

Artículo científico

Avances en el diseño e implementación de un esquema de colaboración abierta distribuida y en la cuantificación de la vulnerabilidad. Caso de estudio: Inundaciones urbanas en Villa Páez, Córdoba, Argentina

Advances in the design and implementation of crowdsourcing program and in the vulnerability assessment. Study case: urban flooding in Villa Páez, Córdoba, Argentina

 Andrés Julián Portigliatti¹.  Sebastián López².  Leandro Massó³.
 Carlos M. García⁴.  José Manuel Díaz Lozada⁵.  Antoine Patalano⁶.
 Facundo Cruz⁷.

Citar como: Portigliatti, A. J., López, S., Massó, L., García, C. M., Díaz Lozada, J. M., Patalano, A., & Cruz, F. (2022). Avances en el diseño e implementación de un esquema de colaboración abierta distribuida y en la cuantificación de la vulnerabilidad. Caso de estudio: Inundaciones urbanas en Villa Páez, Córdoba, Argentina. *Journal Boliviano de Ciencias*, 18(52), 5-21. <https://doi.org/10.52428/20758944.v18i52.227>

Editor invitado: Joaquín Humberto Aquino Rocha

Presidente comité científico
COLEIC: Nahúm Gamalier Cayo Chileno

Revisado: 25/10/2021
Aceptado: 20/12/2021
Publicado: 29/06/2022

Declaración: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses en la publicación de este documento.

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la Creative Commons. Licencia de atribución (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

- ¹ Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina. ajportigliatti@gmail.com
- ² Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina. sebalocba@gmail.com
- ³ Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina. leandro.massocba@unc.edu.ar
- ⁴ Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina. carlos.marcelo.garcia@unc.edu.ar
- ⁵ Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina. jmdiazlozada@unc.edu.ar
- ⁶ Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina. Antoine.patalano@unc.edu.ar
- ⁷ Universidad Nacional de General Sarmiento. Córdoba, Argentina. facundocruzguastavino@gmail.com

RESUMEN

En este trabajo se presenta un esquema de colaboración abierta distribuida, cuyo principal objetivo es realizar un diagnóstico de la problemática de inundaciones que afectan periódicamente al barrio de Villa Páez de la Ciudad de Córdoba, Argentina; a través del trabajo conjunto entre investigadores de distintas disciplinas de la Universidad Nacional de Córdoba, el Centro Vecinal de Villa Páez y la ciudadanía que habita el barrio. En este esquema confluyen tres proyectos de ciencia ciudadana. Por un lado, “Cazadores de crecidas”, cuyo objetivo es caracterizar escurrimientos superficiales a partir de videos y fotografías tomadas por vecinos previamente capacitados. Por otro lado, el proyecto “Adopto un cuerpo de agua como mi mascota”, la cual trabaja en identificar con la comunidad la cuenca de aporte de los escurrimientos, para la construcción conjunta del conocimiento con la comunidad. Y, por último, “Proyecto MATTEO” que consiste en la instalación de estaciones meteorológicas de bajo costo y pluviómetros en escuelas, organismos, y residencias particulares para registrar datos propios de eventos de precipitación. De esta forma, la ciudadanía es partícipe directa y fundamental en la elaboración del diagnóstico de la problemática, generando aportes desde su experiencia y colaboración en la recolección de datos sumamente valiosos para el estudio; los cuales, desde el sector académico y de investigación les sería dificultoso conseguir. Finalmente, en este trabajo se presenta una cuantificación de vulnerabilidad del área de estudio ante inundaciones urbanas, enfatizando en el análisis particular de la dimensión física y social.

Palabras clave: Inundación urbana. Ciencia Ciudadana. Proyectos Educativos. Métodos experimentales. Vulnerabilidad.

ABSTRACT

This project presents a distributed open collaboration scheme whose main objective is to carry out a diagnosis of the flooding problem that periodically affects the Villa Paez neighborhood in the city of Cordoba, Argentina, through joint work between researchers of the National University of Cordoba, the Villa Paez Neighborhood Center and the citizens living in the neighborhood. Three citizen science projects converge in this scheme. On the one hand, “Cazadores de Crecidas” whose objective is the characterization of surface runoff from videos and photographs taken by neighbors previously trained for this purpose. On the other hand, “Adopto un Cuerpo de Agua como Mi Mascota” is a project where we work identifying with the community the basin from where the runoff flows and building a shared knowledge base. And finally, “Proyecto MATTEO”, which consists of installing low-cost weather stations and rain gauges in schools and organizations to record data on precipitation events. In this way, citizens are direct and fundamental participants in this study, generating contributions from their experience and form the records of extremely valuable data, which would be difficult for the academic and research participants to obtain on their own. Finally, this paper presents a quantification of the vulnerability of the study area to urban flooding, emphasizing the analysis of the physical and social dimensions.

Keywords: Flooding. Citizen Science. Educational projects. Experimental methods. Vulnerability assesment.

1. INTRODUCCIÓN

Las inundaciones urbanas se han convertido en una amenaza creciente a nivel mundial, pues más de la mitad de la población mundial vive en áreas urbanas (Markowski y Richardson, 2010). En Argentina, las grandes ciudades han experimentado un rápido crecimiento en las últimas décadas, generalmente asociada a la ocupación de zonas inundables, con cambios de uso de suelo y problemas de infraestructura, como la insuficiencia de los sistemas de drenaje, que aumenta el nivel de vulnerabilidad de la población a las inundaciones (Ortiz et al., 2017, Tingsanchali, 2012, Hardoy y Piandiella, 2009,). Rasmussen et al. (2014) muestran que las inundaciones repentinas afectan cada año al centro y norte de Argentina, tendencia que también se observa en varios países a nivel mundial (Tingsanchali, 2012). Entre 1980-2010, las inundaciones fueron el desastre natural más destructivo en Argentina, afectando a 13 millones de personas y costando al menos 8.9 mil millones de dólares (Banco Mundial, 2020).

