

NegevPulse

Cartografía digital colaborativa para mejorar la visibilidad de las aldeas beduinas no reconocidas

HADAS CHASSIDIM¹, TASNEEM SHNAIWER¹, ISRAA ALGERGAWI¹, BATEL YOSSEF RAVID²

¹Software Engineering Department, Shamoon College of Engineering, Beer Sheva, Israel

²Negev School of Architecture, Shamoon College of Engineering, Beer Sheva, Israel

PALABRAS CLAVE	RESUMEN
<i>Gemelo digital urbano</i> <i>Crowdsourcing</i> <i>Comunidades</i> <i>beduinas</i> <i>Mapas digitales</i> <i>SIG participativo</i> <i>Asentamientos</i> <i>informales</i>	<i>Los sistemas de gemelos digitales urbanos (UDT) son cada vez más importantes para la gobernanza urbana basada en datos, pero su eficacia depende de la disponibilidad de conjuntos de datos completos. En los asentamientos informales, donde no hay datos oficiales, los UDT tienen dificultades para funcionar. Este artículo presenta NegevPulse, un sistema de cartografía digital participativa diseñado para las aldeas beduinas no reconocidas del Negev, en Israel. Al integrar los conocimientos de la comunidad a través de un mecanismo de crowdsourcing basado en la confianza, la plataforma genera datos espaciales fiables que facilitan la navegación y el acceso en casos de emergencia. El estudio destaca cómo la cartografía participativa puede abordar la pobreza de datos y ampliar la aplicabilidad de los UDT en espacios no documentados, promoviendo así la visibilidad y la justicia espacial.</i>

Recibido: 31 / 08 / 2025

Aceptado: 07 / 10 / 2025

1. Introducción

En los últimos años, las tecnologías de gemelos digitales urbanos (UDT) se han convertido en uno de los marcos más influyentes en la planificación, la gobernanza y la investigación urbanas. Un UDT se define, por lo general, como una réplica digital dinámica, basada en datos y actualizada de forma continua, de un sistema urbano, capaz de simular el funcionamiento de las infraestructuras, supervisar el rendimiento urbano y apoyar la toma de decisiones a distintas escalas (Grieves y Vickers, 2017; Nohta et al., 2021). Los gobiernos, los municipios y los actores privados emplean cada vez más estos modelos para optimizar la asignación de recursos, predecir escenarios futuros y mejorar los servicios a los ciudadanos. Sin embargo, la promesa de los UDT se basa fundamentalmente en la disponibilidad de conjuntos de datos estructurados, fiables y completos. Cuando los datos son insuficientes, incompletos o controvertidos, el gemelo digital pierde gran parte de su aplicabilidad, lo que plantea cuestiones críticas sobre su inclusividad y alcance. Este fenómeno, a menudo denominado «*pobreza de datos*», es especialmente grave en los asentamientos informales o no reconocidos, donde grandes poblaciones quedan sistemáticamente excluidas de las estadísticas oficiales, los registros catastrales y las infraestructuras digitales.

Este artículo se centra en la región del Negev, en Israel, un lugar que ilustra claramente las consecuencias de la pobreza de datos. El Negev alberga a decenas de miles de residentes beduinos que viven en lo que se conoce como «aldeas no reconocidas». Estas comunidades, que carecen de reconocimiento oficial por parte del Estado, están excluidas de los planes estatutarios, los registros catastrales y la mayoría de los registros municipales (Yiftachel et al., 2016). La falta de reconocimiento genera una serie de retos en cadena: a las aldeas se les niega la conexión a las redes de electricidad y agua, sus carreteras siguen sin asfaltar y tienen un acceso limitado o nulo a los servicios sanitarios, la recogida de residuos o el transporte público. Más allá de estas carencias infraestructurales, su exclusión también es digital. En las plataformas cartográficas oficiales, como GovMap de Israel, las aldeas no reconocidas suelen aparecer solo como huellas de edificios dispersos, desprovistas de nombres de calles, sistemas de numeración o redes de carreteras. En la práctica, esta invisibilidad se traduce en graves dificultades para la navegación, los servicios de emergencia y la movilidad cotidiana. Las ambulancias, los camiones de bomberos y las unidades policiales informan de retrasos críticos en el acceso a las aldeas no reconocidas debido a la falta de información geográfica precisa. Para los residentes, la ausencia de visibilidad digital agrava el aislamiento, socava la seguridad y refuerza la desigualdad.

