



PhD dissertation by **Ana Noemí Gomez Vaca**

# **Multidimensional spatial index of long-term vulnerability to urban flooding: methodological design, application in Girona, and development of a virtual city simulator**

**Supervisors:** Dr Ignasi Rodriguez-Roda and Dr Alexandra Popartan

**Jury members:** Dr José María Bodoque (Universidad de Castilla-la Mancha), Dr María Alejandra Leigue (Universidad Católica Boliviana San Pablo) and Dr Anna Maria Ribas (Universitat de Girona)

**Friday 23rd January 2026, 16:00h, UdG Faculty of Sciences (“Aula Magna”)**

Carrer M<sup>a</sup> Aurèlia Capmany 61, Campus Montilivi, 17003 Girona & [Online – Teams](#)



## Abstract

Floods are among the most frequent and costly natural disasters, and their urban impact will continue to increase due to accelerated urbanization, land-use change, climate variability, and aging infrastructures. In this context, risk management can no longer focus solely on measuring the hazard or responding during emergencies: it is necessary to incorporate long-term vulnerability, understood as the combination of exposure, susceptibility, and adaptive capacity. This perspective aligns with the Sendai Framework and the United Nations' Sustainable Development Goals, which call for more systemic urban resilience in the face of climate change.

Ana Noemí Gomez' doctoral thesis presents the **Multidimensional Urban Flood Vulnerability Index (MUFVI)**, which integrates four dimensions (social, economic, environmental, and physical) and three components (exposure, susceptibility, and resilience). Its application in Girona (Catalonia, Spain) shows how these dimensions and components accumulate over time and help identifying long-term spatial patterns of vulnerability. Furthermore, combining the MUFVI index with hazard layers and combined sewer overflow points helps identify areas where repeated stressors accumulate over time and weaken resilience. Additionally, the thesis incorporates the **Virtual City Simulator (VCS)**, a synthetic Mediterranean city composed of eight neighborhood typologies. This tool allows users to adjust indicator values, modify indicator and dimension weights, compare scenarios, and map how vulnerability may evolve in the future. The VCS is designed for data-scarce contexts, enabling robust diagnostics even when municipalities only have partial information.

Such developments can effectively support multicriteria **decision-making processes** (social, economic, environmental, physical) on urban water management, facilitating the sequence of benefits vs capital investments, as well as the prioritization of municipal interventions. The [Virtual City Simulator](#) has been released as an open research asset to facilitate replication, adaptation to new case studies, methodological extensions, and validation by other researchers.

The doctoral thesis was directed by **Dr Ignasi Rodríguez-Roda and Dr Alexandra Popartan** and developed in the **Laboratory of Chemical and Environmental Engineering (LEQUIA)** within the framework of [CLEPSIDRA](#) and [D-PATTERN](#) projects funded by the Spanish Research Agency AEI. LEQUIA is a multidisciplinary research group of the University of Girona renowned for its activity within the water field.

### Publications:

- Gomez Vaca, A.N.; Popartan, L.A.; Selvas, G.A.; Nuss-Girona, S.; Abily, M.; Rodríguez-Roda, I. Virtual City Simulator: A Scenario-Based Tool for Multidimensional Urban Flood Long-Term Vulnerability Assessment and Planning in Mediterranean Cities. *Water* 2025, 17, 3538. <https://doi.org/10.3390/w17243538>
- Gomez Vaca, A.N., Popartan, L.A., Nuss-Girona, S. et al. Spatial approach for assessing vulnerability to urban flooding: a proposal for a multidimensional index. *Nat Hazards* 121, 16799–16825 (2025). <https://doi.org/10.1007/s11069-025-07451-5>

## Resum

Les inundacions són un dels desastres naturals més freqüents i costosos, i el seu impacte urbà continuarà augmentant a causa de la urbanització accelerada, els canvis en l'ús del sòl, la variabilitat climàtica i l'envelliment de les infraestructures. En aquest context, la gestió del risc ja no pot limitar-se a mesurar el perill ni a respondre només en situacions d'emergència: cal incorporar la vulnerabilitat a llarg termini, entesa com la combinació entre exposició, susceptibilitat i capacitat d'adaptació. Aquesta perspectiva s'alinea amb el Marc de Sendai i amb els Objectius de Desenvolupament Sostenible de les Nacions Unides, que reclamen una resiliència urbana més sistèmica davant el canvi climàtic.

La tesi doctoral d'Ana Noemí Gomez presenta l'Índex Multidimensional de Vulnerabilitat Urbana a les Inundacions (en anglès, **Multidimensional Urban Flood Vulnerability Index-MUFVI**), un índex que integra quatre dimensions (social, econòmica, ambiental i física) i tres components (exposició, susceptibilitat i resiliència). L'aplicació a la ciutat de Girona mostra com aquestes dimensions i components s'acumulen amb el temps i permeten identificar patrons espacials de vulnerabilitat a llarg termini. A més, la combinació del MUFVI amb capes de perillositat i punts combinats de desbordament del sistema de clavegueram ajuda a identificar zones on els factors d'estrès repetits s'acumulen al llarg del temps i debiliten la resiliència. Addicionalment, la tesi incorpora el Simulador Virtual Urbà (en anglès, **Virtual City Simulator – VCS**), una ciutat mediterrània sintètica formada per vuit tipologies de barri. Aquesta eina permet ajustar els valors dels indicadors, modificar els pesos dels indicadors i de les dimensions, comparar escenaris i mapar com podria evolucionar la vulnerabilitat en el futur. El VCS està dissenyat per a contextos amb escassetat de dades, fet que permet generar diagnòstics sòlids fins i tot quan els municipis només disposen d'informació parcial.

