidad del agua. Como parte de la invitación, se compartieron los antecedentes de trabajo territorial del grupo CoSensores, describiendo la metodología de trabajo para relevar contaminantes y haciendo hincapié en la participación comunitaria mediante la vinculación con las organizaciones sociales de cada territorio. El taller inicial contó con un total de 30 estudiantes de diferentes carreras (ciencias ambientales, ingeniería ambiental y otras afines). Se abordaron dos herramientas tecnológicas libres: el bioensayo de toxicidad en agua basado en microalgas y el colorímetro de bajo costo. En el cuadro I se resumen las principales características de ambas herramientas, acompañadas de imágenes y esquemas ilustrativos.

### Cuadro I. Herramientas tecnológicas libres utilizadas en el proyecto

#### Bioensayo de toxicidad en agua basado en microalgas de bajo costo y fácil aplicación

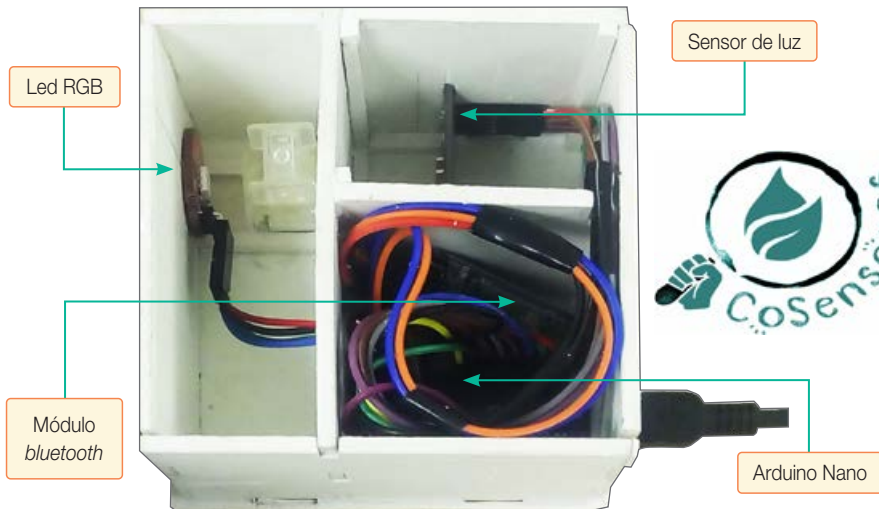
El mismo consiste en un dispositivo que, en el marco de un taller, puede ser construido por los propios miembros de la comunidad siguiendo el procedimiento que se esquematiza aquí en la figura. En el mismo se evalúa el crecimiento de una microalga (*Pseudokirchneriella subcapitata*), expuesta a una muestra de agua que se desea analizar. Finalizado el ensayo, se calcula el porcentaje de inhibición del crecimiento del alga. Se toma como referencia y control negativo la coloración verde inicial y final del dispositivo expuesto a un medio de cultivo específico para microalgas (medio basal de Bold's [BBM]). Los cambios en la coloración se registran siguiendo dos métodos: la observación, a simple vista, como primera aproximación y, posteriormente, el procesamiento de las imágenes fotográficas digitales mediante el programa IMAGEJ para obtener el resultado definitivo (Prudkin Silva, 2021).





Colorímetro de bajo coste

Se trata de un dispositivo basado en el microcontrolador Arduino, con sensores y otras piezas electrónicas, como se ve en la figura, en combinación con reactivos colorimétricos comerciales para análisis de nitrato y fosfato en acuarios. Previamente, se calibra el colorímetro para calcular la concentración de cada uno de los analitos (<https://gitlab.com/cosensores/color-metro>). Los reactivos y el equipo utilizados presentan la ventaja de poder adquirirse a bajo costo en comparación con aquellos utilizados habitualmente en los laboratorios.



Fuente: elaboración propia.



Durante el primer encuentro se trabajó en las diferentes etapas para la construcción del bioensayo en un espacio de laboratorio. A su vez, como parte de la jornada, se incluyó una salida de campo al Bosque Urbano, un espacio autogestionado que aborda la educación ambiental y la promoción de prácticas permaculturales (Yanucci, 2018).

En el segundo encuentro se analizaron los resultados obtenidos para los bioensayos aplicados con diversos contaminantes. Para ello, se trabajó en una sala de computación, procesando las imágenes con las herramientas TIC que luego se utilizarían en la experiencia con las escuelas. Como resultado de esta etapa, se constituyó un grupo de trabajo de seis personas formadas en el uso de las herramientas necesarias para continuar el trabajo en las siguientes etapas, junto a las escuelas y organizaciones territoriales.

### Etapa C. Reuniones de planificación para definir los objetivos y la problemática ambiental que había que abordar

Una vez establecido el vínculo con las escuelas, se realizaron reuniones de planificación con los docentes y visitas de integrantes del grupo CoSensores para conocer el contexto y conversar con los estudiantes. En ellas se presentó al grupo CoSensores, se indagó sobre las expectativas de la comunidad escolar y se acordó el tipo de trabajo que se deseaba realizar. Se trabajó con un total de 20 estudiantes pertenecientes al quinto curso de orientación en Química de la EEST4, dentro del espacio curricular Laboratorio de Química Orgánica, Biológica y Microbiológica, y al quinto curso de orientación en Arte de la ES21, en Introducción a la Química.

En el caso de la EEST4, el docente a cargo del curso, Juan, se centró en la «enseñanza basada en proyectos». Según sus palabras, «[...] decidimos trasladarnos y hacer un trabajo de campo porque, además de la sensibilización por medio de videos, el tema del trabajo de campo aportaba otra apropiación de los conocimientos. El hecho de compartir con otras escuelas la experiencia fue un valor también añadido de este trabajo. Pudimos hacer un trabajo de campo relacionado con el río, porque, si bien nosotros no estábamos en una zona, digamos, en la que se cosechaba y se sembraba, la idea era ver el impacto que se producía más allá del territorio y cómo, a través del agua, se volcaban todos estos elementos químicos».

