

Artículo de investigación

Riesgo hídrico y transformaciones territoriales en la Cuenca del Río Luján (Pilar): un abordaje integrado mediante SIG e imágenes satelitales

Martiniano Valle^{1*}

¹ UNLu (Universidad Nacional de Luján)

* E-mail: martinianovalle@yahoo.com

Recibido: 28/09/2025; Aceptado: 03/11/2025; Publicado: 15/12/2025

Resumen

El trabajo analiza el riesgo hidrometeorológico en la cuenca del río Luján (Partido de Pilar) y su relación con los procesos de transformación territorial entre 1990-2020. Mediante un enfoque que combina Sistemas de Información Geográfica, análisis de imágenes satelitales radar y trabajo de campo, se demuestra que la expansión periurbana, especialmente urbanizaciones cerradas y asentamientos informales, ha incrementado la exposición y vulnerabilidad ante inundaciones, agravadas por obras hidráulicas que alteran la capacidad natural de retención del agua. Los resultados revelan un crecimiento del 67-73% de barrios vulnerables en áreas inundables (ej: Agustoni, Río Luján), donde la normativa urbanística histórica ha sido insuficiente para mitigar el riesgo.

Palabras clave: Riesgo hidrónico; vulnerabilidad; inundación; humedales.

Environmental transformations in the Luján River basin: Pilar and water risk

Abstract

This paper analyzes hydrometeorological risk in the Luján river basin (Pilar District) and its relationship to territorial transformation processes between 1990 and 2020. Using an approach that combines Geographic Information Systems (GIS), radar satellite image analysis, and fieldwork, it is shown that peri-urban expansion, especially of gated communities and informal settlements, has increased exposure and vulnerability to flooding, aggravated by hydraulic works that alter the natural water retention capacity. The results reveal a 67-73% growth in vulnerable neighborhoods in flood-prone areas (e.g., Agustoni, Luján River), where historical urban planning regulations have been insufficient to mitigate risk.

Keywords: Environment; risk; disaster; vulnerability; flood.

1. Introducción

En la década de 2010 fenómenos climáticos extremos en la cuenca del río Luján generaron importantes pérdidas, lo que obligó al traslado de poblaciones afectadas durante las crecidas y ocasionó daños materiales en viviendas e infraestructuras. En un contexto global de cambio climático, proyecciones para nuestro país anticipan un aumento en la frecuencia e intensidad de estos episodios.

Según Claudia Natenzon (2015, p. 1), existe “una tendencia futura en la que estos eventos se intensificarán de manera significativa”. A nivel local, este escenario se combina con transformaciones territoriales singulares, que han alterado tanto el medio físico como las dinámicas sociales en la cuenca.

En este trabajo se propone determinar la evolución del riesgo de inundación en la cuenca del río Luján, en la jurisdicción del partido de Pilar. Este análisis considera el estudio de tres componentes: la identificación y clasificación de la amenaza socio natural, la cuantificación del nivel de exposición a esta amenaza y la caracterización de su vulnerabilidad.

Los tres componentes se estudian en relación al desarrollo de los procesos de ocupación del espacio, lo que incluye un análisis de las transformaciones territoriales y su vínculo con el grado de exposición a la amenaza y la vulnerabilidad, para finalmente interpretar las interrelaciones entre dichos procesos y las variaciones del riesgo en el período 1990-2020.

Este trabajo sostiene la hipótesis de que el riesgo hidrometeorológico en la cuenca del río Luján —y en particular en el partido de Pilar— se ha incrementado de manera significativa entre 1990 y 2020 como resultado de la convergencia de tres procesos principales: la expansión urbana no planificada sobre la planicie de inundación, que incrementa la exposición de la población; la modificación antrópica del territorio (obras hidráulicas, urbanizaciones cerradas y pérdida de humedales), que altera la capacidad natural de retención y escurrimiento del agua; y la vulnerabilidad socioeconómica de las comunidades asentadas en áreas inundables, agravada por la falta de políticas efectivas de ordenamiento territorial y gestión del riesgo.

La elección de este distrito se fundamenta en dos dimensiones complementarias. En primer lugar, criterios operativos derivados experiencia previa de trabajo en la zona, que permite un conocimiento detallado de su dinámica hidrológica y socioambiental, así como acceso a datos primarios y actores locales. En segundo lugar, su relevancia territorial como sector crítico de la cuenca baja del río Luján, donde convergen procesos que intensifican el riesgo hidrometeorológico.

El área de estudio abarca un tramo del río y su planicie de inundación (macro-escala), mientras que la micro-escala se focaliza en barrios vulnerables asentados en dicha zona, identificados por su exposición al riesgo y condiciones socioeconómicas. No se incluyen en el estudio las subcuenca de los arroyos Carabassa, Las Flores, Larena, Burgueño y Pinazo, que presentan condiciones geomorfológicas y socioambientales diferenciadas, lo que requeriría abordajes específicos fuera del alcance de este estudio. Tampoco se incluyen áreas urbanizadas fuera de la llanura de inundación, al no estar sujetas a los mismos procesos de riesgo analizados.

1.1. Área de Estudio - Contexto Territorial

La cuenca del río Luján se encuentra al noreste de la Provincia de Buenos Aires, abarcando una superficie de 3.778 Km² (Buzai y Lanzelotti, 2019). El curso del río tiene dirección noroeste-sudeste y una longitud aproximada de 115 km hasta su desembocadura en el Río Paraná a través del Canal Santa María (Buzai y Lanzelotti, 2019).

La cuenca abarca los partidos de Campana, Carmen de Areco, Chacabuco, Escobar, Exaltación de la Cruz, General Rodríguez, José C. Paz, Luján, Malvinas Argentinas, Mercedes, Moreno, Pilar, San Andrés de Giles, Suipacha y Tigre (DPH, 2019).

La cuenca es considerada un humedal continental, ya que permanece inundada o con su suelo saturado con agua durante períodos de tiempo largos, y está conformada por tres unidades geomórficas: la planicie pampeana, la planicie estuárica y el valle del río Luján (CAF, 2016). En el partido de Pilar se presentan únicamente la planicie pampeana, es decir la región considerada pampa ondulada y el valle del río Luján, mientras que la planicie estuárica, caracterizada por tener una

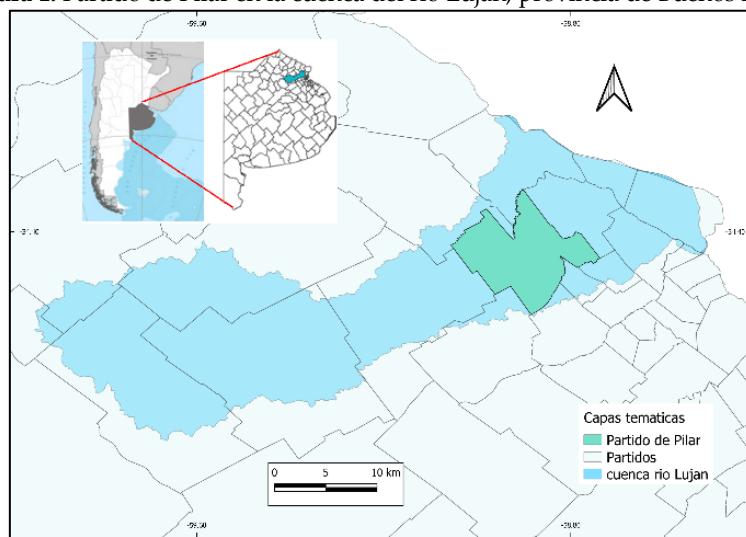
“superficie uniforme situada entre la cota 0 y los 5 m” (CAF, 2016, p. 11), se presenta a partir del límite entre los partidos de Pilar y Escobar.

El río Luján es un típico curso de agua de llanura, con un caudal medio de 5,4 m³/s, con velocidad de escurrimiento baja y régimen de alimentación a través del agua freática, salvo cuando se producen precipitaciones en la cuenca (ComiLu, 2021). Las precipitaciones anuales oscilan alrededor de los 1000 mm (Buzai y Lanzelotti, 2019) ocasionando crecidas rápidas y pronunciadas, las que son más frecuentes en los meses de primavera y otoño (Goldberg et. al., 2014). Los valores mínimos se registran entre junio y septiembre y los máximos entre noviembre y abril (DPH, 2019). ComiLu (2024) señala a las precipitaciones como una de las causas de las inundaciones, que sumado a las características del río provoca que, “ante lluvias intensas, el agua llegue rápidamente al cauce principal, por lo que éste eleva su caudal y, por lo tanto, su nivel de manera abrupta, ocupando entonces la planicie natural de inundación” (p.6).

El partido de Pilar se ubica en el sector noroeste de la RMBA. De acuerdo con el Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2022 presenta una población total de 395.072 habitantes y una densidad poblacional de 1024 hab/km² (INDEC, 2022). La ciudad de Pilar es la cabecera del partido, ubicada aproximadamente en el kilómetro 53 de la autopista Panamericana. La superficie total de Pilar es de 385,45 km².

El río Luján atraviesa el partido de Pilar de Oeste a Norte. De acuerdo con la subdivisión de la cuenca establecida en el punto anterior, Pilar pertenece tanto al tramo superior como al tramo medio de la cuenca, siendo el punto de división el cruce con la Ruta Nacional 8. El territorio de Pilar está caracterizado por una alta densidad de cursos de agua y líneas de drenaje temporarias (Valle, 2004). Las zonas entre cursos de agua presentan poco desnivel del terreno propiciando áreas de inundación por crecidas y por anegamiento pluvial. El partido corresponde al tercer cordón de la Región Metropolitana de Buenos Aires (RMBA) y puede considerarse como un fragmento discontinuo de la misma (Batalla, 2016).