El impacto de los fenómenos naturales agrava la vulnerabilidad de la sociedad civil, no solo por deficiencias en el diseño de medidas estructurales, y no estructurales, requeridas para mitigar el riesgo hídrico, sino también por falta de consciencia sobre las amenazas a las que están expuestos. Ante este escenario de incertidumbre y de desconexión entre conocimiento (ciencia), toma de decisiones (gestión) y ciudadanía, se requieren nuevas formas de diálogo que reconstruyan esta relación (Alonso et al., 2013; Frodeman y Mitcham, 2004). La ciencia ciudadana toma relevancia como un campo que fomenta la oportunidad para apropiar el conocimiento científico desde la sociedad, que se genera a partir de la ciencia y

utilizarlo para participar activamente en la toma de decisiones sobre el territorio, en la educación de la población frente a amenazas y colaborando conjuntamente en el estudio, diseño e implementación de medidas estructurales y no estructurales entre científicos, ciudadanos y tomadores de decisiones.

El barrio Villa Páez de la Ciudad de Córdoba, Argentina es uno de los tantos barrios de la ciudad que se ven afectados anualmente por las problemáticas de inundaciones urbanas. La solución de esta problemática requiere un diagnóstico detallado para plantear soluciones adecuadas. Dado que los vecinos del barrio tienen conocimiento y experiencia por haber vivido más de 30 años en el lugar. Para realizar dicho diagnóstico se aprovechó la implementación de tres proyectos de ciencia ciudadana para el registro de variables hidrológicas e hidrometeorológicas, a fin de llevar a cabo el estudio de la problemática de inundaciones. Dichos datos fueron fundamentales para la confección del Mapa de Riesgo, que surge de combinar el estudio de amenazas de distintos eventos y la vulnerabilidad que la zona de estudio posee. El Mapa de Riesgo resulta una herramienta fundamental para identificar aquellas áreas que resultan más vulnerables y críticas frente a la ocurrencia de un evento; permitiendo de esta manera, desarrollar un plan de acción con el diseño de medidas estructurales y no estructurales requeridas para mitigar el riesgo hídrico ante inundaciones urbanas.

2. METODOLOGÍA

2.1. Área de estudio

El área de estudio fue el área urbana que drena hacia el barrio Villa Páez (31°23'41.09"S 64°12'29.43"O). Según los datos censales de INDEC del año 2010, este barrio presenta una alta densidad habitacional, con necesidades básicas insatisfechas, perteneciendo a un estrato socioeconómico medio bajo (Figura 1). La topografía del área de interés muestra que el drenaje se da hacia el río Suquía, el cual recorre de oeste a este la ciudad de Córdoba, uno de los principales centros urbanos de Argentina. Para empezar a analizar la problemática, lo primero que se realizó fue el trazado preliminar de la cuenca urbana de aporte. Para ello, se utilizó un Modelo Digital de Terreno (MDT) de 5m x 5m provisto por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), el cual es de libre acceso en su Página Web.

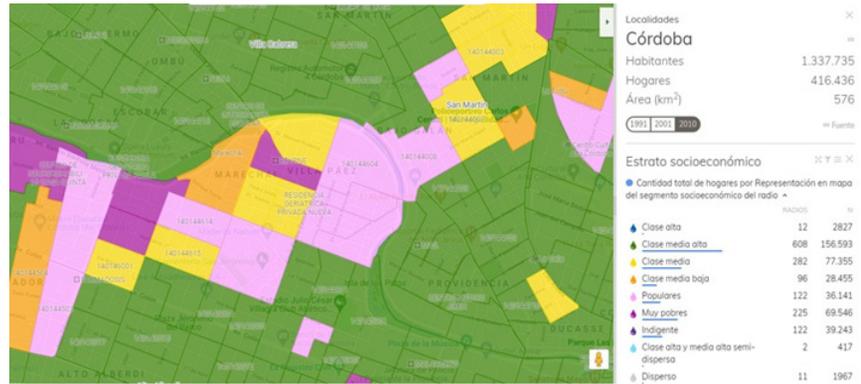


Figura 1. Estratos socioeconómicos del área de estudio. Fuente: Pablo De Grande, 2019.

2.2. Diseño e implementación de un esquema de colaboración abierta distribuida

Una vez obtenido preliminarmente la cuenca de estudio, se comenzó a recopilar información para caracterizar los procesos hidrometeorológicos e hidrológicos dentro de la misma. Para ello, se utilizaron distintas fuentes de información oficiales disponibles, como los datos del servicio Meteorológico Nacional SMN, el Observatorio Hidrometeorológico de Córdoba OHMC y las estaciones hidrometeorológicas de la Subgerencia de la Región semiárida del Instituto Nacional del Agua INA-CIRSA. Y dado que la información oficial provista era insuficiente, se implementaron en la zona de estudio tres proyectos de ciencia ciudadana con el objetivo de involucrar a la población en el diagnóstico del problema y ampliar espacial y temporalmente la cantidad de información.

