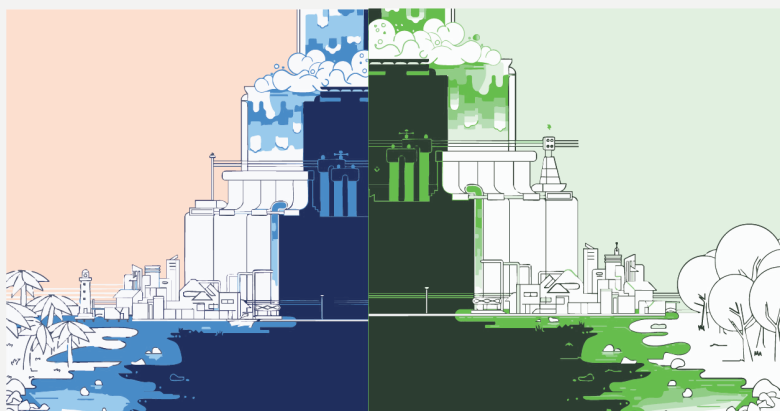
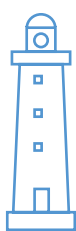
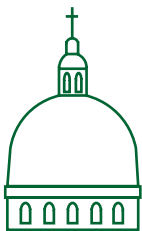
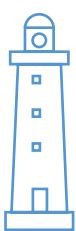
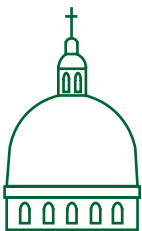
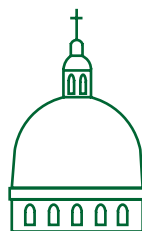
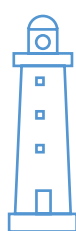
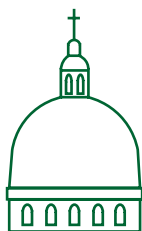
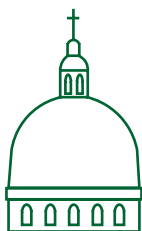
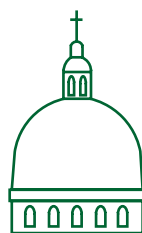
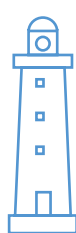
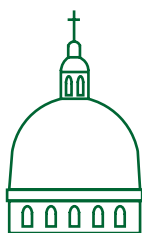
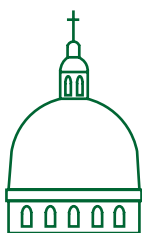
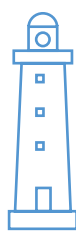
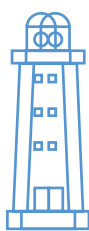
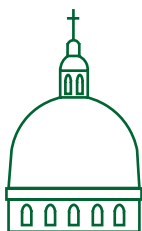
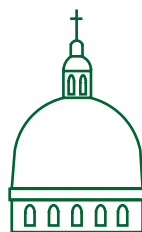
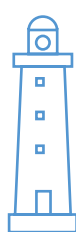
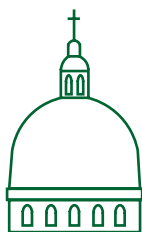
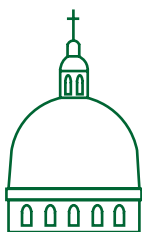
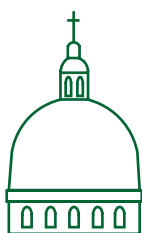
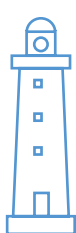
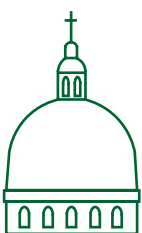
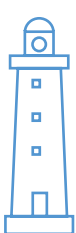
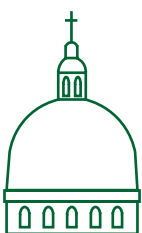
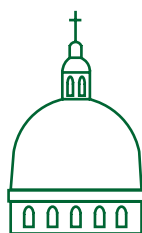
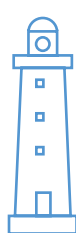
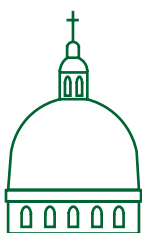
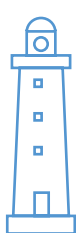
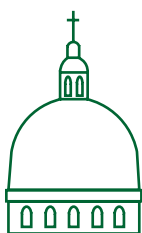
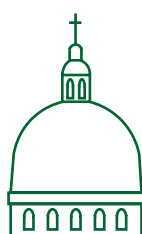
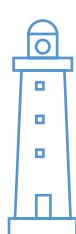
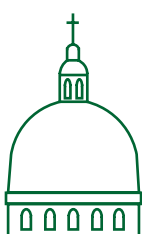
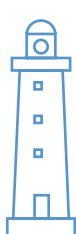
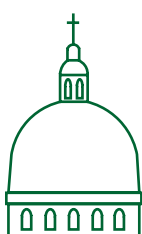
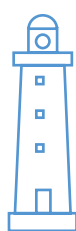
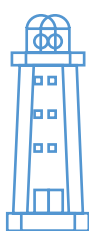
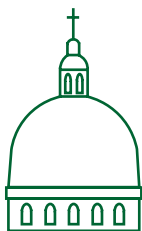
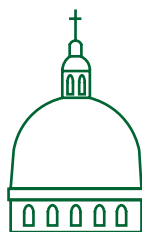
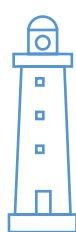
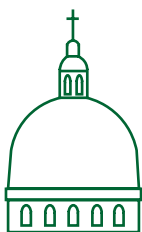
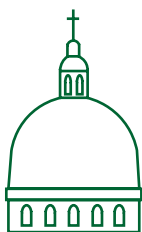


# Resiliencia en el entorno construido



HÁBITAT







# **Resiliencia en el Entorno Construido**

Juan Fernando Hidalgo  
María Eugenia Sigüencia Ávila  
Editores

**UCUENCA**

## **Resiliencia en el entorno construido.**

ISBN digital: 978-9978-14-678-1

**Derechos de autor reservados**

©Universidad de Cuenca

©Universidad de Florida

**Autores:** María Eugenia Sigüencia Ávila, Karla Saldaña Ochoa, David Vázquez, Enrique Flores Juca, Estefanía Mora Arias, Natasha Cabrera Jara, Stephanie Cabrera Campoverde, Esteban Zalamea León, Antonio Barragán Escandón, Alfredo Ordoñez Castro, Francisco Valdez, Mateo Gaón, Nathaly Villacís, Carla Brisotto, Jeff Carney, Juan Fernando Hidalgo, Christian Calle, Daniel Orellana y Whittaker Schroder.

**Editores:** Juan Fernando Hidalgo y María Eugenia Sigüencia Ávila.

---

Luis Rodrigo Mendieta Muñoz

**Rector de la Universidad de Cuenca**

Carmen Eulalia Calle Palomeque

**Vicerrectora Académica**

Maria De Lourdes Huiracocha Tutiven

**Vicerrectora de Investigación e Innovación**

**Facultad de Arquitectura y Urbanismo**

**Decano (e):** Enrique Flores Juca • **Vicedecano (e):** Xavier Cardenas Haro • **Directora**

**de Carrera:** María Eugenia Sigüencia Ávila • **Coordinador de Investigación:** Pedro

Jiménez-Pacheco • **Coordinador de Posgrados:** Juan Fernando Hidalgo • **Coordinador**

**de Vinculación con la Sociedad:** Javier Saltos Carvallo

**Centro Editorial UCuenca Press**

**Dirección:** Guillermo Morán Cadena • **Coordinación:** Estefanía Sarmiento • **Corrección de estilo:** Erika Torres Mogrovejo • **Diseño:** Geovanny Gavilanes Pando

**Gestión editorial:** Catalina Rodas Vázquez • **Diagramación y portada:** Gabriela Gutiérrez Illescas

Ciudadela Universitaria • Av. Doce de Abril y Agustín Cueva

(+593 7) 4051 000

Casilla postal: 01.01.168

editorial.ucuenca.edu.ec

---

Chimay Anumba

**Decano de la Escuela de Arquitectura de la Facultad de Diseño, Construcción y Planificación de la Universidad de Florida**

1480 Inner Rd, Gainesville, FL 32611, EE. UU

<https://www.ufl.edu/>

---

## **Derechos de autor reservados**

El presente libro fue arbitrado por pares externos bajo el sistema doble ciego.

Fieles al espíritu de la universidad pública, los libros de nuestra editorial son de acceso abierto y descarga libre para democratizar el conocimiento. Queda prohibida su venta.

La reproducción de este material para grupos o fines específicos, que no son personales, deben contar con la autorización de la Universidad de Cuenca.

Para la composición tipográfica de este manuscrito se usó Alegreya y Alegreya Sans

Cuenca-Ecuador

Julio, 2026

# Índice

---

|                                                                                                                                   |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Prólogo.....</b>                                                                                                               | <b>5</b>   |
| <i>María Eugenia Sigüencia Ávila y Karla Saldaña Ochoa</i>                                                                        |            |
| <b>Resiliencia en el entorno construido: un llamado a la acción desde la Comisión de Gestión Ambiental de Cuenca .....</b>        | <b>9</b>   |
| <i>David Vázquez</i>                                                                                                              |            |
| <b>Resiliencia desde las infraestructuras de transporte .....</b>                                                                 | <b>13</b>  |
| <i>Enrique Flores Juca y Estefanía Mora Arias</i>                                                                                 |            |
| <b>Sostenibilidad en el diseño de las márgenes de ríos urbanos: estudio en Cuenca-Ecuador.....</b>                                | <b>35</b>  |
| <i>Natasha Cabrera Jara y Stephanie Cabrera Campoverde</i>                                                                        |            |
| <b>Evaluación fotovoltaica para lograr edificios y ciudades energéticamente neutras en el clima andino ecuatorial .....</b>       | <b>51</b>  |
| <i>Esteban Zalamea León y Antonio Barragán Escandón</i>                                                                           |            |
| <b>Un enfoque de aprendizaje automático para una respuesta rápida a desastres basada en datos multimodales .....</b>              | <b>67</b>  |
| <i>Karla Saldana Ochoa</i>                                                                                                        |            |
| <b>Tecnología lúdica digital como herramienta para la participación comunitaria: el uso de Minecraft en el diseño urbano.....</b> | <b>95</b>  |
| <i>Francisco Valdez, Nathaly Villacís y Mateo Gaón</i>                                                                            |            |
| <b>Historias dirigidas por la comunidad sobre cambios positivos .....</b>                                                         | <b>109</b> |
| <i>Carla Brisotto</i>                                                                                                             |            |

**Taller visualizando el cambio: Cedar Key visualizando el cambio positivo y las oportunidades ..... 117**

*Jeff Carney, Juan Fernando Hidalgo y Christian Calle*

**IA y ciencia de datos para la resiliencia ante desastres, espacio público y movilidad ..... 135**

*Francisco Valdez y Daniel Orellana*

**Taller sobre Resiliencia y patrimonio ..... 145**

*María Eugenia Sigüencia Ávila y Whittaker Schroder*

**Clausura del taller:**

**Impulsando la resiliencia en entornos urbanos ..... 159**

*Karla Saldaña Ochoa*

# Prólogo

*María Eugenia Sigüencia Ávila*  
Universidad de Cuenca

*Karla Saldaña Ochoa*  
Universidad de Florida

---

El Simposio Internacional de Resiliencia en el Entorno Construido, cuya primera edición tuvo lugar en 2022 en la Universidad de Cuenca y continuó en 2024 en la Universidad de Florida, constituye el fruto de una colaboración académica e institucional que busca dar respuesta a los desafíos contemporáneos que enfrentan las ciudades y territorios en un contexto de creciente vulnerabilidad climática, social y económica. Esta publicación se presenta como un compendio de experiencias y reflexiones que emergieron de las dos primeras ediciones del Simposio, y ha sido posible gracias al compromiso de las universidades participantes y de los equipos de investigación que, en un trabajo conjunto desde distintas disciplinas y geografías, han aportado sus perspectivas. Asimismo, reconocemos el apoyo institucional y académico que permitió el desarrollo de este espacio internacional de intercambio, concebido como plataforma de diálogo, producción de conocimiento y acción colectiva.

Esta publicación, a lo largo de las siguientes páginas, muestra tres ejes complementarios que reflejan la riqueza de las dos primeras ediciones del Simposio.

En primer lugar, se presenta de manera introductoria una perspectiva institucional y política, surgida durante la primera edición en la Universidad de Cuenca. En esta se enmarca la necesidad de generar lineamientos inclusivos para la planificación urbana y territorial, reconociendo la resiliencia como principio rector.

Luego, los aportes científicos, también correspondientes a la primera edición, se exponen en la primera parte de este libro a través de cinco artículos que exploran dimensiones específicas de la resiliencia urbana, como la movilidad, la gestión de riberas de ríos, la transición energética, el aprendizaje automático aplicado a la gestión del riesgo y la participación comunitaria a través de tecnologías digitales. Cada artículo presenta metodologías y resultados que, aunque de carácter local en Ecuador y Estados Unidos, dialogan con problemáticas globales, constituyendo un punto de partida para comparaciones y transferencias internacionales.

Finalmente, la segunda parte de este volumen recoge un conjunto de experiencias prácticas desarrolladas en la segunda edición del Simposio, realizada en la Universidad de Florida y en Cedar Key (2024). Estos talleres interdisciplinarios abordan la resiliencia comunitaria, el vínculo con el patrimonio, la inteligencia artificial aplicada a la movilidad y el espacio público, así como procesos de construcción de narrativas locales frente al cambio. Los resultados permiten visualizar el potencial transformador de la acción colaborativa y de la aplicación directa de herramientas en contextos urbanos con la participación activa de las comunidades locales.

Los tres acápites expuestos representan el esfuerzo por articular dimensiones complementarias: la visión institucional, la investigación académica y la práctica colaborativa en comunidad. Para favorecer dicha articulación, ambas partes de esta obra están precedidas por una introducción que orienta al lector sobre los temas, objetivos y conexiones con el conjunto.

Más allá de su carácter local, los estudios y experiencias aquí reunidos dialogan con debates internacionales sobre sostenibilidad, justicia climática y transformación urbana. Así, la obra busca proyectar sus hallazgos hacia otros contextos, mostrando que la resiliencia en el entorno construido no es únicamente un campo de estudio, sino también una práctica en constante construcción y debate, que exige marcos conceptuales claros, metodologías compartidas y una mirada crítica hacia la acción colectiva. En este marco, cabe recordar que la primera edición del Simposio se desarrolló en un contexto marcado por la salida de la crisis global del COVID-19, lo que obligó a repensar la seguridad de los entornos construidos y a valorar el papel de la vida en comunidad para enfrentar situaciones críticas de manera más solidaria y resiliente

Esta publicación aspira a ser pionera en el análisis multidimensional de la resiliencia. Al integrar perspectivas políticas, investigaciones científicas y experiencias prácticas, busca profundizar la comprensión de este concepto y su aplicación efectiva frente a los desafíos globales actuales. En un mundo cada vez más vulnerable, la obra ofrece reflexiones y estrategias que invitan a la acción colectiva y a la construcción de un futuro urbano más sostenible, justo y equitativo.



# **Resiliencia en el entorno construido: un llamado a la acción desde la Comisión de Gestión Ambiental de Cuenca**

*David Vázquez*

Exdirector de la Comisión de Gestión Ambiental  
del Municipio de Cuenca

---

Como exdirector de la Comisión de Gestión Ambiental del Municipio de Cuenca y participante en el Congreso Resiliencia en el entorno construido, quiero destacar la imperiosa necesidad de integrar la resiliencia en todas las facetas del desarrollo urbano. La experiencia acumulada durante mi gestión, y las discusiones generadas en este Congreso, subrayan la urgencia de una estrategia colaborativa que abarque todos los sectores de la sociedad para enfrentar los desafíos ambientales y urbanos que se presentan hoy en día.

## **1. Un compromiso multidisciplinario**

Es fundamental que la gestión ambiental trascienda el ámbito de la acción unilateral de las entidades gubernamentales. La colaboración entre la academia, la administración pública y la comunidad es crucial. Necesitamos democratizar la gestión ambiental, haciendo partícipes a todos los sectores de la sociedad en la toma de decisiones. La ecología, como bien señala un conocido grafiti en nuestra ciudad, es demasiado importante para dejarla exclusivamente en manos de los ecologistas. Este es un asunto de todos y para todos.

## **2. Reflexiones sobre la resiliencia urbana**

Durante mi intervención en el Congreso, se enfatizó la importancia de la academia en el desarrollo de un entendimiento más profundo y aplicado de la resiliencia urbana. La universidad no solo debe responder a preguntas, sino que debe ser parte activa en la formulación de estas y en la propuesta de soluciones innovadoras. En este contexto, la gestión ambiental debe ser vista como un diálogo continuo, donde la teoría y la práctica convergen para mejorar la calidad de vida en nuestras ciudades.

## **3. Los cuatro pilares de la gestión ambiental en Cuenca**

Nuestro enfoque en la Comisión de Gestión Ambiental se ha estructurado alrededor de cuatro ejes principales: calidad ambiental, biodiversidad, gestión de áreas protegidas y gestión animal. Cada uno es fundamental no solo para el mantenimiento de un ecosistema urbano saludable, sino también para asegurar la sustentabilidad a largo plazo de nuestra ciudad. Desde regulaciones de contaminantes hasta la protección y gestión de la biodiversidad, es imperativo que nuestras políticas y acciones sean coherentes y efectivas.

## **4. Desafíos y camino a seguir**

Los desafíos son numerosos, especialmente en la gestión de áreas olvidadas como las quebradas, que son esenciales para la estabilidad ambiental y social de Cuenca. Necesitamos más que nunca políticas que no solo creen áreas protegidas, sino que también aseguren su manejo efectivo y su integración en la vida urbana. Esto implica un compromiso renovado para proteger estos espacios, no solo para nuestra generación, sino para las futuras.

## **5. Conclusión: un llamado a la acción**

La resiliencia no es solamente una palabra de moda, es una necesidad urgente y una responsabilidad colectiva. A través de mi participación en el Congreso Resiliencia en el Entorno Construido, reitero mi llamado a todos los actores involucrados: académicos, políticos, empresarios y ciudadanos, para que trabajemos juntos en la creación de un entorno urbano que sea verdaderamente sostenible y resiliente. Es hora de actuar con visión, compromiso y colaboración. Juntos podemos transformar Cuenca en un modelo de sostenibilidad y resiliencia urbana. Este es nuestro desafío, y debe ser nuestro legado.

## Parte 1

# Simposio sobre Resiliencia Urbana Universidad de Cuenca

Siguiendo la visión institucional presentada previamente, esta sección muestra cómo la resiliencia urbana también se aborda desde la investigación científica. Los ejes estratégicos de la Comisión de Gestión Ambiental de Cuenca —calidad ambiental, biodiversidad, gestión de áreas críticas y colaboración entre academia, gobierno y comunidad— sirven de marco de referencia para los estudios aquí reunidos, estableciendo una conexión directa entre la acción institucional y el conocimiento generado en las dos ediciones del Simposio.

En este contexto, la primera edición consolidó un espacio para explorar múltiples dimensiones de la resiliencia, integrando conocimiento técnico, social y académico. Las contribuciones emplean metodologías diversas —estudios de caso, análisis cuantitativos, aproximaciones participativas y herramientas digitales— que permiten abordar los retos del entorno construido de manera integral y complementar las estrategias institucionales con metodologías aplicadas en experiencias que decantan en evidencia científica.

Así, la investigación científica refuerza y valida la visión política, mostrando cómo el conocimiento local en contextos diversos puede informar decisiones institucionales, dialogar con experiencias internacionales y ofrecer insumos para soluciones urbanas resilientes. Igualmente, esta parte consolida un puente entre política, práctica y ciencia, y establece un marco conceptual que conecta con las experiencias prácticas que se presentarán en la segunda parte.



# Resiliencia desde las infraestructuras de transporte

*Enrique Flores Juca*  
Universidad de Cuenca

*Estefanía Mora Arias*  
Universidad de Cuenca

---

## Resumen

La humanidad ha enfrentado diversas disrupciones a lo largo de su historia, algunas con consecuencias devastadoras en términos humanos y materiales. Estos eventos ponen de manifiesto la necesidad de replantear la planificación urbana y reforzar la resiliencia de las infraestructuras. En este marco, la presente investigación se desarrolla en la ciudad de Cuenca, con el objetivo de evaluar la viabilidad de transformar la infraestructura vial actualmente destinada al tránsito vehicular motorizado, promoviendo una movilidad sostenible mediante la incorporación de la bicicleta. La metodología se basa en un análisis y revisión bibliográfica exhaustiva para definir las características de funcionalidad vial, evaluadas en un rango estandarizado de 0 a 1. A diferencia de la mayoría de estudios sobre movilidad en la ciudad, centrados en el área urbana consolidada, este trabajo incorpora el análisis del área periurbana del cantón Cuenca, aportando una perspectiva más integral y un marco de referencia ampliado para futuras intervenciones.

**Palabras clave:** infraestructura, resiliencia, Cuenca, transporte.

## 1. Introducción

La resiliencia es un término cada vez más utilizado que, según la RAE, significa la capacidad de adaptación frente a un agente perturbador, un estado o situación adversa. Mientras que, desde la parte urbana, el concepto de resiliencia se aplica a cualquier sistema urbano que puede mantener su continuidad después de impactos o catástrofes, y este proceso contribuye de forma positiva a la adaptación y su transformación (ONU, 2018). Es decir, una ciudad resiliente es aquella que evalúa y se prepara ante dificultades esperadas o inesperadas, logrando ser más apta para proteger, mejorar y asegurar el bienestar de sus ciudadanos y su desarrollo.

Como lo establece WorldBank (2015), el análisis de la resiliencia en general se fundamenta en tres puntos clave:

1. Capacidad de resistir a perturbaciones externas.
2. De hacer frente a estas perturbaciones.
3. De recuperarse a un estado mejor.

En una ciudad se suman las infraestructuras, el suministro de energía, la gestión de residuos, la movilidad de las personas, entre otras que forman un conjunto de elementos, dotaciones o servicios determinantes y necesarios para la habitabilidad y el desarrollo de espacios urbanos. Por lo tanto, ciudad e infraestructura son términos inherentes y complementarios (Andrés López, 2017; Universitat Politècnica de Catalunya, 2014).

En este sentido la relación se mide en dos ámbitos (Weikert Bicalho, 2019):

- Corresponde a la resiliencia de la infraestructura la capacidad de resistir a disrupciones y funcionar.
- Mientras que, a través de los atributos de las infraestructuras, como calidad, diseño y operación, se establece cómo pueden afectar a la resiliencia de otros sistemas, así como la subsistencia de las personas.

Por lo dicho, la condición de resiliencia se debe convertir en un principio en la elaboración de políticas de infraestructura aplicable a los proyectos. Se entiende que las infraestructuras resilientes no son solamente las que nunca fallan, sino las que habiendo sufrido una perturbación son capaces de sostener un nivel mínimo de servicio y recuperar su funcionamiento original en tiempos y costos mínimos (Gay, 2016).

Dentro de las infraestructuras que condicionan el desarrollo se encuentran las Infraestructuras de Transporte (IT), puesto que permiten

el acceso y la movilidad al estudio y al trabajo, además de fortalecer al comercio mayorista. Sin embargo, en la actualidad existen contradicciones debido a que las autoridades no han dado sustento a los medios sostenibles de movilidad, la conectividad con los sectores rurales y el traslado de la producción agrícola minorista. En conclusión, las políticas se han rendido a las lógicas del mercado.

## **2. Las pandemias y el COVID-19 en la movilidad**

La humanidad durante su evolución ha sufrido una serie de acontecimientos que han puesto en riesgo la vida de la población, entre ellas enfermedades infecciosas que se han convertido en pandemias, siendo más evidentes en los núcleos urbanos. Cada pandemia ha dejado duras enseñanzas sobre la manera de gestionar y planificar las ciudades, como la peste bubónica (1347-1351), el cólera (1858), tuberculosis (1882), peste negra (1885-1920), gripe española (1918-1920), ébola (1976), las más recientes la gripe H1N1 (2009), entre otras. Sin embargo, en el último siglo, la expectativa de vida se ha incrementado de 45 a 80 años. Se afirma que la mitad de esto se debe a la arquitectura, ingeniería y la otra mitad a la comunidad médica (Ventura, 2020).

A finales del 2019 apareció un nuevo virus denominado SRAS-CoV-2, y en marzo del 2020 la Organización Mundial de la Salud (OMS) declaró pandemia al COVID-19. Para reducir la velocidad de contagio se recomendó la distancia física y social, entre estas medidas las cuarentenas y la interrupción del transporte público.

Las repercusiones sociales y económicas a causa del COVID-19 fueron lamentables, según OIT (2020), aproximadamente el 81 % de la fuerza del trabajo global fue afectado negativamente, incrementando de manera considerable las inequidades, niveles de segregación y la precariedad en infraestructuras sanitarias y el transporte. Las nuevas necesidades de movilidad no masiva fueron un gran desafío para los gobiernos. Se evidenció que las medidas para redimir la crisis debían incluir cambios esenciales en las ciudades, hábitos de higiene, salud y transporte. Fue imprescindible tener respuestas que resalten la relación de ciudad perturbada que busca su resiliencia, manteniendo la relación individuo-ciudad.

Estas transformaciones deben ser multidisciplinarias, el confinamiento debe permitir reflexionar, en el caso de la arquitectura la habitabilidad de las viviendas, mientras que en el urbanismo y la planificación de ciudades las nuevas cercanías, el barrio, las distancias cortas, la reorganización del transporte y el cambio hacia una movilidad más sostenible en todas sus formas (Lizarraga, 2012; Ribeiro et al., 2020)

Aunque es preciso abordar la problemática desde diferentes disciplinas, es la planificación urbana la que debe aportar con énfasis en la movilidad cotidiana, sobre todo en lo relacionado al transporte público que es el medio más utilizado para la movilidad de grupos humanos. Sin embargo, este no contribuye al distanciamiento social, pues genera acumulación de usuarios, lo que ha llevado a la disminución progresiva de su uso, poniendo inclusive en riesgo su servicio en ciertas áreas. Por lo tanto, es imprescindible plantear propuestas que busquen potenciar la movilidad sostenible como el uso más intensivo de la bicicleta o el caminar que tiene el potencial además de proporcionar beneficios a nivel individual (Zayed, 2016; Makarova et al., 2020; Suárez Lastra et al., 2016; Eltit, 2011).

**Tabla 1**

Programas de movilidad urbana grupo C40

| Ciudad   | Programa                                             | Acciones                                                                                                                                                             |
|----------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Roma     | Proyecto de Movilidad Post COVID-19                  | Carriles bici temporales/programas de movilidad compartidos                                                                                                          |
| Milán    | Calles abiertas                                      | Ciclovías temporales/ciclovías permanentes/nuevas zonas peatonales/renovación de espacios públicos/ programas de movilidad compartida                                |
| Nápoles  | Nápoles Reinicio                                     | Ciclovías permanentes/áreas de calma del tráfico/áreas restringidas/ programas de movilidad compartida                                                               |
| Turín    | Orgullo de la Bicicleta                              | Carriles para bicicletas temporales/zonas restringidas                                                                                                               |
| Palermo  | Caja fuerte de Palermo 1                             | Carriles para bicicletas temporales, carriles para bicicletas permanentes, áreas para calmar el tráfico, áreas para peatones, programas de movilidad compartida.     |
| Génova   | Una jugada inteligente                               | Carriles bici permanentes/áreas restringidas/ programas de movilidad compartida                                                                                      |
| Bolonia  | Movilidad y compartir en caso de emergencia espacios | Carriles para bicicletas temporales/carriles para bicicletas permanentes/nuevas áreas para peatones/ áreas para calmar el tráfico/ programas de movilidad compartida |
| Florenia | Operación Bartali                                    | Carriles para bicicletas temporales, carriles para bicicletas permanentes, programas de movilidad compartida.                                                        |
| Bari     | Espacio abierto                                      | Ciclovías temporales/ciclovías permanentes/áreas de calma del tráfico/ programas de movilidad compartida/ nuevas zonas peatonales/renovación de espacios públicos    |

**Nota.** Tomado de Barbarossa (2020).

Se debe reconocer a esta crisis como una oportunidad para plantear un cambio estructural resiliente, sobre todo en el trazo y el uso de las infraestructuras de transporte (Chiu et al., 2020; DeWit et al., 2020). Por ello, existen ciudades que se han recuperado de estas perturbaciones causadas por el COVID-19 y de estas circunstancias se proyectan a un estado mejor, mientras que otras ciudades no lo han logrado por lo que están propensas a colapsar.

Existen ciudades que a partir de la problemática de la pandemia han reaccionado de manera positiva en lo referente a la planificación, como es el caso del llamado grupo C40, quienes proponen la implementación de infraestructura de transporte para bicicletas, modificando las vías vehiculares existentes y poniendo especial énfasis en formar redes ciclovías que conecten la vivienda con lugares de trabajo y estudio.

En conclusión, el COVID-19 ha hecho reflexionar sobre la planificación de los núcleos urbanos, la importancia de restablecer las cercanías, desarrollar la movilidad sostenible tanto para desplazamientos cortos y medios, entre otros.

### **3. Las nuevas zonas residenciales hacia el sector rural**

A la ciudad de Cuenca se la considera una ciudad intermedia, puesto que cumple con las características de este tipo de Urbes (Serrano, 2016) y se constituye en un nodo de servicios especializados, como financieros, de salud, educación, administrativo y servicios comerciales, convirtiéndose en un centro de oportunidades para los habitantes de las zonas periurbanas, rurales y urbanas cercanas de menor escala (Lowder, 2003; Serrano, 2016).

#### **3.1. El crecimiento del área urbana**

El cantón Cuenca está conformado por 21 parroquias rurales y cada una de ellas cuenta con un núcleo central o cabecera parroquial, donde se emplazan los centros administrativos de carácter local y equipamientos de escala menor (Flores Juca, et al. 2023). Debido a ello la estructura ocupacional de esta población tiene una relación de dependencia con las oportunidades, bienes y servicios de la ciudad (Hermida et al., 2015).

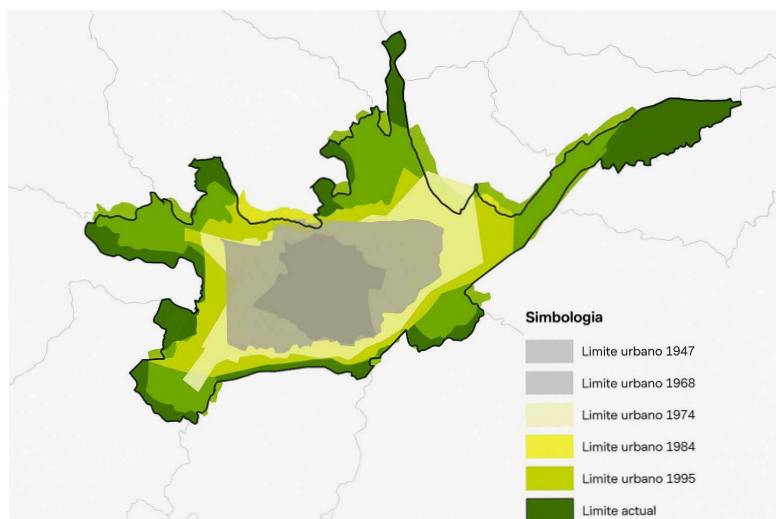
Cuenca cuenta con planificación urbana desde 1949 con propuestas dirigidas a su crecimiento, las cuales fueron actualizadas y entraron en vigencia desde el año 2003, en estas se establecen estrategias para consolidar y densificar la zona urbana. Sin embargo, actualmente Cuenca presenta un modelo de crecimiento expansivo, disperso y fragmentado (Martner, 2016).

Este crecimiento acelerado y de ocupación desmedida del territorio auguran una problemática en términos de sostenibilidad, puesto que proyectan un crecimiento hacia la zona periurbana sin una planificación eficiente y actualizada que repercutirá en la dotación de infraestructura.

Las áreas periféricas de Cuenca están conformadas por grupos sociales de diferentes estatus económicos: personas de altos recursos económicos que deciden vivir alejados de los problemas de la ciudad y grupos de nivel socioeconómico medio-bajo que, debido a los altos costos de suelo y la necesidad de una vivienda propia, se emplazan en áreas de menor coste.

**Figura 1**

El crecimiento de la ciudad, área urbana de 1947 a la actualidad



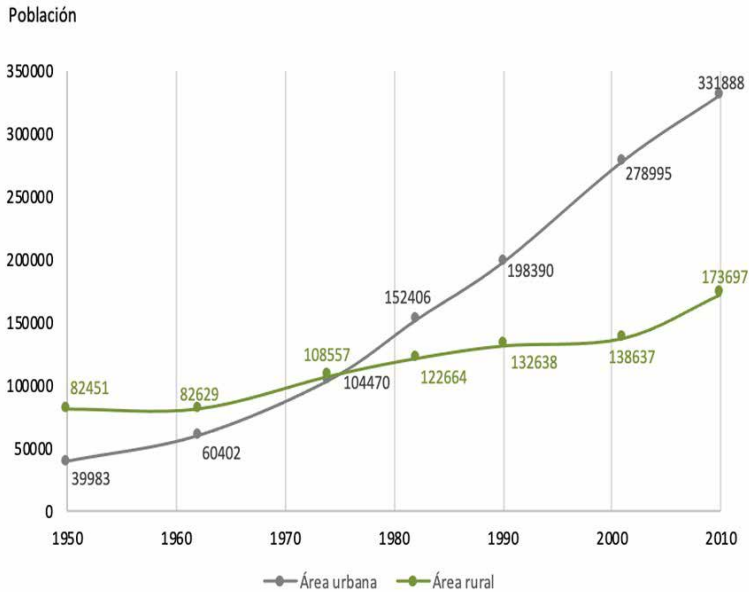
Nota. Tomado de Flores Juca et al. (2021).