Nada más iniciar la experiencia, los docentes ya estaban abordando conflictos sociocientíficos, tomando como caso de estudio el impacto de los agroquímicos, tal como proponía Massarini (2011) desde el enfoque ciencia, tecnología y sociedad (CTS). Consideraron tanto el estudio de la estructura y de las propiedades químicas de los agrotóxicos como los discursos de empresas y organizaciones ambientales respecto de su utilización. En ese marco, el docente articuló la experiencia con el grupo CoSensores dentro de su planificación curricular. El abordaje de enseñanza basada en proyectos es un enfoque privilegiado para la educación ambiental, ya que permite a los docentes «modificar sus prácticas diarias, salir de lo cotidiano y animarse a algo más enriquecedor, con riesgos, pero con buenos resultados, donde los alumnos son partícipes del proceso de aprendizaje y el docente [es] un orientador y colaborador en ese proceso» (Dumrauf *et al.*, 2013, p. 50). Este tipo de actividades configuran una «entrada al territorio en conflicto» (Iribarren, Guerrero *et al.*, 2021).



### Etapa D. Recorrido de las áreas de estudio, observación y toma de muestras con las escuelas y los representantes de las organizaciones

Una vez acordada la planificación general con las escuelas, la experiencia se inició con salidas de campo desde una perspectiva investigativa (Orion, 1993) para el muestreo y la observación de los territorios, guiadas por integrantes de las organizaciones locales en puntos de la cuenca del río Reconquista y en la costa del Río de la Plata. En la figura II se observa la ubicación geográfica de los sitios de muestreo.

Figura II. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo



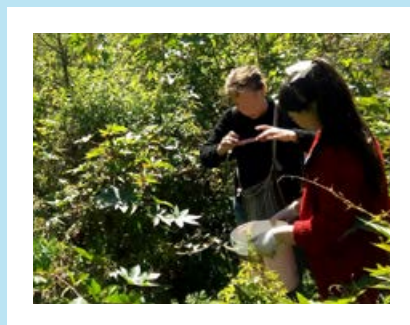


### Subetapa D1. Experiencia junto a Isla Verde

En el río Reconquista se tomaron muestras en arroyos y ríos aledaños al área protegida por la organización Isla Verde (véase punto 1 de la figura II), sumando otros dos puntos de referencia relevantes para el equipo universitario que no fueron incluidos en las salidas educativas debido a una mayor lejanía del lugar:

- Dique Roggero (al final de la cuenca alta).
- Altura de la ruta 8 (al comienzo de la cuenca baja).

El recorrido fue guiado por miembros de la organización vecinal e incluyó una historización del territorio en conflicto, la descripción de la biodiversidad local y su relación con los ríos y humedales de la zona. Los arroyos Céspedes y Corvalán delimitan el área al norte y al sur, y el arroyo Morón es su límite oeste. Al inicio del muestreo se consultó a los integrantes de la organización sobre sus conocimientos en relación con la salud del arroyo. Mencionaron que no poseían información oficial sobre el origen de las aguas a pesar de haberla solicitado numerosas veces a los organismos pertinentes.



Aunque no poseían dicha información, los vecinos interpretaron el ambiente a partir de los cambios observables en cada uno de los cuerpos de agua. Según describieron, el arroyo Morón, el de mayor caudal de los tres, era el que se encontraba en peores condiciones, basándose en la percepción directa de olor putrefacto permanente y en la cantidad de residuos sólidos observables sobre los márgenes. A su vez, de los dos arroyos afluentes al mismo, el Céspedes era el de menor caudal y peor condición. Proveniente del centro de la localidad de Palomar, describieron que dicho arroyo solía presentar mal olor y sedimentos en el fondo de coloración verde-turquesa. Finalmente, el arroyo Corvalán fue evaluado por los vecinos como el más saludable, de aguas cristalinas, sin mal olor y mayor presencia de biodiversidad: incluyendo aves asociadas a humedales, como garcitas blancas (*Egretta thula*) y cuervillos de cara pelada (*Phimosus infuscatus*), entre otras, y peces, como madrecitas (*Cnesterodon decenmaculatus*), limpiafondos (*Corydoras sp.*) y tarariras (*Hoplias malabaricus*). El principal problema visibilizado en este último arroyo fue la acumulación de residuos sólidos urbanos.

Estas observaciones de campo motivaron la reflexión acerca de la importancia social y las funciones ecológicas que cumplían los humedales como Isla Verde, reteniendo contaminantes y amortiguando el desbordamiento de los arroyos de la zona (Fernández, 2007).

### Subetapa D2. Experiencia junto a Unidos por el Río

En la costa del Río de la Plata se decidió tomar muestras de un arroyo y un conducto pluvial. El recorrido fue guiado por miembros de la asamblea Unidos por el Río. Se tomaron cuatro muestras a lo largo de 1.000 m de recorrido a cielo abierto del arroyo Raggio y dos muestras al inicio y al final de los







200 m del conducto pluvial que desagua a la altura de la calle Laprida (véase punto 2 de la figura II). Los puntos de muestreo fueron propuestos por los vecinos basándose en su conocimiento ambiental del territorio y en su preocupación por los frecuentes cambios en la coloración del pluvial Laprida. La aparición de un rojo intenso en este curso de agua fue atribuida a descargas ilegales de la industria textil, según información de fuentes oficiales que, sin embargo, no aportaron la ubicación de la empresa responsable (Unidos por el Río, 2018). La coloración roja fue observada durante la salida de campo. Por otro lado, el estudio del arroyo Raggio debió su interés a ser el único curso de agua de origen natural de la zona. Presenta aguas cristalinas y abundante biodiversidad rioplatense. Para la comunidad se trata de un arroyo icónico que, desde 2016, es defendido de intentos de destrucción a manos de emprendimientos inmobiliarios (Agencia para la Libertad, 2016). Una orden judicial detuvo las intervenciones y ordenó su restauración ambiental. A pesar de estos logros, se constató que el acceso a una gran porción del arroyo se encontraba restringido de forma ilegal. Esto dificultó el acceso para la toma de muestras. Por otro lado, en el tramo medio del arroyo se percibió un intenso olor nauseabundo proveniente de un afluente sobre la margen sur del arroyo. Toda esta información fue registrada por los estudiantes en notas y fotografías, que luego sistematizaron con su docente en el aula.