En primer lugar, dentro el marco del proyecto “Adopto un cuerpo de agua como mascota” (FCEfYn, 2019), se trabajó en conjunto con las personas que residen en el barrio transmitiéndoles conocimientos técnicos sobre los sistemas de cuenca, para luego poder trabajar sobre la cuenca de estudio. Se trabajó sobre mapas del terreno y se elaboró una maqueta de la topografía de la cuenca, para que los ciudadanos comprendan cómo funciona el sistema hidrológico. También se realizaron visitas al barrio para escuchar las experiencias de las personas protagonistas de los eventos (niveles de flujos en calles, frecuencias de inundaciones, sentidos de escurrimientos, tiempos de respuesta) (Figura 2). En el marco de este proyecto se recopiló la información necesaria para definir finalmente la cuenca hidrológica de estudio. Una vez definida la cuenca de estudio, a través de la información GIS obtenida de IDECOR (<https://idecor.cba.gov.ar/>), se definieron los usos del suelo.

Luego, en el marco del “Proyecto MATTEO” (FCEfyN, 2019) se instaló una estación meteorológica automática de bajo costo en la vivienda de una vecina del barrio (Figura 3a) ubicada en la parte baja de la cuenca. Del mismo modo se instalaron cinco pluviómetros distribuidos espacialmente sobre la cuenca, en viviendas de vecinos (Figura 3b) con el objetivo de caracterizar la variabilidad espacial de los eventos con datos propios. Dichos datos eran recopilados posteriormente en cada evento de carga de los milímetros registrados (georreferenciados) en una aplicación de celular desarrollada por el mismo proyecto, buscando así, facilitar el proceso de carga y visualización de la información hidrometeorológica.



Figura 2. a) Maqueta de la cuenca, y b) reunión en el centro vecinal, trabajando sobre concepto de cuenca y escuchando experiencias de los vecinos. Fuente: Elaboración propia.

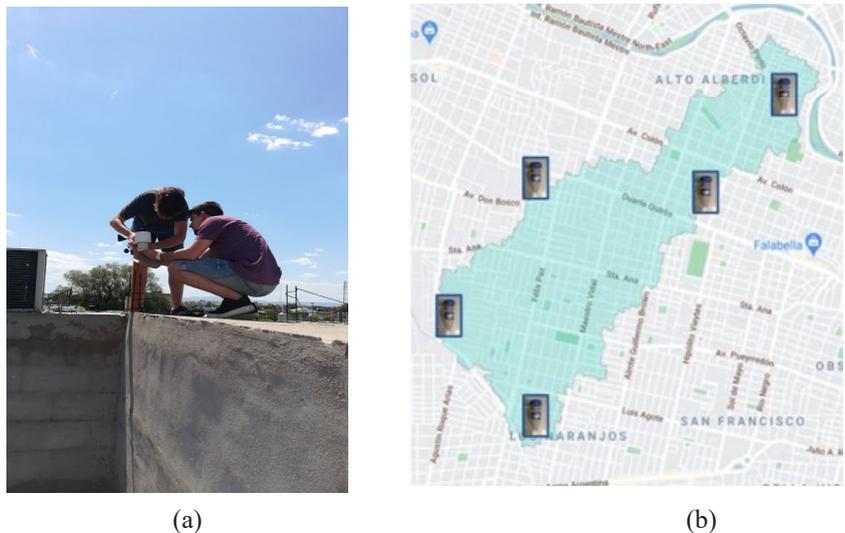


Figura 3. a) Instalación de estación meteorológica en vivienda de vecina, en el marco del “Proyecto MATTEO”, y b) ubicación de los pluviómetros en viviendas particulares de vecinos en la cuenca. Fuente: Elaboración propia.

Para la caracterización de los procesos hidrológicos, en primer lugar, se recopilaron antecedentes y relatos de los vecinos que se vieron afectados (personas y bienes

materiales) durante inundaciones urbanas. Para la caracterización se utilizaron técnicas modernas de velocimetría por imágenes a gran escala (LSPIV, por sus siglas en inglés). En el marco del proyecto “Cazadores de crecidas” (C.E.T.A., 2019) se elaboró un esquema de red de monitoreo distribuido espacialmente en la cuenca, mediante la definición de sitios favoritos de medición, relevamiento de puntos de control y secciones transversales de los sitios (Figura 4a), capacitación de los vecinos encargados de filmar los escurrimientos (Figura 4b) y se elaboraron instructivos detallados para el registro de fotografías y videos de cada sitio, con el fin de poder obtener información útil para la caracterización espacial de



(a)

(b)

Figura 4. a) Relevamiento de puntos de control, y secciones transversales de sitios favoritos y b) capacitación de los vecinos sobre la captación óptima de videos para luego poder ser procesados mediante la técnica LSPIV. Fuente: Elaboración propia.

Previo a cada evento de precipitación se recurría a pronósticos tanto del Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2019) como del Observatorio Hidrometeorológico de Córdoba (OHMC, 2019), para dar aviso a las personas encargadas de tomar registros de escurrimientos, mediante un grupo de telecomunicación, sobre la posibilidad de un evento; y se enviaba por el mismo grupo un instructivo recordando buenas prácticas para la grabación de videos y fotos (Figura 5a). Posterior a cada evento se recopilaban los distintos registros pluviométricos, fotografía de nivel y videos grabados por los vecinos. Se georreferenciaba toda la información recopilada y se procesaba la información, obteniendo valores de niveles de agua y valores de caudal líquido escurrido por las calles mediante la técnica de velocimetría por imágenes LSPIV (Patalano et al., 2017).