Este reto no es exclusivo del Negev. En todo el Sur Global, los asentamientos informales suelen permanecer invisibles digitalmente: Kibera, en Nairobi, estuvo ausente durante mucho tiempo de los mapas oficiales hasta que intervinieron iniciativas de cartografía comunitaria; las favelas de Brasil carecen con frecuencia de nombres de calles y numeración, lo que complica la prestación de servicios; y los campos de refugiados de Jordania y Líbano siguen apareciendo como zonas en blanco en los sistemas catastrales nacionales (Bennett et al., 2020; UNITAR, 2023a; UNITAR, 2023b). Estos ejemplos ponen de relieve que la pobreza de datos es un fenómeno mundial. En todo el mundo, grandes poblaciones viven en barrios que son plenamente funcionales en la práctica, pero que están borrados en forma digital. Por lo tanto, la aparición de la cartografía digital participativa se ha reconocido cada vez más como una intervención necesaria para hacer visibles a las comunidades invisibles, salvando las diferencias entre los conocimientos locales y las infraestructuras oficiales.

Si bien estas iniciativas demuestran la relevancia mundial de la cartografía participativa, a menudo se limitan a la producción de datos geoespaciales de referencia o a campañas puntuales. Por el contrario, NegevPulse introduce un sistema de validación ponderado por la confianza que integra las jerarquías de conocimiento de la comunidad en la propia infraestructura digital. Esta innovación sociotécnica no solo garantiza la precisión, sino que también mejora la legitimidad dentro de la comunidad, ofreciendo un modelo replicable para otros contextos en los que la pobreza de datos se cruza con un reconocimiento controvertido.

En este contexto, el presente estudio se guía por la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo puede el mapeo digital participativo abordar la pobreza de datos en los asentamientos informales y ampliar la aplicabilidad de los sistemas Urban Digital Twin a los espacios no documentados?

Para abordar esta pregunta, el artículo presenta NegevPulse, una plataforma de cartografía digital participativa desarrollada para capturar y formalizar el conocimiento geográfico de las aldeas beduinas no reconocidas. En esencia, NegevPulse aprovecha el crowdsourcing como un mecanismo tanto tecnológico como social. Los residentes contribuyen activamente con información espacial — rutas, puntos de referencia y lugares de interés— a través de una aplicación móvil, mientras que un proceso de validación basado en la confianza garantiza la calidad de los datos, otorgando mayor peso a las contribuciones de los «superlocales» (personas mayores y residentes de larga duración) que a las de los nuevos usuarios. De esta manera, el sistema alinea la validación digital con las jerarquías sociales existentes de conocimiento y autoridad. A diferencia de los modelos convencionales de crowdsourcing que se basan en votos mayoritarios o contribuciones externas, este enfoque fundamenta la representación digital en la propia comunidad, lo que garantiza tanto la precisión como la legitimidad.

Al integrar el conocimiento local directamente en las infraestructuras digitales, NegevPulse transforma las prácticas de navegación vernáculas en conjuntos de datos geoespaciales estructurados. En las aldeas beduinas, las indicaciones suelen basarse en referencias a puntos de referencia, descripciones orales y señales relacionales («gire a la izquierda después de la escuela», «la mezquita antes de la clínica»), en lugar de direcciones formales. NegevPulse captura estas prácticas y las convierte en datos cartográficos estandarizados que pueden servir tanto a los residentes como a los servicios de emergencia. De este modo, el sistema demuestra que el crowdsourcing no es un complemento periférico, sino la columna vertebral de la aplicabilidad del gemelo digital en contextos de pobreza de datos.

La contribución de este artículo es doble. En primer lugar, aborda una laguna teórica al situar los asentamientos informales —en particular, las aldeas beduinas no reconocidas del Negev— dentro del discurso de los gemelos digitales urbanos. Aunque gran parte de la bibliografía sobre el tema se ha centrado en entornos urbanos altamente digitalizados, este estudio demuestra que el concepto puede extenderse también a espacios de ausencia, donde la pobreza de datos constituye la condición central. En segundo lugar, aporta una innovación práctica al presentar el diseño y desarrollo de NegevPulse como modelo para integrar el crowdsourcing participativo y basado en la confianza en las infraestructuras digitales.

