



RIDUNAJ
Repositorio Institucional
Digital UNAJ



Universidad Nacional
ARTURO JAURETCHE

Publicaciones Científicas

Crojethovich, Alejandro Diego, Alvarez Huwiler, Laura y Gomez, Rocio

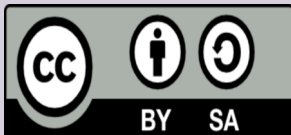
La resiliencia en sistemas hídricos socioecológicos complejos : El caso de una cuenca en la región metropolitana de Buenos Aires

*Revista Contribuciones de Ciencia y
Tecnología, Vol. 2 Núm. 1*

2025

Universidad Nacional Arturo Jauretche.

*Secretaría de Investigación y Vinculación
Tecnológica.*



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons.

Atribución – Compartir igual 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

Documento descargado de RID - UNAJ Repositorio Institucional Digital de la Universidad Nacional Arturo Jauretche

Cita recomendada:

Crojethovich, A. D., Alvarez Huwiler, L. y Gomez, R. (2025). La resiliencia en sistemas hídricos socioecológicos complejos : El caso de una cuenca en la región metropolitana de Buenos Aires. *Contribuciones de Ciencia y Tecnología, 2(1)*.

<https://contribucionesencyt.unaj.edu.ar/la-resiliencia-en-sistemas-hidricos-socioecologicos-complejos-el-caso-de-una-cuenca-en-la-region-metropolitana-de-buenos-aires/>

Este documento es resultado del financiamiento otorgado por el Estado Nacional, por lo tanto queda sujeto al cumplimiento de la Ley N° 26.899.

LA RESILIENCIA EN SISTEMAS HÍDRICOS SOCIOECOLÓGICOS COMPLEJOS

EL CASO DE UNA CUENCA EN LA REGIÓN METROPOLITANA DE BUENOS AIRES

Resilience in complex socio-ecological water systems.

The case of a basin in the Metropolitan Region of Buenos Aires

- Alejandro Diego Crojethovich (acroje@yahoo.com)
- Laura Alvarez Huwiler
- Rocio Gomez

Universidad Nacional Arturo Jauretche, Instituto de Ciencias Sociales y Administración, Programa de Estudios en Ambiente y Territorio.

RESUMEN

Este trabajo se basa en el proyecto: *Resiliencia en el Conurbano bonaerense. La gestión sostenible del agua en la postpandemia*, desarrollado por un equipo multidisciplinar del Programa de Estudios en Ambiente y Territorio de la UNAJ. El proyecto Tiene como objetivo contribuir a la sustentabilidad y resiliencia post-pandémica en el Conurbano Sur de Buenos Aires e Investigar como la organización entre los interesados-usuarios (stakeholders) que utilizan el recurso hídrico puede estar dando lugar a resiliencia, en particular resiliencia postpandemica.

El aporte original de este proyecto es el de utilizar a los recursos hídricos como un caso de estudio local para avanzar en la investigación de la resiliencia urbana, desarrollando un modelo de cuenca que se basa en el enfoque de la sostenibilidad en sistemas complejos, con posibilidades de extenderlo a nivel regional y nacional.

Se desarrolla la teoría de la sostenibilidad en sistemas socioecologicos complejos aplicada a la cuenca del arroyo Las Conchitas, en los Municipios de Florencio Varela y Berazategui, Provincia de Buenos Aires, Argentina.

Se analiza la cuenca del arroyo Las Conchitas evaluando los usos del suelo y como influyen en la calidad del agua, sus condiciones sociales, la aplicabilidad de la información primaria obtenida de sondas multiparamétricas de diseño propio en la búsqueda de patrones utilizando aprendizaje automático, y se realiza el análisis de la resiliencia hídrica, con un índice. Por último, se plantea un modelo de la cuenca del arroyo Las Conchitas como un sistema complejo

ABSTRACT

This work is based on the project: Resilience in the Buenos Aires suburbs. Sustainable water management in the post-pandemic, developed by a multidisciplinary team from the UNAJ Environment and Territory Studies Program. The project aims to contribute to sustainability and post-pandemic resilience in the Southern Conurbation of Buenos Aires and investigate how the organization between interested-users (stakeholders) who use the water resource may be giving rise to resilience, in particular post-pandemic resilience.

The original contribution of this project is to use water resources as a local case study to advance research into urban resilience, developing a basin model that is based on the approach to sustainability in complex systems, with possibilities to extend it at the regional and national level.

The theory of sustainability in complex socioecological systems is developed applied to the Las Conchitas stream basin, in the Municipalities of Florencio Varela and Berazategui, Province of Buenos Aires, Argentina.

The Las Conchitas stream basin is analyzed, evaluating land uses and how they influence water quality, its social conditions, the applicability of primary information obtained from self-designed multiparametric probes in the search for patterns using machine learning, and performs the analysis of water resilience, with an index. Finally, a model of the Las Conchitas stream basin is proposed as a complex system.

PALABRAS CLAVES: Cambio climático, Resiliencia urbana, Ecología urbana, Recursos hídricos

KEYWORDS: Climate change, Urban resilience, Urban ecology, Water resources

INTRODUCCIÓN

LA SOSTENIBILIDAD EN SISTEMAS SOCIOECOLÓGICOS COMPLEJOS

Los sistemas complejos. Los sistemas abiertos

Una manera de enfocar el estudio de una cuenca es considerarla como un sistema complejo, dado que en ella confluyen múltiples elementos -que intervienen en distintos procesos- y sus interrelaciones constituyen la estructura de un sistema que funciona como una totalidad organizada (Crojethovich Marón y Herrero 2012).

En este caso, el sistema complejo es la cuenca o un problema urbano que constituye lo que García (1986) llama "sistema global"; es decir, un conjunto de elementos que intervienen en procesos (sociales, económicos, ecológicos, políticos, legales, culturales, etc.), con sus partes

y factores constitutivos, sus interrelaciones con los demás sistemas. Esta no es una definición precisa, más bien una primera aproximación que necesitará de sucesivas elaboraciones.¹

No es solo la heterogeneidad de los elementos o subsistemas que lo integran lo que determina la "complejidad" de un sistema. En realidad, la característica que determina que un sistema sea complejo es la "interdefinibilidad y mutua dependencia de las funciones que cumplen dichos elementos dentro del sistema total" (García 1994, p. 86). Ello excluye la posibilidad de obtener el análisis de un sistema complejo por la adición de estudios sectoriales que corresponderían a cada elemento de su estructura.

También resulta importante considerar que en un sistema complejo no todas sus partes tienen por qué encontrarse al mismo nivel organizativo, sino que pueden estar formando una estructura jerárquica. En una cuenca podemos tener dos tipos de jerarquías, una ecológica y otra socioeconómica, interactuando y autoorganizándose (ver por ejemplo Fujita et al. 1999). Cuando hablamos de jerarquías y de cómo estas se producen, podemos considerar que sus distintos niveles (a partir de un nivel que podemos llamar 'n') tienen en sí mismos procesos que se diferencian en la velocidad de sus procesos. Así, mientras el nivel 'n' puede estar actuando a una velocidad v_n un nivel superior puede estar funcionando a una velocidad menor v_{n+1} . De hecho, la estructura impuesta por las diferencias de velocidades es suficiente para descomponer un sistema complejo en niveles organizacionales y en componentes discretos dentro de cada nivel.

Por otra parte, el estudio sistémico de un sistema complejo no necesariamente requiere trabajar con infinitas variables e interrelaciones. Por el contrario, existen indicios de que un sistema complejo puede ser caracterizado a partir de un conjunto reducido de variables. Holling (1992), a partir de una revisión de 23 ejemplos de ecosistemas manejados, concluye que un pequeño número de conjuntos de variables bióticas y abióticas determinan la estructura sobre un amplio rango de escalas en todos los ecosistemas.

Componentes de un sistema complejo

Investigar un sistema significa estudiar un trozo de la realidad, que de acuerdo con los componentes y características de lo que se desea investigar, puede incluir aspectos físicos, biológicos, sociales, económicos, políticos, institucionales, culturales. Es obvio que existen múltiples formas de abordar estos sistemas, dependiendo de los objetivos que se persiguen en cada programa concreto de investigación. No es obvio, sin embargo, cómo debe definirse el sistema, una vez fijados los objetivos de la investigación:

a. El punto de partida está dado por el campo epistémico o conceptual que establece el *tipo de pregunta o conjunto coherente de preguntas* que especifican la orientación general de la

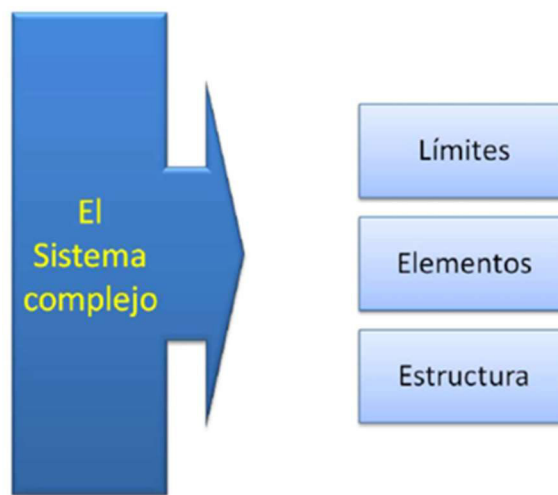
¹ El concepto de sistema utilizado en este capítulo es el de García (1986). Y no coincide con lo considerado como sistema en el "análisis de sistemas", propio de la ingeniería y econometría, fundamentalmente.

investigación. En general, es posible formular una pregunta básica (pregunta conductora) con un conjunto de subpreguntas.

b. Dada la pregunta conductora, la selección de *los componentes del sistema* (los elementos, los límites y sus interrelaciones, tanto externas como internas) (Fig. 1) es guiada por la relevancia que estos tengan respecto a ella.

c. Como rara vez esto es claro desde el comienzo, es necesario hacer más de un intento, es decir *la definición del sistema se va transformando en el curso de la investigación*.

Figura 1 Componentes de un sistema complejo. Fuente Crojethovich (2016).



Los Límites

Los sistemas complejos que se presentan en la realidad carecen de límites precisos en su extensión física y en su problemática. Son *sistemas abiertos* y realizan intercambio con el medio externo. García (1986) llama las condiciones de contorno a ese medio externo al sistema.

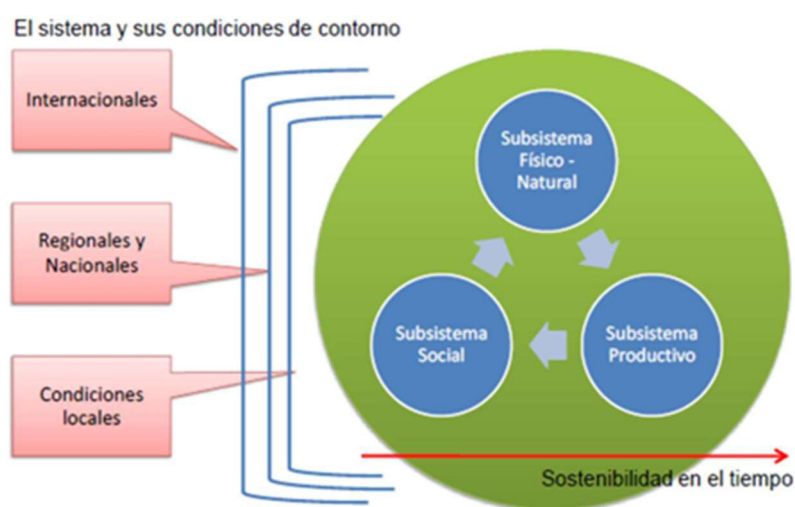
No se trata solo de fronteras físicas, sino del tipo de problemática que se va a estudiar y del aparato conceptual que se maneja; es decir, qué se *deja fuera* del sistema y qué está totalmente *incluido* en el sistema, qué escalas espaciales y temporales se van a usar, etcétera.

Se puede comenzar por las fronteras geográficas (un país, una región, una selva, una ciudad, un municipio, un barrio), para luego considerar otros límites menos obvios (formas de producción, de organización económica o de culturas que coexisten en una región), algunas de las cuales no son esenciales, o lo son de menor prioridad de acuerdo a los objetivos o a las preguntas elaboradas y pueden entonces dejarse "afuera". Dejar *afuera* no significa

necesariamente dejarlo fuera de consideración, dado que si interactúa de alguna manera se tomará en cuenta *como condiciones de contorno o condiciones en los límites* (Fig. 2).

Esas condiciones pueden especificarse en forma de flujos (de materia, energía, de información). Lo más importante en ellos es la *velocidad de cambio* y está relacionada con la escala temporal de los fenómenos que se quieren estudiar. Es decir, si la velocidad de una determinada variable es muy lenta para la cuestión que estamos analizando, esta puede considerarse como una constante.

Figura 2. Condiciones de Contorno. El ejemplo se refiere a un sistema socio-ambiental.



Fuente: Crojethovich (2016).