Las salidas proporcionaron a los estudiantes una experiencia educativa fuera del edificio escolar y, para las organizaciones locales, se convirtieron en una oportunidad de compartir su experiencia como institución, su participación en conflictos ambientales y la construcción de saberes ambientales vinculados al agua en el territorio. Estos circularon en un diálogo horizontal con los conocimientos académicos. Según Leff (2011), la construcción de saber ambiental se produce a través del diálogo de saberes, en el que las disciplinas académicas dialogan con saberes campesinos, indígenas y populares. A su vez, el abordaje puede enmarcarse en la pedagogía del conflicto ambiental (Canciani *et al.*, 2017; Iribarren, Guerrero *et al.*, 2021), tomando como base las prácticas comprometidas entre universidad, escuela y organizaciones del territorio. El resultado del encuentro entre docentes comprometidos, la lucha de las asambleas ambientales, como actores relevantes del territorio, y la elección epistemológica del grupo CoSensores de orientarse por la IAP (Fals Borda, 1979) se esperaba que contribuyera a la construcción de saber ambiental.

Respecto de los estudiantes, la docente Alba compartió que, «con lo que más se entusiasmaron, sin duda, fueron las salidas. En ese momento se había producido una marea roja que salía de un efluente y creo que, al ver los efluentes, al ver el río, [...], uno se va imaginando qué pasa cuando abre la canilla [...] y después es en un sumidero donde termina todo, luego de lavarse los dientes [...] es ahí cuando uno toma conciencia de que todo eso va a algún lado y no desaparece por sí solo, es decir, que tiene un impacto en el ambiente [...]. Les gustó llegar a la orilla y cruzar el alambrado, ya que pensaban que no se podía. Y, justamente, lo que no se podía es lo contrario, prohibir y poner el alambrado y poner la pared, bueno, todo eso los entusiasmó mucho».

Estas escenas evocadas por la docente recuerdan al enfoque de «aprender ciencias en y para la comunidad» de Roth (2002), quien afirma que, «a través de esta participación en actividades cotidianas, los jóvenes (sujeto) contribuyen y cambian su comunidad mientras son estudiantes. Ellos reproducen su comunidad y también la producen de nuevas maneras. Participan en formas periféricas legítimas, en dar forma a las condiciones de vida de su comunidad. Las acciones de los estudiantes son auténticas no porque "se parecen" a la práctica cotidiana, sino porque "forman parte de la práctica cotidiana"» (p. 198).





### Etapa E. Taller de análisis de las muestras

El encuentro se realizó en la EEST4 con estudiantes de ambas escuelas. Se comenzó mapeando colectivamente los puntos de muestreo, recuperando la caracterización de las problemáticas y de los conflictos ambientales aportada por las organizaciones durante la salida de campo y volcando las observaciones realizadas en aquella jornada. Posteriormente, se introdujeron algunos fundamentos en torno a las herramientas libres que se iban a utilizar (véase cuadro II): el bioensayo de toxicidad en agua basado en microalgas y el colorímetro de bajo costo. Además, por iniciativa de la EEST4 y sus estudiantes, se realizaron medidas de pH y conductividad con equipamiento disponible en la escuela (véase cuadro II).

Posteriormente, se configuraron grupos en estaciones de trabajo por tareas, coordinados por estudiantes universitarios formados en la primera etapa de la experiencia (véase figura I).

Así se garantizó que todos pudieran participar en la construcción de los dispositivos para realizar el bioensayo y en la aplicación de todas las herramientas ya mencionadas. Durante la jornada, se volcaron las mediciones fisicoquímicas obtenidas en un cuadro que se pintó en la pizarra. Como cierre, los dispositivos se colocaron en una incubadora de construcción casera dando inicio al bioensayo. La incubadora permaneció en la escuela, supervisada por los alumnos durante cuatro días, con luz constante.

### Etapa F. Puesta en común, análisis de los resultados y elaboración de conclusiones

A la siguiente semana se realizó un segundo encuentro en cada una de las escuelas para analizar los resultados del bioensayo. En primera instancia, se formaron grupos y se comparó a simple vista el crecimiento del alga en los dispositivos para cada muestra. Usando como referencia una curva de calibración del crecimiento de las microalgas, se estableció una escala de crecimiento según coloración a ojo desnudo, asignándole un valor dentro de esa escala a todos los dispositivos de cada una de las muestras.

Para realizar el análisis cuantitativo se tomaron fotos con un teléfono móvil que luego se analizaron con los ordenadores provistos en las escuelas por el programa Conectar Igualdad, a los que previamente se les instaló el programa Image J para procesarlas con el *plugin* ReadPlate (<https://imagej.nih.gov/ij/plugins/readplate/index.html>). Los alumnos realizaron esta tarea con facilidad, a pesar de tratarse de un programa de uso profesional y no de uno desarrollado con fines didácticos. De este modo, pudieron extraer los valores indicativos del crecimiento del alga analizando los canales digitales de color RGB (*red*, *green*, *blue* [rojo, verde, azul]).

Las dificultades surgieron a la hora de interpretar la información obtenida y decidir cuál de los tres canales daba información relevante sobre el crecimiento del alga. La propuesta original consistió en utilizar un programa de planillas de cálculo para realizar promedios de los valores obtenidos y gráficos que facilitarían la comparación de los mismos para las diferentes muestras. Sin embargo, el intento de utilización de ordenadores para este análisis fue improductivo debido a fallas en los dispositivos y se optó por utilizar la pizarra.