(a)

(b)

Figura 5. a) Relevamiento de puntos de control y secciones transversales de sitios favoritos, y **b)** capacitación de los vecinos sobre la captación óptima de videos para luego poder ser procesados mediante la técnica LSPIV. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se realizaba un informe técnico y un reporte del evento (Figura 5b), informando características y resultados de este, el cual se compartía con los habitantes del barrio. El principal objetivo del reporte compartido era retribuir a los vecinos con los resultados obtenidos para informarles y de esta manera, mantener la motivación para futuros eventos.

Con los datos generados por la actividad de ciencia ciudadana, sumado a la búsqueda de eventos históricos (año 2009 hasta la actualidad) a través de las distintas redes sociales (Facebook, Twitter y Youtube), se generó una base de datos georreferenciada con los registros de precipitación, fotografías de niveles y videos. Esta información fue procesada ubicando los hietogramas de eventos según el lugar del registro, se relevaron los sitios de las fotografías para determinar los niveles alcanzados por el agua en cada imagen, y relevaron secciones donde se tenía videos para poder estimar el caudal de escurrimiento por dicha calle. Esta base de datos permitió realizar un análisis de las amenazas.

Por otro lado, para el estudio de vulnerabilidad se utilizaron ciertos indicadores que permitieron evaluar el nivel de vulnerabilidad social previo a un evento (IVS i) y posterior a un evento (IVS ii) (Arteaga y San Juan, 2012), utilizando los datos disponibles del CENSO Nacional 2010 (INDEC, 2010). Finalmente, mediante la

superposición de los estudios de amenazas y vulnerabilidad, se confeccionó el Mapa de Riesgo.

Es importante destacar que, gracias al aporte de la ciencia ciudadana, sumado a todos los registros encontrados en las diferentes fuentes de redes sociales se permitió tener un amplio aporte de información que ayudaron a entender mejor el comportamiento de la cuenca hidrológica de estudio. Este nivel de detalle en la caracterización del comportamiento hidrológico de la cuenca hubiese sido prácticamente imposible de alcanzar sin la información generada por la ciudadanía.

2.3. Cuantificación de la vulnerabilidad ante inundaciones urbanas

Para el estudio de vulnerabilidad se enfatizó el análisis particular de la dimensión física y social. Éste representa a los sectores económicamente más deprimidos y se remite a la dificultad de acceso a servicios básicos, de salud, educación, entre otros. Tal como se mencionó con anterioridad, se utilizaron determinados indicadores que permitieron evaluar dos niveles de vulnerabilidad social: uno previo a un evento, IVS i (Ecuación 1), y otro posterior a un evento, IVS ii (Ecuación 2) (Arteaga y San Juan, 2012). De la combinación de estos, con la aplicación de la Ecuación 3, surge el Mapa de Vulnerabilidad Social Total.

$$IVS(i) = \left(\frac{(i) + (ii)}{2} \right) x \text{ inundación} \quad 0 \leq IVS(i) \leq 1 \quad (1)$$

$$IVS(ii) = \left(\frac{(D) + (E) + (S)}{3} \right) x \text{ inundación} \quad 0 \leq IVS(ii) \leq 1 \quad (2)$$

$$IVS = \left(\frac{(i) + (ii)}{2} \right) x \text{ inundación} \quad 0 \leq IVS \leq 1 \quad (3)$$

Para formular el IVS (i) se utilizaron indicadores que reflejan la situación social previa al evento de inundación. En el que se trabajó con las variables: (i) Índice de Privación Material (IPMH) y (ii) la Calidad de los Materiales de las Viviendas (CALMAT), ambos recortados a la zona de riesgo de inundación. En la Ecuación 1 se les asigna el mismo peso, mientras que el riesgo de inundación determina como término la existencia de inundación (si/no), con un valor de 0 a 1.

El IVS (ii) refleja la capacidad de la población de acceso a las redes y servicios, siendo estos los activos que permiten la recuperación después del desastre. Demuestra el grado de resiliencia de los individuos y grupo sociales. Se utilizaron las siguientes tres variables en la Ecuación 2: (i) desempleo (D), (ii) Nivel de Educación del Jefe de Hogar (E) y (iii) Cobertura de Salud (S).

Es importante mencionar que todos los avances mencionados cuentan con la constante colaboración de los vecinos afectados, tanto como aportes de los trabajos

que se realizan como también supervisando resultados y compartiendo opiniones para mejorar el avance, siendo este aspecto de gran aprendizaje para los participantes e investigadores de este proyecto.

3. RESULTADOS

3.1. Resultados del diseño e implementación de un esquema de colaboración abierta distribuida

A través de la metodología adoptada, se logró trabajar en conjunto con la ciudadanía sobre la problemática de inundaciones en el barrio. El procesamiento del Modelo Digital del Terreno en conjunto con la información provista por los vecinos y el relevamiento en campo sobre el escurrimiento del agua, logró definir la cuenca urbana cuyo punto de salida se encuentra en el barrio Villa Páez (-31.3998491, -64.2054996). La cuenca se muestra en la Figura 6 y abarca un área de 10 km². Es importante destacar, que al igual que muchas cuencas urbanas, esta cuenca puede tener un comportamiento dinámico, es decir el área de aporte puede modificarse en ciertos eventos por ejemplo debido a la falla o superación de los caudales de diseño de ciertas obras, que producen que el escurrimiento de un sector se incorpore a la cuenca.