Los elementos

Estos constituyentes esenciales del sistema merecen algunas consideraciones:

- Los componentes de un sistema no son independientes en la medida que se determinan mutuamente. Su selección, así como la de los límites, deben ser tales que impliquen que el sistema posea cierta forma o *estructura*.
- Los elementos de un sistema suelen ser unidades también complejas (subsistemas) que interactúan entre sí.
- Como *la estructura está determinada por el conjunto de relaciones*, el sistema debe incluir

aquellos elementos entre los cuales se han podido detectar (desde el marco epistemológico y luego se verá en los datos) las relaciones más significativas. Así, *la estructura del sistema está dada por el conjunto de relaciones entre los elementos y no por los elementos en sí*

mismos. Como ningún estudio puede abarcar la totalidad de las interrelaciones, hay necesidad de adoptar criterios de selección.

- Para determinar los subsistemas es necesario definir las escalas espaciales y temporales. No deben mezclarse datos observacionales que pertenecen a distintas escalas de análisis, esto puede no agregar información, sino crear confusión (como por ejemplo, relacionar la inundación de un arroyo con el fenómeno de la corriente de El Niño).

En el estudio de la dinámica de un sistema es necesario analizar su historia. Ello depende de la naturaleza del sistema y de la pregunta conductora. Si se desea predecir el comportamiento del sistema también hay que establecer o fijar el período correspondiente a la prospección. La escala de predicción puede no coincidir con la escala de análisis, ya que depende de la predictibilidad o impredecibilidad del sistema en cuestión.

La Estructura

Es el conjunto de relaciones entre los elementos. Y son las propiedades de esta estructura lo que determina que un sistema sea más o menos estable. Ello significa su respuesta a ciertas perturbaciones. Estas perturbaciones pueden venir desde afuera del sistema (exógenas) o desde adentro (endógenas).

Estos tipos de estudios están orientados por un esquema conceptual y metodológico que concede particular importancia a las interacciones entre fenómenos que pertenecen a dominios diferentes (por ejemplo: el biofísicoquímico, el socioeconómico, el referido a las actividades productivas, a la dimensión institucional, etcétera).

LA SOSTENIBILIDAD EN SISTEMAS COMPLEJOS

Para abordar la sostenibilidad de un objeto de estudio tan complejo como lo es una cuenca, considerando el enfoque explicado anteriormente, una forma es a través del planteo de modelos sistémicos que sean una abstracción de la realidad, posible de ser manejada y comprendida. Dado que la realidad no puede ser conocida en toda su complejidad, dichos modelos son una abstracción con elementos reales y accesibles a la verificación empírica (Jørgensen et al. 1992).

Las cuencas hídricas son sistemas organizados compuestos de muchos elementos biofísicos y socioeconómicos que interactúan (Alberti y Susskind 1996), por lo que para estudiar a las cuencas tomando en consideración los enfoques ecosistémico y paisajístico y sus propiedades de autoorganización, conectancia, etc. es necesario plantear tanto una base conceptual diferente como una metodología de análisis que se base especialmente en el estudio de las interrelaciones entre lo físico, lo social y lo económico. Si se trabaja con un

sistema profundamente afectado por cambios externos (el medio externo y las situaciones de contorno mencionadas) y continuamente confrontado por lo inesperado, la constancia de su comportamiento es menos importante que la persistencia de las interrelaciones (la resiliencia). Esto puede hacerse desde una posición de **considerar a las cuencas hídricas a estudiar como Sistemas Socio-Ecológicos Complejos (SSEC)**. Se trata de pasar de pensar desde una aproximación reduccionista, disciplinaria, no sistémica y mecanicista a una aproximación holística, interdisciplinaria, sistémica y no lineal.

En este marco se puede estudiar tanto la sostenibilidad de los componentes del sistema como la sostenibilidad de las relaciones entre los componentes, o como lo expresaran Clayton y Radcliffe (1996), *la sostenibilidad puede solamente ser definida al nivel de las interacciones entre los sistemas humanos y los ambientales*.

LA METASOSTENIBILIDAD

Vivimos en un mundo interconectado, que podemos calificar como sujeto a fuerzas no lineales y muchas veces impredecibles. Esta incertidumbre es la base de la nueva física de los procesos irreversibles (Prigogine 1996). En este contexto nos interesa ahora estudiar cómo la sostenibilidad puede pasar a través de estados y transiciones en diversos actores, como evoluciona, transformándose (Di Pace et al. 2012).

La incorporación en biología de conceptos provenientes de la termodinámica de los sistemas alejados del equilibrio está muy lejos de ser una explicación mecanicista, sino que incorpora los elementos de incertidumbre y probabilidades, alejados de la mecánica, además de tratarse un punto de vista para explicar desde el exterior de las ciencias biológicas las relaciones entre los ecosistemas y su entorno.

A continuación se explica cómo la sostenibilidad puede evolucionar en entornos alejados del equilibrio. Siguiendo con la discusión anterior, se puede concluir que la sostenibilidades un concepto transdisciplinar. Aún con todo lo investigado, y que se ha discutido ampliamente en los capítulos anteriores, la mayoría de los aportes siguen siendo disciplinares. Sin embargo, a continuación vamos a utilizar el concepto de que los sistemas pueden estar organizados jerárquicamente (O'Neill et al. 1986), en los cuales es posible identificar niveles que se encuentran interrelacionados entre sí, con la propiedad de que los niveles superiores tienen una gran influencia sobre los inferiores. Ejemplos de sistemas jerárquicos pueden encontrarse en sistemas ecológicos, sociales, políticos y algunos se mencionan en la siguiente Tabla.

	Hidrológicas ^a	Político-administrativas	Ecológicas	Biogeográficas ^b	Bosques ^c
niveles					
+	Red hidrológica	Región	Biosfera	Dominio	Paisaje
	Segmento	País	Región	División	Cuenca
	Tramo	Provincia	Paisaje	Provincia	Rodal
	Rápido/poza	Municipio	Ecosistema	Sección	Parche
	Micro hábitat	Municipio	Población		
-			Individuo		

Ejemplos de jerarquías anidadas en sistemas de distinta naturaleza y campos disciplinarios. Los niveles se ordenan en forma descendente (superiores + a inferiores -).

Fuentes: aFrissell et al. 1986b; Bailey 1983; cUrban et al. 1987. Fuente: Crojethovich (2016)

Dos tipos de relaciones, horizontales y transversales surgen de los ejemplos de la tabla. En las horizontales, la sostenibilidad involucra elementos que se encuentran en distintos ejemplos, como puede ser el caso del "desarrollo sostenible de cuencas hídricas" que incluye elementos hidrográficos, políticos y sociales (entre otros). Siendo que los ejemplos representan concepciones fuertemente disciplinares (que aportan el contenido teórico que cimienta la existencia de las concepciones sistémicas en cada caso), la sostenibilidad se convierte en un concepto fuertemente transdisciplinar, cuya aplicación a casos concretos hace necesaria la integración de bagajes teóricos muy diferentes.

Así, un nivel del sistema complejo, como por ejemplo una cuenca, contiene elementos que se encuentran en una determinada fila de la Tabla, elementos que interactúan entre sí. La estructura jerárquica se aprecia mejor tomando una diagonal de la tabla. Una gestión sostenible se enfrenta con el problema de que debe satisfacer objetivos diferentes en distintos niveles (columnas del cuadro) pero también en varias dimensiones entre sistemas jerárquicos (filas del cuadro), lo que involucra trabajar con distintas escalas al mismo tiempo, dadas las interrelaciones que se dan en esos sistemas.

Surge así el concepto de la *metasostenibilidad* (Crojethovich Martín y Di Pace 2005): *preservar las condiciones que permitan la sostenibilidad en un sistema de estados cambiantes e impredecibles*. Este concepto cambia radicalmente las ideas con las que hay que pensar la sostenibilidad de sistemas naturales y sistemas socio-ecológicos. En otras palabras la *metasostenibilidad* es preservar la capacidad endógena de sustentarse, el *cambio sostenible*. La *sostenibilidad* (ecológica, urbana, productiva, social, etc.) es considerada en términos de trayectorias. La *metasostenibilidad*, en cambio, es considerada en términos de ensamblajes y probabilidades. Hay en ella irreversibilidad e impredecibilidad, que se manifiesta en cambios.

Sostenibilidad	Metasostenibilidad
Descripta por trayectorias	Por probabilidades
Estados	Velocidades
Predictibilidad	Impredictibilidad
No jerárquica	Jerárquica
A-Disciplinar	Transdisciplinar
Monoescalar	Multiescalar
Idea de Equilibrio	Lejos del Equilibrio
Reversibilidad	Irreversibilidad

Diferencias entre los conceptos de sostenibilidad y metasostenibilidad. Fuente: Crojethovich (2016)

El objetivo general del proyecto: *Resiliencia en el Conurbano bonaerense. La gestión sostenible del agua en la postpandemia*, en el cual se basa este trabajo, es:

Contribuir a la sustentabilidad y resiliencia post-pandémica en el Conurbano Sur de Buenos Aires e Investigar como la organización entre los interesados-usuarios (stakeholders) que utilizan el recurso hídrico puede estar dando lugar a resiliencia, en particular resiliencia postpandémica.

El aporte original de este proyecto es el de utilizar a los recursos hídricos como un caso de estudio local para avanzar en la investigación de la resiliencia urbana, desarrollando un modelo de cuenca que se basa en el enfoque de la sostenibilidad en sistemas complejos, con posibilidades de extenderlo a nivel regional y nacional.

Para poder realizar lo anteriormente expresado, este proyecto se nutre de los proyectos anteriores que el grupo de investigación viene desarrollando, es decir se utilizan los resultados de las investigaciones anteriores en la cuenca del arroyo las Conchitas, resultados que originariamente permitían contestar otras preguntas y que ahora se pueden utilizar en forma práctica.

Para eso se plantearon una serie de objetivos específicos con metodologías y actividades necesarias que se mencionan a continuación.

METODOLOGÍA

Se analizó la cuenca del Arroyo Las Conchitas como un sistema complejo evaluando:

SUS LÍMITES

Para eso se contaba con una caracterización anterior de la cuenca y sus usos del suelo, que fue enriquecida con una nueva caracterización utilizando imágenes satelitales:

En primera instancia, se realizó un análisis del área de estudio por medio de la recolección y procesamiento de fuentes secundarias como publicaciones científicas, tesis de grado, documentos e informes de organismos estatales y privados, datos censales, suelo, clima, tipología de cuencas hídricas, uso de suelo y explotación del recurso hídrico de la Provincia de Buenos Aires ,en general y en particular en el área de estudio comprendida en los municipios de Berazategui, Florencio Varela, La Plata y Presidente Perón. Asimismo, se consultaron páginas webs oficiales como el INDEC, del cual se utilizaron las tablas y datos estadísticos sobre los aspectos demográficos y tipo de uso del recurso hídrico; la página de la provincia de Buenos Aires, donde se obtuvieron capas SIG de los municipios involucrados y el sitio de la Agencia Espacial Europea Copernicus de donde se obtuvo una imagen satelital Sentinel 2B del área involucrada para realizar un mapeo actualizado de usos.

Análisis y procesamiento de imágenes

Para la análisis y procesamiento de imágenes se utilizó principalmente el Software libre Qgis versión 3.10.9 y como apoyo Google Maps y Street View.

Selección de coberturas de suelo

La base cartográfica para la delimitación de la cuenca se basó en el mapa de usos de suelo obtenido de la tesis de grado de Cánepa (2020), denominado “Análisis multiescalar de la relación entre la calidad del agua y los usos del suelo, en la cuenca del arroyo Las Conchitas, Argentina”, actualizando y simplificando información de usos a partir de la corroboración en Street View, versión año 2018. La clasificación de usos seleccionada para el trabajo fue la siguiente:

- Dimensión urbana
- Área residencial
- Área industrial
- Área de red vial
- Dimensión rural:
- Área rural
- Área rural Agrícola
- Área de pastizales
- Área de boscosa

Clasificación supervisada

Para actualizar el mapeo de usos de suelo de la cuenca se optó por la utilización de imágenes ráster y la plataforma empleada fue la del programa Copernicus. Sentinel 2 es una misión de imágenes multispectrales de gran amplitud y alta resolución, perteneciente a la Agencia Espacial Europea (ESA) (Fuente: <http://www.geodim.es/pdf/Geodim%20SENTINEL2A.pdf>). El sensor MSI Sentinel- 2 muestrea 13 bandas espectrales: cuatro de ellas con resolución espacial de 10 metros, siete bandas de 20 metros y tres bandas de 60 metros.

Para este estudio se seleccionaron las bandas número 4,11 y 12 que permiten realizar una mejor detección y representación de zonas urbanas (mappingGis, 2020). Para la selección de la imagen se consideró que no hubiesen ocurrido precipitaciones dos semanas previas para disminuir el margen de error en la interpretación de usos.