Figura 1. Partido de Pilar en la cuenca del río Luján, provincia de Buenos Aires.



Fuente: elaboración propia a partir de datos del ADA (2025).

El período de estudio se caracteriza por la ejecución de proyectos con alto impacto ambiental en el área de estudio. Destacan, en primer lugar, urbanizaciones cerradas que ocupan la planicie de inundación: la megaurbanización San Sebastián, que abarcó más de 600 ha por debajo de la cota 7,5 msnm (Pintos y Sgroi, 2013), construyendo un terraplén a 100 m del río; el barrio cerrado Pilará, con

380 has ocupadas e incluyendo lagunas artificiales y; Estancias del Pilar, con viviendas radicadas a menos de 100 m del curso de agua, y más de la mitad de su superficie por debajo de la cota 10.

En segundo lugar, se implementaron obras del Plan de Manejo Integral de la Cuenca del río Luján (PMICL) con efectos contrastantes: por un lado, redujeron el riesgo de inundaciones al aumentar la capacidad de conducción del río, disminuyendo la frecuencia y severidad de estos eventos; por otro, generaron impactos negativos, como la pérdida de humedales, hábitats naturales y biodiversidad debido a la ampliación del cauce (DPH, 2019), además de alterar el corredor biológico fluvial.

1.2. *Marco conceptual*

La UNDRR define a un desastre como una “disrupción grave del funcionamiento de comunidades o sociedades en cualquier escala debido a fenómenos peligrosos que interactúan con las condiciones del grado de exposición, la vulnerabilidad y la capacidad, lo que ocasiona uno o más de los siguientes: pérdidas e impactos humanos, materiales, económicos y ambientales” (UNDRR, 2022, p. 14), es decir es un resultado que genera un daño. El riesgo de desastres es una construcción de la sociedad, resultado de las “configuraciones socioespaciales engendradas en tiempos históricos precedentes” (Natenzon, 2015, p.16), en las que intervienen diversos factores, como la amenaza, la vulnerabilidad poblacional y la exposición al fenómeno peligroso.

Otros autores definen el riesgo como la “probabilidad de daños que se producen como resultado de la ocurrencia de cualquier fenómeno de origen natural o humano sobre una comunidad vulnerable” (González y Torchia, 2007, p. 2). Este concepto deja implícito que la vulnerabilidad de la población es una condición necesaria para que ese daño se actualice, donde la vulnerabilidad se define como la susceptibilidad o fragilidad de los elementos expuestos.

En este sentido, la vulnerabilidad, es la “propensión o predisposición a que un territorio o comunidad sea afectada negativamente” por esas amenazas (Herrero, A., Natenzon, C. y Miño, M. 2018.). Una definición orientada específicamente a la susceptibilidad e incapacidad de hacer frente a los efectos adversos del cambio climático, distingue “cuatro componentes clave que determinan si, y en qué medida, un sistema es susceptible al cambio climático: la exposición, la sensibilidad, el impacto potencial y la capacidad de adaptación” (GIZ, 2016, p. 20).

El otro elemento necesario para que ese riesgo se actualice es la existencia de una amenaza, es decir “un fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa que pueden ocasionar la muerte, lesiones u otros” (Renda, 2017).

Otro de los componentes de la ecuación de riesgos, además de la amenaza y vulnerabilidad, es la exposición, definida por UNDRR (2022) como la “situación en que se encuentran las personas, infraestructuras, viviendas, capacidades de producción y otros activos humanos tangibles situados en zonas propensas a las amenazas” (p.2). Si bien ha sido considerada una dimensión más de la vulnerabilidad, Natenzon (2015) concluye que debe identificarse como un elemento independiente, “en tanto expresión territorial de combinaciones históricas de peligrosidades y vulnerabilidades sociales que configuran así una primera aproximación al riesgo” (p. 4).

Las inundaciones, como una situación de exceso hídrico, constituyen una de las mayores amenazas de origen natural en nuestro país. Camilloni et. al. (2020), definen la inundación como un “desborde de agua fuera de los confines normales,” resaltando que son una fuente de riesgo porque “en la mayor parte de las áreas donde ocurren el espacio está poblado u ocupado por actividades productivas” y en muchos casos “el riesgo aumenta porque en estas zonas se asientan poblaciones pobres con alto grado de vulnerabilidad. (p. 394)”

Las inundaciones son clasificadas por Fenoglio (2019) en urbanas o pluviales, también conocidas como anegamientos, las cuales son “originadas por lluvias intensas o abundantes que superan la

capacidad de conducción del sistema pluvial urbano” (p.29) y las inundaciones ribereñas o costeras. Estas últimas son típicas de ciudades emplazadas sobre las márgenes de cursos de agua y se producen como consecuencia del desborde de ríos y arroyos.

En el caso de las inundaciones pluviales, son agravadas por la impermeabilización del suelo, debido a que “uno de los impactos más notables de un gran núcleo urbano sobre el ambiente, es la modificación de los parámetros que controlan el escurrimiento del agua de lluvia” (PNUD, 2014, p.81). Fenoglio menciona como causas de este tipo de inundaciones “no solo por las altas tasas de precipitación, sino también debido a las obstrucciones del drenaje causadas por los escombros y por los bloqueos de alcantarillas y puntos de recolección, a menudo provocado por a la falta de mantenimiento” (2019, p. 28). Las inundaciones ribereñas son “típicas de ciudades ubicadas sobre las márgenes de cursos de agua” (Fenoglio 2019, p.29) y se producen como consecuencia del desborde de ríos y arroyos.

El relieve es otro factor determinante, siendo las llanuras “un escenario de alta vulnerabilidad ante eventos hidrológicos extremos,” y en el caso de eventos extremos de excedentes hídricos, “la incapacidad del relieve de evacuar volúmenes importantes de agua genera anegamientos vastos y de larga duración” (PNUD, 2014, p. 96). Asimismo, el PNUD (2014) destaca que los sistemas hidrológicos de las llanuras son especialmente sensibles a los cambios artificiales, como rutas o vías de ferrocarril, los cuales producen un impacto significativo en las cuencas hidrográficas.

La presencia de lluvias extraordinarias es un factor importante en ambos tipos de inundaciones y está en discusión si su mayor frecuencia es consecuencia del cambio climático. Este “se refiere a una variación significativa en las propiedades del clima cuando se comparan períodos prolongados” (Fenoglio, 2019, p.18), mientras que la variabilidad climática son las fluctuaciones de las propiedades del clima (temperatura, precipitaciones, etc.) dentro de los límites aceptados como normales.

El río Luján como parte del fenómeno peligroso y sus consecuencias ha sido objeto de numerosos estudios. El Instituto Nacional del Agua (INA), desarrolló en el año 2005 un modelo hidrológico del río Luján y elaboró un mapa donde se delimitan zonas con distintos niveles de peligro de inundación (Reyna et. al., 2007).

En el año 2015 se presentó el Proyecto de Implementación del Plan de Manejo Integral de la Cuenca del río Luján (PMICL) cuya finalidad es “prevenir las crecidas, manejar controladamente los caudales y moderar el efecto de las inundaciones en la cuenca del río Luján” (ComiLu, 2021, p. 17). El Plan incorpora medidas del tipo estructural y no estructural, siendo la ampliación del cauce del río Luján una de las medidas de mayor implicancia en la cuenca, además de canalización de tramos y reemplazo de puentes.

Recientemente, en el año 2023, la provincia de Buenos Aires a través de la Subsecretaría de Recursos Hídricos, puso a disposición la página web de riesgo hídrico. En simultáneo con la publicación de esta página, el Comité de Cuenca del río Luján publicó el documento titulado “Avances en el Análisis del Riesgo ante inundaciones en la Cuenca del río Luján,” el cual “expone los avances en el diseño de una evaluación del riesgo a escala local” (ComiLu, 2024, p. 4).

2. Materiales y métodos

La metodología diseñada para este trabajo parte de la identificación del tema, la delimitación del problema, así como la definición de escalas de análisis espacial y temporal. Se adopta un enfoque multiescalar: la macroescala se corresponde con el valle fluvial y la planicie de inundación; la microescala focaliza en los barrios Agustoni, Río Luján, Luchetti, Los Grillos y Manantial, asentados en zonas de amenaza hídrica.

La escala temporal comprende el período 1990-2020. Esta periodización escogida es coincidente con el inicio de la urbanización que utiliza relleno para ocupar humedales en la década de 1990, y abarca 30 años hasta diciembre de 2019, fecha final de gestiones tanto provincial como municipal marcadas por la memoria de inundaciones recientes.

El tipo de investigación a desarrollar será tanto cuantitativa como cualitativa. Para ello se realizará en primer lugar el relevamiento, lectura, selección y análisis de fuentes documentales tanto del acervo académico como de producción local. Esta revisión bibliográfica incluye documentos de instituciones tanto de orden municipal, provincial y nacional y de la normativa de regulación urbana, para describir los procesos históricos de construcción territorial, su vinculación con el riesgo e indagar acerca de las normas de planificación territorial y su impacto en la construcción del riesgo hidrometeorológico.