### 3.2. Incremento de la población

Según los datos presentados por el INEC, respecto a los censos de población y vivienda, el crecimiento poblacional es evidente en el área urbana y rural.

**Figura 2**

Crecimiento poblacional de las áreas urbanas y rurales del cantón Cuenca, en función de los censos de población: 1950, 1962, 1974, 1982, 1990, 2001, 2010



Nota. Tomado de INEC.

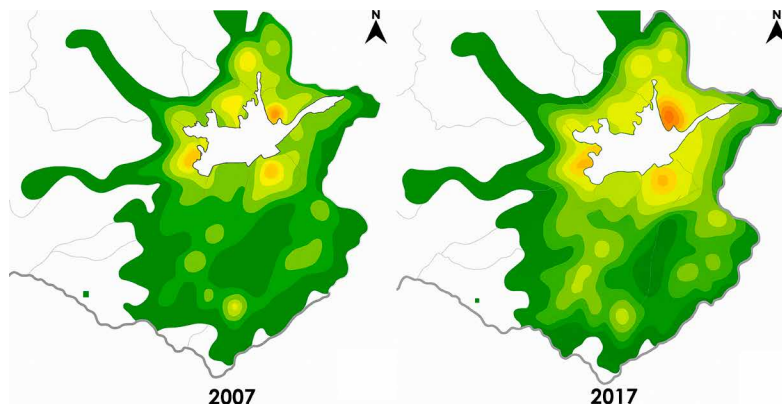
En Cuenca el 34 % de la población se asienta en las parroquias rurales, especialmente en las que se ubican junto al área urbana (13 parroquias, 74% de la población rural).

### 3.3. La nueva vivienda

Según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Cuenca, las parroquias de El Valle, Ricaurte, Baños y Sinincay, de las cuales sus cabeceras parroquiales son consideradas nodos de desarrollo, concentran el 44 % del total de la población rural.

**Figura 3**

La tendencia de crecimiento de población de Cuenca



Nota. Tomado del Grupo de investigación de ciudad, territorio y movilidad, CITMOV (2020).

Se analizó las áreas periféricas con especial énfasis en la movilidad de las cuatro parroquias mencionadas anteriormente, las cuales están más vinculadas a la ciudad (Flores et al., 2017), pues en la mayoría de estudios no se analizan los sectores rurales, se enfocan en analizar las zonas urbanas, sin considerar la importancia de las áreas rurales.

## 4. Características de movilidad rural

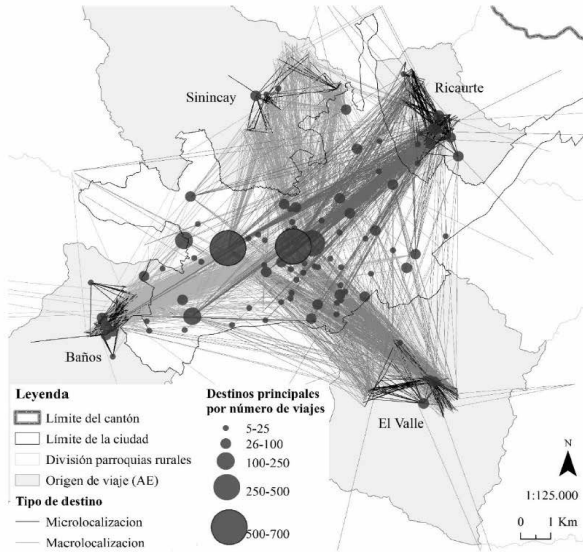
En las áreas rurales de estudio existen dos tipos de viajes: internos y externos. Los viajes externos son los más frecuentes y tienen como destino principal el área urbana del cantón Cuenca a lugares como: el mercado mayorista, feria libre y centro histórico, mientras que los viajes *internos* son a sitios de la misma parroquia en desplazamientos cortos que más bien se relacionan con medios sostenibles.

### 4.1. Patrones de desplazamiento

La población que se desplaza hacia la ciudad de Cuenca desde las áreas periurbanas lo realizan en su mayoría en transporte público, seguido del vehículo privado y otros medios de transporte. Sin embargo, el 77 % de esta población no tiene un medio de movilidad propio (Flores et al., 2022).

**Figura 4**

Viajes desde las áreas de estudio (origen) hacia los destinos micro y macro localizados.  
Agrupación de los destinos por número total de viajes



Nota. Tomado de Flores Juca (2021).

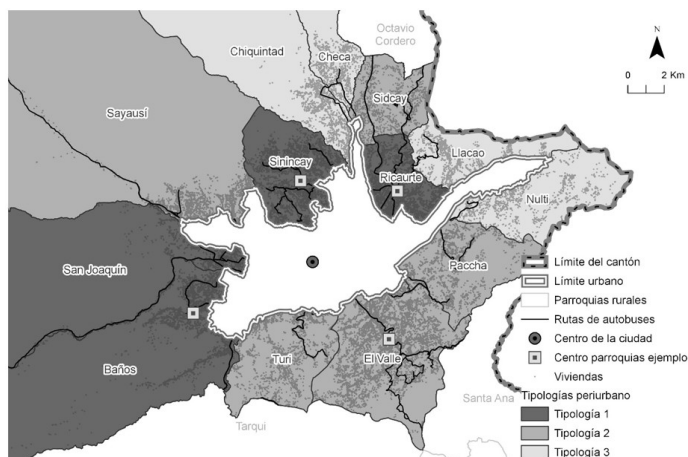
## 4.2. Niveles de transporte público en el sector rural

Los niveles de transporte público se clasifican en tres tipologías:

- Tipología 1: corresponde a las parroquias rurales que tienen mayor accesibilidad y cobertura de transporte público, es decir que los hogares se encuentran dentro de la cobertura del servicio, equivalente a una distancia menor a 500 m. Generalmente se localizan a menor distancia con el centro de la ciudad.
- Tipología 2: accesibilidad media al transporte público, entre el 50 y 70 % de los hogares se encuentra dentro de la distancia de cobertura. No obstante, existe una diferencia entre el suelo urbano y rural.
- Tipología 3: pertenece a las parroquias con baja accesibilidad al transporte público, donde las rutas son limitadas, un bajo porcentaje de hogares se encuentra dentro de las distancias mínimas de cobertura. Se presentan preferentemente en la periferia rural donde se presenta una clara diferencia del suelo urbano y rural.

**Figura 5**

Tipología de parroquias periurbanas basada en el acceso al transporte en autobús, la dinámica de crecimiento poblacional y la proximidad al centro urbano



Nota. Tomado de Flores Juca et al. (2023).

### 4.3. Las características de la movilidad rural

La dinámica periurbano-urbano predominante que existe en la ciudad de Cuenca es propia de una ciudad intermedia, es una dependencia generada por motivos de trabajo, educación, comercio, gestión, salud y ocio, lo que guarda relación con la creciente expansión urbana emplazada hacia las periferias, mientras que las actividades diarias se concentran en la ciudad.

Por lo cual, tres de cada cuatro viajes, que salen desde las cabeceras parroquiales analizadas, son desplazamientos largos que utilizan un promedio de tiempo de 50 minutos, donde predomina el uso de medios motorizados y por ende una dependencia del transporte público por su frecuencia diaria. Sin embargo, las desigualdades de este servicio son evidentes en la población, pues el 40 % de las comunidades no tiene servicio de transporte público, generando que uno de cada tres viajes deba hacer transbordo.

## 5. La investigación para mejorar la movilidad del sector rural. Residencia de las infraestructuras viales

La movilidad, como condición de acceso a múltiples actividades y servicios diarios, y ante la crisis mundial provocada por el COVID-19, es importante.

Estos son hechos que marcan la necesidad de considerar la importancia de implementar y potenciar los medios de transporte sostenibles y su infraestructura.

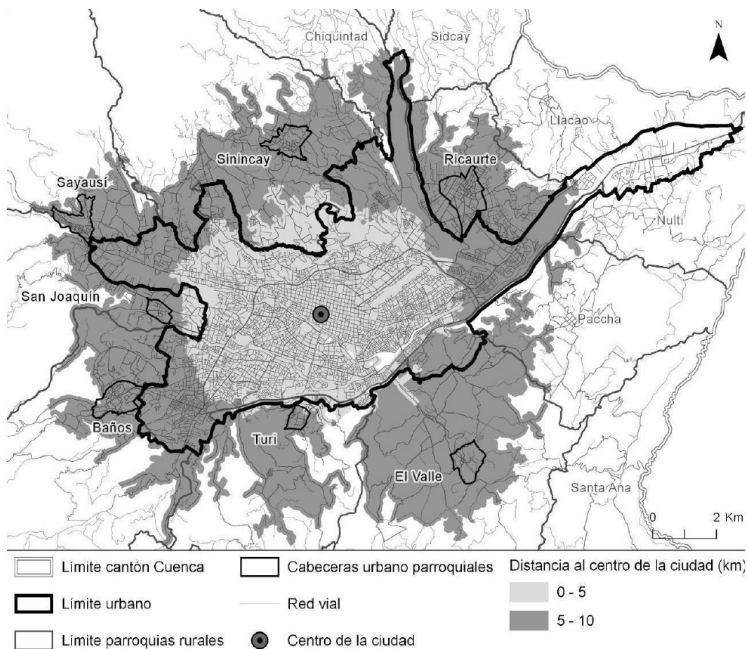
En relación a esto, se realizó un estudio de la infraestructura vial existente que enlaza la zona urbana y las parroquias rurales, para conocer la factibilidad de implementar una red de ciclovías.

Según los datos revisados, la velocidad promedio de un ciclista es de 20 km/h en un carril exclusivo y el tiempo recomendado de viajes es entre 15 a 30 minutos (OMS, 2010), lo que implica un recorrido óptimo entre 5 y 10 km.

En el mapa expuesto se grafican anillos por cada kilómetro considerado desde el centro de la ciudad, como destino principal y atractor de viajes. Cabe mencionar que la distancia está en función de las vías existentes, lo que se aproxima más a la realidad. Dentro de los 10km se encuentran 7 cabeceras parroquiales.

**Figura 6**

Distancias de las cabeceras urbano-parroquiales al centro de la ciudad de Cuenca



Nota. Tomado de Flores Juca et al. (2024).

Para el desarrollo de esta propuesta se ha revisado alguna bibliografía que tiene relación con los factores clave que influyen en la generación de ciclovías.

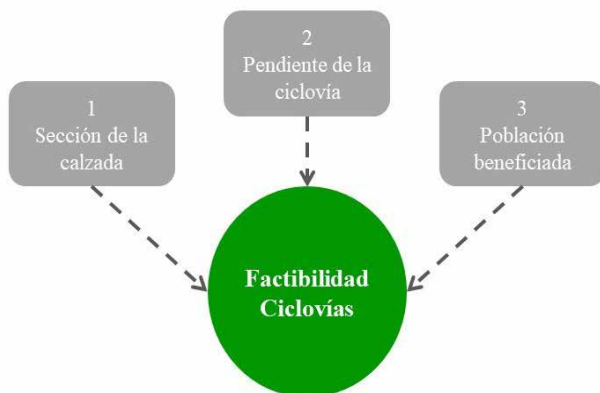
Se debe diferenciar si las ciclovías deben ser de circulación compartida con el tráfico vehicular o de circulación exclusiva de bicicletas. Para el primer caso se debe conocer el nivel de estrés y el tipo de vía, en este caso se podría pensar en un tráfico compartido cuando los niveles de estrés sean menores, como la intensidad de vehículos por hora y por carril, o cuando las vías no permitan velocidades mayores a los 30 km/h (Kent y Karner, 2019).

El presente estudio investigará sobre las vías que enlazan las cuatro cabeceras parroquiales con la ciudad de Cuenca, en donde se permiten velocidades superiores a los 30 km/h y los niveles de estrés son altos.

Por lo expuesto se definen los factores a estudiar y que posibiliten la incorporación de ciclovías:

**Figura 7**

Factibilidad de ciclovías



Nota. Elaboración propia (2020).

## 5.1. Sección de la calzada

Para incorporar un carril de ciclovía segregado se requerirá de un espacio entre 1.50 a 2.00 m de ancho mínimo, para ser unidireccional; mientras que para ser bidireccional deberá cumplir entre 2,60 a 4,00m dependiendo del número de usuarios.

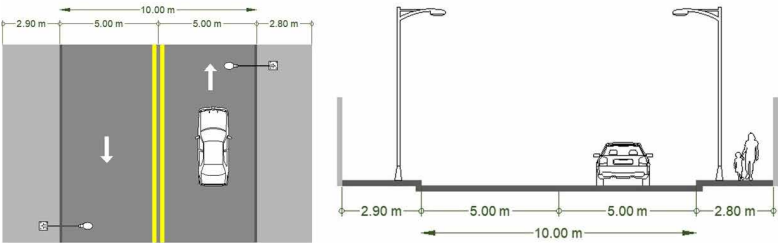
Para ello se ha construido un rango de 0 a 1 de las características funcionales de las vías, que lo aplicaremos en las vías de estudio y según el espacio disponible será valorada la vía.

**Tabla 2**  
Sección de la calzada

| Parámetros            | Descripción                                                                                                              | Características funcionales | Valoración |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|------------|
| Sección de la calzada | Análisis de la posibilidad de incluir una ciclovía segregada según el ancho promedio de la calzada de la vía de análisis | < 4,5 m                     | 0          |
|                       |                                                                                                                          | 5,5 – 5,0 m                 | 0,2        |
|                       |                                                                                                                          | 6,0 – 5,5 m                 | 0,4        |
|                       |                                                                                                                          | 8,5 – 6,0 m                 | 0,6        |
|                       |                                                                                                                          | 9,5 – 8,5 m                 | 0,8        |
|                       |                                                                                                                          | > 9,5 m                     | 1          |

Nota. Elaboración propia (2020).

**Figura 8**  
Planta y sección de la calzada tipo



Nota. Elaboración propia (2020).

Una vez valoradas todas las vías de las parroquias rurales seleccionadas, podemos indicar que la vía que conecta a la parroquia Baños presenta una infraestructura óptima para la adición de un carril independiente, puesto que su sección de calzada es de 10 metros con aceras laterales de 2.90 y 2.80 m.

5.2. Pendiente de la ciclovía

En relación a la topografía se plantea que las vías con desnivel menor al 3 % son las ideales, mientras que aquellas con pendiente en un rango de 3 a 6 % no

presentan problemas, pero en un rango de 6 a 9 % el usuario puede presentar fatiga y es necesario considerar un espacio adicional para el descanso del ciclista. Cabe mencionar que 9 % es el límite de pendiente para el uso de la bicicleta.

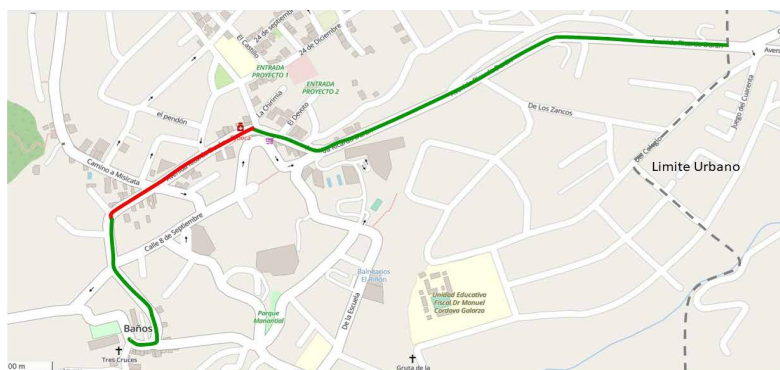
Por lo tanto, con el mismo criterio se valora en un rango de 0 a 1, las características funcionales de las vías.

**Tabla 3**  
Pendiente de la ciclovía

| Parámetros               | Descripción                                    | Características funcionales | Valoración |
|--------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------|------------|
| Pendiente de la ciclovía | Análisis de pendientes de las vías de análisis | > 10 % (> 30 m)             | 0          |
|                          |                                                | > 10 % (hasta 30 m)         | 0,2        |
|                          |                                                | 10 - 8 % (hasta 90 m)       | 0,4        |
|                          |                                                | 8 - 6 % (hasta 250 m)       | 0,6        |
|                          |                                                | 6 - 3 % (hasta 500 m)       | 0,8        |
|                          |                                                | 3 - 0 %                     | 1          |

Nota. Elaboración propia (2020).

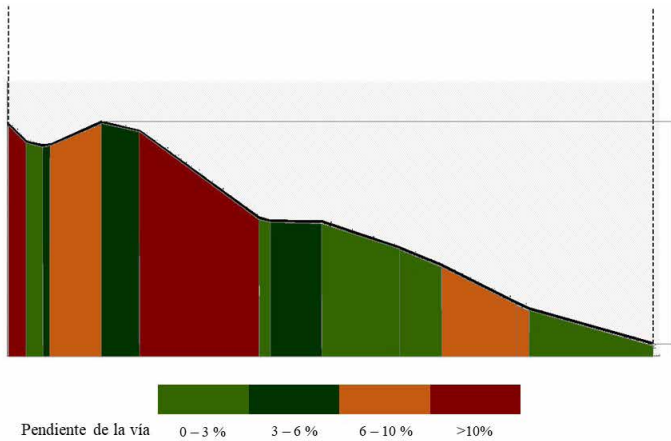
**Figura 9**  
Planta de la vía analizada



Nota. Elaboración propia (2020).

**Figura 10**

Sección de la vía analizada, en la que se puede observar el cambio de pendiente



Nota. Elaboración propia (2020).

En relación a esto, la vía que conecta a la ciudad de Cuenca con la parroquia Baños es la más óptima para la implementación de una ciclovía, pues más del 50 % de la vía posee pendientes menores al 6 %, el 28 % tiene pendientes entre el 6 y 10 %, mientras que los tramos con pendientes superiores al 10 % representa el 22 %. En conclusión, el 0.3 km de vía presenta una pendiente difícil de acceder.

### 5.3. Población beneficiada

Para el análisis de la población beneficiaria se realiza de acuerdo a la densidad de vivienda localizada en la franja paralela a la vía, considerando 50 m de lado a lado, puesto que es la población que tiene acceso directo a la ciclovía. Para este cálculo se multiplica el número de viviendas por la composición familiar de cuatro personas.

Se valoran las características funcionales con el rango de 0 a 1.

**Tabla 4**  
Población beneficiada

| Parámetros             | Descripción                                                                                          | Características funcionales  | Valoración |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|------------|
| Población beneficiaria | Densidad poblacional por kilómetro cuadrado de superficie en un margen de 50 m a cada lado de la vía | < 5.000 hab/km²              | 0          |
|                        |                                                                                                      | 5.000 – 7.500 hab/km²        | 0,2        |
|                        |                                                                                                      | 7.500 – 10.000 hab/km²       | 0,4        |
|                        |                                                                                                      | 10.000 – 12.500 hab/km²      | 0,6        |
|                        |                                                                                                      | 12.500 – 15.000 hab/km²      | 0,8        |
|                        |                                                                                                      | > 15.000 hab/km <sub>2</sub> | 1          |

Nota. Elaboración propia (2020).

**Figura 11**  
Población beneficiada



Nota. Elaboración propia (2020).

Respecto a ello, la vía de la cabecera parroquial de Baños presenta uno de los mayores números de vivienda con 8831 hab/km<sub>2</sub>.

## 6. Conclusiones

La mayor parte de los estudios planteados en movilidad excluyen el área periurbana del cantón Cuenca y, por lo tanto, a la población rural que se asienta en este territorio y que presenta fuertes limitantes en relación a la movilidad, puesto que por distancias es más dependiente del transporte público que el área urbana.

El principio de resiliencia en la implantación de proyectos nos lleva a proponer estudios que hagan más sostenible y accesible la movilidad desde los sectores más desfavorecidos. En este caso puntual se investiga la posibilidad de acoplar la infraestructura de transporte existente a una nueva movilidad activa.

Para ello se consideró la factibilidad de adaptación de los ejes viales que conectan las cabeceras parroquiales de Baños, Ricaurte, El Valle y Sinincay con Cuenca. Es imprescindible que la resiliencia se convierta en un principio fundamental, a ser aplicado en los proyectos urbano-arquitectónico que permitan estar preparados ante circunstancias imprevistas o perturbaciones de afectación a los sistemas.

## Referencias bibliográficas

- Andrés López, G. (2017). ¿Las infraestructuras como proyecto de ciudad? Algunas reflexiones sobre Burgos, ciudad intermedia de Castilla y León. *Ciudades*, 11(11), 105-132. Disponible en <https://doi.org/10.24197/ciudades.11.2008.105-132>
- Barbarossa, L. (2020). The post pandemic city: challenges and opportunities for a non-motorized urban environment. An overview of Italian cases. *Sustainability (Switzerland)*, 12(17), 1-19. Disponible en <https://doi.org/10.3390/su121717172>
- Chiu, A.; Aviso, K.; Baquillas, J.; Tan, R. (2020). Can disruptive events trigger transitions towards sustainable consumption?. *Cleaner and Responsible Consumption*, 1, 100001, 1-5. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.clrc.2020.100001>
- DeWit, A.; Shaw, R.; Djalante, R. (2020). An integrated approach to sustainable development, National Resilience, and COVID-19 responses: the case of Japan. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 51, 101808, 1-6. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101808>
- Eltit Neumann, V. X. (2011). Transporte urbano no motorizado: el potencial de la bicicleta en la ciudad de Temuco. *Revista INVI*, 26(72), 153-184. Disponible en <https://doi.org/10.4067/S0718-83582011000200006>
- Flores Juca, E.; García Navarro, J.; Chica Carmona, J.; Mora Arias, E. (2017). Identification and analysis of sustainability indicators for mobility. *Estoa*, 6(11), 99-109. Disponible en <https://doi.org/10.18537/est.voo6.no11.a07>
- Flores Juca, E. (2021). *Movilidad sostenible en los sectores periféricos: un aporte a las metodologías de planificación espacial y del territorio: el caso Cuenca-Ecuador* [Tesis doctoral]. Universidad Politécnica de Madrid. Disponible en <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.68913>
- Flores Juca, E.; García Navarro, J.; Mora Arias, E.; Chica, J. (2023). La segregación espacial desde la perspectiva de la movilidad cotidiana y la densidad de las zonas periurbanas de Cuenca en Ecuador. *Revista EURE-Revista de Estudios Urbano Regionales*, 49(147), 1-22. Disponible en <https://doi.org/10.7764/EURE.49.147.04>
- Flores Juca, E.; Chica Carmona, J.; Mora Arias, E.; García Navarro, J. (2023). Reinterpreting the role of mobility in peri-urban areas: A multi-scale analysis in Cuenca-Ecuador. *Revista de geografía Norte Grande*, (84), 271-291. Disponible en <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022023000100271>
- Flores Juca, E.; Mora Arias, E.; Chica, J. (2024). Hacia una movilidad sostenible: metodología de evaluación para la incorporación de carriles de bicicleta

- en la infraestructura vial de Cuenca. *Revista Digital Novasinergia*, 7(1), 20-39. Epub 10 de enero de 2024. Disponible en <https://doi.org/10.37135/ns.01.13.02>
- Gay, L. (2016). Infraestructura resiliente: desempeño sostenido en un mundo siempre cambiante. *Entretextos*, 24, 75-84.
- Kent, M.; Karner, A. (2019). Prioritizing low-stress and equitable bicycle networks using neighborhood-based accessibility measures. *International Journal of Sustainable Transportation*, 13(2), 100-110. Disponible en <https://doi.org/10.1080/15568318.2018.1443177>
- Lizarraga, C. (2012). Expansión metropolitana y movilidad: el caso de Caracas. *EURE*, 38(113), 99-125. Disponible en <https://doi.org/10.4067/S0250-71612012000100005>
- Makarova, I.; Boyko, A.; Almetova, Z. (2020). Decision-making on development of cycling infrastructure through safety assessment at design and operation stages. *Transportation Research Procedia*, 50, 397-404. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.10.047>
- OIT. (2020). *Observatorio de la OIT: el COVID-19 y el mundo del trabajo. Segunda edición Estimaciones actualizadas y análisis Mensajes fundamentales*. Disponible en from <https://gisanddata.maps.arcgis.com/apps/opsdashboard/index.html#/>
- ONU. (2018). ONU-Habitat-ciudades resilientes. (15 de noviembre de 2022). Disponible en <https://onuhabitat.org.mx/index.php/ciudades-resilientes>
- Ribeiro, P.; Fonseca, F.; Santos, P. (2020). Sustainability assessment of a bus system in a mid-sized municipality. *Journal of Environmental Planning and Management*, 63(2), 236-256. Diponible en <https://doi.org/10.1080/09640568.2019.1577224>
- Suárez Lastra, M.; Galindo Pérez, C.; Murata, M. (2016). *Bicicletas para la ciudad. Una propuesta metodológica para el diagnóstico y la planeación de infraestructura ciclista*. Instituto de Geografía UNAM. Disponible en <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/book/49>
- Universitat Politècnica de Catalunya. (2014). Infraestructura y Ciudad-Departamento de Proyectos Arquitectónicos-UPC. Universitat Politècnica de Catalunya. (16 de noviembre de 2022). Disponible en <https://pa.upc.edu/es/Grado en Arquitectura/talleres-tematicos/infraestructura-y-ciudad>
- Ventura, D. (10 de mayo de 2020). Coronavirus: cómo las pandemias modificaron la arquitectura y qué cambiará en nuestras ciudades después del COVID-19. BBC News Mundo. Disponible en <https://www>

bbc.com/mundo/noticias-52314537

Weikert Bicalho, F. (2019). La resiliencia de los servicios de infraestructura en América Latina y el Caribe: un abordaje inicial. *Boletín 374/Facilitación, comercio y logística en América Latina y el Caribe*, 6(1564–4227), 1-16.

WorldBank. (2015). Disaster Risk Management in the Transport Sector. *The World Bank*, (June), 157.

Zayed, M. A. (2016). Towards an index of city readiness for cycling. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 5(3), 210-225. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2017.01.002>





# Sostenibilidad en el diseño de las márgenes de ríos urbanos: estudio en Cuenca-Ecuador<sup>1</sup>

Natasha Cabrera Jara  
Universidad de Cuenca

Stephanie Cabrera Campoverde  
Universidad de Cuenca

---

## Resumen

Entendiendo la importancia de los frentes de agua en las ciudades se plantea la valoración de la sostenibilidad en el diseño de las márgenes de los ríos urbanos. Para lo cual se plantea un sistema de 13 indicadores y un índice ponderado que abordan dos grandes ejes: conectividad y confort. Tomando a Cuenca como caso de estudio se aplica el sistema de evaluación propuesto en cinco zonas del río Tomebamba, obteniendo mapas que permiten visualizar la situación de cada uno de los indicadores en territorio. Finalmente, se calcula el índice (ISRU) para obtener una visión global del estado de las márgenes.

**Palabras clave:** infraestructura verde, red azul, espacio público, indicadores.

---

<sup>1</sup> Este manuscrito se deriva del proyecto de investigación «El diseño urbano como herramienta de construcción de ciudades resilientes. Usos, percepciones y posibilidades de las márgenes del Río Tomebamba de la ciudad de Cuenca», cuyos resultados se presentan en el libro *RIOURBANO Medición, representación espacial y estrategias de diseño para las márgenes de los ríos urbanos*. A diferencia de dicha publicación, el presente texto reflexiona sobre la importancia de los frentes de agua en el tejido del espacio público, sintetiza la propuesta metodológica y la evalúa.

# 1. Frentes de agua en el tejido urbano

## 1.1. Relevancia

Históricamente las civilizaciones se han congregado junto a distintas fuentes de agua, por ser uno de los elementos naturales más importantes tanto para satisfacer necesidades biológicas de humanos y no humanos, así como para actividades productivas y de ocio (Binti et al., 2011). La red hídrica ha constituido uno de los componentes más influyentes en la conformación espacial y social de los asentamientos humanos. No obstante, en diversas latitudes la relación con los cursos de agua se ha deteriorado, aunque se reconozca su importancia (Novotny, 2009), sobre todo porque parte significativa de la expansión urbana actual va ocupando áreas inundables, profundizando conflictos socio-ambientales (de Souza Porto, 2007).

Es decir, si bien los cuerpos de agua resultan determinantes en los procesos de urbanización, hoy albergan severas problemáticas asociadas a modificaciones de frecuencia, intensidad, duración y alcance espacial de los eventos hidrometeorológicos extremos, derivados del cambio climático, a lo que se suman los serios riesgos del inadecuado tratamiento de sus orillas (Ríos y Caruso, 2022). La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) señaló que en 2020 que se ha incidido negativamente a nivel mundial en importantes fuentes de agua, siendo la urbanización en cuencas medias y altas una causa significativa (López y Moncayo, 2022). Bajo este panorama, América Latina y el Caribe constituyen la segunda región más propensa a catástrofes climáticas, donde las inundaciones representan las más comunes (OCHA, 2020). En Ecuador, según informe del BID (2015), en los últimos años se han evidenciado los fuertes riesgos y vulnerabilidades que enfrentan las ciudades debido a la presión que el crecimiento urbano ha ejercido sobre los últimos reductos de flora y fauna nativas (SirioyPersea, 2022), relacionados directamente con la red hídrica y sus márgenes. Estos entornos se han degradado principalmente por una deficiente planificación y la presión inmobiliaria (Benages Albert et al., 2015; Piperno y Sierra, 2013), que han determinado su canalización, embaulamiento, relleno y privatización (Shamsuddin et al., 2013; Salim, 1993), provocando falta de accesibilidad, continuidad y abandono de sus orillas (Shamsuddin et al., 2013).

Frente a este panorama una serie de intervenciones para recuperar ríos urbanos iniciaron hace varias décadas y tomaron fuerza a finales del siglo XX, cuando las metrópolis europeas concentraron su atención en estos entornos y tomaron acciones para descontaminar ríos como el Támesis, Sena, etc. Más adelante los movimientos ambientalistas resaltaron la importancia no solo de descontaminar las aguas para mejorar la calidad

de vida de quienes residían en las urbes, sino de recuperar sus orillas, que fueron sumamente afectadas tras el desarrollo industrial (Hernández, 2017). Actualmente, varios autores sostienen que la recuperación de los frentes de agua urbanos se torna una acción imperativa a nivel mundial (Cabezas y Comin, 2010; Hermida et al., 2021; Hillman y Brierley, 2005; Kohlmann et al., 2008). Y que dicha intervención debe fundamentarse en nuevas formas de planificación basadas en la naturaleza (Ken, 1972) y capaces de reconocer las diversas dinámicas ecológicas, sociales y económicas presentes en estos espacios (SirioyPersea, 2022).

Existen diversos referentes internacionales que han dado respuesta a estos desafíos, como el proceso de renaturalización del río Cheonggyecheon en Seúl, que se centró en la recuperación ambiental y social de un canal urbano enterrado durante décadas (Kim y Jung, 2019). En Europa, intervenciones en el río Isar en Múnich o el río Spree en Berlín han intentado combinar el control de inundaciones con espacios públicos resilientes y biodiversos (Tjhin, 2023). Estos casos comparten un enfoque holístico que prioriza la sostenibilidad, el confort urbano y la integración social, principios que también guían la metodología propuesta en este estudio.

## 1.2. Articulación con lo público

Si bien las fuentes de agua en contextos urbanos han tomado protagonismo en varios trabajos académicos, poco se ha profundizado en las posibilidades que sus márgenes presentan como espacio público y parte de la infraestructura verde urbana (Chiesura, 2004). En este sentido, los frentes de agua —particularmente los ríos y quebradas— cuentan con la posibilidad de recorrer el territorio y tejer relaciones entre él. Esta condición, bien trabajada, permite articular diversos enclaves urbanos y funciona como conector de lo público, entendido como el conjunto de espacios donde la vida urbana, la inclusión y la democratización ocurren (Murzyn Kupisz y Gwosdz, 2011).

Es esencial cuestionar las premisas con las que se interviene en las orillas de ríos y quebradas, pues representa la manera en que se concibe el espacio público, pero además cómo se aprovecha su potencial de articulador para aumentar el capital social, la productividad y la sostenibilidad de una ciudad. Resulta fundamental remarcar el papel de las orillas de la red hídrica dentro del sistema urbano y su relación con múltiples factores tanto del entorno construido, como del contexto natural y del tejido social (Hermida et al., 2021). En consecuencia, las orillas de los frentes de agua urbanos presentan un triple reto: 1. visibilizar su importancia en la red de espacios públicos; 2. afrontar la presión ejercida por los acelerados procesos de urbanización y

3. aprovechar sus características ecosistémicas (Osorio, 2022). Con este fin se torna relevante para la academia, reflexionar y proponer herramientas que aporten en estos tres desafíos. A continuación, se presenta una propuesta para la valoración de las intervenciones sobre orillas de ríos urbanos, desde su comprensión como espacios públicos, vertebradores de la vida urbana, desde un enfoque apegado a principios de sostenibilidad y resiliencia.

## 2. Caso de estudio

Tomando a Cuenca como caso de estudio, se advierte que tanto sus predecesoras, Guapondélig y Tomebamba, como la ciudad de fundación española nacieron entre ríos que, como se describe anteriormente, constituyen elementos cruciales y dominantes en el desarrollo de los asentamientos humanos (Silva et al., 2006). El área urbana de esta ciudad cuenta con una destacable red hídrica, que «alcanza los 133 km y está compuesta por cuatro ríos: Tomebamba, Yanuncay, Tarqui y Machángara, y un sinnúmero de quebradas que cruzan la ciudad articulando la vida pública y constituyendo una red ecológica con potencial para fortalecer la biodiversidad» (Hermida, 2022, p. 26).