Para el procesamiento de la imagen se utilizó el software libre Qgis, versión 3.10. 9 y la clasificación de imagen se realizó mediante clasificación supervisada, utilizando el complemento SCP (Semi- AutomaticClassificaTion Plugin)

La clasificación supervisada parte de un grupo de elementos pertenecientes a la imagen, conocidos como áreas de entrenamiento, de los que se conocen con un nivel de exactitud alto las clases de uso del suelo a la que pertenecen.

Para realizar la clasificación, en primera instancia se identifican las clases del área de estudio, luego se proceden a realizar los sitios de entrenamiento por clase mediante polígonos, y finalmente se formulan las firmas espectrales para cada clase. Este proceso da como resultado que cada elemento contenido en la imagen se le asigna una de las clases, basándose en los atributos contenidos en las áreas de entrenamiento. La clasificación supervisada fuerza el resultado para que se corresponda con coberturas del suelo definidas por el usuario, y, por tanto, de su interés (Borràs, et. al 2017).

Para nuestro caso se tomaron 10 zonas representativas para cada tipo de uso de suelo que puedan ser identificadas en la imagen, para el entrenamiento del software. La proyección utilizada fue UTM, datum WGS 84 / UTM zona 21S, EPSG: 32721. De la imagen clasificada obtenida a escala de cuenca se subdividió a escala localidad.

SU ESTRUCTURA Y SUS CONDICIONES INTERNAS Y EXTERNAS

Para eso se realizó un análisis de las condiciones sociales, se empezó a evaluar la existencia de patrones estructurales de la calidad del agua utilizando una sonda de diseño propio y con la ayuda de un programa de machine learning se buscaron patrones que pudiesen en una etapa posterior entrenar un modelo.

Análisis de las condiciones sociales. Se dividió el trabajo en dos etapas

1era etapa del proyecto: estado de la cuestión

2da etapa del proyecto: trabajo de campo (selección de zonas, observación y realización de entrevistas)

En la primera etapa del proyecto se realizó un estado de la cuestión mediante el relevamiento de informes de organismos públicos y notas periodísticas referidas (I) a las condiciones anteriores a la contaminación del arroyo, suponiendo que no siempre estuvo deteriorado, (II) a los cambios demográficos relevantes, (III) a la instalación de industrias en los márgenes del arroyo y (IV) a las condiciones actuales de la cuenca del arroyo las conchitas, teniendo en cuenta que dicha información es fundamental para la elaboración de las entrevistas. Como recorte temporal se tuvieron en cuenta para esta búsqueda las noticias publicadas entre 2006 y 2024. Asimismo, se tuvieron en cuenta los antecedentes de otras investigaciones realizadas por el equipo en los últimos años sobre sustentabilidad hídrica.

Luego de realizar el estado de la cuestión, se seleccionaron las zonas para hacer el trabajo de campo. Todas estas primeras zonas se encuentran en Florencio Varela ya que empezamos por la cuenca alta, específicamente donde nace el arroyo Las Conchitas.

El territorio seleccionado como primera zona fue el de la localidad La Capilla, dentro del partido de Florencio Varela. Se eligió esta zona por ubicarse allí la naciente del arroyo.

La segunda zona elegida fue “La carolina” en Ingeniero Allan, donde se encuentra la comunidad Guarani “Warisata”. Esta zona se encuentra sobre un brazo que desemboca en el Arroyo Las Conchitas.

La tercera zona seleccionada fue en el Barrio “La Rotonda”, Ruta 36 Km 33.

La cuarta zona elegida, también dentro de Ingeniero Allan, en la Carolina, siguiendo el curso de la cuenca, sobre el propio Arroyo Las Conchitas, cerca del límite entre Florencio Varela y Berazategui.

Como última zona se eligió San Rudecindo, del otro lado del punto 3.

La segunda etapa, entonces, se centró en la selección de zonas y en la realización de entrevistas a informantes-clave de instituciones públicas y privadas de la zona, sobre todo de instituciones sanitarias y educativas, y de referentes sociales.

Los criterios de selección de las zonas fueron cuatro: 1) que se encuentren situadas en diferentes sitios de la cuenca, ya sea sobre o en los alrededores del Arroyo Las conchitas; 2) que exista diversidad en la densidad demográfica (la cuenca va desde una zona rural a una zona urbana); 3.1) que existan empresas, instituciones o afines denunciadas por contaminación y/o 3.2) que haya ausencia de una red cloacal.

Este trabajo, a su vez, fue dividido en **cinco actividades** realizadas en relación con cada zona:

a. Relevamiento de instituciones y búsqueda de contactos para el primer acercamiento b. Elaboración de modelos de cuestionarios, dependiendo la institución.

- c. Realización de las entrevistas
- d. Desgravación de las entrevistas
- e. Mapeo de instituciones donde se llevaron adelante las entrevistas

Hasta ahora se pudo avanzar en el relevamiento de las instituciones, en el modelo de entrevistas dirigidas a informantes-clave de instituciones educativas y sanitarias, referentes sociales y productores agropecuarios, así como en la realización de varias de éstas en distintas zonas de la cuenca.

Sondas, inteligencia artificial y búsqueda de variables que den cuenta del estado del sistema (patrones)

El objetivo de esta parte del proyecto es el de posibilitar avances en la resolución de problemáticas sociales a partir de soluciones accesibles y de bajo costo de realización, particularmente a través de alternativas con componentes innovadores que persigan un alto impacto social en el territorio.

Para conocer la realidad hídrica en arroyos de la región es necesario medir las constantes de calidad del agua, lo cual permite conocer comportamientos del sector productivo y junto con información socioeconómica, evaluar la vulnerabilidad poblacional de los vecinos que viven cercanos a los cursos de agua.

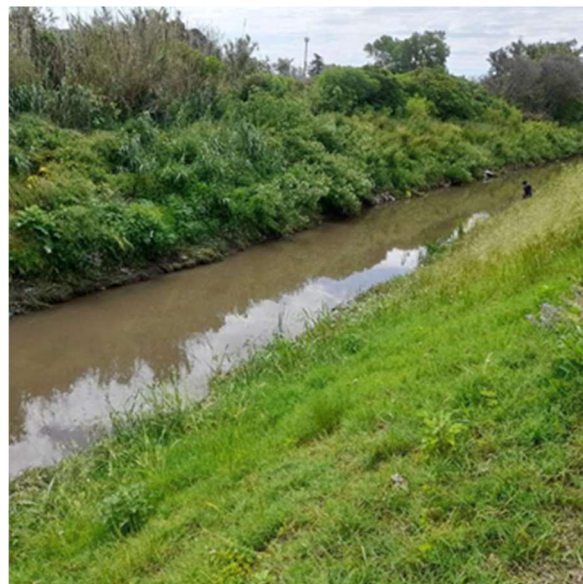
Por lo tanto, existe la necesidad de contar con herramientas de muestreo que permitan realizar un monitoreo constante de las aguas, efectuar un diagnóstico de las causas de la contaminación, sus focos de origen, relación espacial con factores sociales y analizar la situación de la población en la región, algo que hasta el momento no se ha podido hacer por el costo que ese equipamiento demanda. En este sentido, el trabajo consiste en el desarrollo de un prototipo de sonda multiparamétrica de bajo costo para medir variables de calidad de agua en arroyos de la región. Las características que lo hacen especialmente importante son:

- Bajo costo con la posibilidad de utilizar varios sensores cubriendo distintas partes de un arroyo (profundidad, turbidez, conductividad y temperatura).
- Medición continua de los parámetros.
- Diseño open source.
- Conocimientos generados en la UNAJ con sinergias entre el ambiente y la ingeniería, incorporando un alto grado de innovación, no solo al prototipo sino a la forma en que se acoplara el mismo a un sistema de información geográfica.



La sonda fue colocada dos veces en dos puntos del arroyo las Conchitas:

En el tramo del arroyo vecino al Vivero Municipal de Berazategui (foto siguiente).



Equipo de la UNAJ, Jorge Osio, Micaela Giulianet y Alejandro Crojethovich, con el Secretario de Ambiente de Berazategui: Andres Piccinini

Sobre un puente en la calle 133A del Municipio de Berasategui.



Aunque los resultados fueron parciales, metodológicamente en la actualidad se tiene un desarrollo de un sistema completo denominado “Sistema Informático para la Calidad del Agua” (de acuerdo con sus siglas y, de ahora en más, SICA).

Los requerimientos del sistema para lograr escalabilidad y eficiencia en el acceso a la información son:

- Elaboración de gráficas de estado actual de los parámetros de interés
- Confección de gráficas de estados históricos, a fin de brindar un índice que dé cuenta del mejoramiento de los planes de contingencias generados
- Realización de reportes sobre la información registrada
- Implementación de alertas y notificaciones del estado de los sensores
- Ejecución de un listado detallado de las ubicaciones donde se encuentra el sistema activo.
- Implementación del sistema completo sobre los servidores de la UNAJ mediante contenedores de software

Las siguientes herramientas fueron seleccionadas para el desarrollo del sistema:

Servicio en Linux (Raspbian), desarrollado en Nodejs:

Se utilizó para poder realizar la lectura y posterior actualización en la base de datos de los valores tomados por la sonda multiparamétrica. El mismo se configuró para ejecutarse en un sistema operativo basado en Linux (Raspbian). La lectura se efectúa sobre un archivo de tipo

planilla de cálculo, en el cual se encuentra almacenada la información que proveen los sensores (salida de la sonda) y dos identificadores (uno para la sonda y el otro para la localización del arroyo en cuestión).

En la figura 3, observamos una situación ejemplo en donde tenemos tres arroyos identificados en los cuales la cantidad de sondas que posee cada uno varía, estas localizaciones escriben en archivo compartido con el servicio NodeJs, y este último se encarga de actualizar la base de datos y a su vez generar un registro de la información actualizada tal como se describió.



Figura 3. Esquema servicio desarrollado en Nodejs. Fuente: Cabado et al (2020).

Aplicativo móvil y desktop:

Su función es dar accesibilidad y disponibilidad al usuario de los datos que otorga cada sonda, con el fin de llevar a cabo un monitoreo y seguimiento de la calidad del agua en los arroyos. Se define como una aplicación multiplataforma que se encuentra desarrollada en Ionic con Angular (front-end), Spring Boot (back-end) y MongoDB como base de datos.

Básicamente, el funcionamiento se basa en un aplicativo multiplataforma el cual realiza peticiones a una Api Rest (Spring Boot [1]) la cual se comunica con la base de datos MongoDB y proporciona los datos consultados. En la figura 4 se muestra el esquema de este desarrollo.



Figura 4. Esquema de aplicación multiplataforma. Fuente: Cabado et al. (2020)

ANÁLISIS DE LA RESILIENCIA HÍDRICA DE LA CUENCA

El Índice de Resiliencia Espacial para medir la resiliencia de la Cuenca del Arroyo “Las Conchitas” se realizó a partir del índice de resiliencia espacial (SRI) desarrollado por Rescia y Ortega (2018), adaptando el mismo al sistema socioecológico de estudio.

El Índice de Rescia y Ortega (2018) asume que la resiliencia espacial depende de las formas, disposición espacial de las coberturas, diversidad y abundancia de los usos de suelo. Este índice está compuesto por métricas a nivel clase y paisaje, donde se suman aquellas que favorecen la resiliencia espacial y se restan aquellas consideradas como perjudiciales para la misma. Cada métrica es normalizada con mínimo-máximo para mantener las magnitudes entre las mismas.

Para adaptar el índice fue necesario modificar las métricas del paisaje a nivel clase (usos de suelo). La selección de las variables supresoras y promotoras en la resiliencia de los servicios ecosistémicos de la cuenca, se realizó a partir de la información de trabajos previos sobre la calidad de agua superficial del arroyo “Las Conchitas”. La escala para cuantificar el índice fue la localidad.

Cuantificación del patrón espacial

Para cuantificar la configuración espacial y la extensión de las áreas de cada uso de suelo a partir de las imágenes ráster, necesarias para la formulación del índice, se utilizó el programa Fragstats. Este programa procesa los datos en los niveles parche, clase y paisaje.

Para cada localidad se seleccionaron puntos de muestreo al azar por cada métrica, equivalentes en su conjunto al 10% de la superficie total de cada localidad. Las muestras tuvieron una extensión de 200 metros por lado.

Con los resultados de las actividades anteriores se construyó un modelo teórico de la cuenca como sistema complejo.

RESULTADOS

LOS LÍMITES DEL SISTEMA COMPLEJO CUENCA DEL ARROYO LAS CONCHITAS

Con anterioridad se contaba con un recorte de los límites del sistema complejo realizado por Clarisa (2020). Utilizando coberturas ya existentes, procesándolas con el software QGIS.

3.4. La multiescalaridad proporciona una perspectiva para analizar los eventos y procesos que tienen lugar en el territorio. Para dicho análisis, se delimitaron las áreas que se encuentran a 100, 500 y 1000 metros de distancia al cauce del arroyo. Como ejemplo se muestra la

distribución de los diferentes usos del suelo de la cuenca, tanto a nivel de toda la cuenca como los usos existentes a 100 metros del cauce del arroyo.