El análisis cuantitativo se realiza con el uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), en primer lugar, para la determinación del área bajo amenaza de inundación, a partir del uso de un modelo digital de elevaciones con resolución espacial de 30 metros, mediante el cual se obtienen las curvas de nivel del área de estudio. En este punto también se proyecta cuantificar las superficies cubiertas de agua por el río Luján en diferentes períodos hidrológicos mediante el uso de imágenes satelitales procesadas con el uso de Google Earth Engine y la plataforma SNAP de la Agencia Espacial Europea (ESA). En ambos casos se trabaja a partir de imágenes radar del satélite Sentinel 1, perteneciente al programa Copernicus de la ESA.

El primer método para estudio de una crecida se realizó mediante el programa Google Earth Engine, el cual a diferencia de QGIS u otras aplicaciones, no se descarga a una computadora, sino que se utiliza en línea, utilizando ordenadores de Google. Google Earth Engine es “una potente plataforma web para el procesamiento en la nube de datos de teledetección a grandes escalas” cuya “ventaja radica en su velocidad de cálculo, ya que el procesamiento se subcontrata a los servidores de Google” ONU-SPIDER (2024a). Otras ventajas de la plataforma son la posibilidad de uso gratuito, y que no es necesario descargar las imágenes satelitales. La extensión de la inundación se determina con un enfoque de detección de cambios en los datos del Radar de Apertura Sintética (SAR) instalado en el satélite Sentinel-1, perteneciente al Programa Copernicus de la Agencia Espacial Europea (ESA). El uso de imágenes de radar tiene la ventaja de que no es interferido por las nubes, y no necesita de la luz solar, por lo que puede capturar imágenes nocturnas.

Para la caracterización de la vulnerabilidad se utilizó el cálculo de un índice que integra sus dimensiones, a partir de la obtención de información geográfica. Como parte de un trabajo antecedente (Valle y Ventura 2023), se creó el Índice de Vulnerabilidad Total (IVT), siguiendo los pasos de Manual para elaboración de mapas de riesgo de la Secretaría de Protección Civil de la Nación (Renda et. al., 2017), y partir de datos de INDEC por radio censal. Para eso, se utilizaron los datos de dos indicadores: porcentaje de hogares con hacinamiento crítico y porcentaje de hogares con NBI (Necesidades Básicas Insatisfechas), ambos a escala de radio censal.

Las principales fuentes de las capas temáticas utilizadas son Instituto Geográfico Nacional (IGN), el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC), el ReNaBaP (Registro Nacional de Barrios Populares), incorporándose las capas desde la página de Infraestructura de Datos Espaciales de la República Argentina (IDERA). El programa a utilizar será QGIS, la aplicación de SIG más usada en la actualidad, que está construida sobre software libre y de código abierto.

Se cuantifica la evolución de la exposición y el crecimiento urbano con el uso de información satelital y la aplicación del programa Google Earth Pro y Google Earth Engine para cálculo de superficies ocupadas por distintos usos del suelo y determinación de áreas impermeabilizadas.

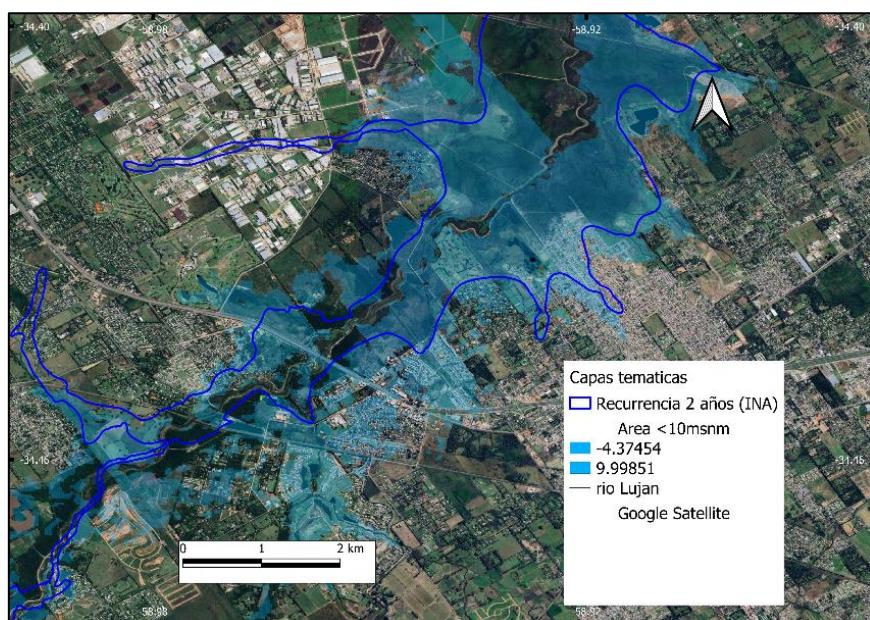
Por último, y una vez analizada, depurada la información y confrontada con el problema de investigación, se elabora una memoria escrita con los resultados, para finalmente realizar su divulgación.

3. Resultados

3.1. Área inundable a partir de modelos digitales de elevación

Como parte de un trabajo antecedente (Valle y Ventura 2023), se generó la capa temática con las curvas de nivel a partir un Modelo Digital de Elevación (MDE) obtenido de IGN (2024). Si bien no reemplaza a las líneas de recurrencia obtenidas por los modelos hidrológicos, la cota es una variable fundamental al momento de delimitar el área bajo amenaza de inundación. En el mapa que se muestra a continuación (Figura 2), se observa el área por debajo de la cota 10 msnm, obtenida a partir del MDE y la línea de recurrencia de inundación de 2 años, superpuestas a las áreas urbanas en riesgo:

Figura 2. Área < a 10 msnm según el MDE y y línea de recurrencia de 2 años.



Fuente: elaboración propia a partir de datos de INA (Reyna et. al., 2007) e IGN (2024).

3.2. Análisis de crecidas históricas

En este apartado se incluye el estudio de crecidas históricas con dos métodos alternativos, para finalmente concluir analizando las características de ambas técnicas y sus limitaciones.

3.2.1. Estudio de una crecida con imágenes de radar a través de Google Earth Engine

Para el estudio se aplicó el método propuesto por la Plataforma de las Naciones Unidas de información obtenida desde el espacio para la gestión de desastres y la respuesta de emergencia (ONU-SPIDER, por su sigla en inglés). Esta organización, cuyo objetivo es “asegurar que todos los países y organizaciones regionales e internacionales tengan la capacidad de desarrollar y acceder a todos los tipos de información obtenida desde el espacio con el fin de apoyar el ciclo completo de gestión de desastres” ONU-SPIDER (2024b), ha creado un procedimiento para mapeo de inundaciones y sus impactos que puede ser aplicado utilizando imágenes radar del satélite europeo Sentinel-1, las cuales son de acceso libre, y Google Earth Engine (ONU-SPIDER, 2024a).

Cabe destacar que para la aplicación de este método es necesario el uso de una imagen anterior y otra posterior a la crecida, ya que compara las respuestas del suelo a la señal de radar emitida por el satélite.

El resultado es la obtención de un mapa de extensión de inundaciones para evaluar las áreas afectadas. El evento analizado es la crecida generada por el temporal del domingo 29 de abril de 2018, donde según un artículo periodístico (Página 12, 2018) el partido de Pilar fue uno de los más afectados y “más de cien personas debieron ser evacuadas por el desborde del río Luján”. Si bien esta crecida no fue de las más importantes del período analizado, se tomó como caso de estudio por encontrarse disponible la información satelital, lo cual depende de varios factores, entre ellos la frecuencia de paso del satélite.

El evento provocó una crecida en el río entre los días 29 de abril y 3 de mayo, según las mediciones registradas por las estaciones de la red Hidrométrica del río Luján. Si bien no se cuentan con estaciones de medición en el área de estudio, en la estación Jáuregui el 30 de abril el río alcanzó los 5 m. En la estación de ruta 9 se produjo ascenso del nivel, aunque no tan marcado.

A continuación, se explican los pasos aplicados para el procedimiento:

a) Selección del área de estudio. Para definir la extensión del procesamiento espacial se utilizó la capa temática que delimita el partido de Pilar. Eso es lo que recomienda el método para el estudio de áreas diferenciadas, como cuencas hidrográficas, o un tramo de la cuenca como en este caso.

b) Selección del marco de tiempo y de los parámetros del sensor. Aquí se definieron los períodos previos y posteriores a la inundación. Se establecen períodos en lugar de una sola fecha, lo que permite seleccionar los mosaicos necesarios para cubrir el área de interés, teniendo en cuenta que las imágenes de Sentinel-1 se obtienen como mínimo cada 12 días para cada punto de la tierra.

El período para buscar la imagen anterior a la crecida inicia el 20 y finaliza el 25 de abril de 2018. Para el período posterior, que en realidad es durante la crecida, se seleccionó el rango de fechas 28/4/2018 a 7/05/2018, momento coincidente con la crecida, según los registros.

Además, como usuario se puede elegir entre polarización "VH" y "VV" para realizar el análisis. Algunos SAR “pueden emitir y recibir tanto en H (Horizontal) -perpendicular al plano de incidencia-, como en V (Vertical) -paralela al plano de incidencia-. Combinándolas entre transmisión y recepción se obtienen 4 combinaciones: HH, HV, VH, y VV” (Nemiña y Zajc, 2024). El método de ONU-SPIDER recomienda usar "VH" para el mapeo de inundaciones, ya que “es más sensible a los cambios de la superficie terrestre,” (2024a, p. 4) lo que puede ser útil para delimitar las aguas libres de la superficie terrestre como por ejemplo un cuerpo de agua extenso que se formó luego de una inundación.