Figura III. Mapas con puntos de muestreo donde se representan los porcentajes del crecimiento de microalgas en el bioensayo según referencias de color



**Nota.** Mapa superior (cuenca media del río Reconquista y confluencia con arroyo Morón). Mapa inferior (arroyo Raggio y pluvial de la calle Laprida).

Fuente: elaboración propia. Mapas: ©OpenStreetMap.





Desde allí, se aproximaron los valores medios de cada muestra para corroborar de modo cuantitativo las observaciones hechas previamente con la escala colorimétrica a ojo desnudo. Según la docente Alba, «el desarrollo de los datos, los resultados, es un tema muy importante en la ciencia. Primero, conseguir los datos y, después, lo que se llama el "tratamiento de los datos". Y, para eso, usamos un programa. Por suerte, en la escuela había *netbooks*. Todavía las tenemos. En 2017 trajeron *netbooks* nuevas. [...] Hicimos el análisis de la foto y los participantes llegaron a entender el programa y el tema del RGB, que es algo absolutamente abstracto. Pero no solo lo comprendieron, sino que, además, llegaron a hacer tangible toda la práctica. [...] Creo que esto les hizo sentir muy bien y que comprendieron el programa también muy bien. No todos, pero es lo que sucede siempre. Algunos no prestaron atención, supongo que porque no lo entendieron bien. Pero los que sí lo entendieron, manejaron el programa muy bien. Los recursos novedosos son atractivos para los estudiantes y, además, los comprenden perfectamente». Estas reflexiones de la docente dan cuenta, por un lado, de la rápida apropiación de las TIC por gran parte del grupo a partir de una experiencia con un sentido muy real y tangible. Por otro lado, también recuerdan las palabras de Roth (2002):

Pronto me di cuenta de que pedir a todos los estudiantes que midieran series de variables y representaran correlaciones en gráficos cartesianos o histogramas excluía a grupos particulares de estudiantes. [...] a pesar de que estos grupos participaban en la recolección de datos, los posteriores análisis de estos y las actividades enfocadas en las representaciones matemáticas no los convocaban (p. 206).

A partir de esta experiencia, Roth cuenta que comenzó a apoyar a los estudiantes en la elección de sus propias formas de representación de los datos, lo cual hizo proliferar descripciones en audio, vídeo, dibujos, y permitió la participación creciente de los alumnos. Esta orientación didáctica nos permitirá realizar ajustes para futuras experiencias.

Una vez incorporados en la pizarra los valores obtenidos con las distintas herramientas, se comparó entre sí cada parámetro en los diferentes sitios y se buscaron en conjunto (entre estudiantes, docentes e integrantes del grupo CoSensores) posibles tendencias y correlaciones en los datos tabulados (véase cuadro II).

**Cuadro II. Valores para la determinación del pH, la conductividad, la concentración de fosfatos y nitratos y el porcentaje de inhibición del crecimiento del alga en el bioensayo**

Zona	Sitio	N-NO <sub>3</sub> <sup>-1</sup> (ppm)	P-PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> (ppm)	pH	C (us/cm)	Biosensor (% inhibición)
Costa Río de la Plata	Raggio 2	1,90	5,20	7,20	690	37,50
	Raggio 1	nd	nd	nd	nd	49,60



Zona	Sitio	N-NO <sub>3</sub> <sup>-1</sup> (ppm)	P-PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> (ppm)	pH	C (us/cm)	Biosensor (% inhibición)
Costa Río de la Plata (cont.)	Raggio 3	nd	nd	nd	nd	55,90
	Río de la Plata (Raggio)	7,90	3,70	7,43	340	55,40
	Río de la Plata (Laprida)	nd	nd	nd	nd	54
	Laprida	7,60	5	7,36	596	50,30
Cuenca río Reconquista	Dique Rogero	7,20	4,30	6,80	694	68,30
	Ruta 8	18,60	4,50	6,72	900	6,40
	Morón	12,10	7,50	6,92	726	19,30
	Corvalán	11,70	5,80	7,20	852	46,70
	Céspedes	13,10	6,30	7,15	880	32,70

**Nota.** En las celdas marcadas con *nd* no se obtuvo el dato.

**Fuente:** elaboración propia.

Por último, se elaboraron hipótesis para explicar tendencias y correlaciones entre los datos, considerando los saberes locales puestos en relevancia durante las salidas de campo y aquellos aportados por los actores locales presentes en la actividad.

Esta última etapa fue un proceso complejo, de intenso diálogo, muy rico, en el que los alumnos compartieron sus opiniones y fueron llegando a acuerdos, que no fueron lineales, sino que requirieron de avances y retrocesos, ramificaciones y momentos de confusión e incertidumbre. Muchas de las discusiones en torno a la interpretación de los resultados obtenidos tuvieron que ser retomadas posteriormente e incluso algunas quedaron abiertas.

Entre las tendencias encontradas en los datos, después de la discusión durante el segundo encuentro, destacaron:

- Los valores más altos de conductividad y concentración de nitratos corresponden a la cuenca del río Reconquista, exceptuando la muestra del dique Rogero (zona de mejor estado ambiental de la cuenca).

- Los valores más altos de concentración de fosfatos también corresponden a la cuenca del río Reconquista, particularmente a los arroyos Morón, Corvalán y Céspedes. En las muestras de la zona del Río de la Plata, los valores de concentración en el arroyo y el pluvial son más altos que los de las aguas abiertas.
- Los resultados, aplicando el bioensayo, indican que los sitios de mayor inhibición del crecimiento del alga corresponden al dique Roggero y a las muestras de la zona del Río de la Plata. En el caso de la zona del Río de la Plata se observó menor inhibición en el pluvial Laprida y, sobre todo, en uno de los puntos del arroyo Raggio respecto al Río de la Plata. En la cuenca del río Reconquista, en el arroyo Morón y en la ruta 8, los porcentajes de inhibición fueron los más bajos.