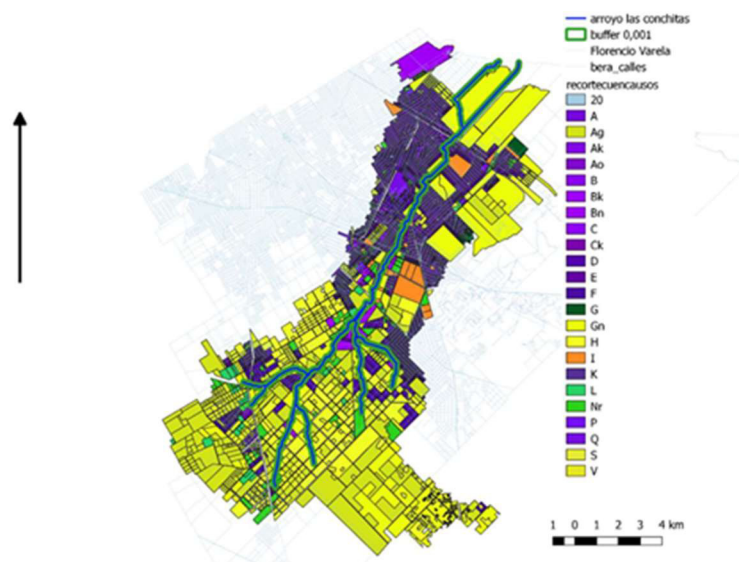


Figura 5. Usos del suelo y área de 100 m en la cuenca “las Conchitas”, las referencias de los usos del suelo se pueden ver en la tabla Nº 5. Referencias: P: Conjunto de viviendas. Vm: Asentamientos precarios y villas miseria. F: Residencial jardín Barrio parque. G: Clubes de campo y barrios privados. E: Manzanas y fracciones baldías. 20: Plazas y espacios verdes públicos. L: Espacio rural. I: Establecimientos industriales y grandes galpones. Nr: Espacio rural. Ak: zona residencial y galpones intensidad de ocupación media. Bk: zona residencial y galpones intensidad de ocupación media. Ck: zona residencial y galpones intensidad de ocupación media baja. Dk: zona residencial y galpones intensidad de ocupación media baja. Q: Grandes equipamientos sanitarios militares educativos cementerios. Ph: viviendas. Av: Avicultura y granja. V: Flori horticultura en invernáculo. H: Flori horticultura a campo comprende parcelas hortícolas en desuso. Ex-H: Flori horticultura a campo comprende parcelas hortícolas en desuso. S: Forestación dominante natural e inducida. Ag: Agricultura extensiva dominante. Ag: Agricultura extensiva dominante. Gn: Ganadería o sin uso aparente dominante. Bn: Bañado o terreno anegadizo. K: zona residencial. Fuente: Canepa. (2020)

En cada una de ellas se realizó el cálculo de la superficie ocupada por cada uso del suelo de acuerdo con la clasificación de los mismos que se presenta más adelante. Con esas áreas se evaluó la influencia de la variación de los usos del suelo con respecto a la distancia al cauce del arroyo tiene sobre la calidad del agua. Con el sistema de información geográfica (Qgis) se realizó el cálculo de los km2 que abarca cada uso del suelo, así se pudo saber la extensión de los diferentes usos que predominan en cada sitio donde están ubicadas las estaciones de muestreo.

En la siguiente tabla se pueden ver la media y varianza de los usos del suelo a las tres escalas de análisis

			área	100 m	área	500 m	área	1000 m
			Media	Varianza	Media	Varianza	Media	Varianza
intensidad media	de	ocupación	0,61	1,72	4,61	17,87	6,60	41,58
intensidad media baja	de	ocupación	4,05	28,70	4,94	12,38	5,62	19,48
intensidad muy baja	de	ocupación	4,81	25,56	4,29	4,80	5,60	5,05
Conjunto de viviendas			0,00	0,00	1,16	2,55	1,51	4,04
Residencial parque	jardín	Barrio	2,25	8,94	8,52	64,98	11,23	112,46
zona residencial			0,03	0,01	5,74	66,87	3,39	18,61
intensidad baja	de	ocupación	6,28	51,08	4,42	14,98	6,11	25,94
Agricultura dominante		extensiva	19,61	337,76	14,41	132,60	13,30	70,38
Espacio rural			6,26	33,88	6,97	45,37	6,38	49,59
Ganadería aparente	o sin uso	dominante	19,10	446,09	14,91	63,10	11,13	30,80
Bañado	o terreno anegadizo		11,81	422,18	6,45	118,98	3,96	44,64
Flori horticultura comprende	a a campo	parcelas hortícolas en desuso	3,59	64,22	6,44	101,95	7,87	152,94
Flori horticultura invernáculo	en		0,27	0,37	0,92	1,24	1,99	3,15
Floricultura promedio			1,93	18,60	3,68	30,64	4,93	45,97
Forestacion natural e inducida		dominante	0,79	3,15	0,50	0,75	0,29	0,22
Grandes sanitarios educativos	equipamientos militares	cementerios	0,00	0,00	0,40	0,17	2,08	12,80
Manzanas baldías	y fracciones		5,71	106,82	6,36	39,23	4,43	8,39

Plazas y espacios verdes públicos	0,00	0,00	0,09	0,02	0,11	0,02
zona residencial y galpones intensidad de ocupación media	2,25	25,40	0,74	2,69	0,93	0,98
zona residencial y galpones intensidad de ocupación media baja	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,32

Fuente: Canepa (2020).

Posteriormente Gomez (2023) realizó un nuevo análisis de usos del suelo que permitió mejorar el recorte del sistema complejo de la cuenca.

La clasificación de usos de suelo fue ad hoc y realizada en base a el mapa obtenido de la tesis de grado de Cánepa (2020). La selección de zonificación se definió bajo algunos condicionantes: el primero de ellos fue que el trabajo se realizó enteramente en gabinete, por lo que no se pudo constatar la amplitud de usos de suelo² referenciados en el estudio de Canepa (2020). Por otro lado, para lograr una mayor exactitud en los datos arrojados por el Sistema de Información Geográfica utilizado (Qgis), fue preciso disponer de firmas espectrales³ claras y fácilmente diferenciadas. Finalmente, a los fines del objetivo de este trabajo, se consideró apta la clasificación en dos grandes dimensiones que fueron rural y urbana, siendo que estas, considerando los estudios previos, repercuten de forma diferenciada en la calidad de la cuenca y, por tanto, en la resiliencia espacial resultado de interacción de dichos usos. Dentro de estas grandes categorías se discriminaron subcategorías a partir de la imagen satelital sentinel 2B y corroboradas en Google Maps y Street View.

A partir de los usos de suelo seleccionados en el apartado anterior se procedió al procesamiento de las bandas superpuestas nro. 4, 11 y 12 de la imagen ráster en el complemento SCP (Semi- Automatic Classification Plugin) de Qgis versión 3.10.9. En este se seleccionaron 10 áreas de muestreo por cobertura mediante polígonos trazados sobre áreas

² Conjunto de viviendas. Asentamientos precarios y villas miseria. Residencial jardín Barrio parque. Clubes de campo y barrios privados. Manzanas y fracciones baldías. Plazas y espacios verdes públicos. Espacio rural. Establecimientos industriales y grandes galpones. Espacio rural. zona residencial y galpones intensidad de ocupación media. Zona residencial y galpones intensidad de ocupación media. Zona residencial y galpones intensidad de ocupación media baja. Dk: zona residencial y galpones intensidad de ocupación media baja. Grandes equipamientos sanitarios militares educativos cementerios. Viviendas. Av: Avicultura y granja. Flori horticultura en invernáculo. Flori horticultura a campo comprende parcelas hortícolas en desuso. Flori horticultura a campo comprende parcelas hortícolas en desuso. Forestación dominante natural e inducida. Agricultura extensiva dominante. Agricultura extensiva dominante. Ganadería o sin uso aparente dominante. Bañado o terreno anegadizo. Zona residencial.

³ Las firmas espectrales muestran el perfil específico de radiancia emitida por diferentes elementos situados en la superficie de la Tierra. Cada elemento interactúa con la radiación de manera diferente, absorbiendo en algunas longitudes de onda y reflejando otras, lo que nos permite diferenciar diferentes superficies.

homogéneas que se superponen a píxeles pertenecientes a la misma clase de la cobertura del suelo. Una vez creadas las áreas de interés y las firmas espectrales, el complemento clasifica el total de la imagen para que se corresponda con las coberturas del suelo previamente definidas. De esta forma se obtuvo el mapa (Figura 6) de los usos de suelo actualizado de la Cuenca del arroyo “Las Conchitas” que se muestra a continuación.



Figura 6. Uso de suelo de la Cuenca del Arroyo “Las Conchitas” mediante clasificación supervisada para el año 2020. Fuente: Gomez (2023)

Como se puede observar, existe un predominio de uso rural (tonalidades verdes) en la cuenca alta y se modifica el paisaje hacia la cuenca media y baja a uso predominantemente urbano (tonalidades violetas). Si comparamos la imagen obtenida mediante la clasificación supervisada con una imagen satelital de la cuenca, expuesta en la figura 7 (área urbana tonalidad gris y área rural en verdes), se puede diagnosticar que la clasificación fue exitosa en reconocer las grandes dimensiones (rural y urbana)

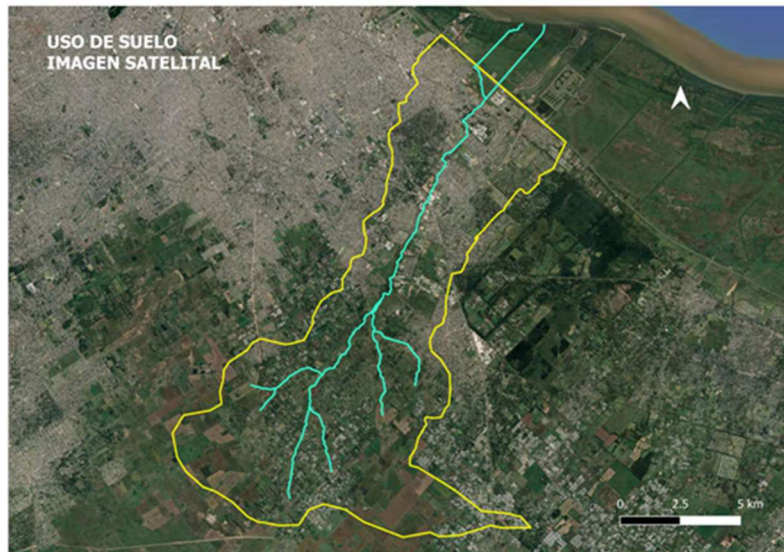


Figura 7. Imagen satelital de la cuenca del arroyo “Las Conchitas”. Fuente: Google earth. Fuente: Gomez (2023)

ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES DE CONTORNO

Caracterización social. Primeros resultados obtenidos.

Según la información obtenida hasta el momento, el arroyo Las Conchitas, que recorre los partidos de Florencio Varela y Berazategui, no siempre tuvo el aspecto de una “cloaca a cielo abierto”-como lo describen las personas que se acercan por primera vez a observarlo.

Existen relatos y documentos fotográficos que muestran que hace medio siglo atrás la gente usaba sus orillas como espacio de recreación. En las imágenes pueden observarse familias que utilizaban sus orillas como lugar para el esparcimiento, algunas sentadas en sus bordes comiendo sobre manteles, otras andando en botes, pescando o refrescándose en las aguas del propio arroyo.

En definitiva, tanto el arroyo como sus alrededores, llenos de vegetación, eran utilizados por la comunidad que vivía en las cercanías e incluso algunas personas que llegaban de otros lugares, de un modo que en la actualidad sería impensable debido a la contaminación de la zona y en especial del propio arroyo. “En los años 50 en plátanos había balneario”, “yo recuerdo andar en bote con mi papá. Se hacían los picnic de la primavera” (entrevista a miembros del Foro Regional en Defensa del Río de la Plata, de la salud y el medio ambiente, Berazategui). “En la zona de la carolina la gente iba porque era agua natural, iban a pescar, después la cosa cambió” (entrevista a productor de la zona 1, Florencio Varela). En cambio, “Hoy el arroyo va cambiando de color dependiendo qué contaminante prima del desagote de los frigoríficos, de la Coca Cola...” (Entrevista a miembros del Foro Regional en Defensa del Río de la Plata, de la salud y el medio ambiente, Berazategui)

Hay **dos factores** fundamentales que hicieron que este territorio ya no sea un lugar apto para la recreación y, en su mayor parte tampoco para su utilización como hábitat menos para el consumo del agua. El primero de esos factores podríamos resumirlo en la instalación de emprendimientos productivos agrarios y de diversas industrias en los alrededores del arroyo. El primer grupo de industrias -como Sniafa y Coca Cola- se instaló en la zona alrededor de los años cincuenta. Y el último gran grupo de industrias se instaló en la zona hace menos de dos décadas.