### 2.1. Relación histórica con el río Tomebamba

Se escoge como caso de estudio al río Tomebamba, frente al centro histórico, por el papel determinante que este cuerpo de agua ha mantenido con los distintos asentamientos humanos que a lo largo de los siglos se han desarrollado sobre este territorio. Este río inicialmente cumplió roles productivos, de abastecimiento y por muchos años, a partir de la fundación española de Cuenca, no se reconocía el potencial medioambiental de sus bordes. Hasta inicios del siglo XX, el Tomebamba marcó la división entre el área consolidada y la de expansión —hacia El Ejido—, presentando varios molinos en sus márgenes que no eran consideradas espacios públicos de esparcimiento en este periodo ya que se usaba el río para la evacuación de residuos (Jamieson, 2003).

A mediados del siglo XX, la identidad del río estuvo determinada por el agua, esta se usaba como un medio de producción, para bañarse o en juegos colectivos, e inclusive para eliminar desechos. Por otra parte, constituía una barrera, un límite entre lo rural y lo urbano. Esta importante transformación se debió al cambio de sistema productivo que experimentó la región, pasando de un modelo agrícola primario a otro terciario basado en servicios y producción de alto valor agregado. Esta reconfiguración simbólica y de uso de las orillas del río Tomebamba modificó la concepción de estos entornos como espacio público (Osorio et al., 2017).

Entre 1930 y 1950 las aguas residuales se canalizaron, creció el número de molinos hidráulicos (Vega, 1997) e inició la expansión acelerada de la ciudad, lo que mejoró la conexión entre ambas orillas del río. Precisamente en 1950 se dio una gran inundación que destruyó tres de los cinco puentes que cruzaban el río Tomebamba, afectando la conectividad durante varios años (Carpio, 1976). En 1970 las márgenes de varios ríos de Cuenca retomaron su importancia como espacios públicos (Albornoz, 2008), y ya en el siglo XXI, se invirtió en conectividad vial, pasos subterráneos e infraestructura para peatones y ciclistas. A la vez el uso del Tomebamba como sitio de producción se redujo. En este proceso los usos tradicionales, como bañarse en el río y la pesca de truchas disminuyeron significativamente y, aunque el lavado de ropa se mantuvo, este se desplazó hacia los bordes urbanos (García y González, 2016; Novillo, 2010). En otro orden, frente a la contaminación por la descarga de aguas residuales, la empresa pública a cargo del tratamiento del agua de la ciudad diseñó planes para su manejo (Hermida, et al., 2021).

Hoy, el río Tomebamba ya no se lo concibe como un límite, pues está integrado a la zona vital de la urbe como elemento valorado por sus habitantes, principalmente por el uso de sus orillas como un lugar de reunión social e intercambio económico.

### **3. Medición de la sostenibilidad en el diseño de las márgenes de ríos urbanos**

La importancia que estos espacios públicos representan, como son las márgenes de los frentes de agua en las ciudades, es capital debido no solo a su capacidad de articular el territorio y robustecer la red, sino por sus condiciones físicas, medioambientales y de integración social. En este sentido, la propuesta metodológica que se resume a continuación plantea una manera de evaluar estos contextos desde su potencial como espacios públicos, desde dos particularidades señaladas por autores como Talen (2000) y Pascual y Peña (2012), quienes remarcan como características primordiales la accesibilidad y la variedad de usos; mientras Frey y Bagaeen (2008) destacan la importancia del confort entendiéndolo como la adecuada provisión de servicios, instalaciones y movilidad pública y sostenible.

En consecuencia, la metodología propone valorar el diseño de las orillas de los ríos urbanos en ciudades con características similares a Cuenca, desde dos ejes que permiten evaluar su potencial como espacio público: la conectividad y el confort. Por otro lado, el enfoque que se asume enfatiza sobre la trascendencia de una visión centrada en la sostenibilidad y resiliencia, ambos principios fundamentales en la planificación y diseño de nuestras ciudades (Hermida et al., 2021).

### 3.1. Batería de indicadores

Se propone un sistema de indicadores repartidos en los ejes conectividad y confort que, a su vez, constan de dos subejos:

**Tabla 1**

Listado de indicadores para evaluar la sostenibilidad en el diseño de las márgenes de los ríos urbanos

|                                           |                                                        |                                                                                                                                                 |
|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| EJE 1. Conectividad                       |                                                        |                                                                                                                                                 |
| Subeje 1. Accesibilidad espacial y visual |                                                        |                                                                                                                                                 |
| Indicador 1                               | Accesibilidad vial y del transporte público            | Determina la posibilidad de acceder y conectarse al espacio público desde diversos medios de transporte, a través de la trama vial de la ciudad |
| Indicador 2                               | Accesibilidad del viario peatonal                      | Valora las características físicas (pendiente y ancho) de las aceras y senderos peatonales de las márgenes del río.                             |
| Indicador 3                               | Altura ponderada de las edificaciones                  | Determina el campo visual del ciudadano a pie en función de la altura de las edificaciones de la primera línea edificada.                       |
| Subeje 2. Continuidad del corredor verde  |                                                        |                                                                                                                                                 |
| Indicador 4                               | Permeabilidad del suelo                                | Cuantifica la superficie permeable del suelo en relación al área total de las unidades de análisis.                                             |
| Indicador 5                               | Diversidad vegetal                                     | Estima y cuantifica la riqueza de especies vegetales presentes en la zona de estudio.                                                           |
| EJE 2. Confort                            |                                                        |                                                                                                                                                 |
| Subeje 3. Condición del espacio público   |                                                        |                                                                                                                                                 |
| Indicador 6                               | Mixtidad de instalaciones para actividades de estancia | Determina la diversidad y mixtidad de los tipos de mobiliario que permiten realizar actividades de estancia.                                    |
| Indicador 7                               | Superficie en sombra                                   | Valora el control de temperatura en el espacio público y zonas de estancia producido por la sombra de árboles.                                  |
| Indicador 8                               | Iluminación nocturna                                   | Mide la superficie con iluminación, dada por el alumbrado público, que permite el uso del espacio público en las noches.                        |
| Indicador 9                               | Mantenimiento y gestión del espacio público            | Determina el grado de cuidado que se brinda a una determinada área de espacio público por parte de la autoridad encargada.                      |

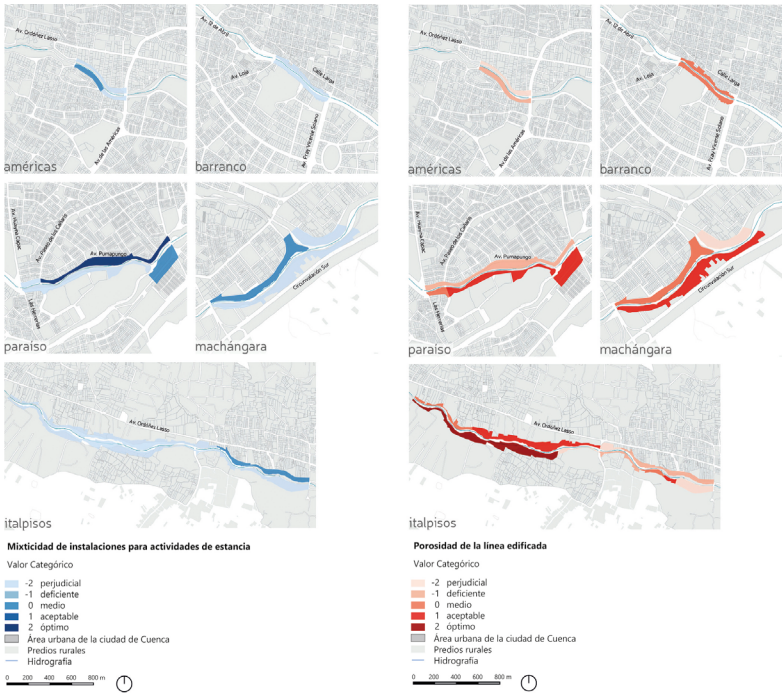
| Subeje 4. Condición de la línea edificada |                                     |                                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Indicador 10                              | Diversidad de usos                  | Valora la diversidad, mixticidad y frecuencia de usos en el tejido urbano de la primera línea edificada                                                                                                               |
| Indicador 11                              | Integración socio-espacial          | Evidencia aquellos sectores donde el grupo poblacional de menores recursos es mayor o menor en comparación con la proporción que tiene en la población global, lo que muestra situaciones de exclusión y segregación. |
| Indicador 12                              | Porosidad de la línea edificada     | Determina la relación visual entre el espacio público y el privado de la primera línea edificada.                                                                                                                     |
| Indicador 13                              | Accesibilidad de la línea edificada | Mide la relación física existente entre el espacio público y el privado, mediante el acceso (vehicular o peatonal) de las edificaciones ubicadas frente al margen del río.                                            |

Nota. Tomado de Hermida, et al. (2021).

Cada indicador se calcula en función de una fórmula en la que se obtiene un valor cuantitativo, este se pondera entre 2 a -2 y luego se representa espacialmente mediante mapas. Los valores se calculan para cada unidad de análisis para finalmente visualizar la situación de cada indicador en la cartografía.

Una vez diseñada la batería de indicadores se la aplicó para evaluar las condiciones actuales del río Tomebamba. Para la definición de las zonas de estudio, se realizó un análisis estadístico de conglomerados, con el objetivo de delimitar zonas homogéneas en términos de densidad poblacional, uso de suelo y porcentaje de vegetación. Con este análisis se dividió al río en cinco grandes zonas homogéneas. Las cinco zonas del río Tomebamba evaluadas son: Américas, Barranco, Paraíso, Machángara e Itaipisos, obteniendo diversos valores que se visualizaron en los mapas (Figura 1), reflejando así la variedad de resultados según la zona urbana.

**Figura 1**  
Distribución espacial de dos indicadores clave en las cinco zonas de estudio del río Tomebamba



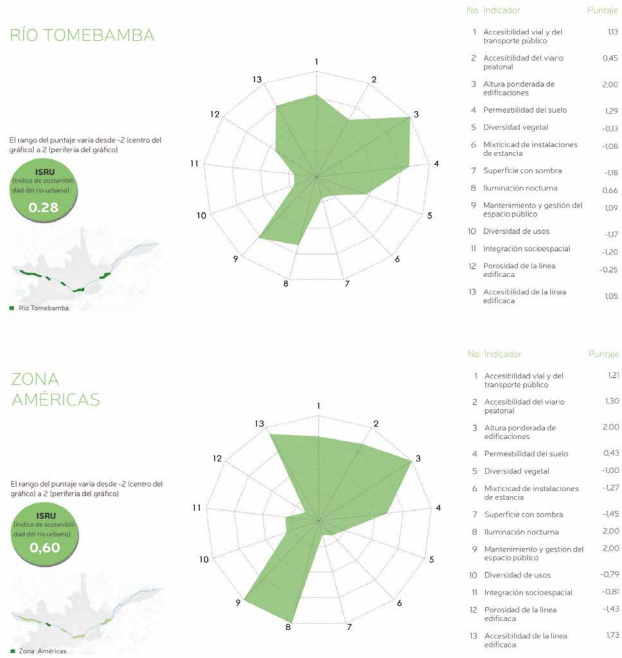
Nota. Tomado de Hermida, et al. (2021).

### 3.2. Índice de Sostenibilidad de Ríos Urbanos (ISRU)

Para tener una lectura global del estado actual del río y evaluar el nivel de conectividad y confort en estas zonas de estudio, además de generar conclusiones y sugerir recomendaciones de diseño, se plantea un índice ponderado que sintetiza los 13 indicadores ya calculados mediante la colaboración de 11 expertos quienes, utilizando la escala de Likert, determinaron la prioridad y utilidad de cada indicador. Con estos valores se establecieron pesos en términos de porcentaje, los que permitieron calcular un índice sintético que se denominó ISRU. Finalmente, se obtuvo el ISRU de cada una de las zonas estudiadas y del Río Tomebamba en general (Figura 2).

**Figura 2**

Índice de sostenibilidad de ríos urbanos (ISRU) calculado para la totalidad del río Tomebamba y para la zona Américas, que sintetiza 13 indicadores en un valor ponderado



Nota. Tomado de Hermida, et al. (2021).

## 4. Resultados

Tras aplicar esta metodología al caso de estudio, se consigue dimensionar la continuidad y el confort de las márgenes del río Tomebamba como espacio público bajo un enfoque de sostenibilidad y resiliencia. Por una parte, se obtuvo una valoración cuantitativa —con todas las limitaciones que esto podría implicar—, sobre la batería de indicadores y el ISRU, lo que permitió reconocer los puntos críticos de cada una de las unidades de análisis así como aquellos aspectos que presentan mejores condiciones. Por otra parte, se puso a prueba la metodología, logrando evidenciar problemas con los datos catastrales existentes, que se debieron actualizar en la mayoría de los indicadores.

Como resultado final y en función de la evaluación de cada indicador se propusieron las siguientes estrategias de diseño:

**Tabla 2**

Listado de estrategias de diseño por indicador

| <b>EJE 1. Conectividad</b>                      |                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Subeje 1. Accesibilidad</b>                  |                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Indicador 1                                     | Accesibilidad vial y del transporte público            | <p>Garantizar el acceso y conexión al espacio público de las márgenes de los ríos mediante:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Implementación de paradas de bus, ciclovías, parqueo de bicicleta y bicicleta pública en las vías aledañas y senderos de las márgenes.</li> <li>Implementación de nuevas vías compartidas, en donde puedan usarse todos los modos de transporte, que permitan el acceso a las márgenes de los ríos, principalmente en zonas en proceso de consolidación.</li> <li>Control de la velocidad del transporte motorizado en las vías aledañas a las márgenes de los ríos</li> </ul> |
| Indicador 2                                     | Accesibilidad del viario peatonal                      | <p>Garantizar la accesibilidad peatonal proponiendo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Intervención de los senderos con material de relleno semipermeable, una pendiente máxima de 5% y un ancho mínimo de 1,2m.</li> <li>Control de la accesibilidad universal a los senderos, especialmente en las intersecciones de la margen con puentes y vías.</li> <li>Incorporación de los senderos naturales (líneas del deseo), dentro del diseño.</li> </ul>                                                                                                                                                      |
| Indicador 3                                     | Altura ponderada de las edificaciones                  | <p>Garantizar el campo visual a través de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Regulación del número de pisos (4 máximo) de la primera línea edificada frente a las orillas de los ríos.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Subeje 2. Continuidad del corredor verde</b> |                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Indicador 4                                     | Permeabilidad del suelo                                | <p>Proteger la permeabilidad del suelo para sostener su ciclo natural del suelo, el del agua y el normal desarrollo de los ecosistemas, para lo cual se debe:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Usar materiales permeables o semipermeables en senderos, canchas y zonas de estancia.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Indicador 5                                     | Diversidad vegetal                                     | <p>Proteger y estimular la riqueza de especies mediante:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Siembra de especies endémicas de vegetación conservando y respetando su distribución natural en la orilla de los cuerpos de agua.</li> <li>Promoción de iniciativas de gestión que protejan el número de especies vegetales y animales presentes en las márgenes de los ríos.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>EJE 2. Confort</b>                           |                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Subeje 3. Condición del espacio público</b>  |                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Indicador 6                                     | Mixtidad de instalaciones para actividades de estancia | <p>Incorporar mobiliario que permita realizar varias actividades de estancia mediante:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Combinación de diversos tipos de mobiliario para actividades lúdicas, de ocio, de contemplación, de actividad física, de deporte, de consumo y preparación de alimentos, entre otras; para personas de todas las edades y género.</li> <li>Especial importancia a las instalaciones que favorezcan la presencia de niños, niñas y mujeres que generalmente son excluidos de estos espacios.</li> </ul>                                                                              |
| Indicador 7                                     | Superficie en sombra                                   | <p>Incorporar vegetación y elementos que permitan el control de la temperatura, con la:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Planificación de zonas de sombra ya sea de manera natural, a través de árboles, o artificial mediante el uso de pérgolas.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

|                                                  |                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|--------------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Indicador 8                                      | Iluminación nocturna                        | <p>Incorporar iluminación adecuada que permite el uso del espacio público en las noches a través de:</p> <p>Implementación de luminarias que permita el uso del espacio en las horas de la noche.</p> <p>Especial importancia a la iluminación de senderos para que la seguridad, particularmente de niños, niñas y mujeres, mejore.</p> <p>Control de la altura de las luminarias para evitar la sobre iluminación de las copas de los árboles en donde reposan especies animales en la noche.</p>                                                                                                                                                                      |
| Indicador 9                                      | Mantenimiento y gestión del espacio público | <p>Planificar las acciones de mantenimiento que requerirá el espacio público intervenido con la:</p> <p>Definición de la actividad de mantenimiento requerida para cada zona en la margen, considerando su periodicidad y costo.</p> <p>Definición de actividades de limpieza, poda, siembra, etc. de la vegetación propuesta en el proyecto.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Subeje 4. Condición de la línea edificada</b> |                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Indicador 10                                     | Diversidad de usos                          | <p>Planificar la incorporación de diversos usos de suelo en el tejido urbano de las zonas aledañas a las márgenes de los ríos mediante:</p> <p>Propuesta de usos que motiven la presencia de personas en el espacio público y que mejoren la calidad de vida.</p> <p>Sugerencia de usos de suelo que promuevan las actividades colectivas.</p> <p>Incorporación de usos de suelo que permitan a las mujeres llevar adelante las actividades productivas y de cuidado, disfrutando de las márgenes del río.</p>                                                                                                                                                           |
| Indicador 11                                     | Integración socio-espacial                  | <p>Promover la integración socio - espacial a través del diseño con:</p> <p>Incorporación en el proyecto las prácticas y los usos del espacio de todos los sectores sociales que beneficien la calidad de vida urbana.</p> <p>Definición de lugares de encuentro que permitan una relación saludable entre ciudadanos.</p> <p>Incorporación de lugares en donde niños, niñas y mujeres se encuentren y se fomente su presencia en el espacio público.</p>                                                                                                                                                                                                                |
| Indicador 12                                     | Porosidad de la línea edificada             | <p>Planificar la ciudad de modo que se posibilite una relación visual entre el espacio público y el privado de la línea edificada aledaña mediante:</p> <p>Cerramientos y fachadas con suficiente transparencia que permita la comunicación visual entre el interior y el exterior. Para ello, a partir de un metro de altura, los cerramientos deben ser transparentes.</p> <p>Supresión de cerramientos altos, nunca mayores a 3m.</p> <p>Inclusión de vegetación en áreas urbanas ejerce un efecto positivo en la percepción del espacio por lo que se recomienda incorporar cerramientos vegetales que no superen un metro de altura desde el nivel de la acera.</p> |
| Indicador 13                                     | Accesibilidad de la línea edificada         | <p>Diseñar accesos directos desde la primera línea edificada a los frentes de agua con:</p> <p>Incorporación de entradas peatonales en las fachadas que dan hacia el río para posibilitar la presencia de personas y actividades, y brindar así, mayor seguridad al lugar.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

Nota. Tomado de Hermida et al. (2021).

Este listado de acciones se asume como perfectible al igual que la batería de indicadores que le antecede.

## 5. Discusión y conclusiones

Si bien la metodología desarrollada en RIOURBANO constituye un valioso punto de partida para evaluar la sostenibilidad de las márgenes de ríos urbanos, su aplicación en el caso de Cuenca permite advertir la necesidad de su ampliación y ajuste. En futuras investigaciones sería pertinente incorporar indicadores que aborden, de forma más específica, las dimensiones sociales del espacio público, incluyendo aspectos como la percepción de seguridad, los niveles de apropiación y el grado de participación ciudadana en la gestión de las orillas. Asimismo, se recomienda integrar variables relacionadas con la biodiversidad local —especialmente de flora y fauna nativa— para reforzar el componente ecológico del análisis. Por otro lado, los rangos considerados como óptimos para cada indicador deberían revisarse a la luz de nuevos casos, ajustándolos según distintos contextos urbanos y socioambientales. En cuanto a las estrategias de diseño, si bien estas ofrecen un marco útil para orientar intervenciones, se sugiere fortalecerlas incorporando principios de diseño inclusivo, enfoques de co-creación con comunidades locales y mecanismos de gobernanza participativa. Estas propuestas buscan enriquecer la herramienta metodológica, haciendo de ella un instrumento más holístico, adaptable y sensible a las múltiples escalas y realidades de los frentes de agua urbanos en América Latina y otras regiones.

El desafío ahora consiste en posicionar la discusión sobre la importancia de la red hídrica en entornos urbanos y su potencial como articuladora de la red de espacios públicos. Si bien este trabajo se centra en los ríos urbanos, se ha detectado el papel preponderante que las quebradas o arroyos, que por otra parte ha sido seriamente afectado, incluso más que en el caso de los ríos.

Como cierre es importante señalar que las reflexiones que este estudio propone constituyen una base teórica importante que facilitará la formulación de proyectos de investigación futuros que permitan aplicar, validar y mejorar el sistema de medición y representación propuesto. De igual manera, las estrategias planteadas dan un paso en la exploración de las posibilidades que las herramientas de planificación y diseño urbano-arquitectónico ofrecen en pleno siglo XXI, momento que nos «enfrenta a nuevos y hasta ahora poco conocidos desafíos: el cambio climático, la escasez de recursos, la extrema inequidad, la abundancia de información digital, entre otros» (Hermida et al., 2021, p. 203).

## Referencias bibliográficas

- Albornoz, B. (2008). *Planos e imágenes de Cuenca*. I. Municipalidad de Cuenca.
- Benages Albert, M.; Di Masso, A.; Porcel, S.; Pol, E.; Vall Casas, P. (2015). Revisiting the appropriation of space in metropolitan river corridors. *Journal Of Environmental Psychology*, 42, 1-15. Disponible en doi:10.1016/j.jenvp.2015.01.002
- BID. (2015). *Plan de Acción de Cuenca, Ecuador. Programa Ciudades Emergentes y Sostenibles (CES)*. BID.
- Binti M.; Yassin, A.; Bond, S.; McDonagh, J. (2011). Developing Guidelines for Riverfront Developments for Malaysia. *Pacific Rim Property Research Journal*, 17(4), 511-530. Disponible en doi:10.1080/14445921.2011.11104340
- Cabezas, A.; Comín, F. (2010). Carbon and nitrogen accretion in the topsoil of the Middle Ebro River Floodplains (NE Spain): implications for their ecological restoration. *Ecological Engineering*, 36(5), 640-652. Disponible en doi:10.1016/j.ecoleng.2008.07.021
- Carpio, V. J. (1976). Las Etapas de Crecimiento de la ciudad de Cuenca, Ecuador. *Revista Geográfica*, 77-101.
- Chiesura, A. (2004). The role of urban parks for the sustainable city. *Landscape And Urban Planning*, 68(1), 129-138. Disponible en doi:10.1016/j.landurbplan.2003.08.003
- De Souza Porto, M. (2007). *Uma ecologia política dos riscos. Princípios para integrarmos o local e o global na promoção da saúde e da justiça ambiental*. Editora FIOCRUZ.
- Frey, H.; Bagaeen, S. (2008). Adapting the City. *Dimensions of the Sustainable City*, 2, 215-237. Disponible en <http://doi.org/10.1007/978-1-4020-8647-2>
- García, G. R.; González, M. X. (2016). *Fotografía histórica y contemporánea herramientas para la valoración del patrimonio caso de estudio: el Barranco Cuenca-Ecuador* [Tesis de Pregrado]. Universidad de Cuenca.
- Hernández (2017). *Ríos urbanos. Análisis de la relación entre el desarrollo urbano y la pérdida de los ecosistemas fluviales*. ITESO. Universidad de Guadalajara.
- Hermida, A.; Cabrera, N.; Osorio, P.; Cabrera, S. (2021). *RIOURBANO. Medición, representación espacial y estrategias de diseño para las márgenes de los ríos urbanos*. Universidad de Cuenca.
- Hillman, M.; Brierley, G. (2005). A critical review of catchment-scale stream rehabilitation programmes. *Progress In Physical Geography*, 29(1), 50-76. Disponible en doi:10.1191/0309133305pp434ra
- Jamieson, R. W. (2003). *De Tomebamba a Cuenca: arquitectura y arqueología colonial*. Editorial Abya Yala.

- Ken, Y. (1972). *Proyectar con la naturaleza. Bases ecológicas para el proyecto arquitectónico*. Editorial Gustavo Gili.
- Kim, H.; Jung, Y. (2019). Is Cheonggyecheon sustainable? A systematic literature review of a stream restoration in Seoul, South Korea. *Sustainable Cities and Society*, 45, 59-69. Disponible en doi.org/10.1016/j.scs.2018.11.018
- Kohlmann, B.; Mitsch, W.; Hansen, D. (2008). Ecological management and sustainable development in the humid tropics of Costa Rica. *Ecological Engineering*, 34(4), 254-266. Disponible en doi:10.1016/j.ecoleng.2008.09.004
- López, R.; Moncayo, A. (2022). Agua urbana y territorio: mirada al crecimiento urbano de la ciudad de Loja: 1950-2016, su incidencia en el sistema hidrológico. En J. Erazo (Ed.), *CIVITIC Manta 2021*. Red Universitaria de Estudios Urbanos de Ecuador.
- Murzyn Kupisz, M.; Gwosdz, K. (2011). The changing identity of the Central European city: the case of Katowice. *Journal Of Historical Geography*, 37(1), 113-126. Disponible en doi:10.1016/j.jhg.2010.04.001
- Novillo, M. A. (2010). *Estudio histórico y cultural de Cuenca en el siglo XX (1920-1980), a partir de la producción literaria de GH Mata* [Tesis de Pregrado]. Universidad de Cuenca.
- Novotny, V. (2009). Sustainable urban water management. En J. Feyen, K. Shannon y M. Neville (Eds.), *Water and Urban Development Paradigms: towards an Integration of Engineering, Design and Management Approaches* (pp. 19-31). CRC Press.
- OCHA. (2020). *Desastres naturales en América Latina y el Caribe 2000-2019*. Disponible en <https://reliefweb.int/report/world/desastres-naturales-en-am-rica-latina-y-el-caribe-2000-2019>
- Osorio, P. (2022). Los desafíos de convivir con quebradas. En J. Erazo (Ed.), *CIVITIC Manta 2021*. Red Universitaria de Estudios Urbanos de Ecuador.
- Osorio, P.; Neira, M.; Hermida, M. (2017). Historic relationship between urban dwellers and the Tomebamba River. *International Journal of Sustainable Building Technology And Urban Development*, 8(2). Disponible en doi:10.12972/susb.20170012
- Pascual, A.; Peña, J. (2012). Espacios abiertos de uso público. *Arquitectura y Urbanismo*, 33(1), 25-42.
- Piperno, A.; Sierra, P. (2013). Estrategias de intervención en áreas urbanas inundables: el caso Bella Unión, Uruguay. *EURE*, 39(116), 250-241.
- Ríos, D.; Caruso, S. (2022). Los humedales de la Región Metropolitana de Buenos Aires: inundaciones, conflictos ambientales y políticas públicas.

- En C. Smaniotto (Ed.), *Rios urbanos na ibero-americana-casos, contextos e experiências*. Universidade Lusófona.
- Salim, M. (1993). *Aspects of urban design with special reference to image and identity in built form: case study of Kuala Lumpur* [Doctoral dissertation]. Cardiff University.
- Silva, J. B.; Serdoura, F.; Pinto, P. (2006). Urban rivers as factors of urban (dis) integration. *42nd ISOCaRP Congress*.
- SirioyPersea (2022). *Plan piloto de gestión para la quebrada Shinshín de la parroquia Baños, Cuenca*. Programa CIS – GIZ Ecuador.
- Shamsuddin, S.; Abdul Latip, N.; Ujang, N.; Sulaiman, A.; Alias, N. (2013). How a city lost its waterfront: tracing the effects of policies on the sustainability of the Kuala Lumpur waterfront as a public place. *Journal Of Environmental Planning And Management*, 56(3), 378-397. Disponible en doi:10.1080/09640568.2012.681635
- Talen, E. (2000). Measuring the public realm: a preliminary assessment of the link between public space and sense of community. *Journal of Architectural and Planning Research*, 344-360.
- Tjhin, D. A. (2023). The return of nature? Negotiating the “renaturation” of the Isar as an envirotechnical landscape. *Social Studies of Science*, 54(4), 557-574. Disponible en doi.org/10.1177/03063127231217577
- Vega, M. (1997). *El Río Tomebamba en la historia de Cuenca*. Dirección Provincial de Cultura del Azuay.



# **Evaluación fotovoltaica para lograr edificios y ciudades energéticamente neutras en el clima andino ecuatorial**

*Esteban Zalamea León*  
Universidad de Cuenca

*Antonio Barragán Escandón*  
Universidad Politécnica Salesiana

*Alfredo Ordoñez Castro*  
Universidad de Cuenca

---

## **Resumen**

Soluciones para el crecimiento de la demanda de energía resulta estratégico en todo el mundo, en especial en países en desarrollo, en donde se espera que se dé el mayor crecimiento de consumo para propiciar el desarrollo socio-económico. Ecuador subsidia energía desde el siglo pasado, por el gran impacto que representa su provisión en las familias de menores ingresos. En cuanto a electricidad se ha invertido fundamentalmente en hidroelectricidad, y también se han desarrollado políticas incipientes para redirigir el consumo de combustibles fósiles hacia la electricidad, fomentando la cocción eléctrica y reduciendo aranceles al transporte eléctrico. Aunque la energía hidroeléctrica se considera una forma de energía renovable, también implica un impacto en el medio ambiente. En estas circunstancias, ciudades y edificios juegan un papel relevante en la reducción de la presión

energética y necesidad de importar energía a las áreas urbanas, al incorporar autoabastecimiento energético en edificios y ciudades. Este estudio describe brevemente trabajos recientes realizados en Cuenca para descifrar los recursos energéticos disponibles y la capacidad de autoabastecimiento en Cuenca, Ecuador. Los principales resultados obtenidos muestran que en entornos urbanos en valles ecuatoriales andinos, la microgeneración fotovoltaica (FV) en edificios es la mejor opción, ya que podría suministrar en gran medida los requisitos de energía de la ciudad e incluso se estima una capacidad de abastecer alrededor del 22 % de los requisitos eléctricos de edificios industriales de alto consumo y para vivienda unifamiliar, solo se requieren alrededor de 7 m<sup>2</sup> de techo, lo cual supone apenas el 10 % de la disponibilidad de techo de una casa de dos pisos. En edificios de educación superior, es posible alcanzar el requisito total de energía con tecnología FV. La limitación es la capacidad de la red de gestionar excedentes en potencial eléctrica en edificaciones.

**Palabras clave:** energía solar, autoabastecimiento energético de edificios, autoabastecimiento energético de ciudades, contexto andino ecuatorial.

## 1. Introducción

Las ciudades son responsables del 80 % de los requisitos energéticos y de las emisiones de carbono en el mundo (Lund et al., 2015). Para reducir este gran impacto, es importante aplicar medidas de eficiencia energética en primera instancia (Griffiths y Sovacool, 2020). Luego, para lograr edificios energéticamente neutrales, incluso con «demandas negativas» necesarios para alcanzar comunidades energéticamente negativas (Amado et al., 2017), es necesario integrar energías renovables en ciudades y edificios a gran escala, aprovechando las envolventes de las edificaciones. Para ello es imprescindible determinar los requisitos energéticos, fluctuaciones irradiación-demandas especiales y temporales, conjuntamente con la disponibilidad de recurso solar (Salpakari et al., 2016), compaginando producción y gestión de demanda eléctrica (Lund, 2018).

De acuerdo con las condiciones climáticas y la caracterización del contexto urbano, los requisitos energéticos son parámetros que fluctúan en mayor o menor medida. Hace diez años, Lund analizó los requisitos energéticos y el potencial solar de Shanghái y Helsinki, determinando la producción y demanda espacial y temporal, considerando que el efecto de desajuste o no coincidencia, producción-consumo, es una barrera principal para integrar la energía solar a gran escala para reducir requerimientos de almacenamiento. Este investigador encontró alternativas para conducir y

almacenar energía a través de la conducción de energía por la red combinada con grandes sistemas de almacenamiento térmico estacional (Lund, 2012). Actualmente, existen grandes sistemas de almacenamiento de energía disponibles para incorporar a la red con el fin de gestionar excedentes de energía y permitir un aumento de las capacidades renovables, por ejemplo, bombeo de agua a reservorios altos para activa hidroeléctricas en momento de falta de producción o también introduciendo presión bajo el suelo para aprovecharlo el momento de necesidad de generación, o la conversión de excedentes eléctricos en hidrógeno verde. Las principales barreras detectadas para lograr una mayor fracción de la capacidad de autoabastecimiento energético en ciudades solares son las fluctuaciones estacionales, que implica períodos con niveles de irradiación altos y bajos, que coinciden con los principales requisitos energéticos. Por ejemplo, en Concepción, Chile, se ha determinado que, como consecuencia de las fluctuaciones climáticas y las limitaciones de la red para gestionar excedentes de energía, con el autoabastecimiento solar a gran escala en edificios conectados a la red, es posible alcanzar solo entre el 15 % y el 27 % de los requisitos energéticos totales.