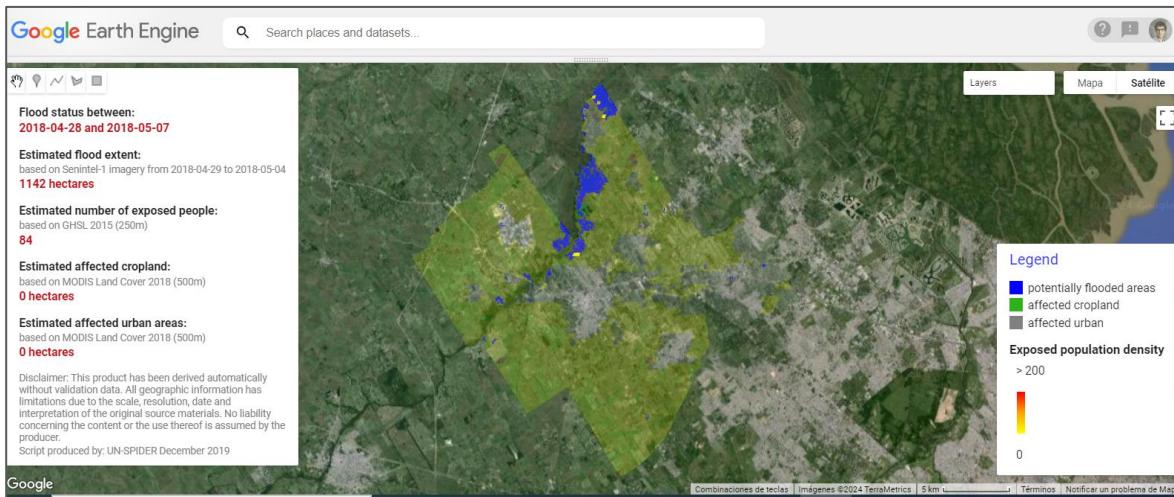
El satélite tiene dos direcciones de paso, "DESCENDING" (descendente) y "ASCENDING" (ascendente). Al comparar dos imágenes (una antes y otra después de la crecida), ONU-SPIDER advierte que es necesario seleccionar la misma dirección de paso para evitar señales de falso positivo producidas por las diferencias del ángulo de visión. En nuestro caso, el área de estudio está mayormente cubierta en modo descendente, por lo que se seleccionó esta opción.

Con el objeto de verificar si el área de estudio está cubierta por imágenes satelitales de acuerdo con los parámetros seleccionados, se verificó previamente consultando en la función "Layers" (capas) en la esquina superior derecha del visor de mapas y se seleccionó "After Flood" (después de la inundación) al igual que "Before Flood" (antes de la inundación), con resultado positivo, por lo cual se continuó con el proceso.

c) Ejecución del script o código. Este paso consistió simplemente en indicar al sistema que ejecute las instrucciones explicadas.

d) Visualización de los resultados. Google Earth Engine (GEE) muestra los resultados en pantalla. En azul se observan las áreas inundadas, lo que corresponde con la planicie de inundación del río Luján, principalmente en el sector norte, es decir aguas debajo de la ciudad de Pilar. La extensión estimada del área inundada es de 1142 ha, sin afectación de áreas urbanas, según informa el sistema. Como veremos más adelante, cuando analicemos otra crecida, se puede comprobar que es un evento de magnitud menor, lo que coincide con los registros de crecidas históricas mencionadas. La siguiente figura muestra la captura de pantalla de GEE, tal como se ve luego de aplicar los pasos señalados:

Figura 3. Crecida de mayo del 2018: Visualización de los resultados (Captura de pantalla de GEE).



Fuente: elaboración propia con el uso de GEE y datos de ESA Copernicus (2024).

e) Exportación de producto. Los datos fueron exportados en formato vectorial para analizarlos en conjunto con toda la información disponible del proyecto, dentro del programa QGIS.

f) Al ejecutar el script de Google Earth Engine aplica una serie de pasos de procesamiento, los cuales se realizan de forma automática: filtrado, preprocesamiento, detección de cambio, refinamiento de la capa de la extensión de inundaciones y cálculo de área de la extensión de inundaciones. Si bien no se explican acá, estos pasos son importantes para considerar cuáles son las limitaciones del análisis.

3.2.2. Análisis de crecida a partir de imágenes de radar utilizando el programa SNAP de la Agencia Espacial Europea (ESA)

La Agencia Espacial Europea diseñó una plataforma de aplicaciones para el satélite Sentinel denominada "Sentinel Application Platform" (SNAP). Este sistema permite un modo alternativo para estudiar las imágenes, con ventajas y desventajas respecto a Google Earth Engine, que se usó en el punto anterior. En este caso es necesario descargar la aplicación, siendo necesario una computadora con capacidad de procesamiento, pero con la ventaja de no necesitar ejecutar complejos códigos o "scripts."

Al igual que en el punto anterior, para este estudio de caso se utilizará una imagen obtenida por el Radar de Apertura Sintética (SAR) instalado en el satélite Sentinel-1, perteneciente al Programa Copernicus de la Agencia Espacial Europea (ESA).

El método aplicado también ha sido propuesto por la Plataforma de las Naciones Unidas de información obtenida desde el espacio para la gestión de desastres y la respuesta de emergencia (ONU-SPIDER, 2024c).

El evento estudiado corresponde a la crecida del 18 de agosto del 2015. Si bien en la página de la Red Hidrométrica del río Luján no se muestran registros para este período, la crecida si fue documentada

por Principi (2023), como se detalló en el Capítulo 2. Un artículo publicado por el medio periodístico Urgente 24 (2015) informó la pérdida de una vida en la ciudad de Pilar a causa del evento, y en Luján el daño alcanzó “entre 6.000 y 8.000 afectados por las inundaciones,” incluyendo 1.600 autoevacuados y 500 evacuados.

A continuación, se presentan los pasos realizados para la aplicación de la técnica de detección de espejos de agua, utilizando imágenes Sentinel 1:

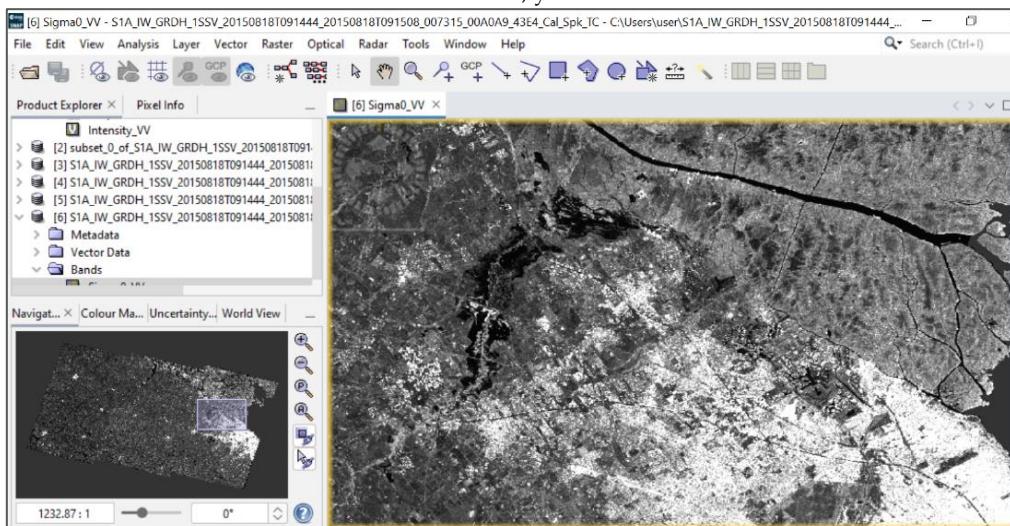
a) Descarga del producto. La imagen utilizada se obtuvo del portal de datos Alaska Satellite Facility, perteneciente a la Universidad de Alaska Fairbanks (<https://search.asf.alaska.edu/>). Previamente es necesario registrarse en National Aeronautics and Space Administration (NASA). Se descargó del catálogo la imagen del 18 de agosto de 2015, 9.14am.

b) Selección del área de interés. Se realizó un recorte de la imagen satelital, para trabajar sobre el área de interés, a partir de estas coordenadas: 59.1341 O; 58.7737 E; 34.5380 S; 34.2571 N.

c) Procesamiento de la imagen. Calibración: Para esto se creó un nuevo producto con valores calibrados del coeficiente de retrodispersión (backscatter, es decir la energía reflejada). Filtrado: Se aplicó un filtrado de punto para disminuir el ruido speckle en la imagen, es decir un defecto que la corrompe. Proyección: Se proyectó en terreno utilizando un modelo de elevación digital (DEM por su sigla en inglés) que descarga SNAP. Esto posibilita que la imagen pueda abrirse en QGIS. Conversión a dB (decibeles): Según sugiere CONAE (Nemíña y Zajc, 2024) “Conviene siempre explorar las imágenes en dB pues es una medida más natural para nuestro ojo”. Este proceso se ejecutó sobre una de las bandas de la imagen: sigma_0_VV. La imagen resultante luego de la ejecución de estos pasos se muestra a continuación:

Figura 4. Captura de pantalla de SNAP con la imagen Sentinel 1B del 18/08/2015.

A la derecha el delta del Paraná, y la ciudad de Buenos Aires.



Fuente: elaboración propia con el uso de SNAP y datos de Alaska Satellite Facility (2024).