A lo largo de la cuenca existen productores agrarios e industrias de todo tipo. Entre los productores, se encuentran aquellos que tienen producción agroecológica (sin agrotóxicos) y otros que no. Respecto al segundo tipo de productores, los que fumigan con agrotóxicos, su forma de producir se explica tanto por una cuestión cultural -es decir, porque se hace costumbre producir de una manera y modificarla siempre lleva inversión de tiempo y trabajo

-pero, además, porque la lógica de producción que se impone en el mundo hace que lo que rija a la hora de definir cómo producir sea la de la rentabilidad.⁴ Los que eligen seguir esta forma de producción, siempre aclaran que tienen miedo de quedarse afuera del mercado. La calidad del agua superficial en el tramo superior de la cuenca Conchitas-Plátanos respondería a la actividad rural intensiva dominante en este sector.

Dentro de las industrias propiamente dichas, existen diversas escalas: desde Pymes pequeñas y medianas (algunas de las cuales fueron compradas o se asociaron a grandes empresas internacionales, como es el caso de “Metalúrgica Calviño”) o directamente grandes empresas como es el caso de Coca Cola.

Y dentro de los rubros se encuentran las empresas que producen alimentos, las que producen gaseosas, las que producen acero o perfiles de aluminio, las químicas, las que producen fertilizantes, las curtiembres, las refinadoras de aceite vegetal, las que hacen tratamiento de residuos y especialmente reciclan baterías.

Varias de estas empresas, que se encuentran en el territorio, fueron denunciadas por contaminación ambiental, sea por arrojar sus desechos tóxicos en las cercanías del arroyo Las Conchitas o, directamente, por verter sus efluentes sin tratamiento en las propias aguas del arroyo.⁵ Uno de los casos más difundidos fue el de la empresa fundidora de plomo Industrial Varela, declarada responsable de daño ambiental, a partir del imparable reclamo vecinal del barrio “La Rotonda”, iniciado en 2016, que incluyó una demanda colectiva. Sin embargo, este

⁴ La calidad del agua superficial en el tramo superior de la cuenca Conchitas-Plátanos respondería a la actividad rural intensiva dominante en este sector (Salvioli, Colli, Cipponeri y Calvo, 2012)

⁵ Para más información sobre las denuncias, véase: 1. Infosur, 2021, extraído de <https://infosurdiario.com.ar/tremendo-dano-ambiental-una-cloaca-a-cielo-abierto-desde-la-carcel-de-varela-al-arroyo-las-conchitas/>; 2. Infobae, 2022, extraído de: <https://www.infobae.com/sociedad/2022/05/27/tres-decadas-de-contaminacion-y-una-batalla-judicial-el-barrio-obrero-de-florencio-varela-que-vive-envenenado/>; 3. tiempo argentino, 2022, extraído de <https://www.tiempoar.com.ar/informacion-general/la-lucha-del-barrio-la-rotonda-contra-una-industria-que-lo-envenena-con-plomo/>; 4. UNLP 2022 extraído de <https://investiga.unlp.edu.ar/cienciaenaccion/contaminacion-con-el-patrocinio-de-la-unlp-vecinos-de-florencio-varela-obtienen-fallo-contra-empresa-fundidora-de-plomo-21454>

proceso llevó mucho tiempo. Ya en 2006, el Barrio La Rotonda había sido declarado “bajo Crisis Ambiental” y 9 años antes “en Emergencia Sanitaria”. Los estudios realizados por investigadores de la Universidad de La Plata mostraron que los habitantes del barrio tenían niveles elevados de plomo en sangre. Sumado esto a la evidencia de problemas neurológicos y de crecimiento, así como la falta de concentración y dificultad en el aprendizaje que experimentaban los niños y niñas en edad escolar (“Contaminación: con el patrocinio de la UNLP...” 2022-06-03)⁶, todo ello demostraba que los habitantes de La Rotonda tenían plumbemia, es decir, una acumulación de estos niveles altos de plomo en sangre durante un tiempo. Por eso los estudios se hicieron más de una vez.

Otro de los casos es el de la Curtiembre Hispano Argentina -ubicada en la zona 5 que seleccionamos para nuestro trabajo de campo. En abril de 2022, esta empresa recibió una multa, bajo una resolución del ADA, por el vuelco de efluentes que contaminan las aguas⁷ (Resol-2022-463-GDEBA-ADA). Durante el trabajo de campo nos cuentan que “algunos vecinos se fueron, otros vecinos murieron por el asunto de que tenían cromo y plomo en sangre. Nacieron algunos chicos afectados, hay gente que ya fallecieron por el asunto de la contaminación. Nosotros los que estamos hoy estamos olvidados, con el municipio. Cuando vinieron a sacar muestra del arroyo, acá están los caños que Tiran de la curtiembre, cada vez que viene alguien a fijarse o mirar por nosotros ellos no Tiran nada en el arroyo”. (Entrevistada del Barrio San Rudecindo, del comedor Los olvidados, zona 5). Esta misma entrevistada nos cuenta que ellos saben que Tienen sus cuerpos contaminados porque fueron hacerse estudios al hospital Garrahan.

Pero no sólo las industrias fueron denunciadas por contaminación. En la naciente del Arroyo, en la zona de La Capilla, el Complejo Penitenciario de Florencio Varela (zona 1), que incluye 6 cárceles superpobladas,⁸ vierte sus desechos cloacales sin tratamiento en las aguas del arroyo, como informan varias fuentes periodísticas y como pudimos observar en nuestro trabajo de campo. Pero, además, así lo confirman los entrevistados: “está archi recontra contaminado. Si se hace el seguimiento de donde nace viene de la cárcel y es un olor a baño impresionante. Ellos van tirando agua pero no debe ser lo suficiente para el tratamiento necesario allá. Y acá ponele que corre, y en el cruce de calles ahí es donde se estanca y se siente un olor fuerte, cuando hay humedad. Que está contaminado no cabe duda. A veces tenés que arreglar el alambre y vas con las botas y te queda un olor a podrido impresionante” (Productor entrevistado de la zona 1). La gente de la capilla ya no usa el agua del arroyo. Así nos lo confirmó una médica de la salita: “tenés que estar loco para ir a tomar agua del arroyo porque se lo ve contaminado”, “Pero acá no se hicieron estudios ni prevención”, “tampoco hay control del pozo que hace la gente” y “al no haber una red de agua, la persona que hace el pozo debería ser especializada, o al menos hacer un registro y analizar si el agua es potable”. La médica entrevistada nos comenta que no se han hecho análisis de sangre y orina para saber si hay contaminación, aunque deberían hacerse. “lo que a nosotros nos preocupa es la

⁶ Extraído de <https://investiga.unlp.edu.ar/cienciaenaccion/contaminacion-con-el-patrocinio-de-la-unlp-vecinos-de-florencio-varela-obTienen-fallo-contra-empresa-fundidora-de-plomo-21454>

⁷ Expte. N° 2436 29829 2018 0 1 (Multa empresa SA LA HISPANO ARGENTINA CURTIEMBRE Y CHAROLERIA

⁸ Extraído de https://www.gba.gob.ar/derechoshumanos/noTlicias/derechos_humanos_parTlicip%C3%B3_en_la_mesa_d_e_di%C3%A1logo_en_la_unidad_penal_23_de

población. Qué cantidad de gente está contaminada”. “Pero basta con pasar por el arroyo para saber que éste está ultracontaminado” (entrevistada zona 1, La Capilla).

El segundo factor, es el crecimiento poblacional en los terrenos lindantes al arroyo. Dependiendo de la zona, una parte de este crecimiento se debió a la migración poblacional generada fuertemente en las últimas décadas. En muchos casos, esta migración fue causada por el aumento en el precio de los alquileres de las zonas donde esta población vivía previamente, otros en búsqueda de trabajo.

Según las entrevistas, podemos advertir que, en varias de las zonas seleccionadas, no existe la red cloacal, y en ciertos casos ni siquiera una recolección de basura: “la gente hace lo que puede con la basura, algunos la queman y otros la tiran en bolsas. Luego vienen los perros, las rompen y terminan en el arroyo” (entrevista realizada a un vecino que vive sobre el arroyo en la zona 4). En conclusión, mucha de la basura termina en el arroyo junto con desechos cloacales.

Por lo tanto, cuando llueve fuerte, el arroyo se desborda y el agua contaminada ingresa directamente a los hogares, que en su mayoría la mayoría son de construcciones precarias, “arruinando lo poco que tenemos”. “El agua el otro día, nos llegó hasta las rodillas” (entrevista realizada a un vecino que vive sobre el arroyo en la zona 4). Además, según nos comenta el director de la Escuela N°17, “cuando hay inundaciones, la mitad de los chicos, no llega a la escuela” (entrevista realizada en la zona 4).

Sumada a esto, la gente que puede (haciendo un gran esfuerzo) compra el agua porque desconían de lo que puedan estar bebiendo. Prueba de este hecho es el aumento en la cantidad de empresas que venden agua “potabilizada” (o sea, no mineral) en la zona, un costo adicional en la vida de trabajadores que no llegan a fin de mes, según nos comenta uno de los entrevistados.

Barrio San Rudecindo (Fotos: Laura Álvarez):



Barrio La Caolina (Fotos: Laura Álvarez):



Comunidad Varani Warisata (Fotos Laura Álvarez):



Sondas, inteligencia artificial y búsqueda de variables que den cuenta del estado del sistema (patrones).

Como parte de las investigaciones se está comenzando a evaluar la utilidad de usar un enfoque de Inteligencia Artificial para entrenar modelos que mediante el procesamiento de los datos permitan definir acciones que favorezcan la toma de decisiones (Aguilar Aguilar y Obando – Díaz 2020).

Como se mencionó anteriormente en la UNAJ se ha desarrollado una sonda multiparamétrica que permite medir en forma constante algunos parámetros de calidad del agua: profundidad, turbidez, conductividad y temperatura (Osio et al 2019). Las características que lo hacen especialmente importante son: el bajo costo con la posibilidad de utilizar varios sensores cubriendo distintas partes de una cuenca, la medición continua de parámetros y un diseño open source que posibilita la mejora continua provista por la comunidad de desarrolladores. Además, se puede aplicar a la cuenca del arroyo las Conchitas donde el equipo que integra el proyecto que da pie a esta beca, viene trabajando.

Utilizando la información proveniente de cada sensor y complementándolo con información de usos del suelo y socioeconómica es posible generar un amplio dataset enriquecido por la variedad de datos que mediante técnicas de machine learning permita entrenar algoritmos de aprendizaje automático (redes neuronales, árboles de decisión, etc.), para identificar patrones automáticamente, detectar anomalías en los datos que generan los sensores,

analizar posibles correlaciones, analizar datos cambiantes e incluso factores externos. Y con eso desarrollar un modelo predictivo para la gestión de la contaminación que pueda aplicarse a cuencas hídricas. Por ejemplo, identificando automáticamente niveles de contaminación en una cuenca, el modelo puede tomar decisiones de cómo actuar en tiempo real, con el consecuente ahorro de tiempo y recursos.

Se ha desarrollado un algoritmo (Figura 8) de aprendizaje automático (machine learning) utilizando el programa Orange V.3.34 (Demsar et al. 2013):

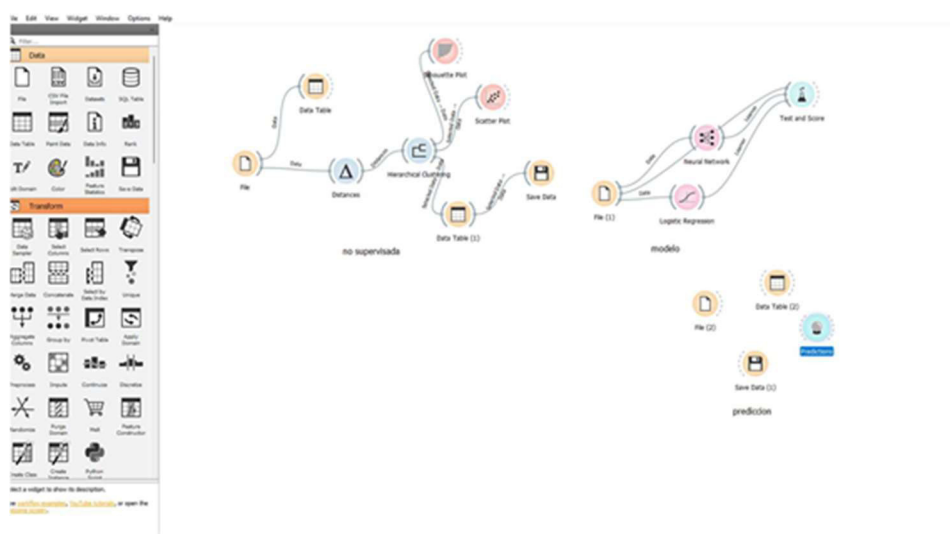


Figura 8. Algoritmo de machine learning desarrollado en entorno del programa Orange. El mismo permite tomando datos de las sondas hacer una serie de análisis:

Agrupación jerárquica. Un método de clasificación no supervisado que agrupa elementos mediante un algoritmo de agrupamiento jerárquico. Calcula la agrupación jerárquica de tipos arbitrarios de objetos a partir de una matriz de distancias y muestra el dendrograma correspondiente.