### **1.1. Ciudades andinas ecuatoriales**

El contexto andino ecuatorial tiene condiciones climáticas particulares. Como consecuencia de la cercanía a la línea ecuatorial, las fluctuaciones climáticas estacionales son menores en comparación con las regiones estacionales presentes en latitudes medias y altas cerca de los polos. Normalmente, en estas latitudes hay temperaturas cálidas a extremadamente cálidas durante todo el año. En condiciones climáticas tropicales, hay considerables requisitos energéticos en edificios y ciudades para refrigeración durante todo el año, día y noche, especialmente en regiones tropicales húmedas, como la mayor parte de la región tropical sudamericana. Sin embargo, en Sudamérica existe también una condición climática especial que no se observa en otras regiones ecuatoriales del mundo, como sucede en la cordillera de los Andes. Estos son sitios a mediana y alta altitud cerca de la línea ecuatorial, donde hay valles con condiciones climáticas muy buenas para alcanzar fácilmente niveles de confort en los edificios, donde normalmente no hay requisitos energéticos para enfriar o calentar espacios internos, o donde los requisitos son muy bajos, que podrían resolverse fácilmente con estrategias pasivas como la selección estratégica de materiales, la captura o bloqueo solar adecuado y un buen estándar en el proceso de construcción, especialmente en la envoltura del edificio. En estos valles hay varias ciudades, incluidas capitales como Bogotá o Quito, además de varias ciudades medianas y pequeñas ubicadas en Venezuela, Colombia, Ecuador y Perú. Estas áreas urbanas tienen un beneficio doble para el autoabastecimiento energético: el primero es la no

necesidad de equipos de aire acondicionado o calefacción y, por lo tanto, la no necesidad de consumo energético para alcanzar niveles adecuados de confort interno. El segundo aspecto son las condiciones climáticas regulares, incluso en ciudades o pueblos más cálidos o más fríos ubicados cerca de 3000 m.s.n.m. o 2000 m.s.n.m., donde en algunas ocasiones hay requisitos de refrigeración o calefacción, el consumo energético es homogéneo durante todo el año. De la misma manera que el consumo es casi constante, variando solo según corresponda a días de semana, fines de semana o días festivos, el recurso solar también es relativamente estable en comparación con otros contextos. Esto implica que el efecto de desajuste del consumo energético y la disponibilidad de irradiación, como consecuencia de la variabilidad estacional, se reduce significativamente. Un análisis extenso de estas características climáticas y condiciones se realizó anteriormente (Zalamea León, E. y Barragán Escandón, A., 2019).

En este informe mostramos la estimación de diferentes fuentes renovables disponibles dentro de los límites de Cuenca, una ciudad de tamaño mediano ubicada entre 2350 y 2600 m.s.n.m. Esto justifica por qué la energía solar, y concretamente la tecnología FV, corresponde a la principal alternativa para alcanzar la autosuficiencia energética en edificios. Luego, se realizó una breve comparación entre tipologías de edificios para el potencial de FV. En este caso, se compararon la tipología industrial, la tipología de uso mixto y la vivienda unifamiliar, mostrando desde la más alta hasta la más baja potencialidad de FV determinada en esta ciudad andina ecuatorial, como estudios de caso. Finalmente, se presenta un trabajo reciente para lograr la neutralidad energética, mostrando al lector la capacidad de la tecnología FV en edificios para satisfacer las demandas energéticas.

## **2. Resultados**

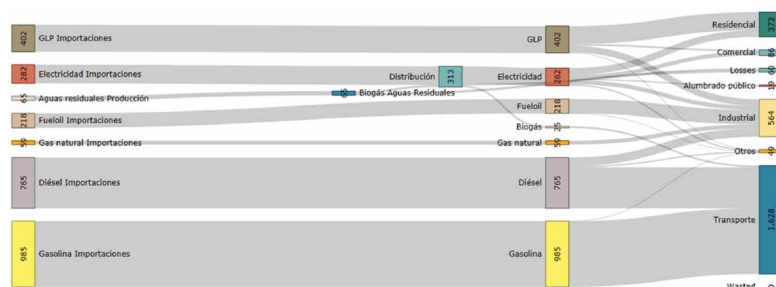
### **2.1. Capacidad de fuentes de energía dentro de los límites de la ciudad**

En el año 2015 no había una recopilación real de datos sobre los requisitos energéticos y la disponibilidad y capacidad de las fuentes de energía existentes dentro de los límites de la ciudad de Cuenca. En el proyecto de investigación, que apoya el proyecto de investigación de Antonio Barragán (2018), se determinaron los principales datos globales para analizar las capacidades energéticas para el autoabastecimiento energético en Cuenca. Se determinaron los requisitos energéticos totales para diferentes consumos urbanos del año 2015 (Figura 1), destacando que el transporte es el principal requisito energético a resolver, representando casi el 60 % del total de

requisitos energéticos de la ciudad. En segundo lugar, se encuentran los requisitos industriales, sector que necesita aproximadamente el 21 % del total de requisitos energéticos de la ciudad. El uso residencial aparece en tercer lugar con una demanda energética que representa menos del 14 % del total. Estos resultados muestran los bajos requisitos energéticos para la vivienda y la enorme necesidad energética para el transporte, lo que se debe claramente a los bajos o nulos requisitos energéticos para el confort térmico de las viviendas y edificios, como consecuencia de las excelentes condiciones climáticas existentes en la ciudad.

**Figura 1**

Diagrama de Sankey que considera los requerimientos energéticos y fuentes en 2016

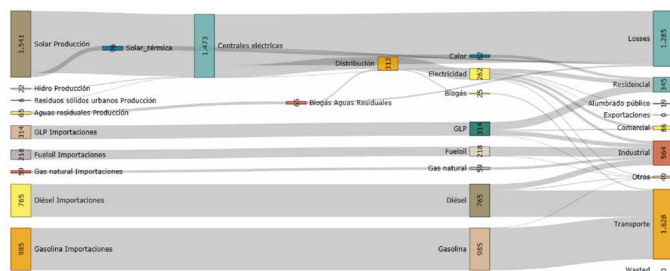


Nota. Tomado de Barragán Escandón (2018).

Después de un proceso de selección metodológica de acuerdo con diferentes criterios, se identificaron las cinco principales tecnologías que, de acuerdo con la disponibilidad de fuentes de energía, podrían significar las mejores posibilidades para satisfacer los requisitos energéticos (Barragán et al., 2018). También se midieron los requisitos energéticos en la ciudad. Finalmente, se obtuvo una comparación del potencial energético total con las cinco fuentes en relación con los requisitos energéticos y se expuso una propuesta para dirigir estas fuentes energéticas a las demandas determinadas. Los resultados se representaron en un diagrama de Sankey, como se muestra a continuación en la Figura 2.

**Figura 2**

Diagrama de Sankey que considera las fuentes de energía disponibles y su capacidad para los requerimientos de energía



Nota. Tomado de Barragán Escandón (2018).

La Figura 2 muestra el resultado principal del proyecto de investigación referido. En el diagrama de Sankey se observan las cinco fuentes de energía detectadas acorde a expertos, como las mejores alternativas para alimentar de forma endógena energéticamente a la ciudad de Cuenca: aguas residuales para obtener gas natural, este recurso se destina a suministrar transporte público en su totalidad, estratégicamente contribuyendo a la mayor demanda de la ciudad; la irradiación solar es, con mucho, la principal fuente de energía presente dentro de los límites urbanos; pequeñas hidroeléctricas hidroeléctrica desplegada en los cuatro ríos podría suministrar el 8.3 % de los requisitos energéticos y la electricidad procedente del vertedero municipal solo podría suministrar el 2.2 % de los requisitos energéticos de la ciudad. Pero la solar es el recurso más alto, considerando solo la irradiación disponible en los techos, podría suministrar cerca del 33 % de los requisitos residenciales. La electricidad de la tecnología FV podría alcanzar el total de los requisitos energéticos y la limitación de la tecnología no es la disponibilidad de irradiación, sino que las demandas eléctricas en la ciudad son solo el 9.7 % de las demandas energéticas totales.

## 2.2. Capacidad de la FV para el autoabastecimiento energético en diferentes tipologías de edificios

### 2.2.1. Edificio industrial

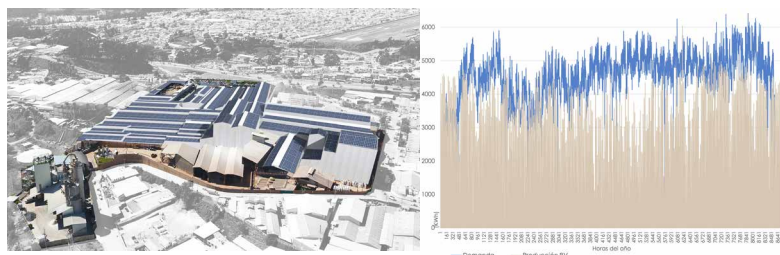
En primer lugar, se determinó el potencial solar en edificios industriales en Cuenca (Marín López et al., 2018). Este análisis se realizó en 2017, considerando los datos de requisitos energéticos de 2016 para detectar la relación entre requisitos de energía y potencial de FV. También se realizaron simulaciones con la tecnología FV disponible en esos años, como paneles

solares de 275 Wp de 1.65 m x 0.95 m. La metodología aplicada incluyó el análisis de iluminación natural en los techos. La superficie existente de techos con amplitud adecuada para la instalación de FV era de 53,360.0 m<sup>2</sup>, pero al considerar la reducción de espacio para los requisitos de iluminación natural, fue posible integrar 48,241.0 m<sup>2</sup> de superficie de captura de FV (Figura 3). Esta área de tecnología FV se comparó luego con los requisitos de energía anuales de esta industria. Durante 2016, el consumo energético fue de aproximadamente 38,899.3 MWh, aunque esto solo representa un requisito energético parcial, ya que la mayor parte de la energía corresponde a gas licuado de petróleo (GLP) y diésel para hornos industriales de fabricación de azulejos cerámicos.

Los resultados de la investigación también muestran que es posible suministrar alrededor del 22 % de los requisitos energéticos de estos edificios industriales. La producción de FV podría alcanzar los 8560.0 MWh, aunque esto representa menos de una cuarta parte de los requisitos energéticos, esta producción de energía podría satisfacer el consumo de al menos 17000 ciudadanos.

**Figura 3**

Simulación de fotovoltaicos en un edificio industrial y su producción horaria



Nota. Tomado de Marín López et al. (2018).

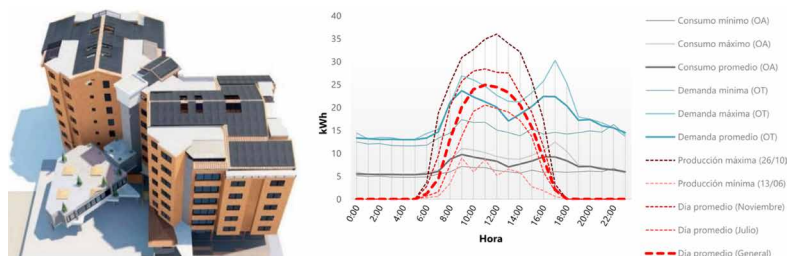
### 2.2.2. Edificios de uso mixto

La siguiente tipología analizada corresponde a edificios de uso mixto — residencial, comercial y oficinas de servicios— (Flores Chafra et al., 2021). Es una tipología interesante considerando que una estrategia sostenible es integrar diferentes usos en una misma edificación, para lograr vecindarios con usos mixtos, estrategia de utilidad desde distintos puntos de vista desde la sostenibilidad, y en edificaciones de altura media. En consecuencia, se analiza un edificio de seis pisos, con los usos explicados anteriormente. El área de techo disponible es de 654.5 m<sup>2</sup> y el requisito energético anual

del período 2018 fue cercano a 66.8 MWh. Tras considerar aspectos arquitectónicos, se determinó que es posible acoplar 351.5 m<sup>2</sup> de FV de 335 Wp. En la región andina cerca del Ecuador, a más de altitudes medias sobre el nivel del mar, los requisitos energéticos para el transporte son un requisito principal, como se explicó anteriormente, por lo que resulta estratégico cambiar el modelo de transporte de combustible a electricidad. Como consecuencia, en el edificio analizado con la máxima capacidad geométrica, se podría cubrir el 99.7 % de los requisitos energéticos, pero sí se recomienda introducir cargadores de vehículos eléctricos (EV), uno para cada residencia habitable, considerando el uso típico de una familia y convirtiendo todo el equipo de combustión existente para uso residencial, el porcentaje de requisitos energéticos del sistema FV propuesto podría alcanzar el 27.9 % de la demanda esperada. En la Figura 4 se muestra la adaptación de los paneles FV en el techo del edificio y las curvas horarias de diferentes demandas de energía en comparación con la producción de FV posible según la integración de FV y la disponibilidad de irradiación.

**Figura 4**

Simulación de edificio de uso mixto con fotovoltaicos y diagrama de su producción diaria



Nota. Tomado de Flores Chafra et al. (2021).

### 2.2.3. Vivienda unifamiliar

El siguiente análisis presentado en este documento corresponde a una vivienda unifamiliar para la instalación de FV para autoabastecimiento energético. En este caso, se observó que una casa con cuatro habitantes que consume un promedio de 160 kWh mensuales, podría resolver sus requisitos energéticos con un sistema FV de 1.36 kWp, que corresponde a la instalación de dos a tres paneles solares en su techo. La primera instalación residencial en la ciudad conectada a red se trata de la vivienda Barragán López, y en el primer año de producción, desde mayo de 2021 hasta abril de 2022, se logró una producción de 1810 kWh. Esta producción hasta hoy ha generado

excedentes en la medición neta con la empresa de suministro eléctrico, aunque se espera que esta producción se reduzca en los próximos años como consecuencia de la degradación natural lenta del rendimiento del sistema FV (Luque y Hegedus, 2011). La Figura 5 muestra cuatro paneles solares FV de 340 Wp, potencia estándar disponible en 2021, y la factura de electricidad de la distribuidora. En este documento podemos observar la primera reducción de la energía facturada durante los cuatro meses siguientes a que la instalación fue funcional, de junio a septiembre de 2021. Luego se instaló el equipo de medición bidireccional, y la reducción de la energía facturada alcanzó casi cero. Dado que esta fue la primera casa conectada a la red en Cuenca, y en la región, se requirió un extenso período de cuatro meses, pero se espera una reducción en los procesos administrativos para las próximas instalaciones residenciales.

### Figura 5

Fotografía de vivienda unifamiliar con fotovoltáicos y reporte de consumo eléctrico con un consumo de 2.0 kWh al mes



Nota. Elaboración propia.

#### 2.2.4. Edificios de educación superior

Otra tipología que se ha analizado corresponde a un complejo de edificios universitarios en la Universidad de Cuenca. En este análisis, también se consideraron las limitaciones de la red para gestionar excedentes de energía como consecuencia de la dimensión y la potencia que se generará bajo escenarios de alta irradiación. Este estudio se desarrolló como un paso inicial para construir el sistema FV aquí descrito. Para el diseño del sistema FV se consideraron los requisitos energéticos y el transformador eléctrico que alimenta el complejo de edificios desde la red de media tensión hasta la red de baja tensión. La limitación es un transformador eléctrico de 75

kVa, lo que implica que, cuando hay momentos de baja demanda energética coincidiendo con alta irradiación y generación de energía, podría impactar en la capacidad del transformador para inyectar los excedentes a la red. El consumo energético anual a cubrir es de 135 MWh.

Considerando estos aspectos, la instalación diseñada originalmente, tomando las superficies de losas disponibles, alcanzó una instalación de FV de 86.8 kW. Luego, considerando las restricciones de la red, la instalación final de FV diseñada podría alcanzar 78.0 kW instalados en el techo de losas planas, cubriendo parcialmente la superficie disponible. Por lo tanto, la limitación técnica no corresponde a la disponibilidad de espacio en el techo.

Los requisitos energéticos del complejo de edificios determinados, de acuerdo con el período anterior a las restricciones por COVID-19, se consideraron como requisitos energéticos a ser alimentados con la instalación de FV, es decir, en el año 2019, el consumo total de energía comprado a la distribuidora fue de 135.0 MWh/año. Con la planta de FV de 78 kWp, que es el máximo admitido para conectar a red, fue posible cubrir cerca del 79.8 % del requisito energético de 2019, que se espera que se mantenga en los próximos años. La Figura 6 a la izquierda corresponde a la adaptación de la ocupación total del techo para la instalación de FV de 86.6 kW y a la derecha corresponde a una imagen aérea reciente donde se observa la primera etapa instalada de 7.7 kW.

**Figura 6**

Simulación de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Cuenca con la proyección para alcanzar la neutralidad energética, y fotografía real, actualmente instalado para cubrir 79 % de la demanda



Nota. Elaboración propia

### 3. Conclusiones

Aquí hemos presentado algunos proyectos y estudios de investigación realizados en la ciudad de Cuenca, con el fin de impulsar el autoabastecimiento energético de la ciudad y de los edificios, así como tecnologías y estudios concretos y las instalaciones de FV existentes en Cuenca. En la primera parte, hemos presentado el potencial de diversas fuentes de energía que existen en la ciudad, concluyendo que la energía solar es la principal fuente a incorporar en la matriz energética de la ciudad para satisfacer los requisitos energéticos, especialmente a través de la tecnología FV, ya que los requisitos térmicos a resolver por la tecnología solar térmica son bajos. Con FV es posible abastecer el 9 % de los requisitos energéticos totales en 2016, que es el consumo total de electricidad de ese año. Pero si el consumo de combustibles en la ciudad se cambia a electricidad, el potencial o capacidad de FV podría multiplicarse por tres, al cambiar los requisitos de combustible por electricidad limpia.

Luego, en un análisis más profundo sobre algunas tipologías de edificios existentes en Cuenca se puede observar que, para edificios con mayores demandas, como los edificios industriales, se midió que con tecnología FV se podría resolver el 22 % de los requisitos energéticos para el proceso industrial de fabricación de azulejos cerámicos. Como consecuencia de la alta demanda energética de esta tipología, incluso con una superficie extensa disponible para FV, solo es posible obtener una fracción del requisito energético, aunque la producción de FV es muy importante. Luego, en la tipología de edificios de uso mixto de tamaño mediano, se estimó que en un edificio de seis pisos es posible obtener suficiente electricidad para cubrir todos los requisitos eléctricos de este tipo de edificio, pero si se convierte el consumo actual de combustible para los requisitos energéticos del edificio y se considera alimentar con electricidad cambiando los vehículos actuales por EV para los residentes en los apartamentos, la fracción de capacidad energética se reduce para cubrir el 27.9 % de los requisitos energéticos proyectados. Luego, para una vivienda unifamiliar con cuatro habitantes, con un pequeño arreglo de FV de cuatro paneles de menos de 8 m<sup>2</sup> es suficiente para cubrir todo el requisito energético de una vivienda unifamiliar, y para edificios educativos se observó que con el techo disponible es posible alcanzar el requisito energético total, pero es necesario considerar la red y el equipo del transformador eléctrico como una limitación para integrar sistemas FV, como observamos al proponer una planta de FV para alimentar un complejo educativo.

Como consecuencia de este análisis, es posible concluir que hay algunas tipologías, como las viviendas unifamiliares, que con una pequeña porción de estos techos podrían cubrir todo el requisito energético. Luego, esta tipología de edificio, que en Cuenca corresponde a la mayoría en la ciudad, podría servir como apoyo para alcanzar excedentes energéticos que podrían alimentar otras tipologías, como los edificios industriales. Sin embargo, para esto, la regulación del proceso de microgeneración debe ser modificada y también es importante diseñar un modelo de red inteligente en la red eléctrica existente para gestionar los excedentes de energía donde sea necesario. Además, la conversión de los sistemas de transporte actualmente energizados con combustibles fósiles debería ser convertida estratégicamente a EV, con el fin de reducir el principal requerimiento de combustibles en la ciudad, que es la causa principal de contaminación y un importante problema económico debido a los subsidios de combustible.

## Referencias bibliográficas

- Amado, M.; Poggi, F.; Amado, A. R.; Breu, S. (2017). A cellular approach to Net-Zero energy cities. *Energies*, 10(11). Disponible en <https://doi.org/10.3390/en1011826>
- Barragán Escandón, E. (2018). *El autoabastecimiento energético en los países en vías de desarrollo en el marco del metabolismo urbano: caso Cuenca, Ecuador*. Universidad de Jaén. Disponible en <http://ruja.ujaen.es/handle/10953/936>
- Barragán, E. A.; Terrados, J.; Zalamea, E.; Arias, P. (2018). Electricity production using renewable resources in urban centres. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers, In Press*. Disponible en <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1680/jener.17.00003>
- Flores Chafla, P.; Pesántez Peñafiel, D.; Zalamea León, E.; Barragan Escandón, A. (2021). Capacidad e integración fotovoltaica en edificios multifamiliares de mediana altura en región ecuatorial andina. *ACE*, 15(45), 1-25. Disponible en <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.5821/ace.15.45.9307>
- Griffiths, S.; Sovacool, B. K. (2020). Rethinking the future low-carbon city: carbon neutrality, green design, and sustainability tensions in the making of Masdar City. *Energy Research and Social Science*, 62(August 2019), 101368. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.101368>
- Lund, P. (2012). Large-scale urban renewable electricity schemes. Integration and interfacing aspects. *Energy Conversion and Management*, 63, 162-172. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2012.01.037>
- Lund, P. D. (2018). Capacity matching of storage to PV in a global frame with different loads profiles. *Journal of Energy Storage*, 18(May), 218-228. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.est.2018.04.030>
- Lund, P. D.; Mikkola, J.; Ypyä, J. (2015). Smart energy system design for large clean power schemes in urban areas. *Journal of Cleaner Production*, 103, 437-445. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.06.005>
- Luque, A.; Hegedus, S. (2011). *Handbook of photovoltaic science and engineering handbook of photovoltaic science and engineering*. John Wiley & Sons.
- Marín López, D.; Zalamea León, E. F.; Barragán Escandón, E. A. (2018). Potencial fotovoltaico en Techumbre de edificios industriales de alta demanda energética, en zonas ecuatoriales. *Habitat Sustentable*, 8(1), 28-41. Disponible en <https://doi.org/https://doi.org/10.22320/07190700.2017.08.01.03 HS>
- Salpakari, J.; Mikkola, J.; Lund, P. D. (2016). Improved flexibility with

large-scale variable renewable power in cities through optimal demand side management and power-to-heat conversion. *Energy Conversion and Management*, 126, 649-661. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.08.041>

Zalamea León, E.; Barragán Escandón, A. (2019). Indicadores de captación fotovoltaica y solar térmica para ciudades ecuatoriales andinas, para demandas de núcleos familiares y consumos urbanos. *Nawpay Revista Técnica Tecnológica*, December, 1-6. Disponible en <https://doi.org/10.36500/nrtt-v1.n2.2019.01>





# Un enfoque de aprendizaje automático para una respuesta rápida a desastres basada en datos multimodales

*Karla Saldana Ochoa*  
Universidad de Florida

---

## Resumen

Las consecuencias de un desastre natural se evalúan desde perspectivas como cambios en el entorno en imágenes satelitales y datos estadísticos sobre la población afectada. Cada tipo de dato captura solo una parte de las consecuencias que genera un desastre natural. Esta investigación propone una metodología de aprendizaje automático para fusionar datos multimodales y obtener una vista holística de las consecuencias de un desastre natural. El experimento comienza recolectando datos de más de 200 epicentros de desastres naturales en todo el mundo para crear la base de datos MAP-DIS, la que incluye índices urbanos, tipo y magnitud del desastre, afectaciones, factores geográficos, climáticos, demográficos e imágenes aéreas del epicentro del desastre. Los datos recolectados para cada desastre natural provienen de diversas fuentes, por lo que su modalidad es igualmente diversa. Se utilizó un enfoque de fusión a nivel de decisión. Esta técnica permite que los datos multimodales compartan un espacio semántico que facilita predecir variables. Para cada modalidad, se extrajeron características numéricas con diferentes técnicas. Después de fusionar todas las modalidades, se logró un vector numérico de 19 dimensiones por desastre

natural. Cada vector numérico fusionado se alimentó a un algoritmo de agrupamiento llamado Self Organizing Maps (SOM) para agrupar catástrofes similares según sus características. El SOM entrenado actúa como predictor para futuros casos, permitiendo predecir muertes, afectados y daños totales. Tal información proporciona recomendaciones específicas para evaluaciones en el sector de refugios y viviendas. Se muestra a un clasificador una imagen satelital antes del desastre junto con condiciones geográficas y demográficas, logrando una predicción del 83 %. Los resultados ofrecen recomendaciones a los responsables para decidir acciones según los impactos predichos.

**Palabras clave:** desastres naturales, imágenes satelitales, datos multimodales, enfoque de fusión.

## 1. Introducción

Los datos producidos después de un desastre natural provienen de muchas fuentes que son de diferentes tipos o modalidades. Esta multimodalidad de datos tiene ventajas y desventajas. La principal ventaja es que, dado que estos datos tienen diferentes modalidades, a menudo proporcionan señales complementarias sobre un fenómeno o un evento. La principal desventaja es que a menudo no es posible analizar diferentes modalidades al mismo tiempo, ya que los métodos de análisis suelen ser unimodales. Sin embargo, según varios investigadores, al utilizar algoritmos de aprendizaje automático entrenados a partir de diferentes modalidades para la predicción, clasificación o generación de datos, el resultado conduce a inferencias más robustas que el aprendizaje de una sola modalidad (Marmanis, 2016; Atrey et al., 2010; Poria et al., 2016; Pereira et al., 2016). Al fusionar datos multimodales, se crea un entorno común en el que se fusionan varias capas de datos, permitiendo la creación de un modelo de toma de decisiones basado en información variada sobre un solo fenómeno. Cabe destacar que este entorno común puede variar según el tipo de datos considerados. Hay dos enfoques para la fusión de datos multimodales. La primera es la fusión a nivel de características, también conocida como fusión temprana. El segundo enfoque es la fusión a nivel de decisión o fusión tardía, que fusiona múltiples modalidades en un único espacio semántico (Atrey et al. 2010). Este último se utilizará en esta investigación.

Según Atrey et al. (2010), las diferentes modalidades utilizadas en un proceso de fusión pueden proporcionar información complementaria o contradictoria, siendo necesario saber qué modalidades contribuyen o no a la inferencia final. Esto también está relacionado con la búsqueda del número óptimo de modalidades a fusionar. Dentro de esta línea, varios

investigadores han propuesto modelos de IA probabilística utilizando fusión a nivel de decisión, o tardía, en tareas como análisis audiovisual (Poria et al. 2016; Pereira et al. 2016), detección de objetos (Barnard et al. 2003; Wang et al., 2009), procesamiento de voz, como audio y transcripciones (Chowdhury et al. 2019), y reconocimiento y comprensión de escenas (Socher y Fei, 2010; Berg et al., 2004). Particularmente para la respuesta a desastres, el caso de estudio son las redes sociales, teniendo en cuenta publicaciones que incluyen imágenes y texto durante un desastre natural (Ofli et al., 2020; Chen et al., 2013; Mouzannar et al., 2018; Gautam et al., 2019). El modelo entrenado con datos multimodales es utilizado para identificar lugares donde se necesita más ayuda humanitaria ya que, mediante el análisis de los dos tipos de datos, como textos e imágenes, se identifica que usuarios que están experimentando un impacto significativo después de un desastre natural.

Aunque la fusión de datos multimodales para la respuesta a desastres se ha aplicado a datos de redes sociales, sería interesante ampliar su alcance para incluir otras fuentes, como imágenes satelitales o datos estadísticos, de modo que un evento pueda caracterizarse de manera más amplia. De esta manera, se pueden generar inferencias usando información de desastres pasados para tomar decisiones en situaciones similares actuales. Para esta investigación, es central considerar las evaluaciones de refugios y casas temporales, enfocándose en el impacto de una catástrofe. Al aprender de experiencias previas, los responsables de decisiones operativas pueden enfrentarse a nuevos eventos con información que incluye conocimientos arquitectónicos de forma clara y ordenada.

## **2. Contribución y objetivos**

El objetivo principal de este artículo es crear un instrumento que guíe las respuestas de los responsables de la toma de decisiones a nivel operativo en relación con refugios y viviendas. El artículo tiene una contribución doble: 1. desarrolla una metodología de fusión multimodal para caracterizar desastres naturales con imágenes, texto y datos estadísticos, 2. presenta un modelo de aprendizaje automático entrenado con datos de acceso abierto que predice el daño en víctimas, muertes y pérdidas materiales, ofreciendo recomendaciones para apoyar a los tomadores de decisiones.

## **3. Metodología**

El proceso de aprendizaje automático consistió en tres etapas: enseñanza, aprendizaje e inferencia. La primera enseñanza se centró en la recolección y el preproceso de los datos. La segunda etapa fue el aprendizaje, que se centró en la arquitectura del algoritmo de ML que aprendería de los datos

de entrenamiento. La tercera, inferencia, se centró en la validación de los resultados obtenidos. La sección de metodología se dividirá en estas tres etapas: 3.1. enseñanza, recolección de datos; procesamiento de datos y fusión de datos; 3.2. aprendizaje, algoritmo de agrupamiento y 3.3. inferencia, validación de datos.

### 3.1. Recolección de datos

Durante los últimos 100 años, investigadores han estudiado desastres naturales, recopilando datos sobre su ocurrencia y consecuencias. Un ejemplo es la base de datos EM-DAT, que tiene registros desde 1900. Esta base de datos ha demostrado ser una herramienta útil para analizar daños humanos o monetarios directos causados por catástrofes naturales. EM-DAT incluye valores como tipo de desastre, país, ubicación en latitud y longitud, fecha, número total de personas sin hogar, número total de muertes, número total de personas afectadas, valor total de daños asegurados y costo total de daños y reconstrucción. Considerando que los datos en EM-DAT describen principalmente el desastre, esta tesis propone crear MAP-DIS, una base de datos con valores adicionales demográficos y geográficos, centrada en desastres desde 2010 hasta 2019<sup>1</sup>. La idea de crear una nueva base de datos surge de la necesidad de agregar información adicional sobre desastres para describirlos con mayor precisión. Puede ser analizada por algoritmos de ML para mejorar la respuesta a desastres aprendiendo de experiencias previas.

De las 43 entradas proporcionadas por EM-DAT, MAP-DIS solo considera siete atributos para describir cada desastre natural: ubicación, tiempo, tipo de desastre, magnitud del desastre, número total de muertes, número total de personas afectadas y daños totales (US\$). Además, MAP-DIS se centra en desastres naturales con registros sobre su ubicación, en coordenadas geográficas, y fecha de ocurrencia. De los desastres totales registrados (3868) por EM-DAT, solo se seleccionaron 202 desastres naturales.

MAP-DIS tiene la intención de recopilar datos específicos sobre desastres naturales de los últimos diez años. Así, se adicionaron datos como el Índice Global de Riesgo Urbano propuesto por el Banco Mundial en 2013.

---

1 Al observar los datos proporcionados por EM-DAT vemos que, en los últimos diez años, las personas afectadas son más de 1,223,881,564, y las personas fallecidas son alrededor de 3,000,000. Los daños totales a nivel mundial son de \$1,136,721,288, y los daños asegurados son de \$213,750,590. A estos valores debemos añadir la inversión del sector humanitario que, de 2010 a 2020, ha invertido más de \$118 mil millones. El número de recursos perdidos debido a desastres naturales es alto. Esto nos lleva a considerar soluciones que nos ayuden a enfrentar mejor los desastres naturales para tener menores pérdidas, no solo monetarias sino también humanas.

Este índice asigna un número que describe el riesgo que los terremotos, tormentas, inundaciones y deslizamientos de tierra que tienen en diferentes continentes (Tabla 1). Este índice puede guiar la priorización de recursos para la gestión del riesgo de desastres y la planificación urbana. En este estudio, este índice facilita convertir el tipo de desastre en un valor numérico según su ubicación, por ejemplo, si ocurre un terremoto en el este de Asia y el Pacífico, el tipo de desastre se representaría con dos valores que describen el riesgo de mortalidad y el riesgo de pérdida económica, en este caso, 4 y 5. Este ejercicio se realizó con todos los datos de MAP-DIS. Por lo tanto, en lugar de tener datos alfabéticos que representan tipos de catástrofes, como terremotos o tormentas, ahora se describen por riesgos económicos y de mortalidad según el área donde ocurrió el desastre natural.

**Tabla 1**

Una muestra de los datos del Índice Global de Riesgo Urbano

|                                  | Riesgo de mortalidad por terremoto | Riesgo de pérdida económica por terremoto | Riesgo de mortalidad por ciclón | Riesgo de pérdida económica por ciclón | Riesgo de mortalidad por deslizamiento | Riesgo de pérdida económica por deslizamiento | Riesgo de mortalidad por inundación | Riesgo de pérdida económica por inundación |
|----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------|
| África                           | 0                                  | 0                                         | 1                               | 4                                      | 2                                      | 0                                             | 28                                  | 39                                         |
| Este de Asia y el Pacífico       | 4                                  | 5                                         | 22                              | 77                                     | 28                                     | 13                                            | 25                                  | 44                                         |
| Europa del Este y Asia Central   | 35                                 | 60                                        | 0                               | 0                                      | 31                                     | 76                                            | 2                                   | 5                                          |
| América Latina y el Caribe       | 5                                  | 9                                         | 9                               | 3                                      | 19                                     | 11                                            | 20                                  | 5                                          |
| Medio Oriente y África del Norte | 28                                 | 19                                        | 0                               | 0                                      | 1                                      | 0                                             | 3                                   | 1                                          |
| Asia del Sur                     | 28                                 | 7                                         | 68                              | 16                                     | 19                                     | 0                                             | 22                                  | 6                                          |

*Nota.* Elaboración propia (2022).