Claramente se identifican cuerpos de agua, vegetación y ciudades, y es notoria la crecida del río Luján, especialmente aguas debajo de la ciudad de Pilar, con la ocupación de grandes extensiones de superficie.

La imagen que se muestra sólo contiene la banda VV, por lo que no puede compararse el coeficiente de retrodispersión con la banda VH u otras. Por ese motivo, tampoco puede seleccionarse la polarización que separe mejor las zonas con y sin agua. De todas maneras, la imagen resultante

permite distinguir con claridad esa condición del suelo. La imagen ilustra la dimensión de la crecida, que fue una de las mayores en lo que va del siglo, alcanzando los 5,43 m en la ciudad de Luján (Principi, 2023), altura que hasta la fecha no ha sido superada por nuevos eventos.

- d) Análisis. Luego se calculó el histograma de la imagen, y se identificó un valor por debajo del cual el coeficiente de retrodispersión o energía reflejada corresponde a agua (0.2).
- e) Obtención del mapa de zonas inundadas. Para esto se utilizó la herramienta “Band math”, con la que se pueden hacer operaciones matemáticas. Se aplicó esta expresión: Sigma0_VV < 0.02, donde “Sigma0_VV” es la banda sobre la que se realiza el cálculo, y “0.02” el valor del coeficiente de retrodispersión por debajo del cual se considera agua.
- f) Exportación del mapa. El resultado se exporta como archivo raster formato “GeoTiff,” para poder ser abierto en QGIS, donde puede visualizarse con otras capas temáticas, y realizarse otros análisis.

3.2.3. Crecidas de 2015 y 2018: dos estudios de caso metodológicos complementarios

Luego de analizados dos eventos de inundación por métodos alternativos, con el uso de dos plataformas de información, se confrontan ambos procedimientos, distinguiendo las ventajas y desventajas de cada uno. Debido a la disponibilidad temporal de los productos satelitales, se trabajó con dos estudios de caso independientes, sin carácter comparativo. La selección responde a la disponibilidad de imágenes en los momentos cercanos a cada crecida, por ello no se realiza comparación cuantitativa entre eventos, sino una evaluación de las potencialidades y limitaciones de cada método.

Ambos utilizan imágenes radar, lo que permite observar la crecida en los días en que el cielo nublado impide captar el suelo con imágenes que utilizan el rango visible. El procedimiento con Google Earth Engine es más sencillo, en el caso de utilizarse scripts o códigos ya propuestos por algún ente reconocido, como se utilizó en este caso. El uso del programa SNAP es intuitivo, y su uso es similar al de otras aplicaciones de uso común, con una interfaz sencilla, pero con la desventaja de que los procesos demoran muchos minutos, o algunos no son posibles con computadoras básicas.

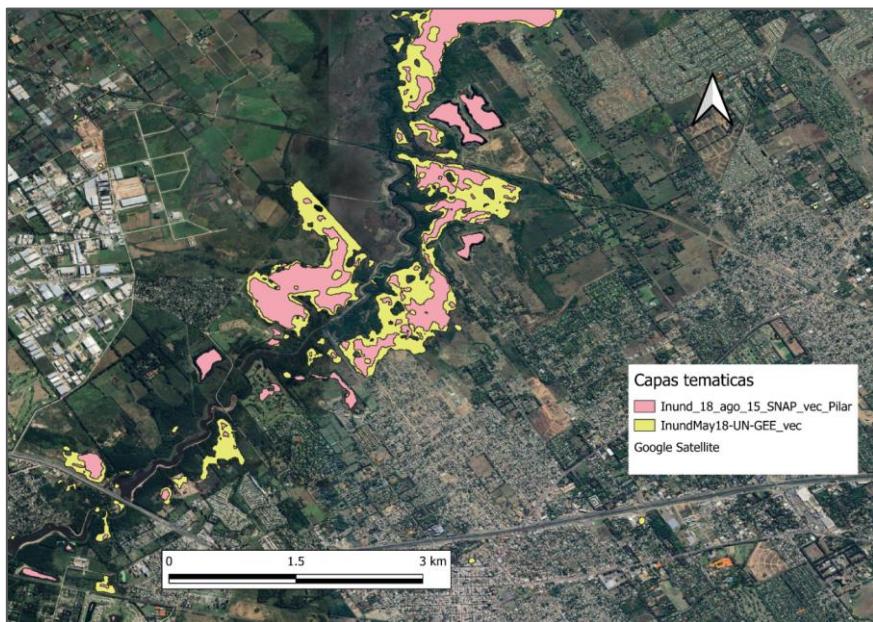
En la siguiente tabla se resumen los datos correspondientes al análisis de ambos procedimientos:

Tabla 1. Características de procesamiento de los métodos alternativos.

Método	ONU-SPIDER (2024c) y CONAE	ONU-SPIDER (2024a)
Tipo de imagen	SAR (radar)	SAR (radar)
Satélite	Sentinel 1 – Copernicus (ESA)	Sentinel 1 – Copernicus (ESA)
Software	SNAP	Google Earth Engine
Fecha	18/08/2015	Entre el 29/04/2018 y el 03/05/2018
Superficie	727 ha	1142 ha
Altura registrada	5.43 m el 12/ago (Principi, 2023)	5 m en Jáuregui el 30/4 según Red

Fuente: elaboración propia (2024).

Figura 5. Inundaciones de 2015 y 2018.



Fuente: elaboración propia con datos de Alaska Satellite Facility (2024) y Google (2025).

En cuanto a las características de los eventos, el de abril de 2018 ocupa más extensión, alcanzando 1142 ha en el área de estudio, con una altura registrada del río 5 m en Jáuregui el 30/4 según Red Hidrométrica. Mientras que la inundación de agosto de 2015 mantenía inundadas solo 727 ha al momento de la pasada del satélite, si bien los datos de los registros indican que en agosto de 2015 se produjo una crecida de las más importantes, alcanzando los 5.43 m el 12 de agosto Principi (2023).

Esto nos muestra las limitaciones de la técnica, especialmente por la frecuencia de paso del satélite Sentinel 1, que, en caso de no ocurrir en el momento de mayor crecida, no ilustra con precisión su alcance. Ante esta limitación, se adoptó una estrategia metodológica alternativa para asegurar la precisión temporal requerida en el análisis. Se complementó la información satelital con datos obtenidos mediante un relevamiento aéreo, realizado en una fecha más cercana al pico del evento. Esta aproximación permitió compensar las restricciones asociadas a la resolución temporal del satélite.

3.3. La exposición de la población

Se ha analizado a la amenaza y los distintos factores que la afectan, desde climáticos, hasta modificaciones hidrológicas como las enunciadas más arriba. Sin embargo, para que el riesgo se presente es condición la existencia de un elemento expuesto, susceptible de sufrir daños. En el área de estudio el elemento de mayor importancia expuesto a la amenaza son comunidades asentadas sobre la planicie de inundación del río, situación que se ha acrecentado durante el periodo de análisis.

Se analiza la evolución de la urbanización en áreas inundables, a través de la comparación de imágenes de Google Earth de 2003 y 2020. Este crecimiento ha sido analizado en un trabajo anterior (Valle y Ventura, 2023), donde se determinó que el Barrio río Luján, en julio de 2003, contaba con solo 27 casas emplazadas por debajo de la cota 10 IGN, y para noviembre de 2022 ese número se multiplica por 6.

Otros de los barrios con notable expansión hacia la planicie de inundación es Agustoni. Al igual que el barrio Río Luján, es un barrio abierto con fraccionamiento aprobado según puede observarse en la página web de CartoARBA (2024).

La imagen correspondiente a julio de 2003 muestra que el espacio por debajo de la cota 10 IGN se encontraba casi enteramente libre de edificaciones, y en 20 años, el crecimiento urbano en este espacio alcanzó aproximadamente 50 manzanas densamente pobladas, en un espacio que fue alcanzado por la inundación de agosto de 2015, (Valle y Ventura, 2023). A continuación, se presenta un mosaico de imágenes que ilustra este proceso en el barrio Agustoni:

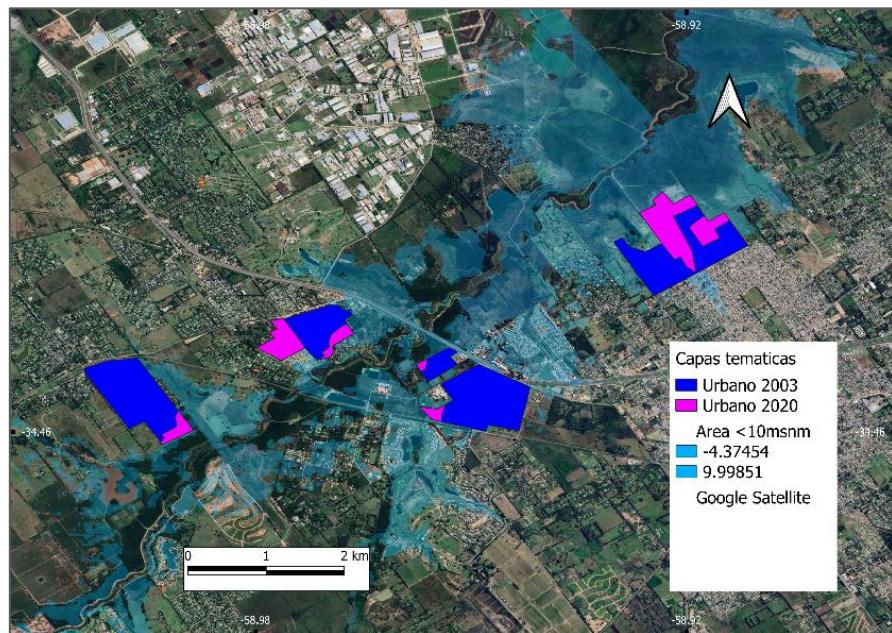
Figura 6. Evolución de la exposición. Bº Agustoni: comparación imágenes 2003-2020.