La estructura del artículo refleja esta doble contribución. La sección 2 revisa la bibliografía relevante sobre gemelos digitales urbanos, SIG participativos, crowdsourcing y datos no documentados. La sección 3 presenta el estudio de caso del Negev, centrándose en la aldea de Wadi al-Na'am como ejemplo paradigmático de pobreza de datos. La sección 4 detalla la metodología y el

diseño del sistema NegevPulse, incluido su mecanismo de validación basado en la confianza. La sección 5 presenta los resultados de la encuesta y la cartografía que sirvieron de base para el desarrollo de la aplicación. La sección 6, que combina el debate y la conclusión, reflexiona sobre las implicaciones más amplias de la cartografía participativa para ampliar la aplicabilidad de los UDT a los asentamientos informales.

En última instancia, este estudio sostiene que abordar la pobreza de datos requiere no solo soluciones tecnológicas, sino también sistemas socialmente adaptados que valoren e integren el conocimiento local. Al centrarse en el crowdsourcing como herramienta para producir datos geoespaciales fiables, NegevPulse destaca cómo la cartografía digital participativa puede transformar comunidades que actualmente son invisibles en los registros oficiales en lugares representados digitalmente, navegables y reconocidos. Al hacerlo, demuestra que los sistemas Urban Digital Twin pueden —y deben— evolucionar para incluir espacios no documentados, ampliando su función de instrumentos de optimización a mecanismos de equidad e inclusión.

2. Revisión bibliográfica

La integración de las tecnologías digitales en la gobernanza urbana ha generado nuevos paradigmas para representar y gestionar las ciudades. Entre ellos, el gemelo digital urbano (UDT) se ha convertido en un concepto central, definido como una réplica dinámica y basada en datos de los sistemas urbanos, diseñada para simular, predecir y apoyar la toma de decisiones (Grievies y Vickers, 2017; Nocht et al., 2021). Aunque son muy apreciados, la mayoría de los UDT se han configurado desde un enfoque tecnocéntrico, que hace hincapié en la optimización y la eficiencia, mientras que descuida cuestiones de equidad, representación y justicia. Como sostienen cada vez más los estudiosos, las infraestructuras digitales nunca son neutrales, sino que incorporan supuestos particulares sobre qué datos se tienen en cuenta, qué voces se representan y qué espacios se hacen visibles.

Para abordar estas deficiencias, Yossef Ravid y Aharon-Gutman (2023) propusieron la noción de gemelo digital social (SDT), que sitúa el conocimiento local, los indicadores sociales y las prácticas participativas en el centro de las arquitecturas de gemelos digitales. El marco del SDT cuestiona la suposición de que los conjuntos de datos oficiales son objetivos y, en cambio, pone en primer plano los procesos sociales y políticos a través de los cuales se producen los datos (Yossef Ravid y Aharon-Gutman, 2024). Al incorporar explícitamente las dinámicas sociales, este enfoque replantea los UDT no solo como herramientas técnicas para la optimización, sino también como infraestructuras sociopolíticas que deben lidiar con cuestiones de inclusión, representación y poder.

Esta perspectiva se alinea con debates más amplios en el campo de las ciudades inteligentes. La participación, aunque a menudo se promociona como un principio de gobernanza inteligente, con demasiada frecuencia se ha reducido a consultas simbólicas o ejercicios de «marcar casillas» (Cardullo, 2020). Por el contrario, los SIG participativos (PGIS) ofrecen un modelo alternativo que permite a las comunidades traducir las prácticas espaciales cotidianas en conjuntos de datos formales. Los enfoques PGIS se basan en la coproducción entre expertos y residentes, generando conocimientos que enriquecen las infraestructuras digitales y empoderan a las comunidades marginadas (Haklay y Weber, 2008; Rambaldi, 2006).

Partiendo de esta base, estudios recientes destacan la relevancia de los sistemas de apoyo a la planificación vinculados al lugar (PSS) que facilitan la deliberación y mejoran la comunicación entre

las diversas partes interesadas (Weiner et al., 2023). Estos enfoques ponen de relieve que la cartografía participativa no solo consiste en generar datos, sino también en fomentar la comprensión mutua, el diálogo y la legitimidad en los espacios urbanos controvertidos. Al crear marcos de referencia compartidos, los PSS vinculados al lugar refuerzan la capacidad comunicativa de las herramientas de planificación, mejorando así tanto la accesibilidad como la credibilidad del conocimiento espacial digital.