A partir del análisis de las determinaciones realizadas y de la información aportada por las organizaciones, pudieron elaborarse hipótesis y reconocer posibles fuentes de contaminación. Si bien el número de muestras, la frecuencia de muestreo y el número de parámetros analizados fueron insuficientes para ser concluyentes, los valores obtenidos para los diferentes parámetros fisicoquímicos corroboraron los valores publicados en trabajos previos en la zona.

La misma concordancia se observó para los patrones de inhibición del crecimiento de algas en bioensayos similares al aplicado en esta experiencia (Loez *et al.*, 1995, 1998; Menéndez *et al.*, 2011; Olguin *et al.*, 2000, 2004). Como observación general se corroboró que los valores más elevados para los parámetros fisicoquímicos estudiados tendían a coincidir con los valores de menor inhibición en el crecimiento de las algas, algo que se ha registrado en experiencias previas del grupo CoSensores (Poveda Ducón, Vega *et al.*, 2021). Estos sitios se correspondían con aquellos cuerpos de agua reconocidos por las organizaciones y por los alumnos en las visitas, como las fuentes de agua más impactadas por la descarga de contaminantes.

En algunos casos, la alta carga de materia orgánica en zonas urbanas e industriales podía ayudar al crecimiento del alga en el bioensayo en dispositivos. Fue el caso del arroyo Morón y Céspedes de la cuenca del río Reconquista o del pluvial Laprida en la costa de Vicente López. Asimismo, en ambos territorios, los datos obtenidos corroboraron el reconocimiento que los vecinos hicieron del menor impacto en el arroyo Corvalán y en el arroyo Raggio, respectivamente. En particular, sobre este último, se pudo observar la alteración de los diferentes parámetros, producto de una fuente puntual de contaminación, como fue la descarga del efluente registrado durante la visita (muestra tomada en el arroyo Raggio [véase mapa inferior de la figura III]).

Al finalizar las etapas del proceso, se realizó un balance de la experiencia, tomando como punto de partida las conclusiones de la docente participante en la investigación.

Como balance final, Alba destacó que «el mayor problema que hay en esta escuela con respecto a los alumnos, y en bastantes escuelas de la periferia de la ciudad, es que los jóvenes no asisten a clase o asisten muy poco, o llegan tarde, se marchan durante las primeras horas, etc. Es decir, hay falta de interés en la escuela. ¿Y por qué ocurre esto? Porque lo que aprenden en la escuela es un método de cómo estudiar, de cómo ser ordenado, etc.

Les dicen cómo lograr algo, ellos lo aprenden, luego les evalúan y así van demostrando lo que van consiguiendo, lo que van aprendiendo, las diferentes destrezas. Lo cual no es poco, porque uno de los fines más importantes de la escuela es aprender a estudiar. Pero lo cierto es que esto no les convence lo suficiente».

Según asegura la docente, «lo que se consiguió con esta práctica, y con todo lo que conllevó a su alrededor, es desestructurar todo lo anterior. Aunque los estudiantes no estén haciendo lo que habitualmente se suele realizar en la escuela, igualmente están aprendiendo, porque en la práctica se ponía sobre la mesa de discusión lo que los estudiantes estaban haciendo, por qué se hacía, cómo se continuaba trabajando, etc., y esto llevaba a desarrollar otras habilidades diferentes. Esta experiencia fue muy importante para ellos».

Las palabras de esta profesora encierran una gran complejidad. Por un lado, aludían a la problemática del absentismo en la escuela secundaria bonaerense, cuestión que es objeto de análisis permanente e intenso debate público en Argentina (Rosli y Carlino, 2015; Terigi, 2009). Entre las causas, la docente comentaba que la propuesta escolar orientada a la formación propedéutica era la hegemónica y que no convenía a los alumnos.

Por otro lado, y en contraposición a la idea anterior, la experiencia en la que hacemos hincapié en este trabajo ejemplificaba para ella una forma de desestructurar lo que algunos autores llaman la «gramática escolar» (Elías, 2015). Como fuentes de esta desestructuración y puesta en común de una forma de enseñanza alternativa que condujo a desarrollar otras habilidades diferentes, la docente se centralizó en la universidad (grupo CoSensores), ya que el proyecto fue iniciado desde este espacio institucional, pero también en todo lo que surgió alrededor del mismo.

A nuestro criterio, la mayor desestructuración proviene del aspecto vivencial de la propuesta, de caminar y adentrarse en el territorio, de la presencia de las organizaciones socioambientales que ampliaron las fuentes de saber que la escuela valida y legítima. Una escuela así orientada, donde, como explicaba Alba, «poníamos en la mesa de discusión qué se hacía», permite producir socialmente de forma ampliada y democrática la comprensión de lo que se enseña y se aprende:

[...] una escuela que, a la vez que continúa siendo un tiempo-espacio de producción de conocimiento en el que se enseña y en el que se aprende, también abarca el enseñar y aprender de un modo diferente. Una escuela en la que enseñar ya no puede ser ese esfuerzo de transmisión del llamado «saber acumulado» que se hace de una generación a la otra, y el aprender no puede ser la pura recepción del objeto o el contenido transferidos. Por el contrario, girando alrededor de la comprensión del mundo, de los objetos, de la creación, de la belleza, de la exactitud científica, del sentido común, el enseñar y el aprender también giran alrededor de la producción de esa comprensión [...] (Freire, 2006, p. 20).

## 5. Conclusiones

Retomamos aquí las preguntas que guiaron la sistematización de la experiencia:

- ¿Qué sentidos críticos podrá adquirir la integración de las TIC con la educación ambiental en la articulación de escuelas públicas de nivel secundario del Área Metropolitana de Buenos Aires (Argentina) con universidades públicas y organizaciones sociales?
- ¿Qué pueden aportar las herramientas elaboradas por el grupo CoSensores en barrios afectados por la contaminación ambiental?
- ¿Qué roles pueden tener las organizaciones socioambientales locales en este tipo de actividades?