Fuente: Google Earth (2025).

El procedimiento se realizó a través de los siguientes pasos:

- a) Urbanización en área inundable en el año 2003. Se creó una capa temática vectorial en Google Earth, que delimita el área urbanizada correspondiente a los 5 barrios localizados dentro de la zona con cota menor a 10msnm: Agustoni, Luchetti, río Luján, Los Grillos y Manantial. Se utilizó la imagen histórica del año 2003 para definir la extensión del área. La capa fue denominada “urbano 2003.”
- b) Urbanización en área inundable en el año 2020. Con el mismo procedimiento que en el punto anterior, pero usando la imagen satelital de Google Earth correspondiente al año 2020, se creó la capa denominada “urbano 2020.” Se muestra a continuación el mapa con ambas capas, donde se aprecia en color fucsia el crecimiento de los 5 barrios hacia el río:

Figura 7. Evolución de áreas urbanas en áreas inundables entre 2003 y 2020.

Fuente: elaboración propia con datos de Google e IGN (2024).

c) Cálculo de superficie urbanizada. El archivo vectorial creado en Google Earth con formato “kmz” fue exportado a QGIS, para realizar el cálculo del área utilizando la función “área” de la calculadora de campos. El área resultante se calcula en metros, por lo que se aplica conversión a hectáreas dividiendo el resultado por 10.000. El resultado indica por ejemplo que el barrio Agustoni pasó de 79 a 132 ha urbanizadas en el período analizado.

d) Determinación del crecimiento. Se calculó en el programa Excel el porcentaje de crecimiento de cada barrio. Los barrios que más se extendieron ocupando la planicie de inundación fueron Agustoni y Barrio río Luján, con un crecimiento del 73% y 67% respectivamente, como se ve en la figura siguiente:

Tabla 2. Porcentaje de crecimiento de cada barrio entre 2003 y 2020.

	Sup. en 2003 (en)	Sup. en 2020 (en)	% de crecimiento
Rio Lujan	37	64	73
Agustoni	79	132	67
Luchetti	82	90	10
Manantial	13	14	8
Los Grillos	85	89	5

Fuente: elaboración propia con datos de Google Earth (2025).

3.4. Caracterización de la vulnerabilidad

El resultado del trabajo demostró que los barrios en área bajo amenaza con mayor vulnerabilidad son Luchetti, río Luján y Agustoni, con una IVT muy alta según análisis de datos censales. Estos barrios han sido registrados recientemente por el ReNaBaP, confirmando la vigencia de condiciones socioeconómicas vulnerables. Cabe aclarar que los datos que se obtienen para el IVT provienen de radios censales, unidad espacial que no es congruente con los barrios, sino con las áreas que utiliza INDEC para sus censos.

En cuanto a los resultados de análisis de vulnerabilidad de COMILu (2024), indicaron nivel de vulnerabilidad muy alto para el barrio Luchetti, y alto para los barrios río Luján y Agustoni, obtenidos a partir del uso de indicadores de vulnerabilidad, exposición, y capacidad. Este trabajo definió 4 categorías de vulnerabilidad (muy alta, alta, media y baja), con el uso de 23 indicadores incluidos en 4 dimensiones: social, económica, física y ambiental. Por ejemplo, el barrio Luchetti presenta valores desfavorables para los indicadores “condiciones de hacinamiento”, “procedencia del agua para beber y cocinar” y “capacidad de subsistencia de los hogares”.

3.5. Normativa y su impacto en la construcción social del riesgo

En este apartado se analiza la influencia de la normativa en estos procesos, y cómo las autoridades se han apoyado en esta herramienta para la gestión del riesgo. En primer lugar, se explicarán los aspectos destacados del Código de Ordenamiento Territorial actualmente vigente, sancionado en 2023. Seguidamente se explicarán los aspectos relevantes del anterior Código que tuvo vigencia en el período 2018-2023. Por último, se hará mención a algunos aspectos regulatorios del primer código del municipio, que tuvo vigencia desde 1985 hasta 2018, y a otras normas con impacto en el riesgo de inundaciones.

El Código de Ordenamiento Territorial (COT) del año 2023.

Elaborado conjuntamente entre la Provincia de Buenos Aires, el Consejo Federal de Inversiones y Municipio de Pilar, fue presentado en marzo de 2023, y sancionado en abril de ese año por el Honorable Concejo Deliberante, previa Audiencia Pública realizada este mes. Posteriormente, el COT fue convalidado de manera definitiva por el gobierno de la Provincia de Buenos Aires, en diciembre de 2023 (Pilar a Diario, 2023). Algunos aspectos que se destacan de la norma, en relación a los objetivos de este estudio son: Prohibe habilitación de loteos en la zona bajo cota de inundación, según lo determine la Dirección de Hidráulica del Ministerio de Obras Públicas de la Provincia de Buenos Aires (artículo 129); Inclusión de una línea que demarca la planicie de inundación en el Plano con delimitación de zonas.

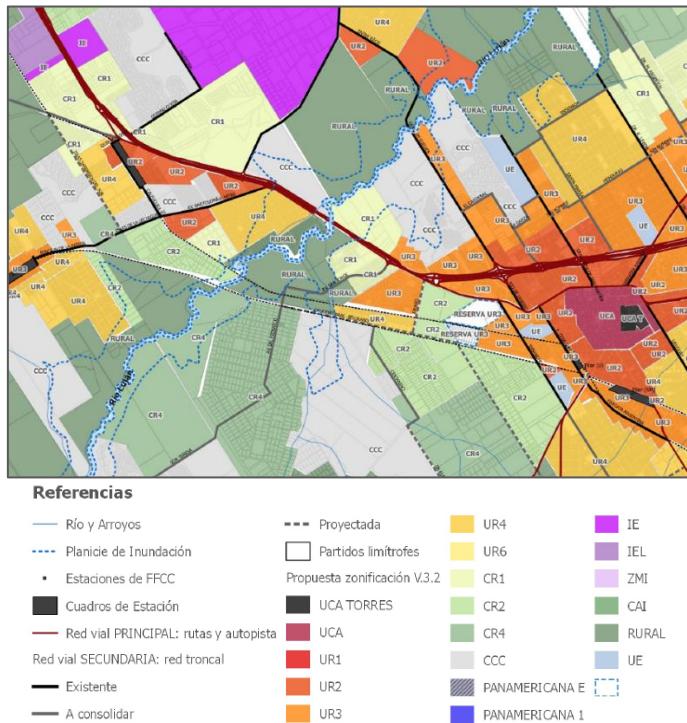
El Código de Ordenamiento Territorial (COT) del año 2018.

El COT sancionado en 2018 actualizó la primera norma que regulaba la zonificación del partido de Pilar, con vigencia durante 33 años. Al momento de la entrada en vigencia de esta nueva ordenanza, la temática de inundaciones se encontraba en un lugar prioritario de la agenda local. Los años recientes habían sido marcados por eventos de excesos hídricos de los que se ha hecho referencia en capítulos anteriores, entre los que se destacan los de noviembre de 2014, agosto de 2015 y abril de 2018.

En ese contexto, este COT planteó algunas regulaciones novedosas en materia de riesgo hídrico, respecto a la ordenanza 10/85 que la antecede, en especial el establecimiento de una Zona Protección Especial Planicie de Inundación (ZEPI). Esta zona había sido delimitada entre las líneas que se señalan a ambas márgenes del río Luján en el plano de zonificación que forma parte del Anexo C del COT y es idéntica a la planicie demarcada en el COT de 2023. En esta Zona solo se permitían construcciones permanentes sobre palafitos sobre la cota 7,5 m IGN. Otras exigencias del COT para las parcelas dentro de esta zona: mantener permeable la superficie del terreno; habilitar solo los caminos de acceso necesarios, garantizando el libre escorrimiento; prohibición de refulados y movimiento de suelos; obligación de compensar hidráulicamente a los establecimientos ya instalados. Dentro de esta zona se permitía el uso residencial, turístico, hotelería, y recreativo.

Figura 8. Plano de Zonificación del COT 2018 (captura de pantalla).

Dentro de la línea punteada puede observarse la ZPEPI, que incluye parte de los barrios estudiados.



Fuente: Municipalidad de Pilar (2018).

El Código Zonificación (CZ) del año 1985.

El año 1985 se sancionó la Ordenanza 10/85, la que fue la primera norma de ordenamiento territorial del Partido, y reguló la zonificación de actividades y usos hasta el año 2018, es decir prácticamente todo el período de estudio de este trabajo. Al igual que el COT de 2023, ya definía que la altura de la cota 0,00 de vereda nunca podía ser menor a la cota máxima de inundación (Título 3).

Si bien no tenía referencias específicas a manejo del riesgo hídrico, áreas de protección ambiental, o demarcación de áreas inundables, este Código estableció los lineamientos de urbanización, fijando áreas urbanas y rurales, densidades de población permitidas, y tamaños de parcelas, aspectos de importante influencia en la construcción de riesgo hídrico.

El CZ dividió al partido en distritos de uso del suelo, y asignó a cada distrito indicadores urbanísticos a cumplir, como densidad poblacional, Factor de Ocupación del Suelo (FOS) que indica el porcentaje de la superficie del predio que se puede impermeabilizar, altura permitida de edificación, dimensiones mínimas de las parcelas y los metros de frente mínimos.