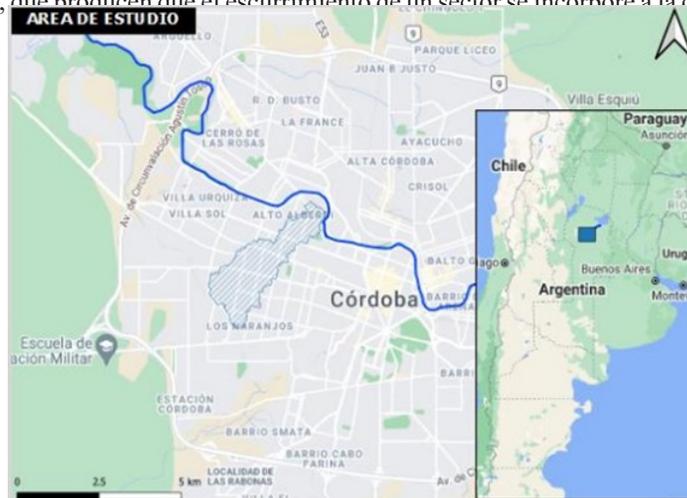


Figura 6. Cuenca hidrológica de estudio. Fuente: Elaboración propia.

Luego, utilizando la información obtenida con los ciudadanos, se generó una base de datos en el que cada punto representa un registro tomado por la ciencia ciudadana (Figura 7). Como puede observarse, los datos fueron discretizados en distintas categorías como: videos, imágenes o ambos; red social o aporte directo; según tipo de variable.



Figura 7. Base de datos georreferenciada de registro de información hidrometeorológica e hidrológica por la ciudadanía. Fuente: Elaboración propia.

En base a la información de la base de datos se sectorizaron las amenazas dentro del barrio (Figura 8). Con la información obtenida se observó una gran influencia en el comportamiento del sistema de desagües de pluviales frente a distintos niveles del río Suquia, provocando una condición de borde aguas debajo de los desagües que genera una reducción en la capacidad de descarga de los pluviales hacia el río (Figura 8).

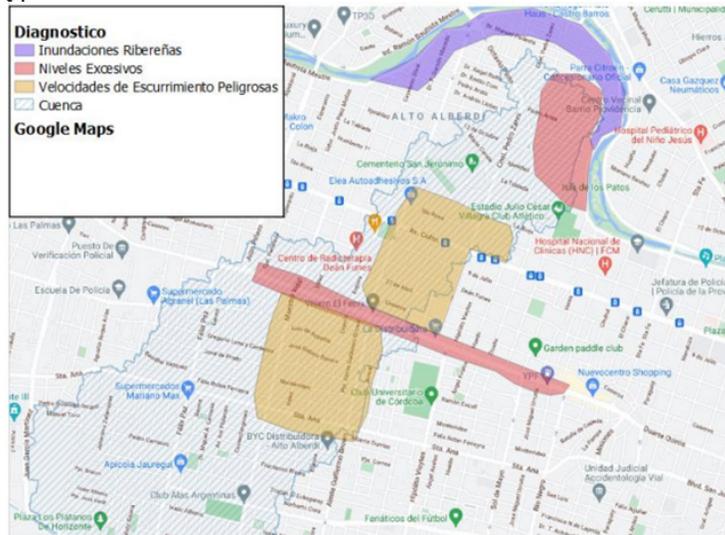


Figura 8. Diagnóstico de la problemática de inundaciones en la cuenca, realizada en conjunto con la ciudadanía, zonificando según el tipo de amenaza. Fuente: Elaboración propia.

También se implementó el esquema de monitoreo propuesto para una serie de eventos en la temporada de lluvias 2019-2020 y 2020-2021. En el cual los vecinos lograron registrar las lluvias en la cuenca (Figura 9 a), imágenes de niveles de agua alcanzados y registro de videos. Se generaron nueve reportes de eventos para los vecinos y se procesaron cinco datos de caudales utilizando la Técnica de Velocimetría por Imágenes LSPIV (Figura 9 b). En la Tabla 1 se pueden observar algunos de los eventos más importantes de precipitación y los valores obtenidos de las variables hidrológicas de interés: caudal y nivel.

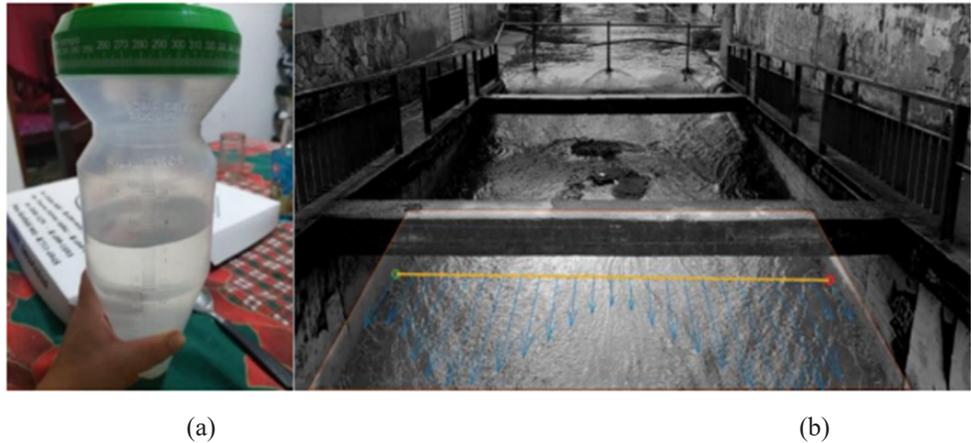


Figura 9. a) Precipitación acumulada para el evento del 30-12-19 registrado en la casa de una vecina del barrio, y b) procesamiento de video registrado por vecina del barrio en la alcantarilla del Pasaje San Pablo estimando un caudal de 200 litros/segundo (derecha). Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1. Resumen de variables de cada evento (precipitación acumulada, intensidad máxima, variable obtenida y valor estimado).