También permite construir un modelo supervisado, por ejemplo utilizando redes neuronales y/o regresiones. Aunque estos modelos no se han podido entrenar por lo que se menciona a continuación.

Se han colocado dos sondas por el proyecto. La primera en un puente que cruza el arroyo las Conchitas. La misma fue vandalizada y no se pudo recuperar.

La segunda fue colocada en el arroyo en cercanías del vivero municipal de Berazategui. Durante los días que estuvo colocada fuertes lluvias hicieron subir el caudal del arroyo y la sonda llegó a medir desde el 18/10/2023 13:23:43 hs hasta el 24/10/2023 04:07:03 hs aunque el sensor de turbidez quedó inactivo antes debido a que se ensucio con barro.

Durante ese periodo los datos obtenidos se muestran en la figura 9:

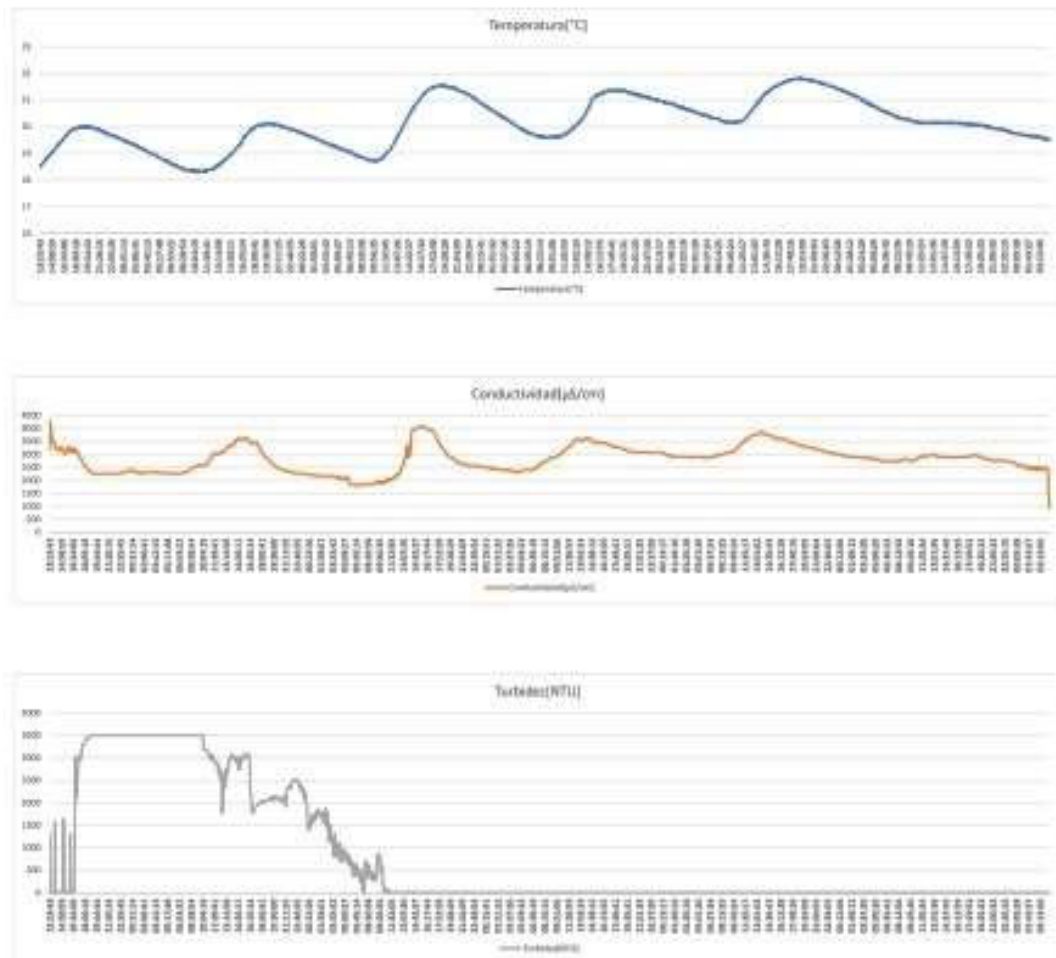


Figura 9. Resultados de las mediciones con la sonda.

El dendograma (figura 10) correspondiente utilizando una agrupación jerárquica basada en las distancias entre los casos (mediciones individuales) y las variables conductividad y turbidez permitió identificar una serie de grupos.

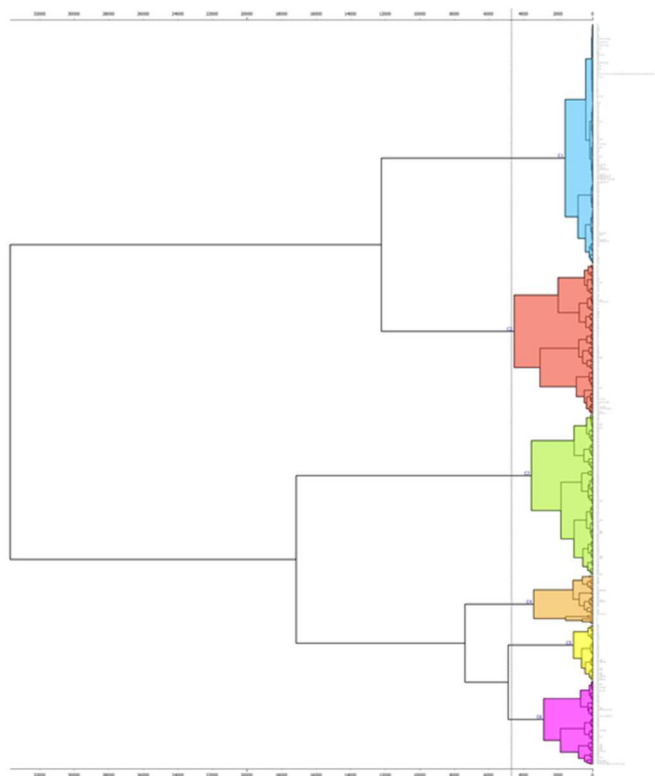


Figura 10. Dendrograma de los datos de la sonda.

posteriormente utilizando la función scatter plot los datos del dendrograma permitieron encontrar algunos grupos entre las variables (en los ejes x e y se encuentran las variables conductividad y turbidez, los puntos son las mediciones individuales) (Figura 11). Los grupos se separan identificados por colores).

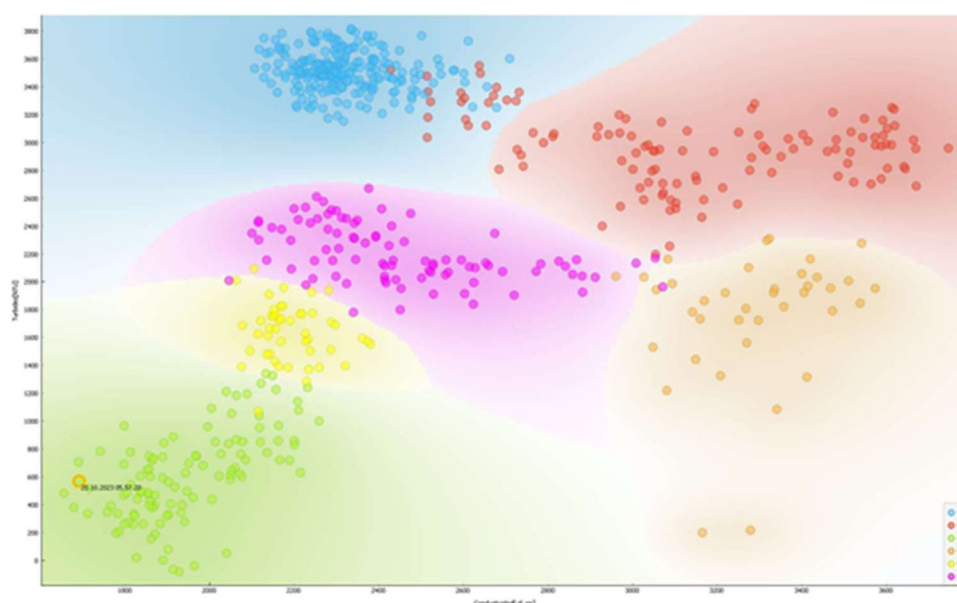


Figura 11. Zonas diferenciales de patrones de conductividad y turbidez.

La cantidad de datos utilizados ha sido baja debido a lo comentado anteriormente, pero del análisis efectuado se estima que la técnica puede permitir encontrar comportamientos diferentes a distintas horas del día. Utilizando más de una sonda se estima que se podría analizar el efecto de la espacialidad, en distintos tramos de la cuenca. Y con un mayor número de datos poder entrenar un modelo que permita tomar decisiones para la gestión.

LOS ELEMENTOS Y LA ESTRUCTURA DEL MODELO: RELACIÓN ENTRE USOS DEL SUELO Y LA CALIDAD DEL AGUA.

Para investigar acerca de los sistemas hídricos, su estructura y límites, en anteriores trabajos del equipo del Programa de estudios en Ambiente y Territorio se evaluó la relación entre los usos del suelo y la calidad del agua del arroyo Las Conchitas. Canepa et al. (2020) realizó muestreos de la calidad del agua en el arroyo (oxígeno disuelto (Od, conductividad, demanda química de oxígeno (DQO), pH y temperatura, en 5 estaciones de muestreo de agua superficial, sobre el cauce del arroyo Las Conchitas.

En la siguiente tabla se detallan la media y la varianza de las muestras con el objetivo de evaluar la variabilidad de los datos. Como se puede ver la media del pH se mantiene estable dentro del rango de 7 y una varianza baja, esto indica que los valores están por lo general más próximos a la media, en el caso del resto de los parámetros este número aumenta, los datos están más dispersos.

	Estación C 20	Estación C421	Estación C11	Estación C13	Estación C15
PH	Media: 7,61 Varianza:0,0	Media: 7,68 Varianza:0,0	Media: 7,85 Varianza:0,1	Media: 7,75 Varianza:0,0	Media:7,77 Varianza:0,0
Conductividad	Media: 9,22	Media: 1,06	Media: 705,5 Varianza:487 9,66	Media: 2121 Varianza:10 27	Media: 1,22
Oxígeno Disuelto	Media: 7,25	Media: 7,67 Varianza:52,	Media: 6,78 Varianza:2,6	Media: 9,07 Varianza:47, 9	Media: 7,94 Varianza:52,
DQO	Media: 76,92 Varianza:219 15	Media: Varianza:229 0,36	Media: 45,18 Varianza:336 69	Media: Varianza:29 ,90	Media: Varianza:26 42

Fuente: Canepa et al. (2020)

Como resultados de esa investigación se puede concluir que:

- la calidad del agua está relacionada con los usos del suelo y que la relación depende de la distancia al arroyo.
- La conductividad esta inversamente relacionada con la variación del uso del suelo residencial urbano que se encuentra hasta 100 m. del cauce del arroyo ($r = -0,95$).
- El pH está positivamente relacionado con los establecimientos industriales que se encuentran hasta 500 m. de distancia ($r = 0,89$).
- No se encontró relación entre calidad del agua y usos del suelo a una distancia de 1000 m. del cauce.

El análisis de correlaciones de los usos del suelo hasta 100 metros del cauce del arroyo muestra que:

- Los usos del suelo Residencial Jardín Barrio parque, zona residencial, Flori horticultura a campo, Flori horticultura en invernáculo, Floricultura promedio, están correlacionados con la conductividad.

El análisis de correlaciones de los usos del suelo hasta 500 metros del cauce del arroyo muestra que:

- La variación del uso Flori horticultura a campo, Flori horticultura en invernáculo y floricultura promedio están relacionadas con el oxígeno disuelto. Esto puede deberse a que las áreas agrícolas se ven expuestas a compuestos orgánicos como resultado de la utilización de agroquímicos en la producción agroalimentaria.
- En el caso de Intensidad de ocupación baja y zona residencial están vinculados con el DQO. Se sabe que la demanda química de oxígeno está relacionado a desagües cloacales con altas cargas de materia orgánica. Esto puede explicar la relación entre las zonas donde predomina el uso del suelo urbano y esta variable ambiental.

El análisis de correlaciones de los usos del suelo hasta 1000 metros del cauce del arroyo muestra que:

- El grupo de Flori horticultura a campo, Flori horticultura en invernáculo y floricultura se vio relacionado con las variables ambientales PH y conductividad en estos casos es común conocer que la calidad del agua se vea afectada por prácticas agrícolas inadecuadas.
- Por otro lado, los usos Agricultura extensiva dominante y Grandes equipamientos sanitarios militares educativos cementerios están correlacionados con el DQO.

Efecto de la temporalidad:

- Para todas las variables ambientales existe un efecto de la temporalidad en relación con los usos del suelo

LOS ELEMENTOS Y LA ESTRUCTURA DEL MODELO: EL ANÁLISIS DE RESILIENCIA DE LA CUENCA

Adaptación del índice de resiliencia espacial y selección de métricas.