Recordemos ahora los 5 barrios analizados más arriba, los cuales se emplazaron dentro de la zona con cota menor a 10. Estos se localizaron en los distritos Urbano Residencial 6 (UR6) y Urbano Residencial 4 (UR4) del CZ, extendiéndose algunas viviendas hacia el distrito Rural en el caso del Barrio Agustoni.

En el caso del barrio río Luján, inició su desarrollo dentro del distrito Urbano Residencial 6 (UR6), y alcanzó una población de 710 habitantes en una superficie de 104 ha, resultando una densidad poblacional de 6.82 Hab/Ha, es decir sustancialmente menor a la permitida por el CZ, por lo tanto, este aspecto se encuentra en cumplimiento de la norma. Sin embargo, en cuanto a los indicadores de

frente mínimo y superficie mínima de parcela, al consultar la plancheta catastral en la página de información cartográfica de la Agencia de Recaudación de la Provincia de Buenos Aires (ARBA Carto), se observa que el fraccionamiento de lotes excede los límites de los indicadores para el distrito UR6. Se analizó una manzana del barrio río Luján ubicada contigua al río (Circunscripción III, Sección D, Manzana 28), y se comprobó que por ejemplo la parcela 17 tiene una superficie de 475m², es decir menor a la mínima autorizada de 800m².

Algunas de las parcelas en esta manzana exceden el límite de superficie mínima, lo que resulta en mayor cantidad de viviendas expuestas a la amenaza, y una mayor impermeabilización del suelo. Asimismo, el CZ que reguló los fraccionamientos desde 1985 hasta 2018 tampoco estableció restricciones en la planicie de inundación, lo que permitió loteos como es de la manzana exemplificada, situación que no pueden revertir nuevas normas como los COT de 2018 y 2023, por los derechos adquiridos de quienes ya se radicaron allí previamente.

4. Conclusiones

En este trabajo se ha analizado el riesgo de inundación y su vínculo con procesos de transformación territorial en el área de estudio. El análisis de la amenaza a partir del estudio de crecidas históricas con el uso de Google Earth Engine y la plataforma de aplicaciones SNAP de la Agencia Espacial Europea, ha permitido gracias al uso de imágenes radar, la observación de las crecidas en los días en que el cielo nublado impide captar el suelo con imágenes que utilizan el rango visible. Una comparación entre ambas técnicas demuestra que el procedimiento con Google Earth Engine es más sencillo, al permitir el uso de scripts ya elaborados por algún ente reconocido. El uso del programa SNAP es intuitivo y similar al de otras aplicaciones de uso común, pero con la desventaja de que los procesos demoran más tiempo. En cuanto a las características de los eventos, el de 2018 ocupó más extensión, alcanzando 1142 ha en el área de estudio, con una altura registrada del río 5 m en Jáuregui, mientras que la inundación de 2015 anegados solo 727 ha, si bien los datos de los registros indican que en agosto de 2015 se produjo una crecida de las más importantes, que alcanzó los 5.43 m.

Las obras estructurales del Plan Maestro Integral de la cuenca, y las urbanizaciones que se localizan sobre la planicie de inundación han causado impactos tanto beneficiosos como negativos. Las acciones de adecuación del cauce producen impacto positivo al minimizar el riesgo de inundaciones, al mejorar la capacidad de conducción del río, lo que reduce la probabilidad e intensidad de los eventos. Sin embargo, implican la remoción de comunidades vegetales y de los suelos con el efecto de pérdida de humedales y hábitats naturales, reducen la biodiversidad del río y alteran el corredor fluvial biológico del río. Por otro lado, la construcción de urbanizaciones privadas con ocupación de planicie de inundación por debajo de la cota 7.5 m, que incluyen relleno de áreas bajas, construcción de un terraplén de separación y construcción de viviendas a menos de 100 m del curso de agua, impactan negativamente al reducir la capacidad de retención de excedentes hídricos del río.

En el área de estudio el elemento más significativo expuesto a la amenaza son poblaciones radicadas sobre la planicie de inundación, situación que se ha acrecentado durante el período objeto de estudio. La evolución de la urbanización en áreas inundables, a través de la comparación de imágenes de Google Earth de 2003 y 2020, concluyó que los barrios que más se extendieron ocupado la planicie de inundación fueron Agustoni y Barrio río Luján, con un crecimiento del 73% y 67% respectivamente.

El espacio por debajo de la cota 10 IGN se encontraba al principio del período de análisis casi enteramente libre de edificaciones para el caso del barrio Agustoni y alcanzó en 20 años aproximadamente 50 manzanas densamente pobladas. El barrio río Luján contaba con menos de 50 casas emplazadas por debajo de la cota 10 IGN, y multiplicó por 6 ese valor en el período objeto de estudio.

La caracterización de la vulnerabilidad a partir del Índice de Vulnerabilidad Total (IVT) indicó que los barrios en área bajo amenaza con mayor vulnerabilidad son Luchetti, río Luján y Agustoni, con una IVT muy alta según análisis de datos censales. Estos barrios han sido registrados recientemente por el ReNaBaP, lo que confirma la vigencia de condiciones socioeconómicas vulnerables. Asimismo, los resultados de análisis de vulnerabilidad de ComiLu, coincidieron en indicar un nivel de vulnerabilidad muy alto para el barrio Luchetti, y alto para los barrios río Luján y Agustoni, obtenidos a partir del uso de indicadores de vulnerabilidad, exposición, y capacidad.

El incremento de la exposición en áreas inundables es el resultado de dinámicas complejas, donde han intervenido múltiples actores con responsabilidades diferenciadas. Por un lado, los desarrolladores inmobiliarios privados han promovido urbanizaciones cerradas en zonas de riesgo, aprovechando vacíos normativos o la valorización del suelo periurbano. Por otro lado, actores informales (como ocupadores ilegales o intermediarios) facilitaron la expansión de barrios vulnerables en áreas no aptas, muchas veces en respuesta a la falta de políticas accesibles de vivienda. Sin embargo, el Estado (tanto a nivel provincial como municipal) ha jugado un papel central al permitir, regular u omitir acciones frente a estos procesos.

Los procesos de transformación territorial han sido condicionados por un marco normativo que los propició, limitó o condicionó. El Código de Zonificación de 1985 (CZ) fue la primera norma de ordenamiento territorial del partido, y reguló la zonificación de usos y actividades hasta la sanción de su reemplazo en el año 2018, es decir prácticamente todo el período de estudio de este trabajo. Si bien no tenía referencias específicas en materia de gestión del riesgo hídrico, áreas de protección ambiental, o demarcación de áreas inundables, este Código estableció los lineamientos de urbanización, fijando áreas urbanas y rurales, densidades de población permitidas, y tamaños de parcelas, aspectos de importante influencia en la construcción de riesgo hídrico.

Sin embargo, el Código de Zonificación de 1985 presentaba limitaciones estructurales para abordar los desafíos actuales. Diseñado en un contexto donde las variaciones hidrometeorológicas eran menos extremas y la presión urbana sobre áreas inundables era incipiente, carecía de herramientas para gestionar fenómenos como la intensificación de precipitaciones o los cambios acelerados en el uso del suelo. Estas deficiencias evidencian la necesidad de marcos normativos dinámicos, capaces de integrar proyecciones climáticas y mecanismos de revisión periódica.

Para el caso del barrio río Luján, radicado sobre el distrito Urbano Residencial 6 (UR6), los indicadores urbanísticos han sido parcialmente exitosos en ordenar el crecimiento, ya que la densidad poblacional prevista en 1985 aún no fue alcanzada. Sin embargo, en cuanto al indicador superficie mínima de parcela para el distrito UR6, al consultar planchetas catastrales se observó fraccionamientos de lotes que exceden los límites del indicador, con parcelas de 475m², es decir menor a la mínima autorizada de 800m², lo que resulta en mayor cantidad de viviendas expuestas a la amenaza, y una mayor impermeabilización del suelo.

Asimismo, el CZ que reguló los fraccionamientos desde 1985 hasta 2018 tampoco estableció restricciones en la planicie de inundación, lo que permitió parcelamiento a una distancia menor a 30 m del curso de agua, situación que no pueden revertir nuevas normas como los nuevos Códigos de Ordenamiento Territorial de 2018 y 2023, por los derechos adquiridos de quienes ya se radicaron allí previamente.

Los resultados de este trabajo permiten alcanzar algunas conclusiones generales. En primer lugar, que si bien las obras de adecuación del río actúan como mitigación frente al aumento del riesgo de inundaciones que incrementó la ocupación de la planicie de inundación, no reducen el impacto de pérdida de hábitat y biodiversidad, sino que por el contrario lo incrementan. Por otra parte, se evidencia la necesidad de implementar algunas acciones en materia de gestión del riesgo hídrico, como la instalación de instrumentos que permitan monitorear el nivel de los cursos de agua y su

evolución ante situaciones meteorológicas adversas, la implementación de un sistema de alerta temprana y plan de contingencia de manera integrada para la cuenca, y la determinación de la línea de ribera con definición de restricciones al uso en áreas contiguas.