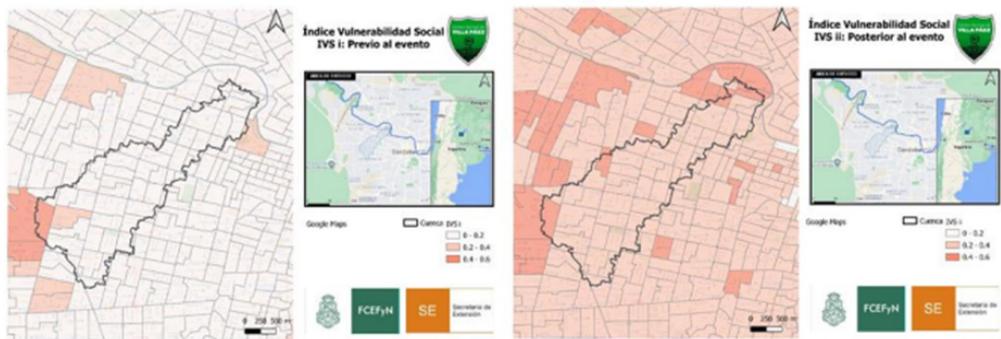
Fecha	Hora inicio/final	Precipitación acumulada	Intensidad máxima en 10 min	Variable obtenida	Valor estimado	
12/11/2019	15:30/15:50	18 mm	30 mm/h	Caudal	0.09 m ³ /s	4800 litros/min
30/12/2019	20:45/00:45	60 mm	72 mm/h	Caudal	0.21 m ³ /s	12600 litros/min
10/01/2020	07:50/08:30	13 mm	54 mm/h	Caudal	0.29 m ³ /s	17400 litros/min
30/01/2021	04:10/06:10	68 mm	23 mm/h	Nivel	Entre 0.40 y 1.50 m	

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Resultados de la cuantificación de la vulnerabilidad ante inundaciones urbanas

Se realizó el correspondiente estudio de vulnerabilidad del área de estudio, en el que se abarca diferentes dimensiones que se vinculan a las características de una comunidad expuesta a determinada amenaza. Los indicadores utilizados en este trabajo vinculan las condiciones de vida generales de una comunidad e incluye aspectos relacionados a los niveles de educación, acceso a salud, equidad social, seguridad, etc.

Dicho análisis permite definir zonas peligrosas para los asentamientos humanos y que poseen deficiencias de la estructura física para “absorber” los efectos de las amenazas, también conocido como exposición. Estas zonas vulnerables demandan mayor atención tanto desde el punto de vista de manejo ambiental, de ejecución de proyectos de reducción de vulnerabilidades, así como la definición de sitios para la localización de instalaciones críticas durante la emergencia. En las siguientes figuras (Figuras 10 y 11) se pueden observar los resultados obtenidos del estudio de vulnerabilidad.



(a)

(b)

Figura 10. a) Índice de Vulnerabilidad Social previo al evento, e b) Índice de Vulnerabilidad Social posterior al evento. Fuente: Elaboración propia.

Lo que se puede resaltar de lo observado en las imágenes anteriores es la falta de homogeneidad del nivel de vulnerabilidad dentro de la cuenca, siendo algunas zonas más vulnerables que otras. Dentro de las zonas más vulnerables se encuentra el barrio de Villa Páez, con una valoración de vulnerabilidad que va en el rango entre 0.4 a 0.6 (Vulnerabilidad media baja).

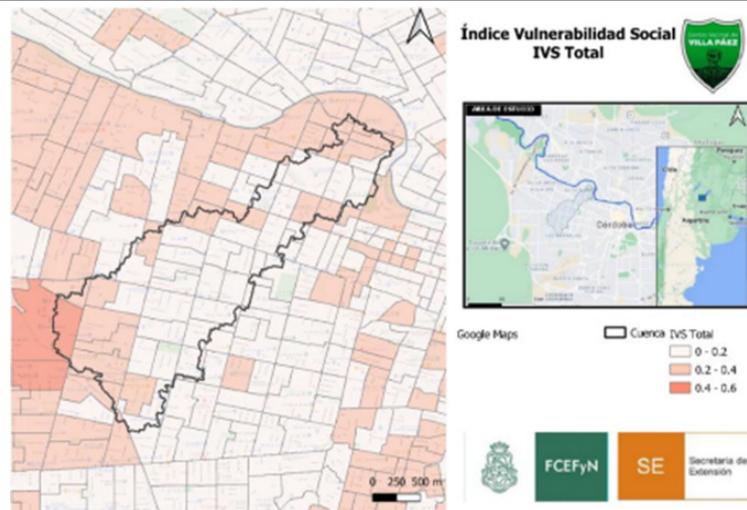


Figura 11. Índice de Vulnerabilidad Social Total. Fuente: Elaboración propia.