Con el mismo interés de agregar datos más específicos, también se incluyó el índice INFORM, propuesto por la Comisión Europea. Este índice representa el rendimiento positivo o negativo en la gestión del riesgo humanitario. Se trata de un indicador compuesto que identifica qué

países están en riesgo de crisis humanitarias y desastres que abrumarían la capacidad de respuesta nacional. El índice INFORM se puntúa entre 0.0 y 10.0, y dado que nuestra base de datos tiene información de ubicación, podemos cruzar esos datos con el índice INFORM e incluirlo en las características que describen un desastre natural. La Tabla 2 muestra cómo se crea el índice y el valor único asignado para ser agregado como una entrada en la base de datos MAP-DIS.

**Tabla 2**  
Una muestra de los datos del Índice INFORM

|                   | Natural | Humano | Riesgo y exposición | Vulnerabilidad socioeconómica | Grupos vulnerables | Vulnerabilidad | Institucional | Infraestructura | Falta de capacidad de afrontamiento | Inform 2017 |
|-------------------|---------|--------|---------------------|-------------------------------|--------------------|----------------|---------------|-----------------|-------------------------------------|-------------|
| Afganistán        | 6.2     | 10.0   | 8.8                 | 6.6                           | 7.5                | 7.1            | 7.3           | 8.1             | 7.7                                 | 7.8         |
| Albania           | 5.8     | 0.1    | 3.5                 | 2.0                           | 0.7                | 1.4            | 5.8           | 2.7             | 4.4                                 | 2.8         |
| Argelia           | 4.1     | 6.7    | 5.5                 | 3.1                           | 3.4                | 3.3            | 4.9           | 4.6             | 4.4                                 | 4.4         |
| Angola            | 2.1     | 5.4    | 3.9                 | 4.4                           | 4.4                | 4.4            | 6.6           | 7.4             | 7.0                                 | 4.9         |
| Antigua y Barbuda | 2.7     | 0.6    | 1.7                 | 1.8                           | 0.9                | 1.4            | 5.3           | 2.0             | 3.8                                 | 2.1         |
| Argentina         | 3.5     | 2.4    | 3.0                 | 1.6                           | 1.1                | 1.4            | 5.0           | 2.2             | 3.7                                 | 2.5         |
| Armenia           | 4.4     | 2.4    | 3.5                 | 2.1                           | 3.7                | 2.9            | 6.7           | 2.4             | 4.9                                 | 3.7         |
| Australia         | 6.0     | 0.1    | 3.6                 | 0.6                           | 2.6                | 1.7            | 2.2           | 1.9             | 2.1                                 | 2.3         |
| Austria           | 2.4     | 0.0    | 1.3                 | 0.8                           | 3.5                | 2.3            | 2.1           | 1.0             | 1.6                                 | 1.7         |
| Azerbaiyán        | 4.5     | 5.5    | 5.0                 | 1.4                           | 6.5                | 4.4            | 6.4           | 2.6             | 4.7                                 | 4.7         |
| Bahamas           | 3.6     | 0.0    | 2.0                 | 2.3                           | 0.9                | 1.6            | 3.3           | 2.5             | 2.9                                 | 2.1         |

Nota. Elaboración propia (2022).

Además de los siete atributos iniciales incluidos en la base de datos MAP-DIS, hemos añadido el Índice Global de Riesgo Urbano y el índice INFORM. Esto resulta en nueve entradas por catástrofe natural.

**3.1.1. Condiciones geográficas y demográficas del sitio**

Estas entradas son datos de elevación, tipos de clima, recursos naturales, relación empleo-población, valor agregado de la construcción, electricidad

renovable total, población y área de las tres divisiones administrativas más cercanas. Estos atributos fueron extraídos de UNdata, un servicio de datos en línea que contiene recursos estadísticos compilados por el sistema estadístico de las Naciones Unidas y otras agencias internacionales. Nuestra base de datos MAP-DIS ahora incluye 17 atributos que describen cada desastre natural con mayor precisión.

Además de estos, añadimos uno que describe las condiciones de temperatura en el momento del desastre, incluyendo valores de las Condiciones de Temperatura del Mar (CTM) del desastre. Los datos provienen de observaciones GTS de 2010-2017 y, desde 2018-2020, de observaciones de deriva de ERDDAP (Kennedy et al. 2011). La Tabla 3 muestra la organización, con 11 valores por registro. Se usa el promedio de la primera columna para representar las condiciones de temperatura. Ahora, MAP-DIS tiene 18 atributos por desastre.

### 3.1.2. Imágenes satelitales

Una modalidad que rara vez se relaciona con datos estadísticos e índices urbanos sobre desastres naturales es el estado espacial de un sector. Una forma de incorporar esta característica sería mediante imágenes satelitales. Actualmente, servicios en línea como Google Maps ofrecen imágenes satelitales de la mayoría de los lugares del planeta. Por ello, esta fuente puede aprovecharse para obtener imágenes satelitales gratuitas de casi cualquier sitio en la Tierra. Cabe destacar que MAP-DIS se compone de datos abiertos y en línea, lo que garantiza su escalabilidad.

Para recopilar las imágenes satelitales de cada catástrofe, decidimos utilizar la API de Google Maps para definir una cuadrícula de coordenadas que cubra un epicentro de desastre natural. En nuestro caso, dicha cuadrícula fue de 10x10 kilómetros con un nivel de zoom (Z) de 18, donde cada punto de la cuadrícula está separado por 200 metros, lo que significa que para cada desastre natural se recopilaron 2500 imágenes satelitales que cubrían cada una 200x200m sin superposición.

Después de recopilar las imágenes satelitales, es necesario corregir la escala para hacerlas comparables. Todas las imágenes satelitales se corrigen por deformación de latitud utilizando la ecuación 3, que calcula la resolución del terreno ( $tr$ ) en metros por píxel. Donde  $6,378.137$  se refiere al radio de la Tierra ( $RE$ ) en metros, lo que ayuda a definir la circunferencia de la Tierra ( $ec$ ) en la ecuación 1, considerando un ancho de mapa ( $mw$ ) calculado en la ecuación 2.

$$ec = 2\pi \times RE \quad (1)$$

$$mw = 256 \times 2Z \quad (2)$$

$$tr = \cos\left(\text{lat} \times \frac{\pi}{180}\right) \times \frac{ec}{mw} \quad (3)$$

Después de recopilar 2500 imágenes satelitales por desastre natural, las imágenes se registraron para obtener una imagen completa/unida. La Figura 1 muestra una submuestra de las imágenes satelitales recopiladas con este método.

**Figura 1**

202 imágenes satelitales del epicentro del desastre natural



Nota. Elaboración propia.

### 3.2. Procesamiento y codificación de datos

La base de datos MAP-DIS tiene 202 desastres naturales con 19 atributos para cada uno, que describen con precisión su ocurrencia. En la Tabla 4 se muestran las fuentes, como UN Stats y EM-DAT, de donde se recopilaron los datos.

Crear MAP-DIS es el primer paso para predecir consecuencias de un desastre natural. En los siguientes párrafos se describen los métodos para extraer y codificar datos multimodales en características numéricas, normalizándolos para eliminar sesgos y datos extremos. Este preprocesamiento asegura la calidad en la inferencia final y la adecuada integración de las modalidades de datos para entrenar el algoritmo Self Organizing Maps para la predicción. Las siguientes secciones explican cómo se preprocesaron y normalizaron las modalidades para, tras fusionarlas, obtener 202 vectores de datos con 19 dimensiones numéricas.

**Tabla 4**

Descripción de los atributos contenidos en la base de datos MAP-DIS

| Clase | Descripción                        | Fuente                                                                                                                          | Modalidad        |
|-------|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| 1     | Ubicación                          | Coordenadas del epicentro del desastre                                                                                          | EM-DAT           |
| 2     | Tiempo                             | Día, mes y año de la ocurrencia del desastre                                                                                    | EM-DAT           |
| 3     | Magnitud del desastre              | Valor de magnitud dependiendo del tipo de desastres                                                                             | EM-DAT           |
| 4     | Muertos totales                    | Suma de muertos y desaparecidos.                                                                                                | EM-DAT           |
| 5     | Total afectado                     | Suma de heridos, personas sin hogar y afectados.                                                                                | EM-DAT           |
| 6     | Daños totales (US\$)               | La cantidad de daños a la propiedad, cultivos y ganado. El valor de los daños estimados se da en US\$ ('000).                   | EM-DAT           |
| 7     | Índice de riesgo urbano Economía   | Codificado basado en un Índice Global de Riesgo Urbano sobre riesgo de mortalidad y pérdidas económicas                         | Banco Mundial    |
| 8     | Índice de riesgo urbano Mortalidad | Codificado basado en un Índice Global de Riesgo Urbano sobre riesgo de mortalidad y pérdidas económicas                         | Banco Mundial    |
| 9     | Índice INFORM                      | Riesgo general de una crisis basado en condiciones estructurales                                                                | Comisión Europea |
| 10    | Elevación                          | Punto de elevación del epicentro                                                                                                | UN Stats         |
| 11    | Tipos de clima                     | Una lista de tipos de climas encontrados en la región                                                                           | UN Stats         |
| 12    | Recursos naturales                 | Una lista de recursos naturales encontrados en la región                                                                        | UN Stats         |
| 13    | Relación empleo-población          | Es la proporción de la población en edad de trabajar de un país que está empleada. Este indicador se expresa como un porcentaje | UN Stats         |
| 14    | Valor agregado de la construcción  | Es la producción del sector después de sumar todas las producciones y restar insumos intermedios.                               | UN Stats         |
| 15    | Electricidad total renovable       | Producción de electricidad renovable (% de la producción total de electricidad)                                                 | UN Stats         |
| 16    | Área                               | Área de las tres ciudades más cercanas al epicentro                                                                             | UN Stats         |
| 17    | Población                          | Población de las tres ciudades más cercanas al epicentro                                                                        | UN Stats         |
| 18    | Condiciones de temperatura         | Temperatura de la superficie del mar (SST)                                                                                      | UN Stats         |
| 19    | Imagen satelital                   | Imágenes satelitales del sitio del desastre natural                                                                             | Google Earth     |

Nota. Elaboración propia.

3.2.1 Datos alfanuméricos y alfabéticos

En este experimento hay entradas de datos alfanuméricos y alfabéticos para tipos de clima y recursos naturales, que convertiremos en valores de datos numéricos utilizando el método de codificación one-hot. Este método define un conjunto de palabras o diccionario de todas las palabras incluidas en dichos datos y asigna un número a cada una que luego codifica cada palabra por un entero, por ejemplo, gas = 1, oro = 2. Este entero luego será codificado en un vector one-hot de 81 dimensiones en el caso de tipos de clima y 30 dimensiones para recursos naturales para cada palabra. Decidimos crear un codificador para cada característica para mantener la consistencia en sus características. Por ejemplo, solo se consideran palabras que describen el clima en el diccionario del codificador de los tipos de clima. La Tabla 5 muestra cinco entradas con su descripción de texto inicial y luego transformadas a un valor numérico. Por ejemplo, en el caso de recursos naturales, si tenemos las palabras gas, oro y agua, a cada palabra se le asignará un codificador one-hot numérico de 30 dimensiones. Tal vector resulta en una lista de tres sublistas de 30 elementos cada una. Para obtener un vector de longitud igual para cada punto de datos, calculamos el valor total de todas las sublistas.

**Tabla 5**  
Cinco entradas con su descripción de texto inicial y luego transformadas a un valor numérico

| Descripción del texto | Valor numérico                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                     | frío semiárido, desierto frío, oceánico templado, oceánico subpolar, mediterráneo de verano cálido, mediterráneo de verano frío, tundra polar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 2                     | sabana tropical de invierno seco, semiárido cálido, desierto cálido                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 3                     | monzón tropical, sabana tropical de verano seco, sabana tropical de invierno seco, semiárido cálido, semiárido frío, desierto cálido, desierto frío, subtropical húmedo, oceánico templado, mediterráneo de verano cálido, mediterráneo de verano fresco, influenciado por monzón, subtropical húmedo                                                                                                                                                        |
| 4                     | monzón tropical, sabana tropical de invierno seco, semiárido frío, desierto frío, subtropical húmedo, influenciado por monzón, subtropical húmedo, altiplano subtropical, altiplano frío subtropical, continental húmedo de verano cálido, continental húmedo de verano fresco, subártico, influenciado por monzón, continental húmedo de verano cálido, influenciado por monzón, continental húmedo de verano fresco, influenciado por monzón, tundra polar |
| 5                     | selva tropical, monzón tropical, sabana tropical de verano seco, sabana tropical de invierno seco, semiárido cálido, oceánico templado, mediterráneo de verano cálido, altiplano subtropical                                                                                                                                                                                                                                                                 |

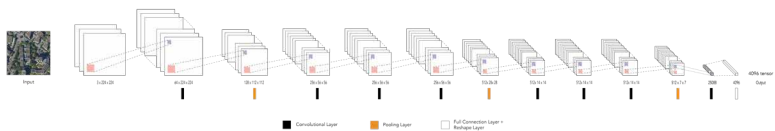
Nota. Elaboración propia.

### 3.2.2. Datos de imagen

Para extraer características numéricas de las imágenes satelitales recopiladas, se implementó un proceso autorreferencial a través de un algoritmo de extracción de características no supervisado. Esto traduce cada imagen en un vector numérico de  $n$  dimensiones. Este proceso es no supervisado, ya que las imágenes satelitales de las que se aprenderá se proporcionan como un conjunto de ejemplos no etiquetados. Para realizar la extracción de características, primero construimos un modelo de extractor de características de IA (FE), que se creó cortando las últimas capas de una red VGG-16 entrenada, una pila de capas convolucionales, seguida de capas completamente conectadas (Simonyan et al. 2008) y utilizando las capas convolucionales, parte de extracción de características. La arquitectura del modelo se puede ver en la Figura 2. A diferencia de los datos de entrenamiento utilizados con la red VGG-16, las imágenes satelitales son más semánticamente diversas que las imágenes naturales y carecen de un concepto central. Entonces, la parte de extracción de características de la red VGG-16 es un excelente ejemplo de transferencia de aprendizaje. La entrenamos con un gran conjunto de imágenes (ILSVRC2012, 2012), alrededor de 10 millones de imágenes y 10,000 clases, utilizadas para el desafío ILSVRC-2012. Sin embargo, el modelo aún puede aprender de imágenes satelitales que no se incluyeron en sus datos de entrenamiento iniciales.

**Figura 2**

Parte de extracción de características del modelo de identificación de imágenes VGG-Net

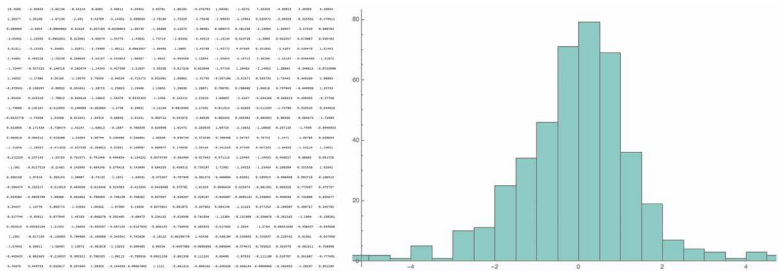


Nota. Elaboración propia.

Para comenzar la codificación, muestreamos 90 imágenes, de tamaño  $10000 \times 10000$  píxeles, correspondientes al, aproximadamente, 40 % del conjunto de datos, redimensionadas a  $224 \times 224$  píxeles en 3 bandas RGB, resultando en 4500 parches para entrenar el modelo FE. El FE puede transformar las imágenes en vectores de características de 4.096 dimensiones, que codifican conceptos de alto nivel, como áreas verdes, tejido suburbano, espacios industriales y similares (Álvarez Marín y Saldaña Ochoa, 2020). Estos conceptos son más complejos y menos específicos

que las características físicas del terreno habituales incrustadas en una imagen satelital, como árboles, edificios o carreteras. Después de que el FE fue entrenado, extraemos las características de todo el conjunto de datos, resultando en una lista de 10100 vectores numéricos de 4096 dimensiones que representan 202 desastres naturales. Un ejemplo de un vector de características de una imagen satelital se muestra en la Figura 3 donde el vector parece estar distribuido normalmente. Esta condición se aplica a la totalidad de los vectores obtenidos.

**Figura 3**  
La representación de un vector, distribuido normalmente



Nota. Elaboración propia.

### 3.2.3. Reducción de dimensionalidad

Para todas las extracciones de características que contenían una lista de  $n$  dimensiones, procedimos a reducir su dimensionalidad a una. La Tabla 6 muestra la modalidad de los datos y las dimensiones a reducir. Para esto, aplicamos el algoritmo de reducción de dimensionalidad no lineal t-Distributed Stochastic Neighbour Embedding (t-SNE). El algoritmo t-SNE puede capturar gran parte de la estructura local de datos de alta dimensión mientras revela la estructura global (Van Der Maaten, 2008). Dentro de t-SNE establecimos una Perplejidad de 100 como recomienda Álvarez Marín y Saldaña Ochoa (2019) para reducir cada lista de vectores de  $n$  dimensiones a un vector de 1 dimensión.

**Tabla 6**

Datos a transformar en entradas numéricas

| Clase              | Modalidad | Dimensión |
|--------------------|-----------|-----------|
| Tipos de clima     | texto     | 30        |
| Recursos naturales | texto     | 80        |
| Imagen satelital   | imagen    | 4096      |

Nota. Elaboración propia.

### 3.2.4. Normalización de datos

Hasta este punto, todas las modalidades de datos han sido transformadas en vectores numéricos para permitirnos tener una exploración detallada de cada característica. Esto nos permite crear un histograma para cada entrada. La Figura 4 muestra que la entrada Total Afectados no tiene una distribución normal de datos ya que algunos de los valores tienen condiciones extremas, es decir, los datos tienen valores muy altos o muy bajos. Este patrón también se puede observar en Mortalidad por tipo de desastre, Económico por tipo de desastre, Muertos totales, índice INFORM, Daños totales, Área y Población. Para superar este problema, utilizaremos una Transformación Logarítmica (TL). La TL reduce la asimetría positiva y negativa de los datos. Ejemplos del método se pueden encontrar en el trabajo de Leydesdorff y Bensman (2006) y Zaghoul (2017). Al utilizar la transformación logarítmica, se otorga más peso a las diferencias entre los valores más bajos, con menor peso que, a los valores más altos, con mayor peso. Las transformaciones logarítmicas consideran la diferencia absoluta entre valores de rendimiento similar y reducen la brecha entre valores. Además, esta transformación diferencia más claramente las ligeras diferencias en todos los rangos de rendimiento y mejora la interpretación de las diferencias entre valores en extremos opuestos.

**Figura 4**  
Histograma de cada atributo

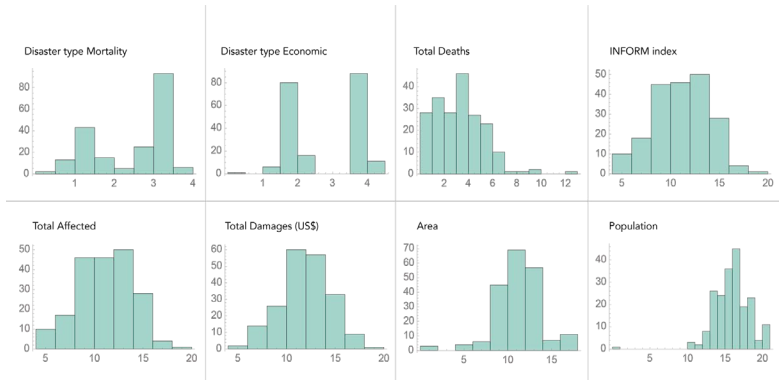


Nota. Elaboración propia.

Después de identificar todas las características que necesitan ser transformadas, procedemos a aplicar la Transformación Logarítmica. La Figura 5 muestra los valores resultantes, donde los valores están distribuidos normalmente, lo que evita cualquier asimetría en la base de datos. Ahora que todas las entradas en DIS-MAP están distribuidas normalmente, podemos continuar con el siguiente paso, la fusión tardía.

**Figura 5**

Histograma de los atributos después de aplicar la Transformación Logarítmica (TL)



Nota. Elaboración propia.

### 3.3. Fusión de datos

El proceso descrito anteriormente introdujo métodos para extraer características de las diferentes modalidades de datos. Si es necesario, realizamos una reducción dimensional a cada atributo que incluía varias dimensiones para obtener un valor por característica. Además, hemos normalizado los valores numéricos, por lo que están distribuidos normalmente. Así, todos los atributos están listos para ser fusionados. En este experimento, utilizaremos un método llamado Estandarización, en el que los valores de cada atributo se reescala para que tengan una media cero y una varianza muestral igual a uno. Este método nos permite trabajar en conjunto con variables que representan diferentes modalidades. Además, según Wolfram Research (2008), este método de estandarización permite una convergencia más rápida en el momento de la inferencia.

Supongamos que un atributo de desastre natural ( $l$ ) contiene los elementos  $x_1, x_2, \dots, x_n$ . Entonces  $l = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$ , para estandarizar esta lista, primero debemos encontrar la desviación estándar ( $\sigma$ ) como se muestra en la ecuación 4, donde  $N$  representa el número total de valores.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{x=1}^{\infty} (x - \text{mean}(x))^2}{N}} \quad (4)$$

Después de encontrar la desviación estándar de 1, calculamos su estandarización ( $\mu$ ) como se muestra en la ecuación 5. Así, cada atributo se estandariza para su fusión multimodal tardía.

$$\mu = \frac{x - \text{mean}(x)}{\sigma} \quad (3)$$

Después de estandarizar todos los atributos, están listos para ser fusionados. Así, se crea un vector con 19 dimensiones que describe cada desastre natural. Es esencial enfatizar que cada atributo contribuye a la representación general del desastre natural.

#### 4. Aprendizaje: algoritmo de *clustering*

Para explorar adecuadamente las relaciones de los 202 desastres naturales del DIS-MAP, utilizaremos un algoritmo de *clustering* de aprendizaje automático no supervisado llamado Mapa Auto-Organizado (SOM) (Kohonen, 1982). Para este experimento, seleccionamos un SOM en una cuadrícula 2D de 10x10. La capa de entrada del SOM consiste en vectores de 19 dimensiones obtenidos en los pasos anteriores. El procedimiento de entrenamiento involucró un millón de épocas hasta que la capa de respuesta evolucionó a una configuración estable. La capa de salida del SOM se visualiza como un paisaje de similitud, donde cada desastre natural se posiciona de acuerdo con la similitud de su valor de peso respecto a sus vecinos. El algoritmo SOM puede reconocer patrones similares entre los datos y organizar los eventos correspondientes en consecuencia. Cada nodo del SOM o Unidad de Mejor Coincidencia (BMU) representa el promedio de los datos observados n-dimensionales originales que, después de la iteración, pertenecen a ese nodo. En la Figura 6 se puede ver que las imágenes, en este caso, imágenes satelitales asignadas para cada nodo, representan los desastres naturales que tienen la distancia euclidiana más cercana a su valor BMU correspondiente. Por lo tanto, se pueden considerar como casos representativos para cada celda.

**Figura 6**

Un SOM mostrando las imágenes satelitales más representativas de cada celda SOM, y un SOM en cuadrícula mostrando las BMU del SOM en espectro de color sobre las imágenes satelitales

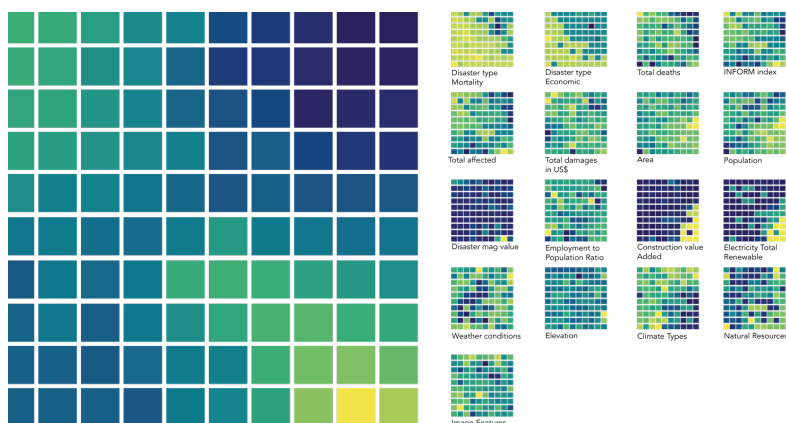


Nota. Elaboración propia.

Un SOM entrenado puede visualizar además cada característica que describe un desastre natural, correspondiente a cada BMU. La visualización de las características proporciona una exploración detallada. De este modo, es posible identificar qué características influyen más en la predicción. La Figura 7 muestra cómo cada característica afecta la predicción final. Por lo tanto, tal visualización también puede ayudar a identificar características relevantes para futuras inferencias.

**Figura 7**

SOM visualizado por el espectro de color de las BMU y la visualización de cada característica después del entrenamiento



Nota. Elaboración propia.

Aparte de los propósitos de visualización, un SOM entrenado puede ser utilizado como un predictor para características faltantes en nuevas entradas de datos. Si alimentamos nuevas entradas de datos con atributos faltantes al SOM entrenado, tales datos encuentran su posición dentro de la cuadrícula calculando la distancia euclidiana más corta a todas las unidades de mejor coincidencia. Las distancias medidas deben coincidir con las de la BMU del SOM entrenado. Por ejemplo, si los datos de entrada solo tienen entradas sobre imágenes satelitales, área y poblaciones, solo pueden medir la distancia a las mismas características en la BMU del SOM. Después de encontrar la distancia euclidiana más corta a una BMU, la nueva entrada de datos se asigna a ese nodo BMU. Todas las propiedades faltantes de la nueva entrada de datos pueden ser predichas tomando las de la BMU a la que fue asignada y, por lo tanto, predecir los valores faltantes.

## 5. Inferencia: datos de validación

Para validar la predicción, necesitamos definir consultas particulares. Para el experimento, nos enfocaremos en datos de 2020 sobre desastres naturales, terremotos, tormentas, inundaciones y deslizamientos de tierra, que comparten ubicación y tiempo de ocurrencia. Estos desastres pasarán por el proceso de recolección de datos explicado en la sección de Recolección de Datos. De todos los desastres naturales que ocurrieron en 2020, se seleccionaron 20. Esta selección de desastres abarca los siguientes países: Brasil, Vietnam, Madagascar, Puerto Rico, Uganda, China, Grecia, Croacia, Indonesia, Irán, México, Malasia, Filipinas y Turquía. Estas 20 catástrofes naturales de 2020 se considerarán como los Datos de Validación (DV). Cada desastre natural en el DV será codificado, normalizado y fusionado, como se explicó en las secciones anteriores. Los valores a predecir son muertes totales, afectados totales y daños totales (US\$). La predicción no será un número exacto, sino que asignará un rango de impacto, como bajo, medio, medio-alto y alto, a cada atributo que son los siguientes:

### Muertos Totales

Bajo = 1 - 50

Bajo-Medio = 51 - 1.000

Medio = 1.001 - 5.000

Alto = 5.001 - 30.000

### **Afectados Totales**

Bajo = 1 - 10.000

Bajo-Medio = 10.001 - 100.000

Medio = 100.001 - 1.000.000

Alto = 1.000.000 - 30.000.000

### **Daños Totales en US\$**

Bajo = 1 - 100.000

Bajo-Medio = 100.001 - 1.000.000

Medio = 1.000.001 - 5.000.000

Alto = 5.000.001 - 60.000.000

Además de predecir consecuencias, el SOM entrenado presentará una lista de sugerencias adaptadas al sector de refugios para ofrecer posibles soluciones que respondan a la pregunta de qué se debe hacer. Esto se basará en el aprendizaje de experiencias anteriores. Tal enfoque ayuda a los tomadores de decisiones al darles la libertad de decidir cómo van a actuar.

Después de alimentar los datos al SOM entrenado, cada uno de los 20 desastres naturales del DV encontró un nodo o una BMU, que tenía la distancia euclidiana más cercana a su vector numérico fusionado (Figura 8). Para validar el rendimiento del SOM entrenado, podemos comparar la predicción, muertos totales, afectados totales y daños totales (US\$), con las etiquetas de verdad de terreno del DV. Algunos de los desastres naturales tenían solo uno o dos de los atributos. Por ejemplo, un desastre en Madagascar el 17 de enero de 2020, tenía valores sobre muertes totales y personas afectadas, pero no sobre daños totales. Por lo tanto, de los 60 datos de verdad de terreno del DV, solo 42 valores fueron adecuados para comparación. El resultado de la comparación muestra que de los 42 puntos de datos de verdad de terreno, 25 fueron etiquetados correctamente, 10 fueron sobreestimados, lo que significa que el instrumento predijo un grado mayor, solo un grado más, de impacto y siete fueron subestimados, lo que significa que se predijo menos que el impacto real. Ante un desastre natural, tener una sobrepredicción del impacto es aceptable, ya que es mejor estar preparado para lo peor que asumir que un desastre natural tuvo menos impacto en una comunidad. Si sumamos las predicciones correctas con las sobrepredicciones, llegamos a un modelo que tiene un 83 % de precisión.

**Figura 8**  
Celdas SOM activadas con cada consulta



Nota. Elaboración propia.

## 6. Discusión de resultados

Predecir el impacto de un desastre natural en una comunidad en términos de número total de muertes, número total de personas afectadas y daños totales (US\$) permite a los tomadores de decisiones articular decisiones tempranas, influyendo en el resultado de las siguientes operaciones en la respuesta al desastre. Estos datos, de impacto esperado, ayudan a tener conciencia situacional en términos generales (Tabla 7). Sin embargo, se requiere información específica para facilitar decisiones en grupos individuales de la respuesta, como el sector de refugios y vivienda.

**Tabla 7**

Descripción de los datos de validación y la predicción de afectación en términos de muertes totales, afectados totales y daños totales

| <b>Celda Som</b> | <b>País</b>        | <b>Año</b> | <b>Tipo De Desastre</b> | <b>Muertes Totales</b> | <b>Afectados Totales</b> | <b>Daños Totales</b> |
|------------------|--------------------|------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|----------------------|
| 58               | Brasil             | 2020       | Inundación              | medio-bajo             | medio-bajo               | medio-bajo           |
| 31               | Indonesia          | 2019       | Inundación              | bajo                   | bajo                     | medio                |
| 22               | Nepal              | 2017       | Inundación              | bajo                   | medio                    | medio-bajo           |
| 9                | Italia             | 2014       | Inundación              | sin info               | bajo                     | medio-bajo           |
| 33               | Vietnam            | 2013       | Inundación              | bajo                   | medio-bajo               | bajo                 |
| 28               | Ucrania            | 2010       | Inundación              | bajo                   | bajo                     | bajo                 |
| 70               | China              | 2010       | Terremoto               | bajo                   | bajo                     | bajo                 |
| 61               | Filipinas          | 2011       | Inundación              | bajo                   | bajo                     | bajo                 |
| 31               | Indonesia          | 2019       | Inundación              | bajo                   | medio-bajo               | medio                |
| 73               | Fiji               | 2012       | Inundación              | bajo                   | bajo                     | bajo                 |
| 37               | Indonesia          | 2016       | Terremoto               | sin info               | bajo                     | bajo                 |
| 47               | Pakistán           | 2013       | Terremoto               | sin info               | medio-bajo               | bajo                 |
| 3                | México             | 2017       | Terremoto               | bajo                   | medio-bajo               | medio                |
| 43               | Kenia              | 2012       | Inundación              | sin info               | bajo                     | bajo                 |
| 30               | Myanmar            | 2016       | Terremoto               | bajo                   | bajo                     | bajo                 |
| 26               | Papúa Nueva Guinea | 2018       | Terremoto               | bajo                   | medio-bajo               | bajo                 |
| 10               | Grecia             | 2016       | Inundación              | bajo                   | bajo                     | bajo                 |
| 47               | Pakistán           | 2013       | Terremoto               | bajo                   | bajo                     | bajo                 |
| 49               | India              | 2013       | Terremoto               | sin info               | bajo                     | medio-bajo           |
| 29               | Myanmar            | 2012       | Terremoto               | medio-bajo             | bajo                     | bajo                 |

Nota. Elaboración propia.

Para lograr esta inclusión de conocimiento específico, nos enfocaremos en la información proporcionada por el Clúster Global de Refugios. Durante los últimos 20 años, el Clúster Global de Refugios ha publicado lecciones aprendidas y recomendaciones tras un desastre natural y ha enumerado recomendaciones para la construcción de refugios y viviendas temporales (Figura 9).

**Figura 9**  
Ejemplo de la información proporcionada por el Clúster Global de Refugios, que se vinculará a la información sobre el impacto para cada uno de los puntos del DV



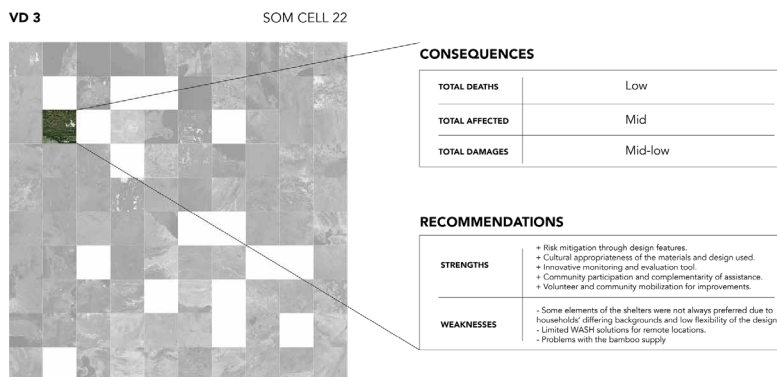
Nota. Tomado de Nepal (2017-2018).