Como se mencionó en la metodología, el SRI elaborado por Rescia y Ortega (2018) está compuesto por métricas a nivel clase y paisaje. Se entiende por clase a áreas relativamente homogéneas y por paisaje al conjunto de elementos que lo componen (clases) y sus interacciones espaciales.

Este Índice suma aquellas métricas que favorecen la resiliencia espacial y se restan aquellas consideradas como perjudiciales para la misma. A su vez, cada métrica es normalizada con min/máx. para mantener las magnitudes, quedando bajo la siguiente ecuación:

$$\text{SRI} = 10 * ((\text{SA}/\text{Max}(\text{SA})) + (\text{LDI}/\text{Max}(\text{LDI})) + (\text{ENN}/\text{Max}(\text{ENN})) + (\text{LSI}/\text{Max}(\text{LSI})) + (\text{PD}/\text{Max}(\text{PD})) - (\text{OGA}/\text{Max}(\text{OGA})) - (\text{MPS}/\text{Max}(\text{MPS})))$$

Donde SA es zona de monte bajo, LDI es el índice de diversidad paisajística, ENN es la distancia euclidiana vecina más cercana entre olivares, LSI es el índice de forma del paisaje, PD es la densidad de parches, OGA es el área de olivar y MPS es el tamaño medio del parche. SA, ENN y OGA corresponden a escala clase; LDI, PD y MPS, LSI a escala paisaje.

Para adaptar el índice al sistema socio ecológico de la Cuenca del Arroyo “Las Conchitas” fue necesario modificar las métricas correspondientes a las coberturas de suelo (escala clase). El resto de las métricas se conservaron, aplicando las relaciones causales del índice original al área de estudio.

Para la selección de las variables de uso de suelo supresoras o promotoras para la resiliencia espacial de la cuenca se utilizaron los trabajos previos que analizaron la calidad de agua superficial del arroyo “Las Conchitas” y su conexión con los usos de suelo. Esta información sirvió de base para relacionar: los servicios ecosistémicos que provee la cuenca, las perturbaciones que generan los usos que se emplazan en ella y en qué sectores se encuentran. Para la clasificación de los servicios ecosistémicos se utilizó la taxonomía internacional del milenio (EM, 2005) para la tasación de servicios ecosistémicos, discriminando los servicios sólo aplicables a este socio ecosistema.

Considerando los estudios precedentes y su relación con la degradación del medio y por tanto de los servicios ecosistémicos, tomaremos como supresora de la resiliencia espacial de la

cuenca, la dimensión urbana y las categorías que la componen y como promotora la dimensión rural con las categorías que la componen.

Una vez obtenidas los usos de suelo promotores y supresores de la resiliencia espacial de la cuenca se procede a completar la ecuación del Índice de Resiliencia Espacial (IRE):

$$IRE = 10 * [(((ARu/Max(ARu)) + (ARA/Max(ARA)) + (AB/Max(AB)) + (AP/Max(AP))) + (LDI/Max(LDI)) + (ENN/Max(ENN)) + (LSI/Max(LSI)) + (PD/Max(PD)))] - [((ARs/Max(ARs)) + (AI/Max(AI)) (AV/Max(AV))) - (MPS/Max(MPS))]$$

Se utilizó, al igual que en el RSI de Rescia y Ortega (2018), una normalización mín.-máxima para los datos de los indicadores que componen el índice, lo que ha permitido mantener las diferencias en las magnitudes medidas reales. De esta manera, fue posible interpretar y unificar la escala para todos los indicadores (valores entre 1 y 10; multiplicando por 10 cada variable)

Métricas/descripción

NIVEL CLASE:

ARs (Área de uso residencial): Proporción de la superficie total ocupada por la cobertura del Tipo residencial

AI (Área de uso industrial): Proporción de la superficie total ocupada por la cobertura del Tipo Industrial

AV (Área de uso vial): Proporción de la superficie total ocupada por la cobertura del Tipo vial
AR (Área de uso rural): Proporción de la superficie total ocupada por la cobertura del Tipo rural

ARA (Área de uso rural agrícola) Proporción de la superficie total ocupada por la cobertura agrícola.

AP (Área pasTlzal): Proporción de la superficie total ocupada por la cobertura del Tipo pasTlzal

AB (Área Boscosa): Proporción de la superficie total ocupada por la cobertura del Tipo boscosa.

ENN (Distancia Euclidiana): Distancia en línea recta entre los usos supresores de la resiliencia (residencial, industrial, vial).

ESCALA PAISAJE:

LSI (Índice de Forma del Paisaje): Mide la relación perímetro-área para los parches del paisaje en su conjunto. Aumenta cuando aumenta la longitud del borde dentro del paisaje. Este índice

puede considerarse como un indicador de fragmentación. LSI es 1 cuando los parches se agregan al máximo y va creciendo en valor a medida que aumentan los bordes, es decir, los parches se encuentran más fragmentados.

PD (Densidad de parche): Número de parches por 100 ha. Mide el tamaño de la distribución de los parches de uso de la tierra (disposición espacial). Esta métrica puede considerarse como un indicador de fragmentación. Aumenta a medida que el paisaje se vuelve más irregular. Alcanza su máximo si cada celda es un parche diferente.

MPS (Tamaño medio de parche): Área ocupada por un tipo de parche dividida por el número de parches de ese tipo en el paisaje. Mide el grado de fragmentación o tamaño de los fragmentos del paisaje. Esta métrica se puede considerar como un indicador de un indicador de fragmentación. MPS es 0 si todos los parches son pequeños. Aumenta, sin límite, cuando el tamaño de parche aumenta.

LDI (Índice de diversidad del paisaje): Diversidad de los parches de uso del suelo calculados mediante la fórmula de Shannon. Este índice tiene en cuenta la riqueza (variedad) y la uniformidad (abundancia relativa) de los parches de uso de la tierra. Es independiente a la configuración espacial de los mismos. LDI es 0 cuando solo está presente un tipo de parche y aumenta, sin límite, a medida que aumenta el número de clases mientras las proporciones se distribuyen equitativamente.

Cuantificación del patrón espacial

Para la cuantificación de cada métrica que compone el índice se utilizó el programa Fragstats que calculó la extensión del área y la configuración espacial de las clases dentro del paisaje a partir de las imágenes ráster obtenidas en la clasificación supervisada del apartado 9.1.2. Para cada localidad se seleccionaron puntos de muestreos aleatorios sin superposición de 200 metros de lado, equivalentes al 10% aproximado de la superficie total por localidad.

PARTIDO	LOCALIDAD	SUP. EN CUENCA(M2)	PUNTOS DE MUESTREO	SUP. DE	
				CADA MUESTRA (M2)	SUP. TOTAL DE MUESTREO (M2)
Berazategui	Berazategui	3114400	16	20000	320000
	Villa España	1393100	7	20000	140000
	El Pato	17149000	86	20000	1720000
	Gutiérrez	2333900	12	20000	240000
	Hudson	13064700	66	20000	1320000
	Plátanos	10859100	55	20000	1100000
	Ranelagh	4514400	23	20000	460000
	Sourigues	1228300	6	20000	120000

Presidente Perón	Presidente Perón	6254100	31	20000	620000
	Villa Brown	6049800	30	20000	600000
	Ing. Allan	18731700	96	20000	1920000
Florencio Varela	Villa San Luis	11182400	56	20000	1120000
	Bosques	7979000	40	20000	800000
	La Capilla	27832300	139	20000	2780000
La Plata	Arturo Seguí	4084800	20	20000	400000

Puntos de muestreo por localidad para la cuantificación de métricas. Fuente: Gómez (2023).

El programa arrojó valores para cada métrica seleccionada a escala clase y paisaje por punto muestral, las cuales fueron normalizadas bajo mínimo/máximo para obtener un único resultado por métrica y mantener las magnitudes. A continuación, se expone la tabla resumen con cada valor normalizado por métrica y el resultado del Índice de Resiliencia Espacial obtenido a partir de la ecuación expresada anteriormente a escala localidad.

Tabla 1. Métricas normalizadas y resultado del Índice de Resiliencia Espacial por localidad.

LOCALIDAD		Rural	Rural Agrícola	Pasajero	Bosques	LDI	LSI	ENN	PD	Residencia	Industria	Red Vial	MPS	IRE
PREDOMINIO RURAL	Presidente Perón	0.0270	0.0046	0.0401	0.0243	0.0952	0.4549	0.0000	0.2000	0.0000	0.12	0.1333	0.0954	4.9763
	El Pato	0.032	0.054	0.038	0.058	0.085	0.419	0.552	0.083		0.000	0.037	0.166	
	Villa Brown	6	4	9	8	5	9	1	3	0.0289	0	0	6	10.9315
	La Capilla	0.032	0.008	0.013	0.112	0.295	0.411	0.951	0.153		0.000	0.074	0.118	
	Villa San Luis	9	4	0	5	5	5	3	8	0.0484	0	0	1	17.3847
	Ing. Allan	0.063	0.032		0.020	0.246	0.383	0.259	0.071			0.043	0.106	
	Arturo Segui	8	6	0.024	5	0	5	5	4	0.0147	0	9	0	9.3701
	Ranelagh	0.149	0.023	0.101	0.008	0.063	0.375	0.392	0.071		0.000	0.050	0.215	
	Bosques	6	1	8	6	6	9	2	4	0.0176	0	6	9	9.0224
	Hudson	0.004	0.004	0.005	0.117	0.127	0.347	0.262	0.062			0.011	0.006	
MIXTO	Arturo Segui	9	5	0	6	2	1	7	4	0.0105	0.2	6	8	7.0273
	Ranelagh	0.006	0.028	0.023	0.037	0.303	0.391	0.728	0.250		0.083	0.055	0.007	
	Bosques	1	1	8	0	6	7	4	0	0.5454	3	5	3	10.7723
	Hudson	0.1445	0.0138	0.0621	0.2337	0.1472	0.3690	0.4562	0.0666	0.1086	0.0000	0.0628	0.1612	11.6066
	Arturo Segui	0.027	0.009	0.054	0.071	0.346	0.358	0.707	0.071		0.166	0.025	0.030	
	Bosques	8	0	3	4	7	9	1	4	0.0579	6	6	0	13.6661
	Hudson	0.225	0.045	0.047	0.010	0.217	0.352	0.274	0.076			0.044	0.081	
Arturo Segui	5	4	1	4	3	9	8	9	0.0229	0.25	1	6	8.5196	
		0.100	0.000	0.012	0.000	0.088	0.477	0.821	0.142		0.000	0.009	0.145	

Sourigues	0	0	8	0	6	2	9	8	0.0430	0	0	8	14.4567
	0.038	0.015	0.035	0.037	0.207	0.391	0.202	0.157				0.074	
Plátanos	4	5	5	5	0	6	0	8	0.0442	0.5	0.08	8	3.8656

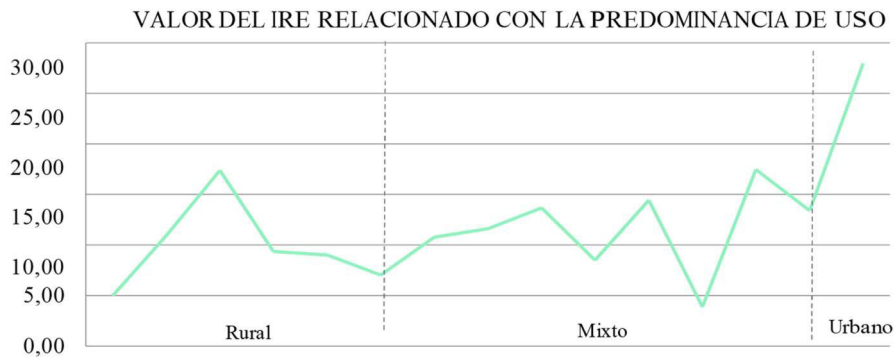


Figura 12. Valor IRE relacionado con la predominancia de uso rural de mayor a menor. Fuente: Gomez (2023).

Considerando que para la selección de métricas en la adaptación del IRE, se tomaron como supresora de la resiliencia espacial de la cuenca, la dimensión urbana y las categorías que la componen y como promotora de la resiliencia espacial a la dimensión rural con las categorías que la componen, se esperaría que las localidades con mayor proporción de uso rural sean las de mayor valor en el IRE y las localidades con predominio de uso urbano las de menor IRE. Ahora bien, como se puede observar en la Ilustración 30, el IRE no expone una relación causal entre el dominio del uso rural y la promoción de la resiliencia espacial. Por el contrario, los datos son muy heterogéneos.

Esto se puede deber a la relación entre la superficie por uso de suelo y las formas de normalización: aquellos usos de suelo que poseen mayor superficie y por tanto mayor número de muestras y amplitud de rango entre los valores, al ser normalizadas en mínimo/máximo, obtienen un valor menor, que aquellas de menor superficie, menor número de muestras y rango de valores entre ellas. Para ejemplificar usaremos un caso con extrema dominancia, como es el caso de la localidad de Villa España. Esta posee el mayor IRE (27.98) y una superficie de 90.2% de uso urbano y 9.8% de uso rural.