Una apreciación del estudio de vulnerabilidad es que el producto conseguido no es muy representativo a la realidad que actualmente viven los vecinos de Villa Páez. Esta apreciación se debe a que, en función de las visitas y los relatos por parte de ellos, la vulnerabilidad social es mucho mayor a la conseguida teóricamente con la aplicación de los indicadores seleccionados. Sin embargo, si se realizara el mismo análisis utilizando los datos del Censo Nacional actualizado, se logrará un mejor valor de vulnerabilidad acorde a la realidad.

Finalmente, mediante la combinación y superposición del estudio de amenazas con los niveles de vulnerabilidad surge el Mapa de Riesgo (Figura 12), siendo esta una primera aproximación que sienta las bases para que trabajos futuros puedan implementar y calibrar el modelo que se explica en López et al. (2021), y luego de esta manera que se realice el Mapa de Amenazas y, por consiguiente, el Mapa de Riesgo definitivo.

Lo que se puede contemplar del mapa anterior es que, en la zona baja de la cuenca, donde se encuentra Villa Páez, las principales amenazas vienen de crecidas del Río Suquía, lo cual representa una condición de borde aguas abajo en los desagües y conlleva a una reducción en la descarga de los pluviales hacia el río generando niveles excesivos. Esta zona es importante destacar ya que, a nivel de vulnerabilidad, representa una de las zonas que mayor nivel de vulnerabilidad posee dentro de la cuenca.

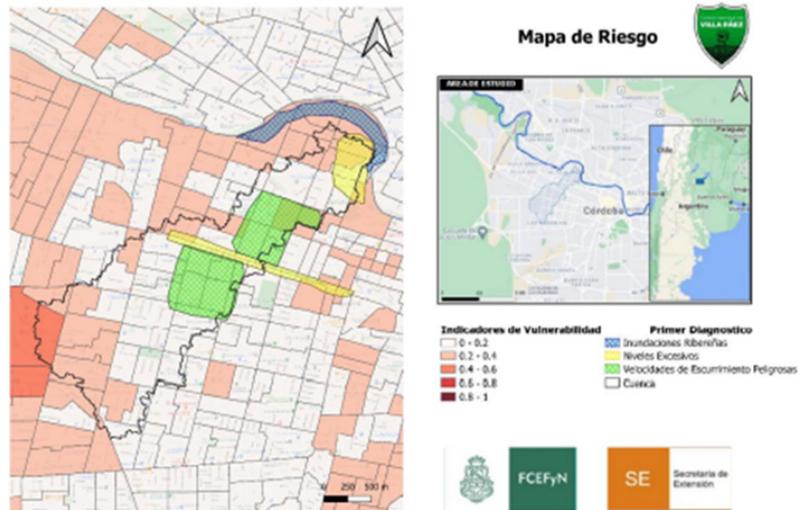


Figura 12. Mapa de Riesgo. Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, en la zona media de la cuenca se identificaron dos zonas donde los escurrimientos alcanzan altas velocidades. Los riesgos que estos conllevan implican el arrastre no solo de personas sino también de vehículos hacia la parte baja de la cuenca. Estos peligros fueron relatados en reiteradas ocasiones por los vecinos. Por último, a pesar de que el Mapa de Riesgo es meramente una primera aproximación, se extraen conclusiones importantes de cara a realizar trabajos futuros. Estos tipos de mapas representan una herramienta fundamental, no sólo para identificar las áreas más vulnerables dentro de una cuenca de estudio, sino también para poder diseñar medidas de prevención y corrección con los datos de caudal y niveles conseguidos gracias al gran aporte de la ciencia ciudadana.

4. CONCLUSIONES

En este estudio se presentaron los avances alcanzados en el diseño e implementación de un esquema de colaboración con los ciudadanos que incluye a tres proyectos de ciencia ciudadana, el cual le permite a la comunidad ser parte de las propuestas de solución de las problemáticas de inundaciones, acercando a los distintos actores de la ciencia, gestión y ciudadanía.

Del diagnóstico efectuado se concluye, que la problemática del barrio Villa Páez está dada principalmente por dos motivos: por un lado, amenazas debidas a lluvias intensas en la cuenca de estudio (la cual abarca una parte importante de la ciudad) y cuyo punto de salida se encuentra en dicho barrio, con una gran influencia de la topografía deprimida (al nivel del río). La falta de planificación a nivel de cuenca ha hecho que las obras existentes sean insuficientes, lo que dificulta la evacuación de escorrentía alcanzando niveles peligrosos para las personas que

habitan en el barrio. Por otro lado, también se logró determinar, mediante los artículos científicos recopilados y los relatos de vecinos, que existe un riesgo frente a niveles excesivos del Río Suquía, esto se registra en experiencias de inundaciones de viviendas con al menos un (1) metro de nivel de agua, para los eventos de crecidas extremas de los años 2000 y 2015.

La gran cantidad de información registrada, sumado a los registros encontrados en las distintas redes sociales, permitieron generar una amplia base de datos que permitieron entender mejor el funcionamiento de la cuenca hidrológica, y de esta manera poder evaluar distintas medidas estructurales y no estructurales requeridas para mitigar el riesgo hídrico ante inundaciones urbanas. Es importante destacar que, sin la participación de la ciencia ciudadana en este proyecto, mucho de los registros no hubiesen sido posible obtenerlos.

El crecimiento que viene teniendo la ciencia ciudadana en contexto de riesgo hidrológico, puede explicarse por la inaccesibilidad y la escasez de conjuntos de datos oficiales relacionados a la problemática de inundaciones urbanas (generalmente muy localizadas), así como también por el desarrollo de nuevas tecnologías como los teléfonos inteligentes conectados a Internet.