Estas recomendaciones pueden traducirse en una lista de evaluaciones potenciales que fortalecerán la respuesta e identificarán evaluaciones que pueden reducir la efectividad de la respuesta. Tal información será buscada y asignada a cada una de las catástrofes representativas en cada celda SOM o BMU del SOM entrenado. Por lo tanto, cuando un punto del DV se asigne a una celda SOM específica o BMU, dicho SOM entrenado no solo predecirá el impacto que este desastre tendrá en la comunidad, sino que también

mostrará una lista de recomendaciones sobre qué hacer y qué no hacer al tomar decisiones en el sector de refugios y viviendas temporales después de un desastre natural (Figura 10).

Figura 10

Un ejemplo de cómo un Protocolo de Evento Personalizado, aquí la celda SOM 22 activada por el DV 3, el instrumento predijo las consecuencias y agregó recomendaciones específicas para la evaluación que trata sobre refugios y vivienda temporal



Nota. Elaboración propia.

## 7. Conclusión

El experimento comenzó creando la base de datos MAP-DIS con datos de 2010-2019. La base de datos resultante incluye 202 desastres naturales caracterizados por diferentes modalidades de datos que se refieren a características específicas del desastre natural y restricciones geográficas y demográficas del sector afectado. Luego, el experimento utilizó diferentes métodos para primero extraer las características de cada modalidad de datos, como texto, imágenes satelitales, datos estadísticos, índices, y luego utilizar el método de Estandarización para la fusión tardía. Para los datos alfanuméricos y alfabéticos, se utilizó un codificador one-hot y, en el caso de las imágenes satelitales, se utilizó una CNN VGG-16 previamente entrenada. Después de transformar todas las modalidades en representaciones numéricas, normalizamos sus datos para asegurar que la fusión tardía no priorizara algunas características sobre otras y que todas influyeran de manera similar en la inferencia final. Estos vectores fusionados se introdujeron en un algoritmo de aprendizaje automático no supervisado SOM, que agrupó los 202 desastres naturales en función de las similitudes

en sus características numéricas. Para validar el experimento, se utilizaron datos sobre desastres naturales de 2020, obteniendo una precisión del 83 % en la predicción de las consecuencias después de un desastre natural en términos de un rango de impacto en muertes totales, personas afectadas totales y daños totales. Además, la predicción incluyó información específica para guiar decisiones sobre el sector de refugios y vivienda. Con tal información, los tomadores de decisiones pueden tener una visión general de las consecuencias de una catástrofe natural para ayudarles a tomar decisiones basadas en recomendaciones que enumeran qué hacer y dan la libertad de decidir cómo debería hacerse.

Al analizar el SOM entrenado (Figura 7), se puede observar que algunas características tuvieron una mayor influencia en el *clustering* final, tales como:

- Muertos totales
- Afectados totales
- Daños totales (US\$)
- Índice de riesgo urbano global económico
- Índice de riesgo urbano global mortalidad
- Elevación del sector
- Valor agregado de la construcción del sector
- Población de las tres divisiones administrativas más cercanas
- Área de las tres divisiones administrativas más cercanas
- Características urbanas de las imágenes satelitales

Estas características se considerarán en investigaciones futuras, donde se incluirán otras características que describan el desastre natural de una manera más específica.

El presente experimento caracterizó cada desastre natural de manera más amplia. En otras palabras, un desastre natural no se analizó desde un solo punto de vista, sino que se exploró como parte de un conjunto de desastres que pueden mostrar similitudes según las diferentes características que se están considerando. Cuantos más datos se incluyan en la base de datos, más específica será la predicción de diferentes consecuencias después de un desastre natural. En el presente caso, se consideraron atributos generales de la población y del sector, aunque la selección de características puede cambiar según un enfoque particular. Debe enfatizarse que los atributos seleccionados en esta investigación no capturan completamente la complejidad de lo que es un desastre natural, pero intentan caracterizarlo

abundantemente. Investigaciones futuras podrían incluir textos de redes sociales de fuentes como Facebook o Twitter, o datos más específicos sobre las respuestas de organizaciones humanitarias. Alternativamente, se podrían incluir análisis específicos del sector, como daños a edificios, carreteras o al medio ambiente natural.

## Referencias bibliográficas

- Álvarez Marín, D.; Ochoa, K. S. (2020). Indexical cities: articulating personal models of urban preference with geotagged data.
- Atrey, P. K.; Hossain, M. A.; El Saddik, A.; Kankanhalli, M. S. (2010). Multimodal fusion for multimedia analysis: a survey. *Multimedia systems*, 16(6), 345-379.
- Barnard, K.; Duygulu, P.; Forsyth, D.; De Freitas, N.; Blei, D. M.; Jordan, M. I. (2003). *Matching words and pictures*.
- Chen, T.; Lu, D.; Kan, M. Y.; Cui, P. (2013). Understanding and classifying image tweets. *ACM International Conference on Multimedia*, 781-784.
- Chowdhury, S. A.; Stepanov, E. A.; Danieli, M.; Riccardi, G. (2019). Automatic classification of speech overlaps: Feature representation and algorithms. *Computer Speech & Language*, 55, 145-167.
- Gautam, A. K.; Misra, L.; Kumar, A.; Misra, K.; Aggarwal, S.; Shah, R. R. (2019). Multimodal Analysis of Disaster Tweets. *IEEE Fifth International Conference on Multimedia Big Data*, 94-103.
- Kennedy J. J.; Rayner, N.A., Smith, R.O., Saunby, M. and Parker, D.E. (2011a). *Reassessing biases and other uncertainties in sea-surface temperature observations since 1850 part 1: measurement and sampling errors*.
- Leydesdorff, L.; Bensman, S. (2006). Classification and powerlaws: the logarithmic transformation. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 57(11), 1470-1486.
- Mouzannar, H.; Rizk, Y.; Awad, M. (2018). Damage Identification in Social Media Posts using Multimodal Deep Learning. *15th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management*, 529-543.
- Ofli, F.; Alam, F.; Imran, M. (2020). *Analysis of social media data using multimodal deep learning for disaster response*.
- Pereira, M.; Pádua, F.; Pereira, A.; Benevenuto, F.; Dalip, D. (2016, March). Fusing audio, textual, and visual features for sentiment analysis of news videos. *Proceedings of the International AAAI Conference on Web and Social Media*, 10(1).
- Poria, S.; Cambria, E.; Howard, N.; Huang, G. B.; Hussain, A. (2016). Fusing audio, visual and textual clues for sentiment analysis from multimodal content. *Neurocomputing*, 174, 50-59.
- Socher, R.; Fei-Fei, L. (2010). Connecting modalities: semi-supervised segmentation and annotation of images using unaligned text corpora.

- IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 966-973.
- Vande Berg, L. R.; Wenner, L. A.; Gronbeck, B. E. (2004). Media literacy and television criticism: Enabling an informed and engaged citizenry. *American Behavioral Scientist*, 48(2), 219-228.
- Wang, J.; Markert, K.; Everingham, M. (2009). Learning models for object recognition from natural language descriptions. *BMVC*, 1, 2.
- Wolfram Research. (2008). *Standardize*, *Wolfram Language function*. Disponible en <https://reference.wolfram.com/language/ref/Standardize.html>
- Zaghloul, M. (2017). *Machine-Learning aided Architectural Design-Synthesize Fast CFD by Machine-Learning* [Tesis doctoral]. ETH Zurich.



# **Tecnología lúdica digital como herramienta para la participación comunitaria: el uso de Minecraft en el diseño urbano**

*Francisco Valdez*

Universidad de Cuenca

*Nathaly Villacís*

Universidad de Cuenca

*Mateo Gaón*

Universidad de Cuenca

---

## **Resumen**

La participación comunitaria en el diseño urbano constituye un elemento clave para la creación de espacios públicos inclusivos y con identidad propia. Sin embargo, el desconocimiento sobre metodologías y herramientas adecuadas para expresar las necesidades de la comunidad ha limitado la implicación de la población, especialmente de los jóvenes. Este artículo analiza el potencial de las tecnologías lúdicas digitales o videojuegos, con énfasis en Minecraft, para fortalecer la participación juvenil en procesos de diseño urbano. En una primera fase se estudia la metodología Block by Block propuesta por UN-Habitat. A partir de los aprendizajes obtenidos se desarrolla BlockVisions, una metodología propia ajustada al contexto local que integra el codiseño en

Minecraft con la producción arquitectónica. Esta propuesta se implementa en un taller con jóvenes de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca, facilitando la traducción de ideas comunitarias en entregables arquitectónicos concretos. Los resultados muestran un alto nivel de involucramiento por parte de los participantes y una notable eficiencia en la transformación de ideas en materiales gráficos y planimétricos, con tiempos de producción en torno a dos semanas, favorecida por el trabajo sincrónico en un servidor. Se concluye que, bajo un marco metodológico sólido, Minecraft puede operar como una herramienta replicable para democratizar el diseño urbano desde la participación juvenil resaltando la valía de la comunidad como agente de cambio.

**Palabras clave:** Minecraft, participación comunitaria, diseño urbano inclusivo.

## 1. Introducción

La inclusión de la comunidad en los procesos de diseño y planificación urbana es esencial para el desarrollo de ciudades inclusivas y sostenibles. En el contexto del diseño urbano, es imperativo involucrar activamente a quienes lo utilizarán. A lo largo de la historia, el planeamiento urbano ha sido una actividad llevada a cabo por un reducido sector de la sociedad. A pesar de las nobles intenciones de los gobernantes, a menudo sus decisiones no reflejan las verdaderas necesidades de la población en su conjunto. Es esencial que grupos demográficos como los jóvenes y aquellos que se encuentran en situaciones de vulnerabilidad o pertenecen a minorías sean partícipes activos en estos procesos, a pesar de que con frecuencia se les prive de voz y voto. En este marco, las tecnologías lúdicas digitales ofrecen canales de comunicación visual y colaborativa que facilitan la expresión de necesidades y el diálogo entre actores.

Los videojuegos prolongan la práctica cultural del juego y, además de entretener, favorecen habilidades cognitivas, sociales y creativas. En el ámbito pedagógico se los entiende como «entretenimiento que propicia conocimiento» (Minerva, 2002), y en sociedades avanzadas constituyen una forma prevalente de expresión practicada con tecnologías y diseño (Sicart, 2014). Como se menciona en un estudio previo (Valdez Apolo, 2019), el espacio digital de los videojuegos se retroalimenta del espacio real y se transforma en un espacio arquitectónico. Es por esta razón que el entorno virtual del videojuego interactúa y establece sinergias con la arquitectura y el diseño urbano. Con el avance de la industria de los videojuegos, el empleo de tecnología lúdica digital con fines distintos al entretenimiento se vuelve cada vez más accesible y frecuente.

Los procesos de participación comunitaria tradicionales, como las reuniones con la comunidad y las presentaciones de proyectos, suelen carecer de interactividad y resultan tediosos cuando no existe una metodología inclusiva clara. Esto provoca la falta de interés de la población en ser partícipes activos. Por lo tanto, se vuelve necesario reemplazar dichos procedimientos por otros que resulten más lúdicos e inclusivos para la comunidad.

En este contexto, se analiza el uso de tecnologías lúdicas digitales para dinamizar procesos participativos y fortalecer la implicación juvenil. Plataformas como Minecraft, videojuego popular de tipo sandbox o mundo abierto creado por Markus Persson en el año 2009 y posteriormente adquirido por Microsoft en 2014, posibilitan mundos multijugador y co-construcción en tiempo real, cualidades decisivas para procesos de co-diseño con actores no expertos (Mojang Studios, 2009). Es por ello que Minecraft se presenta como una alternativa viable para fomentar la participación pública y el aprendizaje espacial. La investigación sobre geojuegos también refleja un creciente interés en el uso de Minecraft como herramienta para visualizar, debatir y tomar decisiones sobre el espacio urbano (Andrade, Poplin y Sousa de Sena, 2020).

### **1.1. Minecraft y Block by Block**

En la actualidad, existen proyectos que implementan Minecraft como una herramienta poderosa en la visualización de un entorno virtual y la colaboración de sus usuarios. Por ejemplo en Brasil, Andrade, Poplin y Sousa de Sena (2020) demostraron que Minecraft puede ser una herramienta eficaz para involucrar a niños en procesos de planificación urbana, fomentando tanto la creatividad como la comprensión del espacio urbano a través de actividades participativas guiadas.

Con el uso de Minecraft, Mojang, la empresa propietaria de la franquicia, junto con UN-Habitat, lanzó en el 2012 el programa Block by Block con el objetivo de promover la participación comunitaria en la planificación y el diseño urbano a nivel global (UN-Habitat, 2022). Por esta razón, Minecraft se ha convertido en una plataforma valiosa para proyectos innovadores que van más allá del entretenimiento, demostrando su potencial en la creación y colaboración en entornos virtuales.

En 2021, se lanzó un *playbook* para la implementación de Block by Block, basado en la experiencia de UN-Habitat y Mojang (UN-Habitat, 2022). Esta metodología es flexible e invita a la participación de diversos grupos, desde niños hasta ancianos y migrantes. El proceso se divide en tres fases: planeamiento, diseño colaborativo e implementación. Es fundamental que

la participación de la comunidad se extienda a lo largo de todo el proceso para garantizar proyectos verdaderamente inclusivos.

Esta metodología se ha implementado en diversos proyectos internacionales. Entre ellos destacan: Construyendo Futuros en Anaheim (2016), enfocado en la revitalización de un espacio abandonado junto al río Santa Ana; Construyendo cohesión comunitaria en Beirut (2016), orientado a la mejora de los espacios públicos de la ciudad y Construyendo la calidad de vida en Haití (2014), que recopiló propuestas para optimizar Place de la Paix, un parque situado en la zona más vulnerable de la comuna Los Cayos. En todos estos casos, el objetivo central ha sido elevar la calidad de los espacios habitables a través de la participación activa de distintos grupos dentro de la comunidad (UN-Habitat, 2022).

## 1.2. Contexto local y propuesta metodológica

A pesar del éxito de la iniciativa Block by Block, es importante recordar que, más allá del uso de una herramienta, lo fundamental es garantizar la participación plena de todos los involucrados, especialmente en contextos diversos o desiguales. Como advierte Bashandy (2021), la utilización de entornos virtuales como Minecraft para la planificación y el diseño espacial puede reproducir relaciones de poder existentes y restringir ciertas formas de participación, dependiendo de cómo se estructure la interacción con la comunidad.

En este sentido se busca implementar una metodología propia basada en la propuesta por UN-Habitat en el contexto latinoamericano, teniendo en cuenta varios objetivos:

- Probar la efectividad de la herramienta lúdica digital en procesos participativos juveniles y el nivel de *engagement* de la comunidad.
- Llevar a cabo un proceso de traducción de croquis en Minecraft a producción arquitectónica, para evaluar la versatilidad de la herramienta para profesionales del diseño urbano.
- Probar Minecraft como una herramienta de visualización arquitectónica.

Debido al contexto actual y las limitaciones temporales y logísticas, resulta necesario crear una metodología basada en Block by Block, con ciertas adaptaciones que reduzcan el proceso logístico que Un-Habitat realiza con entes gubernamentales y el proceso de financiación, pues el ejercicio propuesto se basará en un croquis a nivel de producción arquitectónica para mostrar la efectividad de la herramienta, más no un proyecto ejecutivo.

## **2. Metodología**

Se nombra como BlockVisions a la metodología propuesta, la cual se fundamenta en las experiencias de Block by Block. En esta investigación, Block by Block se considera únicamente como marco de referencia y permitió derivar criterios operativos como roles, tiempos y materiales, así como justificar una adaptación metodológica al entorno local.

La metodología BlockVisions surge con el propósito de traducir la participación juvenil en propuestas arquitectónicas representables y discutibles, ofreciendo un dispositivo inclusivo y replicable que conecta el trabajo lúdico-colaborativo en Minecraft con la producción de entregables. Sus principios operativos incluyen claridad en tiempos, roles y materiales, accesibilidad tecnológica y andamiaje pedagógico, trabajo colaborativo en un mundo compartido, transparencia de decisiones, y la generación de piezas arquitectónicas concretas a partir de las ideas desarrolladas.

### **2.1. Montaje técnico del entorno**

La metodología parte de un modelo virtual del sitio donde ocurrirán los talleres (entorno FAUC), generado desde un modelo Building Information Modeling (BIM) y convertido a un formato voxelizado —es decir, compuesto por unidades tridimensionales cúbicas denominadas voxels, que representan el equivalente tridimensional de un píxel y permiten modelar y visualizar estructuras con precisión espacial (Kaufman y Shimony, 1986)— para su importación a Minecraft a escala 1:1. Este modelo replica con fidelidad la estructura arquitectónica y el contexto inmediato, de modo que los participantes comprendan y se familiaricen con el lugar antes de intervenir, además, permite ensayar alternativas y visualizar los efectos de las propuestas.

Para aumentar el número de alternativas comparables, el modelo se replica en matriz, asignando a cada participante un espacio de intervención propio dentro del mismo mundo. Esta estrategia multiplica ideas y mantiene la comparabilidad entre versiones.

### **2.2. Operación en servidor y logística del taller**

El trabajo se realiza en un servidor propio en línea con acceso 24/7, lo que concentra todas las propuestas en un mundo único, habilita colaboración sincrónica y otorga flexibilidad horaria. Esta infraestructura agiliza la coordinación y evita consolidaciones posteriores, complementándose con un canal de soporte remoto llamado Discord.

Antes de construir, se realiza una encuesta previa para recoger percepciones del lugar y orientar la intervención; luego, el servidor queda abierto para la exploración y construcción durante el periodo del taller.

### 2.3. Dinámica metodológica

La estructura de BlockVisions contempla tres fases principales. El primero corresponde al planeamiento participativo: se selecciona el sitio de intervención y se definen objetivos claros, simultáneamente se preparan los insumos base: modelo del entorno, referencias y lineamientos, y se organiza a los participantes con roles definidos y un cronograma de trabajo. Seguido de esto, se incorpora acuerdos de convivencia y protocolos de registro que garantizan la transparencia del proceso.

La segunda fase corresponde al codiseño en Minecraft (Figura 1) mediante sesiones facilitadas. Se trabaja en un servidor con un mundo compartido que permite la coconstrucción en tiempo real. Durante las sesiones se registra de forma continua la evolución del modelo, las decisiones y los comentarios. Además, se realizan instancias de revisión intermedia para priorizar ideas. La facilitación guía el avance para mantener la alineación con los objetivos del ejercicio y con el sitio específico.

**Figura 1**

Taller de codiseño en la construcción de ideas en servidor Minecraft en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca



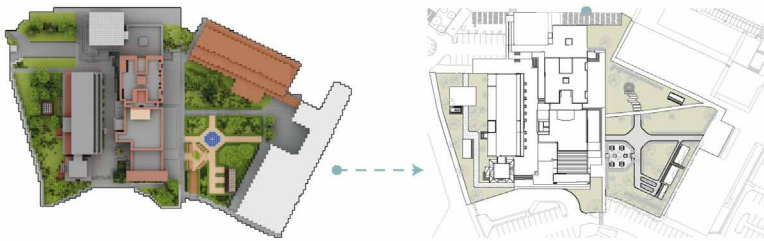
*Nota.* Elaboración propia.

Concluido el taller, el mundo de Minecraft se exporta en formato 3D.fbx mediante un software intermedio llamado Mineways y se procesa en el software de modelado 3D Blender (plugin MCPrep) para organizar materiales y optimizar el modelo. A partir de esta base se genera contenido de las propuestas en láminas para discusión y evaluación con los participantes.

La tercera fase corresponde a la producción arquitectónica. Los aportes del mundo compartido se sistematizan y se traducen a entregables arquitectónicos, como plantas, secciones, axonometrías y vistas, cuidando la coherencia dimensional y la claridad gráfica (Figura 2). Antes de su exposición, el contenido se valida internamente para asegurar que se represente con fidelidad las decisiones tomadas durante el codiseño.

**Figura 2**

Traducción de propuestas a planos arquitectónicos. Intervención Urbana en Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca



*Nota.* Elaboración propia.

La metodología usa observación participante, registro de decisiones en el mundo y encuestas para medir percepciones sobre respeto, participación activa, creatividad e interés en el proceso de diseño. Los resultados muestran acuerdos altos en todas estas dimensiones, indicando que el dispositivo favorece un ambiente inclusivo y colaborativo favoreciendo la estimulación en la generación de ideas.

En síntesis, BlockVisions articula la participación juvenil y el trabajo colaborativo en Minecraft con la producción de entregables arquitectónicos, ofreciendo un marco replicable y transparente.

### **3. Resultados**

La aplicación de BlockVisions evidenció mejoras significativas en la calidad de la interacción y en el compromiso de los participantes. La encuesta de percepción posterior al taller registró acuerdos altos en dimensiones como

el respeto entre participantes y la participación activa, observable tanto en intervenciones verbales como en la escucha atenta y el interés mutuo por las ideas del grupo. A ello se suma la valoración de la actividad como estímulo a la creatividad, desde la ideación inicial hasta el modelado en Minecraft, y como motor de interés para involucrarse en procesos de diseño. Estos resultados confirman que el proceso metodológico favoreció un ambiente de trabajo inclusivo y colaborativo.

En cuanto al plano operativo, el tiempo de traducción de ideas a producción arquitectónica fue corto. Desde la construcción colaborativa hasta la elaboración de láminas se trabajó en torno a dos semanas. El uso de un servidor en línea concentró todas las propuestas en un mundo único, habilitó trabajo sincrónico y brindó flexibilidad horaria, lo que agilizó la coordinación y evitó procesos posteriores de consolidación. Esta infraestructura, además, permitió sostener el taller sin necesidad de reuniones presenciales, complementándolo con un canal de soporte remoto.

El proceso mostró cómo la participación se traduce directamente en diseño. En una primera etapa, se generaron axonometrías desde Minecraft (Figura 3), que ya podían usarse como representación arquitectónica sin necesidad de un detalle excesivo, ahorrando tiempo. Luego, esas ideas se plasmaron en documentación más elaborada como plantas, secciones, perspectivas y láminas, manteniendo la intención original de los aportes de los participantes.

**Figura 3**

Axonometrías de propuestas. Intervención urbana en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca



Nota. Elaboración propia.

Posteriormente, se realizó una revisión técnica de las intervenciones, clasificándolas según su viabilidad en aspectos como forma, clima, funcionalidad, valor agregado y presupuesto. Algunas propuestas se descartaron por no adaptarse al contexto local, por ejemplo, elementos incompatibles con el clima, mientras que once propuestas fueron seleccionadas para avanzar a la siguiente fase del desarrollo arquitectónico. Este filtro permitió consolidar el vínculo entre el codiseño lúdico y la producción profesional.

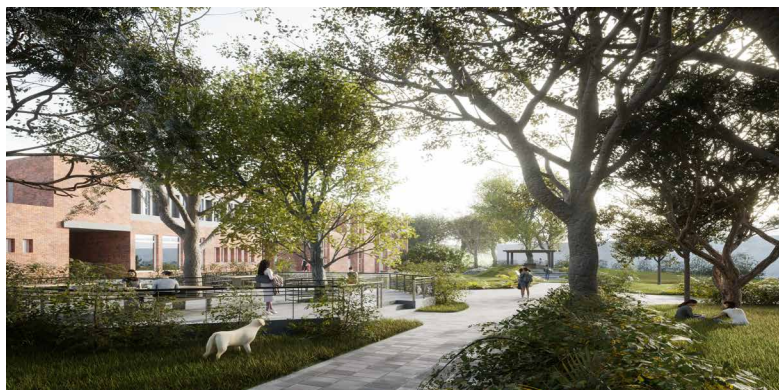
Los resultados también incorporan evidencias del vínculo emocional con el sitio y del interés comunitario por participar. El involucramiento de estudiantes se explica por un compromiso explícito con el bienestar de la ciudad y por la accesibilidad de las herramientas lúdicas digitales como mediadoras del diálogo.

Desde una perspectiva formativa y social, el proceso operó como mediador entre personas con trayectorias y visiones diversas, facilitando la identificación de necesidades comunes y la integración comunitaria. Los participantes reportaron, además, aprendizajes digitales y el desarrollo de habilidades de comunicación y liderazgo, reforzando el carácter educativo del dispositivo y su utilidad para aproximar públicos jóvenes a discusiones de diseño urbano.

Por último, el modelo con el entorno propuesto, la réplica en matriz para variantes y la operación en el servidor permitieron comparar fácilmente las alternativas y sumar de inmediato las construcciones colaborativas al proceso de producción arquitectónica y visualización realista (Figura 4). En conjunto, estos elementos demuestran la eficacia de BlockVisions para involucrar a los participantes, acelerar la transformación de sus aportes en entregables concretos y sistematizar un proceso de codiseño que se puede replicar en contextos educativos y comunitarios.

**Figura 4**

Visualización realista de propuesta urbana en la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Cuenca



Nota. Elaboración propia.

## **4. Conclusiones y futuras direcciones**

La pandemia de COVID-19 resaltó la importancia de espacios públicos adecuados. Es esencial que, como arquitectos y diseñadores, no solo inspiremos a las comunidades, sino que les proporcionemos herramientas para tomar decisiones informadas. La innovación y la tecnología son clave en este esfuerzo.

La implementación de la metodología de trabajo comunitario demuestra que el uso de una herramienta lúdica digital como los videojuegos ayuda a involucrar a una amplia audiencia, especialmente a los jóvenes. Este sector muestra una participación activa y promueve el interés por ser parte de los procesos de configuración de espacios. Por esta razón, el enfoque representa una valiosa estrategia para alcanzar objetivos comunitarios y fomentar la inclusión de diversas generaciones en la toma de decisiones.

Se demuestra que Minecraft es una herramienta intuitiva para procesos de diseño. Los participantes que tenían poco o nulo conocimiento previo de la plataforma, lograron aprender y controlarla en un periodo corto de tiempo, sin enfrentar dificultades significativas durante el proceso de aprendizaje. Los jóvenes muestran un alto nivel de satisfacción con el taller, pues encuentran la actividad muy entretenida. La herramienta muestra ser accesible y divertida, capaz de involucrar a participantes con diversos niveles de conocimiento en su manejo.

Además del uso de esta herramienta para el diseño colaborativo, se tiene en cuenta sus beneficios en el entorno educativo. Gracias a los resultados positivos del taller de codiseño, la aplicación dentro de los procesos educativos potenciaría la capacidad de entendimiento espacial, la concentración, la creatividad, el aprendizaje práctico, la colaboración, la resolución de problemas, el enfoque en la planificación y la adaptabilidad. La fusión de procesos de aprendizaje con el componente lúdico y la consecuente promoción del desarrollo de habilidades se erige como un aspecto de significativa relevancia en la investigación educativa y merece una consideración especial.

En las últimas décadas, los videojuegos han sido utilizados con fines serios, ofreciendo entornos gamificados idóneos para la pedagogía. Estos espacios virtuales permiten diseñar, proponer y comunicarse eficazmente con múltiples usuarios. Sus ventajas y aplicaciones son diversas, como se ha demostrado en campos como la arquitectura, el diseño urbano e incluso en estudios ambientales y de movilidad, donde resultan de gran utilidad.

Más allá del entretenimiento, los videojuegos incorporan elementos de la realidad en su estructura y se erigen como agentes culturales que fomentan una simbiosis entre lo virtual y lo real. Actúan como intermediarios capaces de generar experiencias que trascienden las limitaciones físicas y facilitan un diálogo entre la sociedad y el diseño urbano.

No obstante, es importante considerar que los videojuegos no fueron concebidos exclusivamente para estos fines, lo que implica ciertas limitaciones. Por ello, resulta fundamental que investigadores y profesionales del diseño guíen su uso mediante metodologías estructuradas, con el fin de aprovechar plenamente la versatilidad y el potencial que ofrecen.

## Referencias bibliográficas

- Andrade, B.; Poplin, A.; Sousa de Sena, Í. (2020). Minecraft as a tool for engaging children in urban planning: A case study in Tirol Town, Brazil. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(3), 170. Disponible en <https://doi.org/10.3390/ijgi9030170>
- Bashandy, H. (2021). Playing, mapping, and power: A critical analysis of using Minecraft in spatial design. *Journal of Urban Design*, 26(5), 665-684. Disponible en <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1284130.pdf>
- Delaney, J. (2020). Democracy, video games, and urban design: Minecraft as a public participation tool. En A. Gerber & U. Gotz (Eds.), *Architectonics of game spaces: the spatial logic of the virtual and its meaning for the real* (pp. 277-292). Disponible en <https://doi.org/10.1515/9783839448021-019>
- Encyclopedia Britannica. (s. f.). *Urban planning*. Disponible en <https://www.britannica.com/topic/urban-planning>
- Kaufman, A.; Shimony, E. (1986). 3D scan-conversion algorithms for voxel-based graphics. *Proceedings of the 1986 workshop on Interactive 3D graphics*, 45-75. Disponible en <https://doi.org/10.1145/319120.319126>
- McDaniel, T. (2018). Block by block: the use of the video game Minecraft as a tool to increase public participation [Tesis de maestría]. Texas State University, San Marcos, TX. Disponible en <https://digital.library.txst.edu/server/api/core/bitstreams/0d2d3b16-9eco-4882-9cbo-0c7cf78291ac/content>
- Mojang Studios. (2009). *Minecraft* [Videojuego]. Mojang. Disponible en <https://www.minecraft.net/>
- Sicart, M. (2014). *Play Matters*. MIT Press. Disponible en <https://doi.org/10.7551/mitpress/10042.001.0001>
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. (2019). *World urbanization prospects: The 2018 revision* (ST/ESA/SER.A/420)
- United Nations. Disponible en [https://population.un.org/wpp/assets/Files/WPP2019\\_Highlights.pdf](https://population.un.org/wpp/assets/Files/WPP2019_Highlights.pdf)
- UN-Habitat. (2022). *The block by block playbook*. Disponible en [https://unhabitat.org/sites/default/files/2021/09/1-bbb\\_playbook\\_publication\\_final.pdf](https://unhabitat.org/sites/default/files/2021/09/1-bbb_playbook_publication_final.pdf)
- Valdez Apolo, F. E. (2019). *Tecnología lúdica digital como herramienta para la representación arquitectónica* [Tesis de maestría]. Universidad Politécnica de Valencia. Disponible en <https://riunet.upv.es/server/api/core/bitstreams/e336627a-oace-40d9-877e-a4a20f69d26b/content>

## Parte 2

# Talleres sobre enfoques de resiliencia urbana en la Universidad de Florida y Cedar Key

Los talleres realizados en la Universidad de Florida y en Cedar Key en la segunda edición del Simposio en 2024 ofrecen una oportunidad para explorar de manera práctica los conceptos de gestión urbana y los hallazgos presentados en los artículos científicos previos, trasladando así la teoría a la práctica.

Las prácticas muestran cómo la teoría y los análisis científicos pueden orientar decisiones concretas, promoviendo una planificación fundamentada en evidencia y un uso eficiente de los recursos. Se llevaron a cabo tres talleres, cada uno con 2 a 3 sesiones y la participación de entre 15 y 20 personas. En ellos se implementaron dinámicas de observación de campo, trabajo grupal, discusión colaborativa y el uso de herramientas digitales para el registro y procesamiento de información. Esto permitió explorar de manera práctica los desafíos urbanos, identificar riesgos, documentar transformaciones y proponer estrategias de intervención basadas en los conceptos de gestión urbana.

La constante interacción entre participantes y territorio fortaleció habilidades de análisis, síntesis y resolución de problemas, al mismo tiempo que fomentó la comprensión de la resiliencia urbana, la relación entre patrimonio y comunidad y la relevancia de procesos participativos en la gestión del espacio urbano. En conjunto, los talleres constituyen un espacio donde el conocimiento académico se traduce en acción, evidenciando la importancia de vincular investigación y práctica para generar estrategias de planificación más efectivas y sostenibles a través de la participación comunitaria.



# Historias dirigidas por la comunidad sobre cambios positivos

*Carla Brisotto*

Universidad de Florida

---

## 1. Objetivos

- Enseñar sobre la resiliencia comunitaria a través de un ejercicio práctico.
- Realizar una caminata de investigación para aprender sobre la investigación de campo.
- Comprender cómo utilizar el espacio y el entorno construido para generar narrativas del lugar.

## 2. Pregunta principal

¿Podemos extraer pistas observables para comprender la historia y las dificultades de una comunidad? ¿Podemos capturar las tendencias emergentes en la adaptación climática observando el medio ambiente?

## 3. Enfoque teórico

Las comunidades desarrollan de manera empírica soluciones adaptadas a las condiciones particulares de un lugar. Dentro de una comunidad, las acciones individuales pueden irse convirtiendo en tendencias más generalizadas

dependiendo de su eficacia y su constante mejora, lo cual conlleva un desarrollo de soluciones ingeniosas y lógicas que han pasado por extensos procesos de prueba y error.

La importancia de la observación no es solo un método pasivo, sino una herramienta esencial y activa para entender la resiliencia y la innovación en las comunidades locales. A menudo, las soluciones más efectivas no provienen de manuales teóricos, sino del ingenio espontáneo y la adaptación que surge de la necesidad. Observar de cerca estas estrategias permite a los planificadores y desarrolladores ir más allá de las suposiciones y reconocer las soluciones prácticas que la propia comunidad ya ha perfeccionado a través del ensayo y error.

En lugar de imponer modelos externos, la observación nos obliga a escuchar lo que el entorno y sus habitantes nos dicen. Es un proceso de aprendizaje que honra la sabiduría inherente del lugar. Como en el caso de Cedar Key, en una zona propensa a inundaciones, la comunidad escoge sitios para muros de retención, elevación de construcciones, resguardar equipos e infraestructura mediante la instalación a cotas más elevadas, entre otros. Estas no son soluciones improvisadas, sino respuestas bien afinadas a los riesgos específicos y determinantes de su entorno. Ignorar estas adaptaciones es perder una oportunidad valiosa de construir sobre cimientos ya probados y sostenibles.