Sin embargo, su métrica de área de uso residencial (ARs) es de 0.24 (resultado de la normalización $0.78/3.21$), mientras que el área uso rural (ARu) es de 0.5 (resultado de la normalización $0.12/0.24$). Cabe recordar que las áreas de uso de suelo representan 7/11 métricas que integran el IRE y, por tanto, su influencia es mayoritaria.

El promedio de localidades con predominio de uso urbano fue el que mayor Índice de Resiliencia espacial (IRE) obtuvo, así como también mayor índice de diversidad del paisaje (LDI), mayor índice de forma (LSI), densidad de parche (PD) y distancia euclidiana (ENN) entre sus usos y el menor tamaño medio de parche (MPS).

El promedio de las localidades mixtas se encuentra en un valor intermedio de IRE, índice de diversidad del paisaje, densidad de parche, tamaño medio de parche y distancia euclidiana entre los usos urbanos y posee el menor valor en el índice de forma por escasos decimales.

El promedio de las localidades con predominio de uso rural posee el menor IRE, menor índice de diversidad del paisaje, densidad de parche y distancia euclidiana entre los usos urbanos; posee valor medio en el índice de forma por escasos decimales, y el valor más alto en el tamaño medio de parche.

Podemos concluir entonces, que el IRE fue influenciado por: a) por el tipo y dominancia de uso de uso de suelo, siendo a mayor uso urbano, mayor IRE;

b) por el tipo de normalización

c) por la diversidad del paisaje, a mayor LDI, mayor IRE;

d) y por la fragmentación del paisaje, siendo a mayor distancia entre parches de uso urbano (ENN), mayor IRE; por mayor número de parches (PD), mayor IRE; a mayor tamaño medio de parche (MPS), menor IRE y respecto a la complejidad de las formas de los parches, los valores más altos del LSI fueron coincidentes con los valores más altos de IRE, manteniéndose en valores cercanos entre los IRE medio y bajo.

EL MODELO DE LA CUENCA DEL ARROYO LAS CONCHITAS COMO UN SISTEMA COMPLEJO

Como se mencionó anteriormente el estudio de un sistema complejo lleva a identificar sus componentes: los elementos, los límites, y sus interrelaciones, tanto internas como externas.

En las secciones anteriores se definieron los límites de nuestro sistema en forma tal que reduzca al mínimo posible la arbitrariedad en la partición que se adopte.

Se tomaron en cuenta las interacciones del sistema, así definido, con el "medio externo" o, dicho de otra manera, la influencia de lo que queda "afuera" sobre lo que queda "adentro" del sistema, y recíprocamente.

Como resultado de lo anterior se puede establecer un modelo de la cuenca que da cuenta de los tres subsistemas con los que se está trabajando:

- Los vecinos, la sociedad.
- El ecosistema natural.
- El sector productivo (en este caso en el proyecto no se ha podido avanzar para caracterizarlo).

Estos tres subsistemas estarían sujetos a perturbaciones externas, ej. el cambio climático, y como el sistema es capaz de ser resiliente a las mismas.

Y por fuera de la cuenca se encuentra lo que denominamos condiciones de contorno, que en nuestro caso fueron evaluadas con los usos del suelo, que responden en mayor o menor medida al planeamiento y políticas públicas.

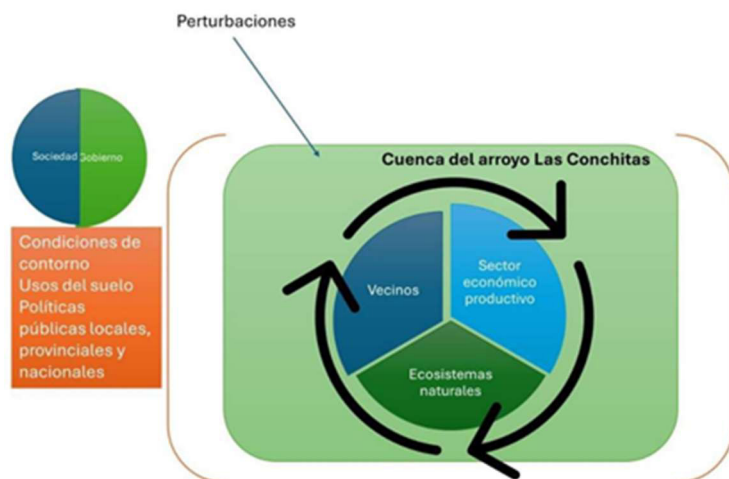


Figura 13. modelo de la cuenca del arroyo Las Conchitas como un sistema complejo

CONCLUSIONES

El crecimiento poblacional y la urbanización son acciones humanas que han modificado significativamente las cuencas, según el Consejo Federal de Inversiones. La urbanización acelerada, impulsada por el aumento de la población mundial en áreas urbanas, ha llevado a la expansión de viviendas en terrenos anegados y zonas inundables.

Además, el desarrollo industrial a menudo no sigue un ordenamiento territorial adecuado, lo que puede afectar la calidad de vida de las personas. Un ejemplo de esto es el crecimiento poblacional en Florencio Varela, donde los asentamientos informales se ubican cerca de establecimientos industriales.

Por otro lado, la cuenca "Las Conchitas" tiene una extensa área periurbana con uso predominante del suelo para la agricultura y ganadería, lo que también impacta en la cuenca, aumentando la carga orgánica en las aguas. Enfrentar los conflictos en una cuenca urbana requiere enfocarse en numerosos factores. Son innumerables los factores en los que hay que focalizar para evitar y enfrentar los conflictos en una cuenca urbana.

Este trabajo propone una herramienta de visión estratégica que facilita la planificación para la sostenibilidad territorial basado en el estudio multidisciplinar de una cuenca y sus condiciones de resiliencia.

En este sentido se ha podido realizar un diagnóstico de la resiliencia espacial de la cuenca del Arroyo "Las Conchitas" y para ello se ha servido del marco conceptual de la ecología del paisaje, del concepto de resiliencia espacial y la herramienta SIG para el reconocimiento geoespacial del territorio estudiado. El IRE es una gran herramienta para la gestión y ordenamiento ambiental del territorio, que permitiría determinar medidas objetivas de planificación y manejo de cuenca. En este sentido, la escala localidad es oportuna ya que acota la diversidad de usos y la planificación territorial a la menor unidad política administrativa, lo que facilita su implementación y replica a escalas mayores.

Queda como desafío, en futuros estudios, ajustar las variables para una mejor representación de la realidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar Aguilar, A. C. & Obando - Díaz, F. F. 2020. Aprendizaje automático para la predicción de calidad de agua potable. *Ingeniare*, 28, 59-74. <https://doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.28.6215>
- AlberTI, M. y Susskind, L. 1996. Managing urban sustainability: an introduction to the special issue. *Environmental Impact Assessment Review* 16(4):213-221.
- Bailey, R.G. 1996. *Ecosystem Geography*, Springer-Verlag.
- Borràs, J., Delegido, J., Pezzola, A., Pereira, M., Morassi, G., Camps-Valls, G (2017). Clasificación de usos del suelo a partir de imágenes Sentinel-2. *Revista de teledetección: Revista de la Asociación Española de Teledetección*, ISSN 1133-0953, Nº. 48, 2017, págs. 55-66.
- Cabado Leonel, Osio Jorge, Lucas Olivera, David Mársico, Cappelletti, Marcelo, Morales D. Martín. 2020. Sistema IoT para el monitoreo y seguimiento de la calidad del agua en arroyos Congreso; 8° Congreso Nacional de Ingeniería en Informática / Sistemas de Información (CoNaISI 2020); 2020. San Francisco, Córdoba
- Cánepa, C. M., Álvarez, L. E. y Crojethovich, A. D. 2020. Una visión ecosistémica de la resiliencia urbana. La relación entre la calidad del agua y usos del suelo en sistemas hídricos. *Revista Tendencias en Docencia e Investigación en Química* 2020. 6(6):141-146.
- Canepa, C. (2020). Análisis multiescalar de la relación entre la calidad del agua y los usos del suelo, en la cuenca del arroyo Las Conchitas, Argentina. Universidad Nacional Arturo Jauretche. Trabajo Final Integrador de la Carrera de Gestión Ambiental, UNAJ.
- Clayton, A.M.H. y Radcliffe, N. J. 1996. *Sustainability: A system approach*. Earthscan, London.

- Crojethovich Martín, A. y Di Pace, M. 2005. Desarrollo urbano sustentable y sustentabilidad. En: María Di Pace y Horacio Caride (Editores): Ecología de la Ciudad, Universidad Nacional de General Sarmiento y Editorial Prometeo, Buenos Aires, pp. 303-
- Crojethovich Martín, A. y Herrero, A. C. 2012. Ambiente y Ecología. En: María Di Pace y Horacio Caride (Directores): Ecología Urbana, Universidad Nacional de General Sarmiento, Los Polvorines. pp. 43-73
- Crojethovich Martín, A. D. 2016. Aspectos ecológicos de la sustentabilidad urbana en la Región Metropolitana de Buenos Aires, Argentina. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid.
- Crojethovich, A. D. y Cánepa, C. 2020. Análisis multiescalar de la calidad de agua y usos del suelo en una cuenca urbana. 2020. En: Libro de Resúmenes del IV Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Ambiental. Compilado por Alejandro D. Crojethovich, Andrea
- María Encina, Ramón Raúl Ríos y Mariano Ezequiel Piroti. 1a ed compendiada. 347 páginas. Sociedad Argentina de Ciencia y Tecnología Ambiental. Libro digital. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. ISBN 978-987-46096-4-9
- Crojethovich Martín, A. D. y Rescia Perazzo, A. J. 2006. Organización y Sostenibilidad en un Sistema Urbano Socio-ecológico y Complejo. Revista Internacional de Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo. Cátedra Unesco de Sostenibilidad, Universidad Politécnica de Cataluña. 1:103-121.
- Demsar J, Curk T, Erjavec A, Gorup C, Hocevar T, Milutinovic M, Mozina M, Polajnar M, Toplak M, Staric A, Stajdohar M, Umek L, Zagar L, Zbontar J, Zitnik M, Zupan B (2013) Orange: Data Mining Toolbox in Python, Journal of Machine Learning Research 14(Aug): 2349–2353.
- Di Pace, M., Crojethovich Martín, A. y Ruggerio, C. A. 2012. Paradigmas ambientales. En: María Di Pace y Horacio Caride (Directores): Ecología Urbana, Universidad Nacional de General Sarmiento, Los Polvorines. pp. 335-367.
- Frissell, C. A., Liss, W., Warren, C. E. y Hurley, M. D. 1986. A hierarchical framework for stream habitat classification: viewing streams in a watershed context. Environmental Management 10(2):199-214.
- Fujita, M., Krugman, P. y Mori, T. 1999. On the evolution of hierarchical urban systems. European Economic Review 43:209-251.
- García, R. 1986. Conceptos básicos para el estudio de sistemas complejos. En Enrique Leff (coordinador): Los problemas del conocimiento y la perspectiva ambiental del desarrollo, Editorial Siglo XXI, México.

- García, R. 1994. Interdisciplinariedad y sistemas complejos. En Enrique Leff (compilador): Ciencias Sociales y formación ambiental, Editorial Gedisa, Barcelona.
- Gómez, Rocío. 2023. UTILIZACIÓN de la Ecología de Paisajes y Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la caracterización de la resiliencia espacial de la Cuenca del Arroyo "Las Conchitas", provincia de Buenos Aires. Trabajo Final Integrador de la Carrera de Gestión Ambiental, UNAJ.
- Holling, C. S. 1992. Cross-scale morphology, geometry, and dynamics of ecosystems. *Ecological Monographs* 62(4):447-502.
- Jørgensen, S. E., Patten, B. C. y Straškraba, M. 1992. Ecosystems emerging: toward an ecology of complex systems in a complex future. *Ecological Modelling* 62:1-28.
- O'Neill, R. V., De Angelis, D. L., Waide, J. B. y Allen, T. F. H. 1986. A hierarchical concept of ecosystems. *Monographs in population biology*, N° 23, Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- Osio, J., Mársico, D., Cappellet, M., Morales, M. y Crojethovich, A. 2019. Desarrollo de prototipo de sonda multiparamétrica para la medición de la calidad del agua en arroyos de Florencio Varela y Berazategui. IV Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Ambiental Florencio Varela, Argentina. 2 al 5 de Diciembre de 2019.
- Prigogine, I. 1996. *The end of certainty: Time, chaos, and the new laws of nature*, The Free Press, New York.
- Rescia, A. J. y Ortega, M (2018). Quantitative evaluation of the spatial resilience to the B. oleae pest in olive grove socio-ecological landscapes at different scales. *Ecological Indicators* 84:820–827. En: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.09.050> (última revisión: Enero 2021)
- Urban, D. L., O'Neill, R. V. y Shugart Jr., H. H. 1987. Landscape Ecology: A hierarchical perspective can help scientists understand spatial patterns. *BioScience* 37(2):119-127.