Referido a la red de monitoreo, actualmente se continúa trabajando de manera organizada ante cada evento para comunicar sobre alerta de posibles riesgos, pedidos de ayuda, consultas sobre pronósticos y trabajo en escuelas para abordar temáticas similares junto a estudiantes.

Finalmente, en este trabajo se presentó una cuantificación de la vulnerabilidad del área de estudio ante inundaciones urbanas en la cual se enfatizó el análisis particular de la dimensión física y social. Con esta información se logró avanzar en la confección del Mapa de Riesgo, herramienta fundamental que ayuda a la toma de decisiones sobre el tipo de medidas implementar en función de la identificación de las zonas más vulnerables y comprometidas ante la ocurrencia de un evento. Las herramientas generadas podrán ser utilizadas para la planificación de futuras urbanizaciones. Es necesario considerar que los resultados obtenidos de vulnerabilidad están condicionados por la antigüedad de los datos del Censo Nacional. Debido a que el último censo fue en el año 2010, los resultados reflejaron la información disponible, pero quedará para trabajos futuros la actualización con los nuevos datos.

Es importante destacar que es muy enriquecedor para los técnicos e investigadores que participan de este proyecto (de diferentes disciplinas) llevar a cabo una constante interacción con los ciudadanos para el aprender de las experiencias propias de los verdaderos protagonistas de las problemáticas analizadas.

REFERENCIAS

- Alonso, A., Rodríguez, J., y Lafuente, A. (2013). “¡Todos sabios! Ciencia ciudadana y conocimiento expandido”. Madrid, España. (Ediciones Cátedra, Ed.) (1.a)
- Arteaga, A., & San Juan, G. A. (2012). Metodología para obtener un índice de vulnerabilidad social. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 16.
- Banco Mundial (2020). Banco Mundial: Argentina pierde unos US\$1.000 millones anuales por inundaciones. Recuperado de <http://www.preventionweb.net/>
- Centro de Estudios y Tecnología del Agua (C.E.T.A). (12 de octubre de 2019). Cazadores de Crecidas. Recuperado de <https://www.cazadoresdecrecidas.unc.edu.ar/>
- Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba (FCEFYN) (12 de octubre del 2019). Adopto un cuerpo de Agua como mascota. Recuperado de <https://sites.google.com/mi.unc.edu.ar/proyecto-adoptouncuerpodeagua/>
- Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba (FCEFYN) (12 de octubre de 2019). Proyecto MATTEO (Monitoreo Automático del Tiempo en Escuelas y Organismos). Recuperado de <https://sites.google.com/view/proyectomatteo/>
- Frodeman, R., & Mitcham, C. (2004). “Toward a philosophy of science policy: Approaches and Issues”. *Philosophy Today*, 48.
- Hardoy J. y Pandiella, G. (2009) “Urban poverty and vulnerability in Latin America”. *Environment and Urbanization*, 21, 203-224.
- INDEC Argentina (2010). Censo Nacional 2010. Recuperado de <https://www.indec.gob.ar/indec/web/Nivel4-Tema-2-41-135>
- Instituto Nacional del Agua (INA-CIRSA) (12 de octubre de 2019). Sistema de Gestión de Amenazas. Recuperado de <https://sgainacirsa.ddns.net/cirsa/login.xhtml>
- López S., Massó, L., Portigliatti A., Patalano A, Kazimierski L., Díaz Lozada J.M., Re M., García C.M. (2021). Implementación de proyectos de ciencia ciudadana en el diseño y evaluación de medidas para mitigar el riesgo hídrico de inundaciones urbanas. Congreso Latinoamericano de Hidráulica 2021, XXVI, México.
- Markowski P. y Richardson Y. (2010): “Mesoscale Meteorology in Midlatitudes”.
- Observatorio Hidrometeorológico de la provincia de Córdoba (OHMC) (12 de octubre 2019). Grupo Radar Córdoba. Radares meteorológicos. Recuperado de <https://webmet.ohmc.com.ar/>
- Ortiz, N., Re, M, Kazimierski, L.D., Garcia, P.E., (2017) “Characterization of the impact associated with different flood types on an urban basin”. CONAGUA 2017 (In spanish), XXVI, Cordoba, Argentina.

Pablo De Grande (2019). Cartografía de radios del Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010. Recuperado de <https://mapa.poblaciones.org/map/#/@-31.393742,-64.218231,15z/1=11901!v0!w0/p=c1/f=f52832392711742>

Pablo De Grande (2019). Cartografía de radios del Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010. <https://mapa.poblaciones.org/>

Patalano, A., García, C. M., & Rodríguez, A. (2017). Rectification of Image Velocity Results (RIVeR): a simple and user-friendly toolbox for large-scale water surface Particle Image Velocimetry (PIV) and Particle Tracking Velocimetry (PTV). *Computers & Geosciences*.

Servicio Meteorológico Nacional (SMN) (12 de octubre de 2019). Sistema de alerta temprana. Recuperado de <https://www.smn.gob.ar/alerta>

Tingsanchali, T. (2012). Urban flood disaster management. *Procedia engineering*, 32, 25-37. ISSN 1877-7058, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.1233>.

Fuentes de financiamiento: No hubo fuentes de financiamiento.

Declaración de conflicto de intereses: Los autores declaran no tener conflictos de interés.

Derechos de autor (c) 2022 Andrés Julián Portigliatti, Sebastián López, Leandro Massó, Carlos Marcelo García, José Manuel Díaz Lozada, Antoine Patalano, Facundo Cruz