La observación del sitio se convierte en un medio para descifrar un lenguaje no verbal. Cada grieta en una pared, cada canal de drenaje improvisado o cada ruta de evacuación no oficial es una pista que nos habla de la lucha, el ingenio y la retroalimentación continua de la comunidad con su entorno. Estos rastros de daños en la infraestructura o de intervenciones humanas son como un mapa de las vulnerabilidades y fortalezas del lugar. Analizarlos nos permite identificar dónde se requiere una intervención y qué tipo de solución sería coherente y aceptada.

**Figura 1**

Ejemplos de pistas y respuestas a eventos climáticos



Nota. Elaboración propia.

Este enfoque empírico es fundamental para la planificación coherente. Sin una observación detallada, cualquier plan corre el riesgo de ser irrelevante, ineficiente o, peor aún, perjudicial. Al basar las soluciones en lo que ya está funcionando, se garantiza una mayor aceptación y éxito a largo plazo. Es la diferencia entre un plan que se impone y uno que se nutre del conocimiento local.

En este taller se plantea ejercitar la capacidad de observación y poder registrar acciones puntuales, así como las sensaciones que genera un sitio o una infraestructura en cuanto a vulnerabilidad o sensación de solidez, seguridad, etc.

## **4. Metodología y materiales del taller**

### **4.1. Público y metodología**

Los participantes del taller, estudiantes y profesores de diversos campos como la arquitectura y la ingeniería ambiental, realizaron un recorrido a pie por Cedar Key. Usando la aplicación ArcGis FieldMaps, los participantes atravesaron áreas costeras, de gran altitud y de baja altitud.

### **4.2. Recopilación de datos**

A lo largo de la ruta, los participantes se encargaron de realizar una evaluación ambiental integral. Utilizando sus dispositivos personales, registraron observaciones en tres categorías:

#### **4.2.1. Evaluación del área**

Relatos descriptivos del entorno, incluidos los sentimientos personales y los niveles de comodidad.

### Figura 2

Ejemplo de registro de la sensación en un sitio: «Físicamente me siento seguro porque existe una barrera entre la calle y la vereda»



Nota. Elaboración propia.

### 4.2.2. Evaluación de peligros

Identificación de riesgos potenciales como inundaciones, daños por viento y exposición a huracanes.

### Figura 3

Ejemplo de registro de riesgos identificados en un sitio: «Materiales desgastados. La edad de la infraestructura»



Nota. Elaboración propia.

### 4.2.3. Observación de cambios

Documentación de modificaciones inducidas por el hombre en el entorno construido, particularmente aquellas implementadas como estrategias de resiliencia.

**Figura 4**

Ejemplo de registro de cambios identificados en un sitio: «Bloques adicionales en la cimentación»



Nota. Elaboración propia.

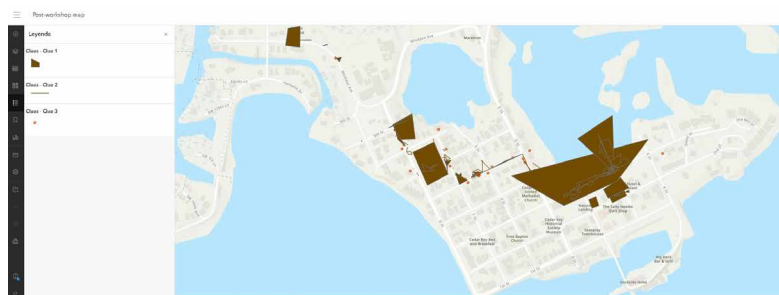
## 4.3. Mapeo colaborativo

Al agregar las observaciones individuales, los participantes crearon colectivamente un mapa de evaluación de riesgos. Este enfoque colaborativo aprovechó diversas perspectivas para producir un conjunto de datos enriquecido para fines de planificación.

Toda la ruta y las percepciones registradas se pueden ver en un mapa en donde las pistas están separadas en tres capas: sensación, riesgos y cambios identificados. El mapa es accesible en este enlace: ArcGIS Post-workshop map

**Figura 5**

Mapa con percepciones registradas

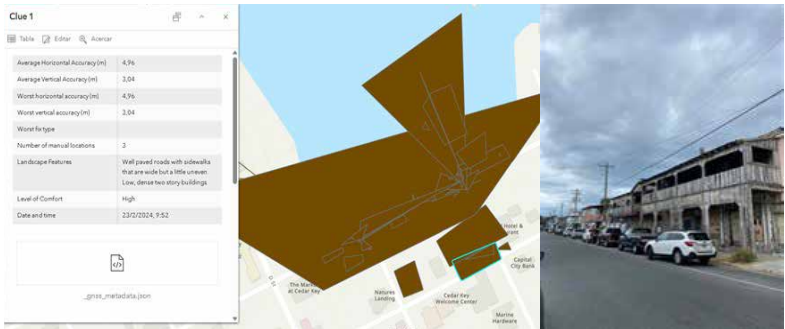


Nota. Elaboración propia.

### *Ejemplo de una percepción registrada*

A continuación, se muestra un ejemplo del proceso de registro, donde se ha registrado una percepción general y también se ha subido una imagen de lo observado a la aplicación. De esta forma, todas las percepciones descritas se pueden contrastar con la imagen real y analizar en contexto. En este caso, el registro corresponde a una percepción de sensación del área. Según el usuario las características del paisaje se describen como: «Calles bien pavimentadas con aceras anchas, pero un poco irregulares. Edificios bajos y densos de dos pisos», con un nivel de comodidad alto.

**Figura 6**  
Percepción registrada e imagen correspondiente



Nota. Elaboración propia.

Todas estas observaciones se pueden sistematizar luego para constituir una herramienta para la toma de decisiones por parte de planificadores o por parte de la misma comunidad. La retroalimentación colectiva genera un conocimiento basado en la experiencia real y en este caso, el rol del observador externo puede ayudar a identificar pistas que podrían enriquecer los procesos y el conocimiento ya desarrollado por la comunidad.

## **5. Conclusiones e implicaciones**

El taller demostró el valor de la observación guiada para mejorar la percepción ambiental. Los participantes pudieron identificar factores que de otro modo podrían pasarse por alto. Los mapas de percepción resultantes pueden servir como herramientas invaluable para la toma de decisiones informadas y la planificación. La metodología empleada en este estudio se puede adaptar para una amplia gama de aplicaciones, permitiendo a diversas comunidades crear evaluaciones ambientales detalladas y matizadas.





# Taller visualizando el cambio: Cedar Key visualizando el cambio positivo y las oportunidades

*Jeff Carney*

Universidad de Florida

*Juan Fernando Hidalgo*

Universidad de Cuenca

*Christian Calle*

Universidad de Florida

---

## 1. Objetivos

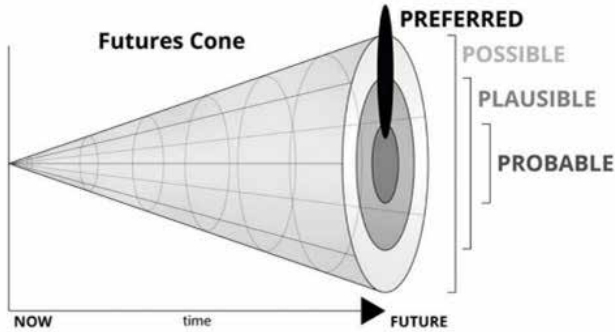
- Introducir nuevas perspectivas y técnicas para generar cambios positivos en las comunidades.
- Analizar ejemplos de iniciativas comunitarias que transforman situaciones de riesgo y vulnerabilidad en oportunidades.
- Promover una *charrette* corta para abordar los desafíos del cambio climático a través del diseño y la visualización transformadores.

## 2. Enfoque teórico

«La incertidumbre profunda se produce cuando los tomadores de decisiones y las partes interesadas no saben o no pueden ponerse de acuerdo sobre la probabilidad de diferentes escenarios futuros».

La incertidumbre puede considerarse una limitación o una oportunidad, según la forma en que se aborde.

**Figura 1**  
Esquema futuro



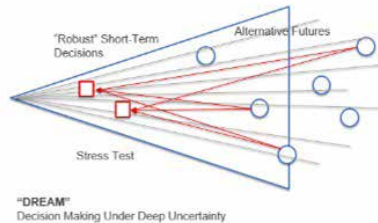
Nota. Elaboración propia.

Se propone un cambio de paradigma: de predecir y luego actuar a visualizar un futuro deseado y luego definir estrategias para alcanzarlo. En lugar de centrarse en mejorar la precisión de las predicciones, los datos, las proyecciones y los análisis pueden ayudarnos a tomar decisiones más informadas hoy para lograr un objetivo más amplio.

**Figura 2**  
Cambio de paradigma de predicciones a decisiones

**Reverse the “predict then act” paradigm**

**Rather than making better predictions, complex models and data can inform better decisions.**  
(Popper et al. 2005)



Nota. Elaboración propia.

### **3. Estudios de caso latinoamericanos: resiliencia ante la adversidad**

Esta presentación examina estudios de caso de América Latina presentados en el Simposio de Resiliencia, destacando cómo las prácticas tradicionales a menudo surgen de desafíos inesperados y avances repentinos. Estas experiencias demuestran el desarrollo de enfoques únicos para navegar la incertidumbre y la posterior formación de identidades culturales diferenciadas.

#### **3.1. Las islas Uros: un caso de estudio en resiliencia adaptativa**

Las islas Uros, un conjunto de islas flotantes artificiales en el lago Titicaca, ejemplifican este fenómeno. Construidas con la totora, un junco ligero, estas islas funcionan como balsas grandes, cada una con un promedio de cuatro familias. Este modo de vida único surgió de la experiencia histórica de adversidad del pueblo Uros.

Originalmente pescadores ribereños, los uros se vieron obligados a huir hacia el lago para escapar de la invasión inca. Inicialmente habitando pequeñas balsas de totora, subsistían de la pesca y del consumo de las raíces de este abundante junco. El rápido crecimiento y la abundante disponibilidad de totora dentro del lago les permitió construir estructuras flotantes más grandes y permanentes, eliminando la necesidad de regresar a tierra.

Posteriormente, los uros desarrollaron toda una comunidad flotante, caracterizada por la creación continua y la eventual descomposición de las islas, devolviendo la materia orgánica al lecho del lago. Esta adaptación única les permitió mantenerse independientes del dominio inca y posteriormente del español, evadiendo efectivamente la imposición de leyes e impuestos sobre la propiedad de la tierra. La resistencia duradera de los uros a la dominación externa ejemplifica su resiliencia y su búsqueda inquebrantable de la libertad, que culminó en el desarrollo de una forma de vida distintiva y sostenible, utilizando un recurso renovable para apoyar sus prácticas constructivas y mantenerse independientes de las cadenas de suministro de materiales de construcción convencionales.

**Figura 3**

Balsas de totora junto a una isla flotante de totora en el lago Titicaca



Nota. Tomado de Hidalgo Cordero (2007).

El ejemplo de los uros ha impulsado diferentes líneas de investigación que apuntan a un uso más inteligente de los recursos renovables, aprovechando los ciclos naturales de las plantas de rápido crecimiento para tratar de reducir la presión sobre los bosques plantados mediante la diversificación de las posibles aplicaciones de esta planta. La investigación realizada por Hidalgo Cordero se mostró como ejemplo del uso de la totora en el diseño de muebles y como aislante térmico en el sector de la construcción contemporánea.

**Figura 4**

Diseño de muebles contemporáneos con tallos de totora



Nota. Tomado de Hidalgo Cordero (2016).

### **3.2. Casa flotante de la Josefina en Paute, Ecuador**

En 1993 un deslizamiento de tierra en el área del Descanso, cerca de la ciudad de Cuenca, Ecuador, provocó la formación de una represa que obstruyó el flujo del río Paute, aproximadamente a 15 kilómetros de la ciudad de Cuenca.

Este taponamiento inició una inundación generalizada, creando un lago que se extendió casi 8 kilómetros, sumergiendo campos agrícolas, casas, infraestructura y otras instalaciones.

Un residente local, Walter Suárez, propietario de una casa de campo de madera, emprendió un experimento desesperado para salvar su propiedad. Ante la inminente inundación que amenazaba con llegar a su casa en 15 días, Suárez decidió unir 36 tanques sellados de plástico y metal a la base de la estructura de la casa, permitiendo que flotara cuando llegaran las aguas del río. Finalmente, la casa flotó con éxito y Suárez logró preservar la estructura. Una vez que el gobierno demolió la represa y las aguas retrocedieron, la casa fue reubicada a una nueva posición.

La casa de Walter Suárez permanece visible desde la carretera y se ha convertido en una representación simbólica de la tragedia de Josefina y la capacidad humana para responder a la adversidad.

Este caso específico ejemplifica el potencial de que surjan soluciones innovadoras a partir de eventos imprevistos o no planificados. Al considerar el desastre como un catalizador para la experimentación, los individuos demuestran una capacidad de adaptación para superar la adversidad.

**Figura 5**

Imágenes de la inundación de la Josefina Ecuador



Nota. Tomado de GAD de Gualaceo (2023).

**Figura 6**

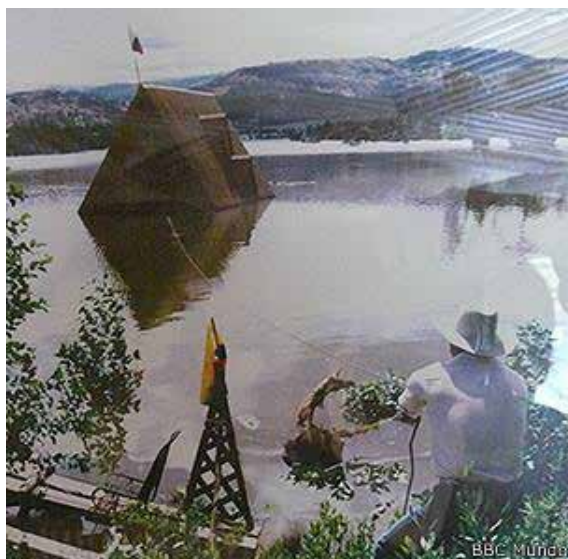
Casa de Walter Suárez con tanques antes de la flotación



Nota. Tomado de La Voz del Tomebamba (2021).

**Figura 7**

Fotografía de Walter Suárez sujetando su casa flotante mediante una cuerda



Nota. Tomado de Cesio (2019).

Los estudios de caso presentados se alinean con el tema central de esta sesión, que enfatiza la necesidad crítica de una planificación proactiva de escenarios y el desarrollo de estrategias efectivas de mitigación. Además, estos ejemplos subrayan la importancia de cultivar la resiliencia frente a circunstancias dinámicas y amenazantes.

## 4. Programa resiliente Florida

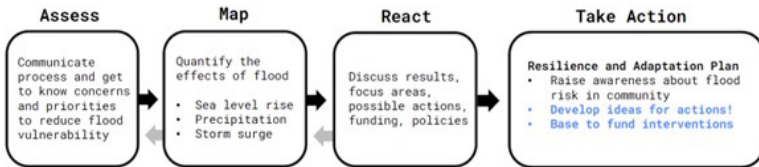
*Evaluación de vulnerabilidad: Cedar Key/3 actitudes hacia la planificación de la resiliencia.*

En este documento se presenta parte de la investigación desarrollada por el grupo FIBER, que discute tres enfoques diferentes para planificar la resiliencia.

### 4.1. Actitud 1: institucional

**Figura 8**

Esquema de la actitud institucional



Nota. Tomado de FIBER (2023).

El enfoque institucional incluye la identificación de activos agrupados en categorías tales como transporte, vivienda o infraestructura crítica, para crear un inventario focalizado y el análisis de los diferentes riesgos a los que pueden estar sujetos estos activos, también categorizados según su periodicidad y gravedad. Luego, durante la evaluación se editó el Manual de Planificación para la Adaptación de Florida (2018) donde el Análisis de Exposición: «identifica el riesgo base y permite a una comunidad comprender el riesgo en términos de extensión espacial y nivel de exposición». El Análisis de Sensibilidad «proporciona un inventario de los activos de la comunidad y cuantifica y mide los impactos de la exposición en esos activos».

### 4.1.1. El inventario de riesgos

Figura 9  
Inventario de riesgos y sus probabilidades

| Category                                    | Asset                                             | Flood Scenario-Related Data                                  |
|---------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Housing                                     | Concentrated housing                              | FDEP Requirements                                            |
|                                             | Assisted housing inventory - Low CBE              | Sea level rise (SLR) projections                             |
|                                             | Naturally occurring affordable housing (NCH)      | Tidal Dams                                                   |
| Transportation                              | FDEP Requirements                                 | Storm Surge                                                  |
|                                             | Airports                                          | Rain Induced Flooding                                        |
|                                             | Bridges                                           | Statewide Land Use                                           |
|                                             | Bus terminals                                     |                                                              |
|                                             | Ports                                             |                                                              |
| Critical Infrastructure                     | Major roadways                                    | Flood hazards include:                                       |
|                                             | Marinas                                           | • FEMA SFHA (Floodway, 100-year, 500-year floodplains)       |
|                                             | Rail facilities                                   | • Storm surge (Cat 1-3-5)                                    |
|                                             | Railroad bridges                                  | • High tide flooding                                         |
|                                             | FDEP Requirements                                 | • Sea level rise                                             |
|                                             | Wastewater treatment facilities and lift stations | • NOAA Intermediate Low, Intermediate High (2017) 2040, 2070 |
|                                             | Stormwater treatment facilities and pump stations |                                                              |
|                                             | Drinking water facilities                         |                                                              |
|                                             | Water utility conveyance systems                  |                                                              |
|                                             | Electric production and supply facilities         |                                                              |
| Critical community and emergency facilities | Solid and hazardous waste facilities              |                                                              |
|                                             | Military installations                            |                                                              |
|                                             | Communications facilities                         |                                                              |
|                                             | Disaster zones management sites                   |                                                              |
|                                             | FDEP Requirements                                 |                                                              |
|                                             | Schools, colleges and universities                |                                                              |
|                                             | Community centers                                 |                                                              |
|                                             | Correctional facilities                           |                                                              |
|                                             | Disaster recovery centers                         |                                                              |
|                                             | Emergency medical service facilities              |                                                              |
|                                             | Emergency operation centers                       |                                                              |
|                                             | Fire stations                                     |                                                              |
| Natural, cultural, and historical resources | Health care facilities                            |                                                              |
|                                             | Hospitals                                         |                                                              |
|                                             | Law enforcement facilities                        |                                                              |
|                                             | Local government facilities                       |                                                              |
|                                             | Topical staging areas                             |                                                              |
|                                             | Affordable public housing                         |                                                              |
|                                             | Risk shelter inventory                            |                                                              |
|                                             | State government facilities                       |                                                              |
|                                             | FDEP Requirements                                 |                                                              |
|                                             | Conservation lands                                |                                                              |
|                                             | Perils                                            |                                                              |
|                                             | Shorelines                                        |                                                              |
|                                             | Surface waters                                    |                                                              |
|                                             | Wetlands                                          |                                                              |
|                                             | Historical and cultural assets                    |                                                              |

Nota. Tomado de FIBER (2023).

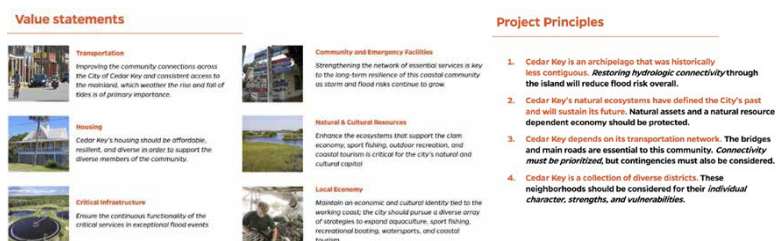
Los resultados en este caso son una serie de acciones que se deben tomar y que involucran la toma de decisiones administrativas, la asignación de recursos, aspectos ambientales y económicos, entre otros criterios que se muestran en el Informe de Evaluación de Vulnerabilidad (VA).

## 4.2. Actitud 2: conectar

### 4.2.1 Alcance y discusión

Enriquecer mediante retroalimentación/generar confianza. En este caso, se desea la participación de la comunidad para identificar intereses comunes y bienes valiosos, y las acciones necesarias para asegurarlos y generar principios que sirvan de guía para el proyecto o las intervenciones.

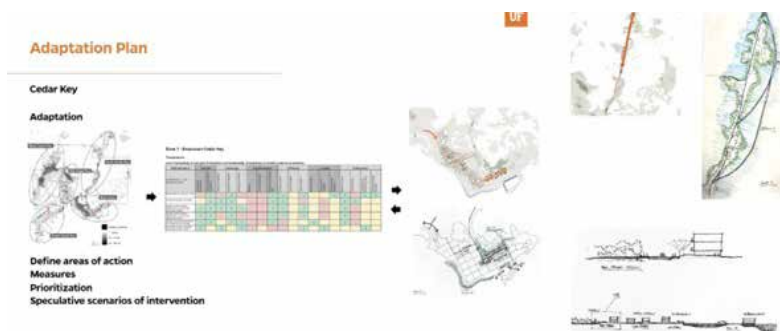
**Figura 10**  
Esquema de intereses comunes identificados por la comunidad



Nota. Tomado de FIBER (2023).

Luego de la retroalimentación de la comunidad el plan institucional requiere de actualizaciones.

**Figura 11**  
Esquema del plan de adaptación considerando la retroalimentación de la comunidad y los riesgos



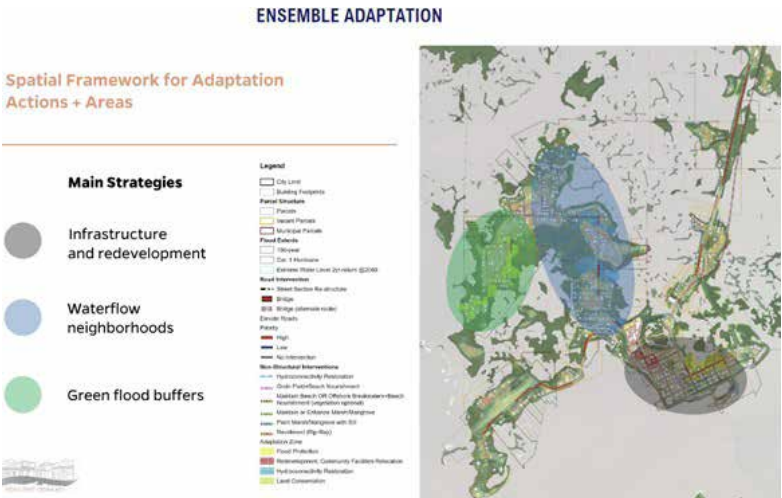
Nota. Tomado de FIBER (2023)

### 4.3. Actitud 3: acciones

#### 4.3.1. Proyectos de adaptación

Valor agregado a través del conjunto. Las acciones tomadas consideran las necesidades institucionales y comunitarias e impulsan un enfoque colaborativo para construir resiliencia.

**Figura 12**  
Esquema del plan de acciones identificando áreas y riesgos



Nota. Tomado de FIBER (2023).

**Figura 13**  
Esquema de las intervenciones puntuales identificadas en conjunto con la comunidad



Nota. Tomado de FIBER (2023).

## 5. Metodología y materiales del taller

El Taller de Cedar Key aborda las tres intervenciones identificadas señaladas por la evaluación de vulnerabilidad del programa Resilient Florida: Cedar Key/3 actitudes hacia la planificación de la resiliencia.

La audiencia se dividió en tres grupos y cada uno debería centrarse en una de las siguientes intervenciones:

### 5.1. Redefiniendo y reconectando el centro

El núcleo histórico de Cedar Key es crucial para la identidad de la ciudad, pero debe adaptarse al aumento del nivel del mar debido a su ubicación baja. Este proyecto propone elevar la calle tercera para permitir la conectividad, la restauración ecológica y el desarrollo sostenible en el centro.

**Figura 14**

Eje vial a reforzar para la conexión del casco histórico de Cedar Key



Nota. Elaboración propia.

### 5.2. Reubicación y reurbanización

#### 5.2.1. Mudanza del Ayuntamiento

La infraestructura administrativa de Cedar Key es crucial para su gestión, pero debe adaptarse al aumento del nivel del mar debido a su ubicación baja. Este proyecto propone la reubicación del ayuntamiento y otras funciones de la ciudad a un área alta en el centro de la ciudad. Esto no solo asegurará las funciones de la ciudad, sino que inspirará cambios adicionales.

**Figura 15**

Identificación de la zona en riesgo para reubicar el ayuntamiento



Nota. Elaboración propia.

### 5.3. Azul + Verde: restaurando los Cedar Keys

Cedar Key es un archipiélago. La isla necesita permitir que el agua fluya a través de ella, no alrededor. Este proyecto fomentará la conectividad del ecosistema mediante la restauración de la tierra y los sistemas.

**Figura 16**

Identificación de las zonas para restaurar los humedales



Nota. Elaboración propia.

## 6. Pasos para la actividad

- Paso 1

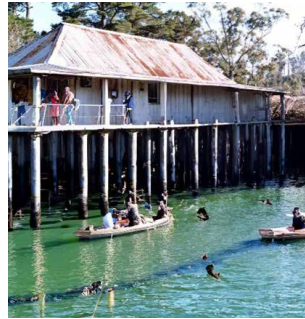
Trabajando individualmente, elabore una narrativa de una oración para que coincida con una imagen de un futuro potencial para su área de la ciudad. Aquí no hay una respuesta correcta. Buscamos un futuro posible/plausible, pero piense fuera de la caja. ¿Cómo se imagina a Cedar Key en el futuro? ¿Qué le gustaría que fuera? Basado en lo que ha aprendido hoy, ¿cómo podría adaptarse? A partir de una imagen tomada durante la actividad de caminata matutina, genere un fotomontaje a partir de esta imagen con imágenes adicionales de otras fuentes. Edite su declaración de visión y cargue la imagen en la plataforma Miro.

**Figura 17**

Ejemplo de prompts para visualizar un escenario futuro



1. Start with image of place



2. Photoshop Generative AI: "Draw house on stilts with boaters"



3. Dall-e: "show this image with a vibrant scene of boaters, mangrove trees, birds, and fish"



4. Dall-e: "draw the same image in cedar key with contemporary contextual houses"

Nota. Elaboración propia.

- Paso 2

Volviendo como equipo, haremos una «prueba de estrés» a las imágenes para comprender cómo su idea podría funcionar en condiciones de tormenta. Usando la herramienta de predicción de inundaciones de FIBER, cambie la fecha y la intensidad de la tormenta para visualizar su visión en diferentes circunstancias. Dibuje el impacto de los diferentes eventos o escriba una descripción narrativa. ¿Cómo le va a su idea? ¿Qué cambios serían necesarios? ¿Alguna de sus visiones falla?

**Figura 18**

Prueba de estrés #1 o respuesta de la idea frente a situaciones probables



Nota. Elaboración propia.

*Ejemplo: prueba de estrés #1*

Huracán Nivel 1 en 2040, inundación de 4 a 6 pies en áreas con oleaje. Las viviendas elevadas presentan un buen desempeño debido a que están construidas por encima de los códigos de construcción. Se permite la inundación de las plantas bajas.

Una consecuencia no deseada es la reconfiguración de la línea costera debido a la acumulación de arena y escombros. Esto da lugar a algunas playas mucho más grandes y a la pérdida de espacios de estacionamiento en otras áreas.

- Paso 3

¿Determine si hay decisiones sólidas compartidas que su equipo esté de acuerdo en que mejorarían el éxito de muchas de sus visiones en la mayoría de las circunstancias? ¿Puede imaginar una política, una infraestructura o un proyecto a corto plazo que mejore el éxito a largo plazo?

## Decisiones sólidas

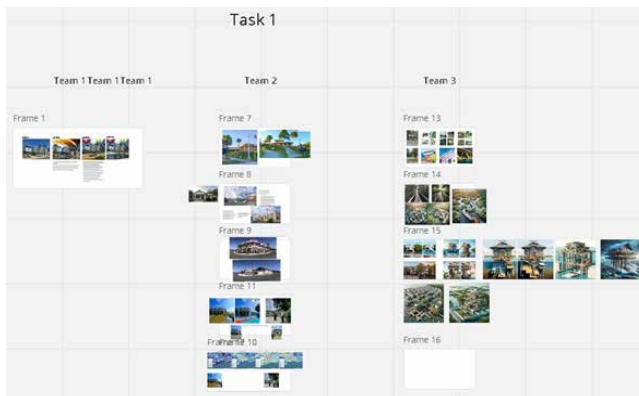
¿Qué pasos podemos tomar hoy para permitir mejorar la mayoría de estos futuros?

## 7. Resultados del taller

Cada equipo subió los diferentes pasos a la plataforma Miro, donde los distintos enfoques y visiones pudieron ser compartidos y comentados por los demás grupos.

**Figura 19**

Resultados de los equipos en la plataforma Miró



Nota. Elaboración propia.

**Figura 20**

Ejemplos de soluciones visualizadas en el ejercicio



Nota. Elaboración propia.

Las propuestas de los participantes incluyeron tanto visiones de futuro como posibles políticas para promover su realización. Una de las visiones de futuro consiste en la creación de un vecindario elevado que permita el flujo de tráfico por encima del nivel del mar, sin obstaculizar el drenaje del agua por debajo. Esta estructura también fomentaría las actividades comunitarias e incorporaría una barrera natural en los bordes. Una política asociada a esta visión podría ser la implementación de una normativa que garantice que las construcciones no bloqueen el flujo de agua al lado o debajo de la estructura elevada. Esto promovería el desarrollo de ciudades más transitables y facilitaría la implementación de opciones de transporte alternativas, como el kayak.

## 8. Conclusiones

Este taller propuso un enfoque distinto para abordar la necesidad de adaptación al cambio. En este caso, las visiones de futuro se centran en la proactividad para construir un futuro deseable, en lugar de reaccionar ante situaciones repentinas. De esta manera, se anima a la comunidad a pensar con antelación y tomar medidas que conduzcan a un futuro adaptado de antemano. Los participantes tuvieron la oportunidad de utilizar herramientas sencillas que les ayudaron a expresar sus visiones futuristas de resultados deseables y a ponerlas a prueba frente a posibles eventos.





# IA y ciencia de datos para la resiliencia ante desastres, espacio público y movilidad

*Francisco Valdez*

Universidad de Cuenca

*Daniel Orellana*

Universidad de Cuenca

---

## **1. Objetivo**

Equipar a los participantes con un entendimiento de cómo las técnicas de Ciencia de Datos e inteligencia artificial (IA), junto con motores de juegos, están transformando la respuesta, abordando tanto oportunidades como desafíos, y el compromiso comunitario.

## **2. Aproximación teórica**

Como primera sección teórica del taller se abordan conceptos sobre la integración de la IA, la ciencia de datos, los motores de juegos y las herramientas de análisis espacial para fortalecer las estrategias de resiliencia ante desastres, con un enfoque en la gestión de riesgos de inundaciones urbanas.

## **2.1. Inteligencia artificial y ciencia de datos en la respuesta ante desastres**

La implementación de IA y ciencia de datos en la gestión de desastres ha revolucionado el análisis y procesamiento de conjuntos de datos complejos, mejorando las capacidades predictivas y reactivas durante las crisis. La evolución desde sistemas basados en reglas simples a modelos avanzados de aprendizaje automático y redes neuronales permite un manejo efectivo de datos diversos relacionados con desastres, facilitando la toma de decisiones en tiempo real y la planificación estratégica.

## **2.2. Análisis espacial y mapeo participativo en la gestión del riesgo de inundaciones**

La integración del análisis espacial y mapeo participativo permite una simulación de los riesgos de inundación. Este enfoque utiliza modelos hidráulicos e hidrológicos, combinados con modelado basado en agentes y datos GIS, para crear simulaciones de escenarios de inundación. Estas simulaciones proporcionan datos esenciales sobre la probabilidad de inundación, la velocidad y profundidad del agua, y la extensión de las superficies inundadas, que pueden ser exploradas e investigadas interactivamente a través de las herramientas de simulación desarrolladas.

## **2.3. Motores de juegos: visualización y simulación interactiva**

Los motores de juegos, tradicionalmente diseñados para videojuegos, se han vuelto una herramienta interesante en las simulaciones de gestión de desastres debido a sus extensos conjuntos de configuraciones para animación, física, gestión multimedia y renderizado. Estos motores procesan hábilmente datos alfanuméricos de fuentes como archivos CSV, mapeando estos datos a geometrías visuales dentro de una simulación. Esta capacidad permite una representación dinámica de los datos en modelos interactivos, haciendo escenarios complejos más comprensibles y navegables a través de interfaces amigables para el usuario.

## **2.4. Enfoque integrado para mejorar la resiliencia ante desastres**

Al sintetizar tecnologías de IA, ciencia de datos y motores de juegos con análisis espacial, este enfoque integrado permite una visualización completa de los impactos potenciales de los desastres y facilita una participación amplia en la preparación y planificación de respuestas a desastres. Este método no solo hace accesibles los datos de alto nivel, sino también

accionables, proporcionando a los interesados las herramientas necesarias para discutir, debatir y planificar eficazmente la resiliencia urbana.