Respecto al objetivo «Conocer los sentidos críticos que puede adquirir el cruce entre las TIC y la educación ambiental», planteado al inicio del artículo, a la luz de lo expuesto por los docentes y por la involucración en las propuestas de parte del estudiantado, entendemos que, en estos contextos educativos, el cruce de la educación ambiental y las TIC puede ser muy fructífero en la producción de sentidos críticos cuando se articula con conflictos ambientales auténticos de la comunidad. Esto se relaciona directamente con el objetivo «Caracterizar el aporte de las herramientas elaboradas por el grupo CoSensores», ya que, retomando la tipología de niveles de apropiación tecnológica de Gendler *et al.*, (2018), otro de los sentidos críticos que adquirió la experiencia fue a través de involucrar a docentes y estudiantes en el uso de una creación tecnológica de tipo activista, con fines de acción colectiva e intervención social desarrollada por el grupo CoSensores.

Frente a la predominancia de actividades pedagógicas que únicamente promueven una apropiación adoptada o reproductiva de las TIC, el enfoque propuesto vinculó a docentes y estudiantes con uno de los niveles de máxima criticidad en términos de la apropiación social de tecnologías. Todo esto se correlaciona con el balance de la docente respecto a todo lo que conllevó alrededor, al abrirse nuevos espacios de aprendizaje y posibilidades para la construcción de pensamiento crítico a partir de la interacción entre los estudiantes con la tecnología y la naturaleza en un contexto de conflicto ambiental.

Entendemos que los mencionados sentidos críticos que subyacen al uso del bioensayo y de las TIC de desarrollo libre se potenciaron al estar enfocados pedagógicamente desde la educación popular. La articulación de estos desarrollos tecnológicos con organizaciones como Isla Verde y Unidos por el Río expresa la concreción de lo que Mejía (2013) llama la «agenda crítica de las TIC pensadas desde la educación popular». Retomando la tradición pedagógica crítica latinoamericana, entendemos que, a través de este tipo de experiencias, se pueden ensayar, desde la escuela, modos «convivenciales» de uso de tecnologías (Illich, 1978).



Respecto del objetivo «Indagar acerca del rol que tienen las organizaciones socioambientales en este tipo de experiencias», la articulación con organizaciones sociales involucradas en conflictos ambientales es una de las premisas de las pedagogías del conflicto ambiental y, en este trabajo, se pusieron en evidencia sus aportes a la contextualización y codefinición de prácticas de enseñanza en torno a campos disciplinares como la química y las TIC, respectivamente. El diálogo de saberes entre disciplinas científicas y saberes populares construidos en luchas populares por la justicia ambiental permite el aporte de miradas críticas respecto a los problemas ambientales locales. Esto construye saber ambiental en docentes y estudiantes acerca del territorio de forma participativa.

Desde nuestra perspectiva vinculada a posicionamientos críticos de la educación en ciencias naturales, ambiente y salud, el enfoque CTS, el trabajo por proyectos y la inclusión de salidas de campo resultaron potentes estrategias didácticas para que los estudiantes vivieran la experiencia de «aprender ciencias para y en la comunidad» (Roth, 2002). En el caso de los actores locales, supuso la oportunidad de compartir su experiencia de organización y saberes vinculados a la problemática del agua, jerarquizándolos frente a los conocimientos académicos. Todo esto contribuye a descolonizar miradas y deconstruir las jerarquías opresoras de saber-poder que expresa tradicionalmente la academia y la escuela en torno al conocimiento científico, resignificando los roles de alumnos, docentes y personas de la comunidad (Dumrauf *et al.*, 2019).

## Referencias bibliográficas

- Agencia para la Libertad. (2016). *El Arroyo Raggio es del pueblo, no de la Policía Federal*. <https://agenciaparalalibertad.org/el-arroyo-raggio-es-del-pueblo-no-de-la-policia-fe>
- Barragán Cordero, D. y Torres Carrillo, A. (2017). *La sistematización como investigación interpretativa crítica*. Editorial El Búho.
- Cabero Almenara, J. y Marín Díaz, V. (2013). Percepciones de los estudiantes universitarios latinoamericanos sobre las redes sociales y el trabajo en grupo. *RUSC. Revista de Universidad y Sociedad del Conocimiento*, 10(2), 219-235.
- Cabero-Almenara, J. y Marín-Díaz, V. (2014). Posibilidades educativas de las redes sociales y el trabajo en grupo. Percepciones de los alumnos universitarios. *Comunicar. Revista Científica de Comunicación y Educación*, 21(42), 165-172.
- Canciani, M.<sup>a</sup> L., Telías, A. y Sessano, P. (2017). *Problemas y desafíos de la educación ambiental: un abordaje en 12 lecciones*. Ediciones Novedades Educativas.
- Castells, M. (1999). *La era de la información: economía, sociedad y cultural*. Alianza Editorial.
- D'Atri, A. M. (2017). Gabriela Merlinsky (Comp.). (2016). *Cartografías del conflicto ambiental en Argentina 2*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Ediciones CICCUS, 384 páginas. *Anuario de la Facultad de Ciencias Humanas*, 14(14), 121-124.
- Dumrauf, A., Cordero S., Cucalón Tirado, P., Guerrero Tamayo, K. y Garelli, F. M. (2019). Hacia nuevos territorios epistémicos: aportes desde un camino de construcción pedagógica descolonizadora en educación en ciencias naturales, ambiental y en salud. En