Tots aquests desenvolupaments poden recolzar de manera efectiva **processos de presa de decisió multi-criteri** (social, econòmic, ambiental, física) en la gestió urbana de l'aigua, facilitant la seqüència de beneficis versus inversions de capitals), així com la prioritització de les intervencions municipals. El [Virtual City Simulator](#) és un resultat de recerca publicat en obert per facilitar la replicació, l'adaptació a nous casos d'estudi, la incorporació de noves extensions metodològiques i la validació per part d'altres investigadors.

La tesi doctoral ha estat dirigida pel **Dr. Ignasi Rodríguez-Roda** i la **Dra. Alexandra Popartan**, i desenvolupat al **Laboratori d'Enginyeria Química i Ambiental (LEQUIA)** en el marc dels projectes [CLEPSIDRA](#) i [D-PATTERN](#) finançats per l'Agència Estatal de Recerca AEI. El LEQUIA és un grup de recerca de la Universitat de Girona reconegut per la seva activitat en l'àmbit de l'aigua.

### Publicacions:

- Gomez Vaca, A.N.; Popartan, L.A.; Selvas, G.A.; Nuss-Girona, S.; Abily, M.; Rodríguez-Roda, I. Virtual City Simulator: A Scenario-Based Tool for Multidimensional Urban Flood Long-Term Vulnerability Assessment and Planning in Mediterranean Cities. *Water* 2025, 17, 3538. <https://doi.org/10.3390/w17243538>
- Gomez Vaca, A.N., Popartan, L.A., Nuss-Girona, S. et al. Spatial approach for assessing vulnerability to urban flooding: a proposal for a multidimensional index. *Nat Hazards* 121, 16799–16825 (2025). <https://doi.org/10.1007/s11069-025-07451-5>

## Resumen

Las inundaciones son uno de los desastres naturales más frecuentes y costosos, y su impacto urbano seguirá aumentando debido a la urbanización acelerada, los cambios en el uso del suelo, la variabilidad climática y el envejecimiento de las infraestructuras. En este contexto, la gestión del riesgo ya no puede limitarse a medir el peligro ni a responder solo en situaciones de emergencia: es necesario incorporar la vulnerabilidad a largo plazo, entendida como la combinación entre exposición, susceptibilidad y capacidad de adaptación. Esta perspectiva se alinea con el Marco de Sendai y los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, que reclaman una resiliencia urbana más sistémica frente al cambio climático.

La tesis doctoral de Ana Noemí Gomez presenta un Índice de Vulnerabilidad a Inundaciones Urbanas Multidimensional (en inglés, **Multidimensional Urban Flood Vulnerability Index - MUFVI**), un nuevo índice que integra cuatro dimensiones (social, económica, ambiental y física) y tres componentes (exposición, susceptibilidad y resiliencia). Su aplicación en la ciudad de Girona muestra cómo estas dimensiones/componentes se acumulan con el tiempo y permiten identificar patrones espaciales de vulnerabilidad a largo plazo. Además, la combinación con capas de peligrosidad y puntos de desbordamiento de alcantarillado combinado ayuda a identificar áreas donde los factores de estrés repetidos se acumulan con el tiempo y debilitan la resiliencia. Adicionalmente, la tesis incorpora el Simulador de Ciudad Virtual (en inglés, **Virtual City Simulator - VCS**), una ciudad mediterránea sintética formada por ocho tipologías de barrio. Esta herramienta permite ajustar valores de los indicadores, pesos de los indicadores y dimensiones, comparar escenarios y mapear cómo podría evolucionar la vulnerabilidad en el futuro. El VCS está diseñado para contextos con escasez de datos, lo que permite generar diagnósticos sólidos incluso cuando los municipios solo cuentan con información parcial.

Estos desarrollos permiten apoyar de manera efectiva **procesos de toma de decisión multi-criterio** (social, económico, ambiental, físico) en la gestión urbana del agua, facilitando la secuencia de beneficios versus inversiones de capital, así como la priorización de las intervenciones municipales. El [Virtual City Simulator](#) es un resultado de investigación publicado en abierto para facilitar la replicación, la adaptación a nuevos casos de estudio, la incorporación de nuevas extensiones metodológicas, y la validación por parte de otros investigadores.

La tesis doctoral ha sido dirigida por el **Dr. Ignasi Rodríguez-Roda** y la **Dra. Alexandra Popartan**, y desarrollada en el **Laboratorio de Ingeniería Química y Ambiental (LEQUIA)** en el marco de los proyectos [CLEPSIDRA](#) y [D-PATTERN](#) financiados por la Agencia Estatal de Investigación. El LEQUIA un grupo de investigación de la Universidad de Girona reconocido por su actividad en el sector del agua.

### Publicaciones:

- Gomez Vaca, A.N.; Popartan, L.A.; Selvas, G.A.; Nuss-Girona, S.; Abily, M.; Rodríguez-Roda, I. Virtual City Simulator: A Scenario-Based Tool for Multidimensional Urban Flood Long-Term Vulnerability Assessment and Planning in Mediterranean Cities. *Water* 2025, 17, 3538. <https://doi.org/10.3390/w17243538>
- Gomez Vaca, A.N., Popartan, L.A., Nuss-Girona, S. et al. Spatial approach for assessing vulnerability to urban flooding: a proposal for a multidimensional index. *Nat Hazards* 121, 16799–16825 (2025). <https://doi.org/10.1007/s11069-025-07451-5>