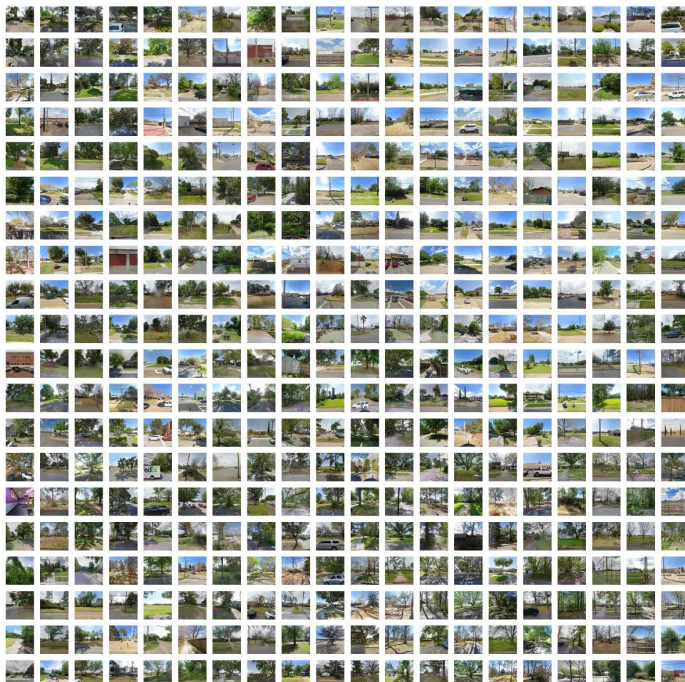
### 3. Metodología del taller y materiales utilizados

El componente práctico del taller ofrecido en el congreso Resiliencia en Ambientes Urbanos hacia Ciudades Sostenibles SDG involucró una experiencia práctica atractiva utilizando tecnologías de vanguardia para evaluar y simular riesgos de inundación en entornos urbanos. La sesión fue estructurada para facilitar la aplicación de los conceptos teóricos discutidos, utilizando IA, ciencia de datos, motores de juegos y *software* especializado para la cartografía de riesgos de inundación.

#### 3.1. Interfaz web para detección de objetos en imágenes

**Figura 1**

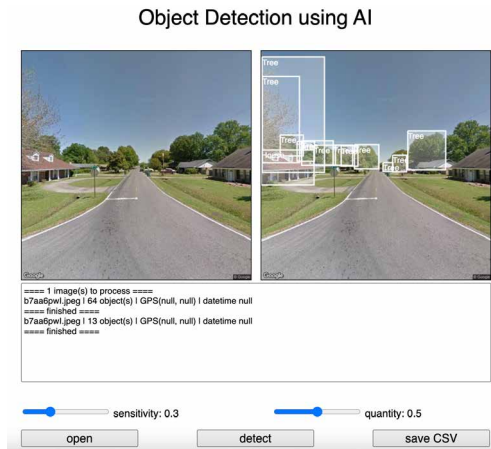
Galería de imágenes analizadas por la IA



Nota. Elaboración propia.

Los participantes comenzaron el taller utilizando una interfaz web diseñada para detectar objetos dentro de fotografías tomadas en el campus de la Universidad de Florida. Después de subir sus imágenes capturadas a la interfaz, los algoritmos de IA y ciencia de datos integrados analizaron estas imágenes para detectar y catalogar objetos. Cada objeto identificado fue listado automáticamente en un archivo CSV generado con detalles precisos incluyendo el nombre del objeto, sus coordenadas (x, y) y la cantidad de estos objetos encontrados. Este primer paso demostró el uso práctico de la IA para extraer datos valiosos de fotografías simples, lo cual es un insumo interesante para el análisis ambiental detallado y la planificación.

**Figura 2**  
Interfaz de página web de Sharelab para detección de objetos mediante imágenes



Nota. Elaboración propia.

### 3.2. Simulación de mapa de riesgo de inundaciones

Después de la fase de detección de objetos, los participantes utilizaron un programa de simulación de mapa de riesgo de inundaciones. Esta herramienta les permitió crear mapas de riesgo de inundación detallados que predicen áreas potenciales de inundación durante eventos de huracanes y lluvias intensas. Al manejar ciertos datos como características ambientales y topográficas, el programa pudo simular varios escenarios de inundación, proporcionando una herramienta dinámica para la preparación ante desastres.

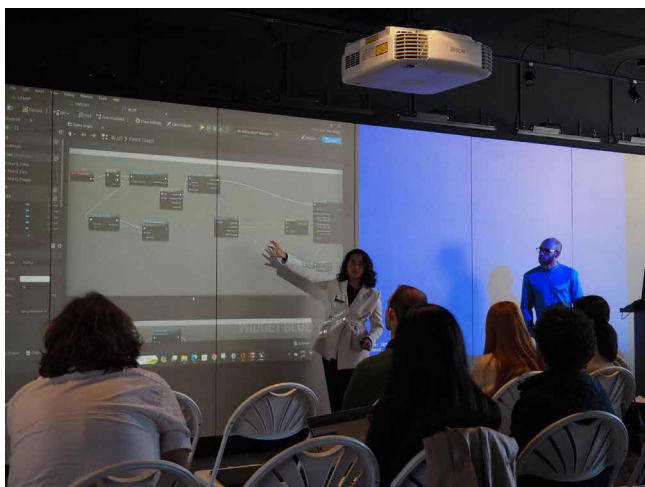


### 3.3. Integración con el motor de juegos

La parte final del taller demostró la integración de los datos recolectados con un motor de juegos. Los archivos CSV de la interfaz de detección de objetos fueron importados al motor de juegos, donde interfaces de usuario pre-desarrolladas y geometrías establecidas, permitieron la visualización tridimensional de los objetos en campus. Esta visualización incluyó no solo la ubicación precisa de los objetos detectados, sino también zonas de inundación simuladas, modeladas con base en los datos del simulador de mapa de riesgo de inundación. Esta integración destacó cómo los motores de juegos podrían utilizarse para crear simulaciones interactivas y realistas de los impactos potenciales de los desastres, convirtiéndose en una herramienta poderosa para la comunicación visual y la planificación. Una característica clave de esta sesión fue la interfaz de usuario interactiva desarrollada dentro del motor de juegos. Esta interfaz permitió a los participantes manipular visualmente los datos, ajustar los parámetros de simulación y observar directamente los efectos en el modelo virtual del campus. Esta interacción práctica es importante para entender los impactos espaciales y físicos de las inundaciones potenciales, proporcionando un medio tangible para que los interesados interactúen con datos complejos y simulaciones.

#### Figura 5

Conferencia y taller en Gainesville Florida sobre integración de motores de videojuegos para simulación de desastres naturales



Nota. Elaboración propia.

## **4. Conclusiones**

La integración de IA, ciencia de datos, motores de juegos y análisis espacial en el congreso Resiliencia en Ambientes Urbanos hacia Ciudades Sostenibles SDG demostró avances significativos en las estrategias de resiliencia ante desastres, particularmente en la gestión de riesgos de inundaciones urbanas.

### **4.1. Capacidades predictivas y reactivas mejoradas**

La implementación de la IA y la ciencia de datos ha revolucionado la capacidad de analizar y procesar conjuntos de datos complejos, mejorando tanto el análisis predictivo como las estrategias reactivas durante los escenarios de desastres. La evolución desde sistemas basados en reglas hasta redes neuronales avanzadas ha permitido una respuesta y planificación ante desastres más efectiva y eficiente.

### **4.2. Visualización y simulaciones interactivas**

El uso de motores de juegos en la gestión de desastres ha demostrado ser una herramienta útil. Al procesar datos alfanuméricos y mapearlos a geometrías visuales dentro de las simulaciones, estas herramientas ofrecen representaciones dinámicas que hacen que los escenarios complejos sean accesibles y navegables a través de interfaces amigables para el usuario. Esto mejora la comprensión y el compromiso de los interesados en los procesos de planificación de desastres.

### **4.3. Evaluación y gestión de riesgos detallada**

La aplicación práctica del análisis espacial y el mapeo participativo en la creación de simulaciones de riesgo de inundaciones ha permitido una evaluación más detallada e inmersiva de los riesgos de inundación. Este enfoque ha facilitado la creación de simulaciones realistas de escenarios de inundación, proporcionando datos esenciales que pueden ser explorados e investigados interactivamente para una mejor preparación.

### **4.4. Aplicación práctica y compromiso de los interesados**

La metodología del taller proporcionó experiencia práctica con tecnologías de vanguardia, permitiendo a los participantes aplicar directamente conceptos teóricos en un entorno práctico. La integración de los datos recopilados a través de la detección de objetos y motores de juegos para visualización y simulación en 3D no solo ha demostrado la capacidad de estas tecnologías,

sino que también ha mejorado el compromiso de los interesados al permitirles interactuar con los datos y visualizar los impactos potenciales de los desastres en tiempo real.

#### **4.5. Compromiso amplio en la preparación ante desastres**

El enfoque integrado facilitado por el taller ha hecho que los datos de alto nivel sean accesibles y accionables, proporcionando las herramientas necesarias para que los interesados discutan, debatan y planifiquen la resiliencia urbana de manera efectiva. Esto ha sentado una base para la innovación continua en el campo de la gestión de desastres, enfatizando la importancia de la tecnología en el desarrollo de entornos urbanos resilientes.





# Taller sobre Resiliencia y patrimonio

*María Eugenia Sigüencia Ávila*  
Universidad de Cuenca

*Whittaker Schroder*  
Universidad de Florida

---

## 1. Objetivos

- Explorar cómo la preservación e integración del patrimonio en la planificación urbana y las estrategias de gestión de desastres pueden fomentar comunidades más resilientes.
- Discutir formas innovadoras de integrar consideraciones patrimoniales en la planificación urbana, la gestión de desastres y las estrategias de construcción de resiliencia para un futuro más sostenible y culturalmente rico.
- Comparar métodos digitales y tradicionales para documentar el patrimonio construido.

## 2. Enfoque teórico

### 2.1. Patrimonio cultural: definición y dimensiones

El patrimonio cultural abarca las tradiciones, valores y materiales transmitidos a lo largo de generaciones. Incluye aspectos tangibles, como la arquitectura, los objetos y los paisajes, y aspectos intangibles, como el folclore, la música y los rituales. Este patrimonio moldea nuestra identidad, nos conecta con nuestra historia y ancestros, y juega un papel crucial en el orgullo y la continuidad de la comunidad. Los estudios académicos destacan la naturaleza multifacética del patrimonio cultural, subrayando su importancia educativa, económica y social dentro de las sociedades.

El patrimonio tangible incluye objetos físicos, como monumentos y sitios arqueológicos. La Ciudad Prohibida, en China, es un ejemplo de destreza arquitectónica, mientras que el patrimonio subacuático, como el del Naufragio en Cayo Hueso, destaca narrativas históricas (Figuras 1 y 2). El patrimonio intangible, reconocido por la Convención de la UNESCO para la Salvaguardia del Patrimonio Cultural Inmaterial (2003), incluye prácticas y tradiciones como el tallado de máscaras boruca en Costa Rica (Figura 3), que reflejan rituales culturales y valores sociales. Ambas formas de patrimonio muestran la riqueza de la creatividad y la tradición humana a través de diferentes civilizaciones.

**Figura 1**

La Ciudad Prohibida, China



Nota. Tomado de Adobe Stock en China (2026).

**Figura 2**

Patrimonio subacuático El Naufragio, Cayo Hueso, Florida



Nota. Tomado de NBC News (2026).

**Figura 3**

Tallado de máscaras boruca, Costa Rica



Nota. Tomado de Borucacostarica.org (2026).

## **2.2. Patrimonio cultural en Estados Unidos y Ecuador**

Estados Unidos y Ecuador ofrecen perspectivas distintas, pero complementarias sobre el patrimonio cultural. En Estados Unidos el patrimonio se caracteriza por una mezcla de tradiciones indígenas, arquitectura colonial y expresiones culturales modernas. Estados Unidos

alberga 26 sitios del Patrimonio Mundial de la UNESCO (2025), que incluyen propiedades culturales, naturales y mixtas. Sitios como Taos Pueblo, en Nuevo México (Figura 4), resaltan el legado perdurable de las culturas nativas americanas, mientras que monumentos como la Estatua de la Libertad reflejan la identidad nacional y la historia de la inmigración.

Por otro lado, Ecuador cuenta con un rico patrimonio que abarca civilizaciones precolombinas, arquitectura colonial y prácticas intangibles vibrantes. Con cinco sitios del Patrimonio Mundial de la UNESCO (2025), las contribuciones de Ecuador incluyen propiedades culturales y naturales, como el centro histórico de Cuenca (Figura 5), declarado Patrimonio Mundial en 1999, que ejemplifica la fusión de influencias indígenas y españolas en el diseño urbano. El patrimonio inmaterial de Ecuador incluye tradiciones como el baile de la marimba y la elaboración de sombreros de paja toquilla, que reflejan la profunda conexión entre las prácticas culturales y la identidad comunitaria.

Estas dos naciones muestran cómo el patrimonio sirve como depósito de historia e identidad. Durante las actividades del taller, los diversos ejemplos patrimoniales de Estados Unidos y Ecuador se utilizaron como fuentes para comprender y analizar la naturaleza multifacética del legado cultural, permitiendo a los participantes extraer perspectivas distintas pero interconectadas.

**Figura 4**  
Taos Pueblo



Nota. Elaboración propia.

**Figura 5**

Centro histórico de Cuenca



Nota. Tomado de iStock (2016).

### **2.3. Patrimonio y resiliencia urbana**

La resiliencia urbana implica la capacidad de las ciudades para resistir y recuperarse de adversidades. La integración del patrimonio cultural en este marco fortalece la cohesión social y la sostenibilidad ambiental. El patrimonio proporciona un sentido de identidad y continuidad, fomentando la resiliencia comunitaria frente a los desafíos urbanos. Las investigaciones demuestran que las ciudades que aprovechan sus activos históricos y culturales pueden gestionar mejor los desastres, facilitar la recuperación y garantizar un desarrollo más sostenible.

La reconstrucción del centro histórico de Varsovia tras la Segunda Guerra Mundial ejemplifica el papel del patrimonio en la resiliencia urbana (Figura 6). Este esfuerzo, que tuvo como objetivo restaurar el legado arquitectónico de la ciudad, demostró la dedicación de la comunidad a preservar la identidad cultural. El trabajo de Pickett, Cadenasso y McGrath (2013) enfatiza el papel del patrimonio en los ecosistemas urbanos adaptativos.

**Figura 6**

Centro histórico de Varsovia antes y después de la Segunda Guerra Mundial



Nota. Tomado de Artinsociety (2026).

## 2.4. Desafíos del patrimonio y la resiliencia

Uno de los desafíos clave para integrar el patrimonio y la resiliencia es equilibrar la preservación con el desarrollo urbano y mitigar los riesgos para los sitios patrimoniales. Tomando como referencia las naciones antes mencionadas, por ejemplo, el huracán Irma en 2017 impactó significativamente los recursos culturales en Florida y el sureste de los Estados Unidos (Figura 7). Monumentos históricos como los de Key West y St. Augustine sufrieron daños por viento, inundaciones y erosión, lo que demuestra la vulnerabilidad de los sitios patrimoniales frente a los desastres naturales. Los esfuerzos por documentar y preservar estos sitios antes y después del huracán Irma ofrecieron valiosas lecciones de resiliencia. El uso de herramientas como la fotogrametría, escaneo láser 3D e imágenes de drones permitió documentar en detalle los daños y desarrollar estrategias de restauración informadas. Por ejemplo, el proyecto Story Map del Servicio de Parques Nacionales destacó los recursos culturales afectados por los huracanes Irma y María, ofreciendo una plataforma digital para evaluar riesgos y priorizar intervenciones (Figura 8).

**Figura 7**  
Huracán Irma, 2017



Nota. Tomado de WSJ.org (2026).

**Figura 8**  
Proyecto Story Map del Servicio de Parques Nacionales



Nota. Tomado de Documented Resources Impacted by Hurricanes Irma and Maria

**Figura 9**

Antes (2012) y después (2024) del incendio del Seminario San Luis en Cuenca, Ecuador



Nota. Tomado de El Universo (2026).

Los desastres causados por el ser humano también plantean importantes desafíos a la resiliencia del patrimonio. Un ejemplo notable es el incendio en el Seminario San Luis, en Cuenca, provocado por fuegos artificiales en 2012. Este evento dañó severamente la estructura histórica, evidenciando su riesgo frente a las actividades humanas y la necesidad de medidas preventivas, como planes de gestión de incendios y educación comunitaria sobre la protección del patrimonio (Figura 9). El proceso de restauración del Seminario San Luis combinó métodos de construcción tradicionales con técnicas modernas, subrayando la importancia de salvaguardar la autenticidad mientras se incorporan estrategias de resiliencia.

Los desastres naturales, como el huracán Irma, y los eventos causados por el ser humano, como el incendio en el Seminario San Luis, marcan la necesidad de estrategias adaptativas que combinen conocimientos tradicionales con tecnologías modernas, ya que estas no solo apoyan al momento de su recuperación, sino que también sirven como medidas preventivas frente a futuros desastres.

Otro desafío importante es la competencia entre las prioridades del crecimiento económico y la conservación del patrimonio. Ciudades como Kioto y Venecia, que enfrentan el turismo, la modernización y la preservación, destacan el delicado equilibrio entre proteger la identidad cultural y fomentar la vitalidad urbana. Además, abordar el cambio climático es cada vez más crucial, ya que el aumento del nivel del mar, las inundaciones y los eventos climáticos extremos afectan desproporcionadamente a los paisajes urbanos históricos.

### 3. Metodología del taller y materiales utilizados

El taller Resiliencia en Entornos Urbanos, en su sección dedicada al patrimonio y la resiliencia, invitó a los participantes a explorar la interacción entre estos conceptos mediante una combinación de discusiones teóricas y actividades prácticas. Durante tres horas, los asistentes reflexionaron sobre el valor del patrimonio cultural, tanto tangible como intangible, y participaron en tres dinámicas diseñadas para profundizar su comprensión de los retos y oportunidades que presenta la integración del patrimonio en la planificación para la resiliencia urbana. En la primera actividad, se llevó a cabo una discusión sobre los valores personales asociados al patrimonio, en la cual los participantes compartieron sus perspectivas y experiencias individuales.

Las siguientes actividades se centraron en la exploración y documentación de sitios patrimoniales desde múltiples enfoques. En la segunda actividad, los participantes analizaron conjuntos de datos digitales de Cedar Key a través de la interfaz Potree, permitiéndoles navegar nubes de puntos digitales y evaluar riesgos estructurales y ambientales en sitios patrimoniales. En tercera y última actividad, se integraron métodos tradicionales y modernos de documentación: desde mediciones manuales y bocetos hasta el uso de aplicaciones de fotogrametría, permitiendo una documentación integral del espacio en donde se desarrolló el evento y un mapeo sensorial basado en los cinco sentidos. Los materiales utilizados incluyeron conjuntos de datos digitales, distómetros, herramientas de dibujo y tecnologías móviles. Las actividades en subgrupos promovieron el aprendizaje colaborativo, enfatizando la importancia de combinar enfoques multidimensionales para comprender y conservar entornos patrimoniales.

### 4. Resultados

#### 4.1. Resultados de la Actividad 1: introducción y discusión sobre el valor del patrimonio

La actividad introductoria reveló la importancia de las narrativas personales relacionadas con el patrimonio, destacando cómo los valores patrimoniales individuales y colectivos se entrelazan. Los participantes compartieron reflexiones diversas sobre el patrimonio tangible e intangible, a menudo arraigadas en experiencias profundamente personales. Por ejemplo, muchos resaltaron la importancia de sus propias casas o las casas de sus padres, enfatizando estos espacios como anclas tangibles de memoria e identidad. Otros reflexionaron sobre elementos intangibles, como recetas tradicionales, rituales familiares e historias transmitidas de generación en generación.

Estas discusiones demostraron cómo el patrimonio se experimenta a menudo desde la perspectiva única de cada individuo, mezclando elementos materiales e inmateriales para formar una comprensión integral del legado cultural.

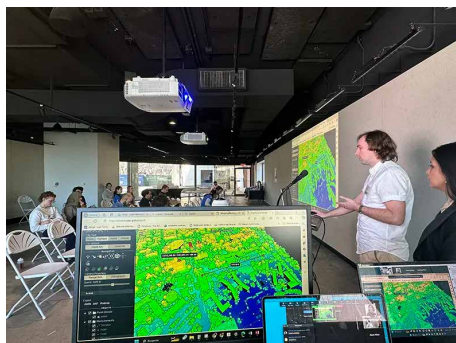
## 4.2. Resultados de la Actividad 2: exploración digital de sitios patrimoniales

Los participantes utilizaron herramientas digitales para evaluar los riesgos en los sitios patrimoniales. La interfaz Potree permitió un análisis preciso de las vulnerabilidades estructurales y ambientales, demostrando el potencial de las tecnologías digitales en la conservación del patrimonio. Durante la actividad, los participantes exploraron conjuntos de datos de Cedar Key y sitios patrimoniales en riesgo, identificando riesgos ambientales específicos como la erosión y las inestabilidades estructurales (Figuras 10 y 11), así como realizando simulaciones de riesgos de carácter ambiental. Realizaron mediciones dentro del entorno digital y llevaron a cabo exploraciones detalladas para mapear áreas más vulnerables.

Además, los participantes trabajaron de manera colaborativa para interpretar los datos espaciales, señalando características que requerían protección o un estudio más profundo. Esta experiencia práctica ayudó a conectar el conocimiento teórico con aplicaciones prácticas, mejorando su capacidad para evaluar y documentar eficazmente los riesgos del patrimonio. Las mediciones y observaciones detalladas realizadas durante la actividad se complementaron con ideas sobre cómo estas tecnologías podrían adaptarse a otros contextos de conservación patrimonial.

**Figura 10**

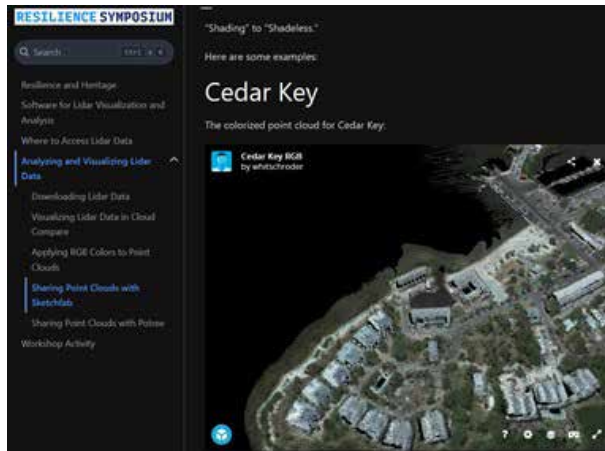
Presentación de la actividad



Nota. Tomado de Resilience Symposium (2025).

**Figura 11**

Interfaz Potree con conjuntos de datos de Cedar Key



Nota. Tomado de Resilience Symposium (2025).

### 4.3. Resultados de la Actividad 3: exploración manual y digital del espacio

Las actividades de exploración manual y digital enfatizaron la naturaleza complementaria de los métodos tradicionales y modernos. Los participantes se dividieron en tres grupos, cada uno centrado en un enfoque diferente para explorar y documentar el sitio en donde se desarrolló el evento, como una simulación de un sitio patrimonial:

- Fotogrametría en iPhone y escaneo láser: este grupo utilizó herramientas de fotogrametría para crear modelos 3D detallados del espacio, capturando su estructura física con precisión. El proceso permitió a los participantes visualizar y analizar relaciones espaciales y características estructurales de manera digital.
- Grupo de medición: utilizando distómetros y otras herramientas manuales, este grupo se centró en mediciones físicas precisas del sitio. Sus esfuerzos fueron fundamentales para la creación de planos para garantizar una comprensión táctil de las dimensiones espaciales.

- Grupo de mapeo sensorial: este grupo exploró el espacio utilizando sus cinco sentidos, creando un mapa subjetivo basado en lo que podían ver, escuchar, tocar, oler y, en algunos casos, saborear. Este enfoque proporcionó una comprensión íntima del sitio, destacando elementos intangibles que a menudo se pasan por alto en los análisis técnicos.

El intercambio de hallazgos entre los grupos fue una parte crucial de la actividad. El trabajo de cada grupo complementó al de los demás, combinando mediciones precisas, modelos digitales detallados y experiencias sensoriales subjetivas para formar una comprensión integral del sitio patrimonial. Los participantes reportaron que la integración de estos métodos diversos mejoró su apreciación de la complejidad del sitio y enriqueció su experiencia de aprendizaje.

## 5. Conclusiones

El taller evidenció el papel del patrimonio en la resiliencia urbana, resaltando su valor como pilar fundamental para preservar la identidad y continuidad de las comunidades. A través de metodologías diversas, como la fotogrametría, el modelado digital, el mapeo sensorial y las mediciones manuales, los participantes comprendieron la importancia de integrar enfoques innovadores y tradicionales en la conservación patrimonial. El uso de herramientas digitales, como el escaneo láser 3D y la interfaz Potree, permitió identificar vulnerabilidades y evaluar riesgos estructurales y ambientales con gran precisión. Sin embargo, la combinación con métodos tradicionales subrayó la necesidad de equilibrar la innovación con prácticas consolidadas para una documentación más completa.

La colaboración entre la Universidad de Florida y la Universidad de Cuenca resaltó la importancia de perspectivas interculturales en la conservación del patrimonio y la resiliencia. Los estudios de caso, desde el impacto del huracán Irma en Florida hasta el incendio del Seminario San Luis en Ecuador, demostraron tanto las vulnerabilidades compartidas como las oportunidades de innovación y cooperación.

La integración del patrimonio en la resiliencia urbana requiere educación, participación comunitaria y políticas efectivas. La apropiación local del patrimonio y la colaboración interdisciplinaria son esenciales para protegerlo ante los desafíos de la globalización y el cambio climático, asegurando su preservación a largo plazo.

## Referencias bibliográficas

- Pickard, R. R. A. (2018). *Heritage and Resilience: Issues and Opportunities for Reducing Disaster Risks*.
- Pickett, S. T. A.; Cadenasso, M. L.; McGrath, B. (2013). *Resilience in Ecology and Urban Design*.
- UNESCO. (2003). *Convención para la Salvaguardia del Patrimonio Cultural Inmaterial. Recursos para el taller*. Disponible en <https://whitschroder.github.io/symposium/intro.html>

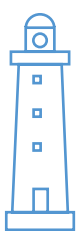
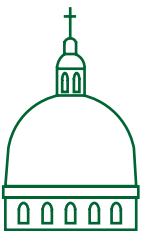
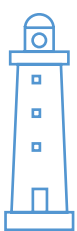
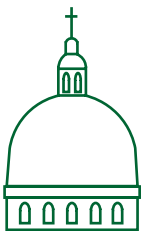
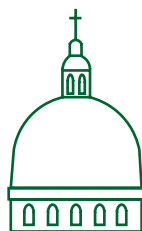
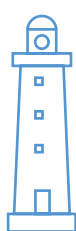
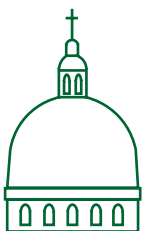
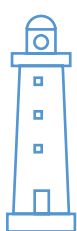
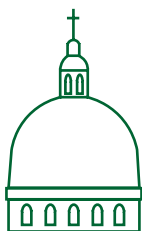
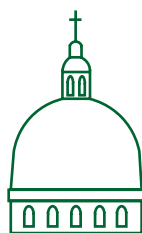
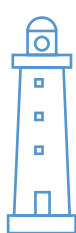
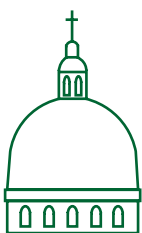
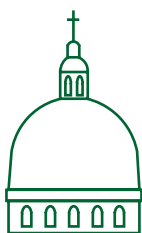
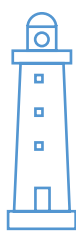
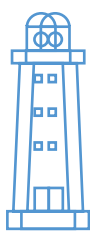
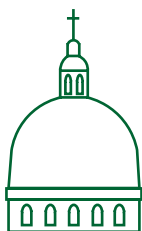
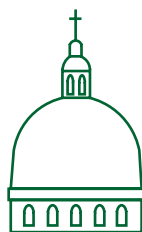
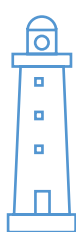
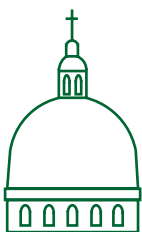
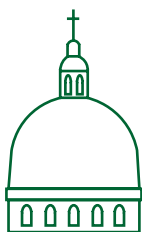


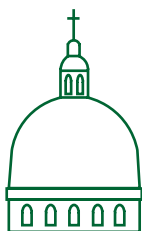
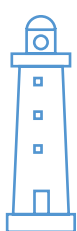
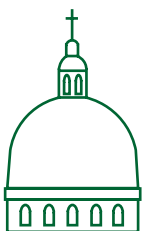
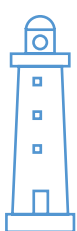
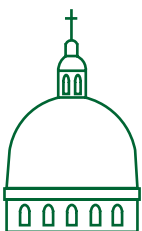
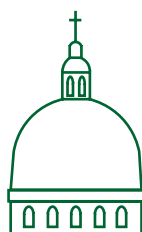
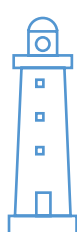
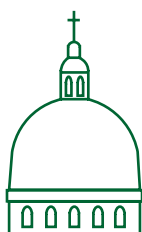
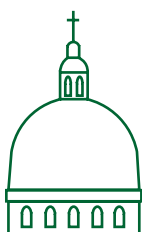
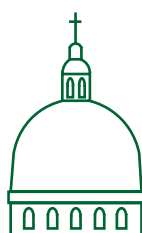
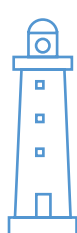
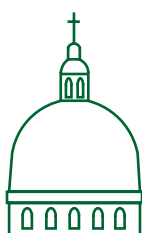
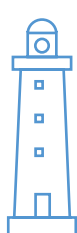
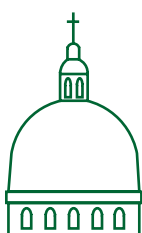
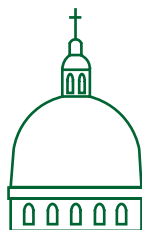
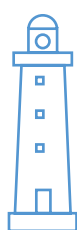
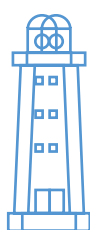
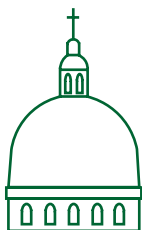
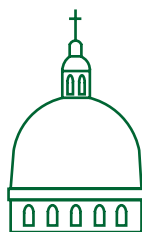
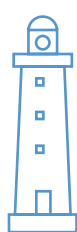
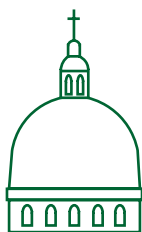
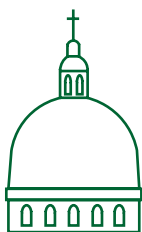
## **Clausura del taller: impulsando la resiliencia en entornos urbanos**

La serie de talleres Resiliencia en Entornos Urbanos hacia Ciudades Sostenibles ODS reunió a académicos, profesionales y miembros de la comunidad para fomentar un diálogo transdisciplinario centrado en abordar los desafíos urbanos y ambientales urgentes. Al dismantelar las barreras disciplinarias, los participantes se involucraron en la resolución colaborativa de problemas, enfatizando la necesidad crítica de enfoques integrales para la resiliencia climática. Una conclusión clave de estos talleres fue el papel esencial del lenguaje y la comunicación en la superación de las brechas disciplinarias. El intercambio de conocimientos eficaz depende de metodologías claras para transmitir información compleja. Las herramientas de visualización y los métodos interactivos demostraron ser invaluable para asegurar que diversas partes interesadas pudieran alcanzar un entendimiento común, haciendo que los datos fueran más accesibles y procesables.

Estos talleres reforzaron un entendimiento común a través de cuatro temas principales: participación comunitaria, planificación de resiliencia orientada al futuro, gestión de desastres impulsada por IA y preservación del patrimonio. La construcción de resiliencia requiere un esfuerzo colaborativo entre disciplinas, tecnologías y comunidades. Al integrar la investigación avanzada con conocimientos locales, podemos crear entornos urbanos que sean adaptables, sostenibles y profundamente conectados con las comunidades a las que sirven. Esta serie de talleres es solo un paso en ese viaje: una iniciativa que esperamos inspire la colaboración y la acción continua hacia el desarrollo de ciudades y comunidades más resilientes a nivel mundial.

*Karla Saldaña Ochoa*





Esta obra constituye un compendio de experiencias y reflexiones surgidas del Simposio Internacional de Resiliencia en el Entorno Construido, en sus ediciones I y II, fruto de una colaboración estratégica entre la Universidad de Cuenca (Ecuador) y la Universidad de Florida (EE. UU.). A través de varios enfoques, el libro aborda los desafíos contemporáneos que enfrentan las ciudades y territorios en un contexto de creciente vulnerabilidad climática, social y económica. El texto se estructura en tres ejes complementarios: la visión institucional y política, la investigación científica y la práctica colaborativa. En la primera parte, se exponen dimensiones críticas como la movilidad sostenible, la gestión de riberas de ríos, la transición energética y el uso de inteligencia artificial para la gestión de riesgos, desde una perspectiva científica. La segunda parte recoge talleres prácticos realizados en la Universidad de Florida y Cedar Key, donde se vincula la resiliencia comunitaria, el rol de la sociedad como generador de conciencia y vías de adaptabilidad, la importancia del patrimonio cultural y el uso de tecnologías digitales como herramientas de participación ciudadana. Más allá de los estudios de caso locales, la obra dialoga con debates globales sobre sostenibilidad y justicia climática, proyectando sus hallazgos como un marco de referencia para otras regiones. Resiliencia en el entorno construido no es solo un campo de estudio académico; es un llamado a la acción colectiva y a la construcción de un futuro urbano capaz de reevaluarse constantemente transformando las crisis en oportunidades de adaptación y cambio positivo.

ISBN: 978-9978-14-678-1



9 789978 146781

**UCUENCA**