- B. A. P. Monteiro, D. S. A. Dutra, S. Cassiani, C. Sánchez y R. D. V. L. Oliveira (Orgs.), *Decolonialidade na Educação em Ciências* (pp. 287-306). Livraria da Física.
- Dumrauf, A. G., Cordero, S. y Mengascini, A. S. (2013). *De docentes para docentes: experiencias innovadoras en ciencias naturales en la escuela pública*. El Colectivo.
- Dumrauf, A. y Mengascini, A. (2008). Los movimientos sociales en América Latina. Pasado, presente y perspectivas. *Memorias de las Jornadas de Problemas Latinoamericanos* (pp. 1.732-1.739).
- Elías, M.<sup>a</sup> E. (2015). La cultura escolar: aproximación a un concepto complejo. *Revista Electrónica Educare*, 19(2), 285-301.
- Fals Borda, O. (1979). El problema de cómo investigar la realidad para transformarla. *Crítica y política en ciencias sociales: el debate sobre teoría y práctica*. Punta de Lanza.
- Fernández, L. (2007). *Servicios ecológicos en humedales, el caso de Tigre, Buenos Aires*. <https://www.eumed.net/libros-gratis/2007c/317/>
- Freire, P. (1996). *Política y educación*. Siglo XXI Editores.
- Freire, P. (2006). *Cartas a quien pretende enseñar*. Siglo XXI Editores.
- Freire, P. (2012). *Pedagogía de la indignación: cartas pedagógicas en un mundo revuelto*. Siglo XXI Editores.
- Gendler, M. A., Méndez, A., Samaniego, F. y Amado, S. (2018). Uso, apropiación, cooptación y creación: pensando nuevas herramientas para el abordaje de la apropiación social de tecnologías. En S. Lago Martínez, A. Álvarez, M. Gendler y A. Méndez (Eds.), *Acerca de la apropiación de tecnologías: teoría, estudios y debates* (pp. 49-60). Ediciones del Gato Gris/Red de Investigadores sobre Apropiación de Tecnologías/Instituto de Investigación Gino Germani/Facultad de Ciencias Sociales Universidad de Buenos Aires.
- Hsu, Y.-C. y Ching, Y.-H. (2013). Mobile computer-supported collaborative learning: a review of experimental research. *British Journal of Educational Technology*, 44(5).
- Illich, I. (1978). *La convivencialidad*. Virus.
- Iribarren, L., Guerrero Tamayo, K., Garelli, F. y Dumrauf, A. (2021). Pedagogías del conflicto ambiental: aportes desde una experiencia participativa de formación docente en un territorio en disputa. *Praxis Educativa*, 26(1), 1-24.
- Iribarren, L., Seoane, C., Cucci, G., Pitton, M.<sup>a</sup>, Corbetta, C., González Villanueva, A. y Naumec, C. (2021). Dispositivos de formación docente en educación ambiental antes y durante la pandemia en el AMBA, experiencias interdisciplinarias basadas en conflictos ambientales. Conflictos por el agua. *Revista de Educación en Biología*, 3(núm. extra), 666-668.
- Lanzarotti, E. O., Cuesta, G., Factorovich, M. H., Kucher, H., Prudkin Silva, C. R., Lichtig, P., Boron, C. I., Álvarez, L., Urdampilleta, C. M.<sup>a</sup>, Vallerga, M.<sup>a</sup> B., Romero, J. M., Piegari, E., Morzan, U., Groot, G. S. de, Sivan Baglietto, B., Poveda Ducón, K. Y. e Ithuralde, R. E. (2016). Tierra y agrotóxicos: un enfoque co-productivo en problemáticas socioambientales. *Cambios y Permanencias*, 7, 181-219.
- Leff, E. (2011). Diálogo saberes, saberes locales y racionalidad ambiental. En A. Argueta Villamar, E. Corona-M. y P. Hersch (Coords.), *Saberes colectivos y diálogo de saberes en México* (pp. 379-392). Universidad Autónoma Nacional de México.
- Lessig, L. (2005). *Cultura libre: cómo los grandes medios están usando la tecnología y las leyes para encerrar la cultura y controlar la creatividad*. LOM Ediciones.
- Loez, C. R., Salibián, A. y Topalián, M. L. (1998). Associations phytoplanktoniques indicatrices de la pollution par le zinc. *Revue des Sciences de l'Eau*, 11(3), 315-332.
- Loez, C. R., Topalián, M. L. y Salibián, A. (1995). Effects of zinc on the structure and growth dynamics of a natural freshwater phytoplankton assemblage reared in the laboratory. *Environmental Pollution*, 88(3), 275-281.