En el plano científico, con la mirada centrada en próximas producciones, los avances en materia de evaluación del riesgo deberán incorporar los datos del Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2022 para caracterizar la vulnerabilidad, junto con la correlación de datos espaciales entre barrios y radios censales. Asimismo, será clave examinar la evolución de la amenaza en el contexto de los cambios del sistema territorial, utilizando registros de crecidas recientes. Por lo tanto, este trabajo se constituye en una base para que sea actualizado más adelante, de modo de analizar los cambios que se manifiesten en el territorio, ante el inminente creciente urbano e intensificación del uso del suelo. Asimismo, y como otra posible línea de trabajo, será de gran utilidad el estudio de los saberes y necesidades locales para su incorporación en el diseño de un sistema de alerta temprana a nivel cuenca. Si bien existe un sistema, este requiere de una mayor socialización de su existencia y la introducción de mecanismos de internalización por parte de la comunidad para el ajuste a las demandas locales.

Referencias bibliográficas

- Alaska Satellite Facility (2024). ASF Data Search. Universidad de Alaska Fairbanks (<https://search.asf.alaska.edu/>).
- ADA (2025). Atlas de Cuencas Hídricas de la PBA (Etapa 2). Subsecretaría de Recursos Hídricos Ministerio de Infraestructura y Servicios Públicos. Recuperado de: <https://ada.gba.gov.ar/mapas-de-cuencas/>
- Batalla, M. R. (2016). *La integración ambiental del territorio. Las urbanizaciones y lo privado en el caso del Partido de Pilar*. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Quilmes. Bernal, Buenos Aires, Argentina.
- Buzai G. D. y Lanzelotti S. (2019) Atlas de geografía humana de la cuenca del río Luján. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Impresiones Buenos Aires Editorial.
- CAF - Banco de Desarrollo de América Latina, (2016). Plan de Manejo Integral de la Cuenca del río Luján. Informe Ambiental y Social de Evaluación. Recuperado de: https://www.caf.com/media/6755/ias-lujan-_arg_mm_ja-v12.pdf
- Camilloni, I., V. Barros, S. Moreiras, G. Poveda y J. Tomasella, (2020): Inundaciones y sequías. En Moreno, J.M., C. Laguna-Defior, V. Barros, E. Calvo Buendía, J.A. Marengo y U. Oswald Spring (eds.). Adaptación frente a los riesgos del cambio climático en los países iberoamericanos. McGraw-Hill, Madrid, España (p. 391-417).
- CartoARBA (2024). ARBA Carto. Agencia de Recaudación Provincia de Buenos Aires. Recuperado de <https://carto.arba.gov.ar/cartoArba/>
- ComiLu (2021). Actualización del Plan de Manejo Integral de la Cuenca del río Luján. Ministerio de Infraestructura y Servicios Públicos de la Provincia de Buenos Aires, Subsecretaría de Recursos Hídricos; Buenos Aires, Argentina. Recuperado el 24/06/2024 de <https://www.gba.gob.ar/comilu/antecedentes>
- ComiLu (2024), "Avances en el Análisis del Riesgo ante inundaciones - diciembre 2023", Ministerio de Infraestructura y Servicios Públicos de la Provincia de Buenos Aires, Subsecretaría de Recursos Hídricos; Buenos Aires, Argentina. Recuperado el 24/06/2024 de <https://www.gba.gob.ar/comilu/antecedentes>

DPH (2019). Evaluación de Impacto Ambiental y Social adecuación del cauce del tramo medio río Luján – tramo FFCC Belgrano Norte – Ruta Provincial N°6. Recuperado el 24/06/2024 de: https://www.minfra.gba.gov.ar/web/Compartida/EIA_Lujan_Adecuacion_TramoMedio.pdf

Fenoglio, E. P. (2019) Inundaciones urbanas y cambio climático: recomendaciones para la gestión. – 1º ed. mejorada. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

GIZ (2016). El libro de la Vulnerabilidad. Concepto y lineamientos para la evaluación estandarizada de la vulnerabilidad. GIZ (Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo), Aedphi y EURAC. Bonn, Alemania.

Goldberg, S., Jara, S. y Rivero, L. 2014. "Una herramienta para estimar la altura del río frente a riesgos de inundación en la ciudad de Luján." En C.T. Carballo y S. Goldberg (Dir), Comunidad e información ambiental del riesgo. Las inundaciones y el río Luján (pp. 65-80). CABA. Editorial Dunken.

González, S. y Torchia, N. (2007). Aportes para la elaboración del marco conceptual. Programa Nacional de Reducción del Riesgo de Desastres y Desarrollo Territorial. Proyecto PNUD.

Herrero, A., Natenzon, C. y Miño, M. (2018). Vulnerabilidad social, amenaza y riesgo frente al Cambio Climático en Aglomerado del Gran Buenos Aires. CIPPEC: Programa de Ciudades, Área de Desarrollo Económico. Documento de Trabajo N° 172. Buenos Aires.

IGN (2024). Capas SIG. Ministerio de Defensa. Recuperado de <https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/InformacionGeoespacial/CapasSIG>

INDEC (2022). Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2022. Resultados provisionales. Recuperado de https://www.indec.gob.ar/ftp/cuadros/poblacion/cnphv2022_resultados_provisionales.pdf

Municipalidad de Pilar (2018). Código de Ordenamiento Territorial.

Natenzon, C. E. (2015). "Presentación." En: Natenzon, Claudia E. y Diego Ríos –editores–. Riesgos, catástrofes y vulnerabilidades. Aportes desde la Geografía y otras ciencias sociales para casos argentinos. Buenos Aires, Imago Mundi, p. IX-XXV; ISBN 978-950-793-205-2.

Nemiña, F. y Zajc, T. (2024). Teledetección SAR: Nivel Introductorio - Guía Práctica. Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de la República Argentina. Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE). Unidad de Formación Masiva.

ONU-SPIDER: Plataforma de las Naciones Unidas para la gestión de catástrofes y la respuesta a emergencias (2024a). Mapeo Rápido de Inundaciones y sus Impactos Utilizando Datos SAR de Sentinel-1 y Google Earth Engine. Recuperado el 17/06/2024 de <https://www.un-spider.org/es/advisory-support/recommended-practices/recommended-practice-google-earth-engine-flood-mapping/step-by-step>

ONU-SPIDER: Plataforma de las Naciones Unidas para la gestión de catástrofes y la respuesta a emergencias (2024b). Oficina de Naciones Unidas para Asuntos del Espacio Exterior - UN-SPIDER: Portal de conocimiento. Recuperado el 17/06/2024 de: <https://www.un-spider.org/es>

Página 12 (1/05/2018). Denuncian una puesta en escena del macrista Ducoté. En el agua, pero lejos de los inundados. Página 12. Recuperado de <https://www.pagina12.com.ar/111769-en-el-agua-pero-lejos-de-los-inundados>

Pilar a Diario (23/12/2023). La Provincia convalidó el Código Urbano de Pilar. Pilar a diario. Recuperado de <https://www.pilaradiario.com/politica/la-provincia-convalido-el-codigo-urbano-pilar-n5449942>

Pintos, P. A., y Sgroi, A. M. (2013). Efectos del urbanismo privado en humedales de la cuenca baja del río Luján, provincia de Buenos Aires, Argentina. Estudio de la megaurbanización San Sebastián. AUGMDOMUS, 4, 25-48. Recuperado de <https://revistas.unlp.edu.ar/domus/article/view/432>

PNUD. (2014). Documento país 2014. Riesgo de Desastres en Argentina. PNUD- Cruz Roja Argentina-Proyecto DIPECHO VII. CABA.

Principi, N. (2023). Simulación del nivel de agua para escenarios de inundación. Aplicación a Luján (Buenos Aires). Boletín geográfico, 45, <http://id.caicyt.gov.ar/ark:/s2313903x/s6ka2x4kb>

Reyna, J., Spalletti, P., y Brea, J. D. (2007). Riesgo de inundaciones en el río Luján. Laboratorio de Hidráulica. Instituto Nacional del Agua (INA). Recuperado de <https://repositorio.ina.gob.ar/bitstreams/9eea5ff7-a948-4bd3-bc90-86592bcaeec7/download>

Renda E.; Rozas Garay, M.; Moscardini, O., & Torchia, N. (2017). Manual para la elaboración de mapas de riesgo. Programa Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD; Argentina: Ministerio de Seguridad de la Nación. 1a Ed ilustrada. Buenos Aires.

UNDRR (2022). Oficina de las Naciones Unidas para La Reducción de Riesgo de Desastres. GAR. Informe de Evaluación Global sobre Reducción de Riesgo de Desastres. Nuestro mundo en peligro: Transformar la gobernanza para un futuro resiliente. Ginebra. UNDRR.

Urgente 24 (18 de agosto de 2015). Suman 5 los muertos por las inundaciones. Urgente 24. Recuperado de <https://urgente24.com/243283-suman-5-los-muertos-por-las-inundaciones>

Valle, M. y Ventura, P. 2023. Evaluación del riesgo hidrometeorológico en el río Luján. El caso del partido de Pilar. En: IV Congreso Internacional de Geografía Urbana. Universidad Nacional de Luján. Buenos Aires.

Valle, Martiniano (2004). Análisis de la localización de las estaciones de servicio en el Partido de Pilar (Provincia de Buenos Aires). Tesis de la Licenciatura en Información Ambiental. Universidad Nacional de Lujan. Lujan, Buenos Aires.



Esta obra se encuentra bajo Licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0. Internacional. Reconocimiento - Permite copiar, distribuir, exhibir y representar la obra y hacer obras derivadas siempre y cuando reconozca y cite al autor original. No Comercial – Esta obra no puede ser utilizada con fines comerciales, a menos que se obtenga el permiso.