- Machado Aráoz, H. A. C. (2017). «América Latina» y la Ecología Política del Sur. Luchas de existencia, revolución epistémica y migración civilizatoria. En H. Alimonda, C. Toro Pérez y F. Martín (Coords.), *Ecología política latinoamericana: pensamiento crítico, diferencia latinoamericana y rearticulación epistémica*. Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales.
- Massarini, A. (2011). El enfoque CTS para la enseñanza de las ciencias: una clave para la democratización del conocimiento científico y tecnológico. *Vóces en el Fénix*, 2(8), 14-18.
- Mejía, M. R. (2013). La educación popular con y desde las NTIC. En L. Cendales, M. R. Mejía y J. Muñoz (Eds.), *Entretejidos de la educación popular en Colombia* (pp. 185-222). Ediciones Desdeabajo/CEAAL.
- Menéndez, A. N., Lopolito, M.<sup>a</sup> F. y Badano, N. D. (2011). *Evaluación de la calidad del agua en la franja costera sur del Río de la Plata mediante modelación numérica*. Proyecto INA 1.207/Informe LHA 02-1.207-11/Ezeiza. Instituto Nacional del Agua. Subsecretaría de Recursos Hídricos. Secretaría de Obras Públicas. República Argentina.
- Merlinsky, M.<sup>a</sup> G. (2018). Justicia ambiental y políticas de reconocimiento en Buenos Aires. *Perfiles Latinoamericanos*, 26(51), 241-263.
- Neüman, M.<sup>a</sup> I. (2008). Construcción de la categoría «apropiación social». *Quorum Académico*, 5(2), 67-98.
- Olguín, H. F., Puig, A., Loez, C. R., Salibián, A., Topalián, M. L., Castañé, P. M. y Rovedatti, M.<sup>a</sup> G. (2004). An integration of water physicochemistry, algal bioassays, phytoplankton, and zooplankton for ecotoxicological assessment in a highly polluted lowland river. *Water, Air, and Soil Pollution*, 155(1-4), 355-381.
- Olguín, H. F., Salibián, A. y Puig, A. (2000). Comparative sensitivity of «Scenedesmus acutus» and «Chlorella pyrenoidosa» as sentinel organisms for aquatic ecotoxicity assessment: studies on a highly polluted urban river. *Environmental Toxicology*, 15(1), 14-22.
- Orion, N. (1993). A model for the development and implementation of field trips as an integral part of the science curriculum. *School Science and Mathematics*, 93, 325-331.
- Pintos, P. y Narodowski, P. (Coords.). (2012). *La privatopía sacrilega: efectos del urbanismo privado en humedales de la cuenca baja del río Luján*. Memoria Académica.
- Poveda Ducón, K., Vega, D., Piegari, E., Borón, I. y Juárez, A. (2021). Caracterización de un bioensayo para evaluar de forma participativa, niveles de toxicidad en aguas superficiales y subterráneas en Saladillo (Provincia de Buenos Aires) (Tesis de grado). Universidad de Buenos Aires.
- Prudkin Silva, C., Lanzarotti, E., Álvarez, L., Vallerga, M. B., Factorovich, M., Morzan, U. N., Gómez, M. P., González, N. P., Acosta, Y. M., Carrizo, F., Carrizo, E., Galeano, S., Lagorio, M. G., Juárez, A. B., Ithuralde, R. E., Romero, J. M. y Urdampilleta, C. M. (2021). A cost-effective algae-based biosensor for water quality analysis: development and testing in collaboration with peasant communities. *Environmental Technology & Innovation*, 22, 1-13.
- Ramos Marcillas, L. y Rodríguez Ruibal, A. (2017). Trabajo colaborativo y software social: apreciaciones de los estudiantes universitarios alicantinos respecto al trabajo colaborativo mediante el software social. *Tecnología, Ciencia y Educación*, 6, 103-128. <https://doi.org/10.51302/tce.2017.118>
- Ricca, C., Dubois, D. y Lara Corro, E. S. (2019). Escuelas fumigadas: ganancias a corto plazo vs. derechos de la niñez y juventud. *III Congreso Latinoamericano de Teoría Social «Desafíos Contemporáneos de la Teoría Social»*. Universidad de Buenos Aires.
- Rosli, N. y Carlino, P. (2015). Acciones institucionales y vinculares que favorecen la permanencia escolar de alumnos de sectores socioeconómicos desfavorecidos. *Estudios Pedagógicos (Valdivia)*, 41(1), 257-274.
- Roth, W.-M. (2002). Aprender ciencias en y para la comunidad. *Enseñanza de las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 20(2), 195-208.

- Terigi, F. (2009). *Las trayectorias escolares: del problema individual al desafío de política educativa*. Ministerio de Educación. Presidencia de la Nación/Organización de los Estados Americanos.
- Torres, M. (2019). ¿Innovan las innovaciones? Un análisis de conectar igualdad y aprender conectados. *Hipertextos*, 7(12), 120-138.
- Unidos por el Río. (2018). *Las aguas bajan rojas*. <https://unidosporelrio-vl.blogspot.com/2018/10/las-aguas-bajan-rojas.html>
- Valderrama, C. E. (2008). Movimientos sociales: TIC y prácticas políticas. *Nómadas*, 28, 94-101.
- Viale, E. (2017). Extractivismo urbano. En A. M.<sup>a</sup> Vásquez Duplat (Comp.), *Extractivismo urbano: debates para una construcción colectiva de las ciudades* (pp. 15-19). Editorial El Colectivo/CEAPI/Fundación Rosa Luxemburgo.
- Voudouris, K. (2012). *Ecological Water Quality: Water Treatment and Reuse*. IntechOpen.
- Yanucci, F. D. (2018). *Autogestión en el aprendizaje ambiental. La experiencia del bosque urbano en la UNSAM. Educación, autogestión y territorio: tres aspectos significantes en la comunicación ambiental* (Tesis de licenciatura). Universidad de Buenos Aires.

**Kevin Poveda Ducón.** Licenciado en Ciencias Ambientales por la Universidad de Buenos Aires (Argentina). Becario doctoral en Ciencias Ambientales del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas/Universidad Nacional de San Martín (Argentina).

**Estefanía Piegari.** Licenciada y doctora en Ciencias Físicas de la Universidad de Buenos Aires (Argentina). En 2022, ingresó en el Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental como investigadora asistente del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas para desarrollar e implementar modelos cuantitativos que permitan monitorear a escala regional el estado de la salud/degradación de humedales de la región pampeana (Buenos Aires) utilizando observaciones hiperespectrales. Colabora en proyectos vinculados a problemáticas ambientales junto a comunidades organizadas desde 2013.

**Ignacio Boron.** Licenciado en Ciencias Biológicas y doctor en Química por la Universidad de Buenos Aires (Argentina). Investigador asistente del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Especialista en el desarrollo de tecnologías de bajo costo para el monitoreo *in situ* de contaminantes emergentes, combinando materiales avanzados y módulos biológicos junto con herramientas de la espectroscopia y electroquímica. Ha publicado en revistas internacionales, ha expuesto en congresos y ha participado en proyectos de ciencia participativa junto a comunidades organizadas en torno a diversas problemáticas territoriales.

**Luciano Iribarren.** Miembro del Grupo de Didáctica de las Ciencias del Instituto de Física de Líquidos y Sistemas Biológicos del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas/Universidad Nacional de La Plata (Argentina). Ha trabajado como formador en Ciencias Naturales y Educación Ambiental Integral en la formación docente continua dentro de la Dirección de Formación Docente Permanente/Dirección General de Cultura y Educación (Buenos Aires, Argentina). Líneas de investigación: educación en ciencias naturales, educación popular y educación ambiental.

**Contribución de autores:** Trabajo de campo: K. P. D., E. P. e I. B.; Análisis de la experiencia: K. P. D., E. P., I. B. y L. I.; Redacción del artículo: K. P. D., E. P., I. B. y L. I.