La literatura sobre el crowdsourcing amplía estos argumentos al demostrar cómo las contribuciones distribuidas pueden llenar lagunas críticas en las bases de datos geoespaciales. Desde la influyente noción de Goodchild (2007) de «los ciudadanos como sensores», plataformas como OpenStreetMap han demostrado el potencial de la información geográfica voluntaria (VGI) a gran escala. Sin embargo, en contextos marginados, los métodos convencionales de crowdsourcing, a menudo basados en la votación por mayoría simple, pueden no tener en cuenta las dinámicas de poder locales, las jerarquías culturales o los entornos con datos escasos. Esto ha dado lugar a propuestas de modelos alternativos, como la validación ponderada por la confianza, que alinea los protocolos tecnológicos con las estructuras de autoridad de la comunidad. Por ejemplo, privilegiar las contribuciones de los ancianos o los residentes de larga duración puede mejorar significativamente tanto la precisión como la legitimidad (See et al., 2023; Senarath et al., 2020). Estos modelos demuestran que el crowdsourcing no es solo un mecanismo técnico, sino un proceso sociotécnico que refleja y refuerza las estructuras de gobernanza locales.

La importancia del crowdsourcing es especialmente visible en entornos informales y con escasez de datos. Por ejemplo, el proyecto Map Kibera en Nairobi demostró cómo la cartografía participativa podía transformar un asentamiento «invisible» en una comunidad representada digitalmente, mejorando así la prestación de servicios y el reconocimiento político (Haklay, 2010). En Brasil, la cartografía comunitaria en las favelas ha revelado cómo la ausencia de nombres y números oficiales en las calles complica la entrega del correo, la realización de censos y la respuesta a emergencias, y cómo la cartografía participativa puede ayudar a colmar estas lagunas (Perkins y Dodge, 2008). Del mismo modo, los campos de refugiados en Jordania y el Líbano a menudo han aparecido como espacios en blanco en los sistemas catastrales nacionales, pero las iniciativas lideradas por UNOSAT y otras organizaciones humanitarias han utilizado la cartografía por satélite y la verificación colaborativa para generar conjuntos de datos utilizables (UNITAR, 2023a; UNITAR, 2023b). Estos ejemplos evidencian que la pobreza de datos no se limita a un único contexto, sino que representa un fenómeno global que afecta de manera desproporcionada al Sur Global.

El problema de los datos no documentados o faltantes pone de manifiesto los límites de las infraestructuras digitales convencionales. En numerosos asentamientos no reconocidos o informales, infraestructuras clave, direcciones e incluso comunidades enteras están ausentes de las bases de datos oficiales, lo que da lugar a lo que diversos académicos denominan pobreza de datos o borrado digital. El concepto de «espacios grises» de Yiftachel (2009) captura esta condición: áreas de temporalidad permanente donde los residentes no son ni plenamente reconocidos ni totalmente excluidos, suspendidos entre la legalidad y la ilegalidad. Esta ambigüedad permite a los Estados negar el reconocimiento y los servicios, al tiempo que mantiene a las comunidades bajo la amenaza constante de ser desalojadas. En el Negev, las aldeas beduinas no reconocidas son un ejemplo de estos espacios grises, ya que su ausencia en los mapas y las estadísticas se traduce en una exclusión

sistémica de la planificación, dificultades en la asignación de recursos y retrasos que ponen en peligro la vida en la respuesta a emergencias.

Para abordar estas deficiencias se requiere una innovación tanto conceptual como técnica. Conceptualmente, significa ampliar el discurso sobre los UDT para incluir los espacios informales y no documentados, reconociendo que la pobreza de datos no es un fallo técnico, sino una condición estructural arraigada en la gobernanza y las relaciones de poder. Técnicamente, se trata de desarrollar herramientas que puedan funcionar eficazmente en entornos con datos escasos, integrar las prácticas vernáculas de navegación y validar las contribuciones a través de mecanismos socialmente adaptados. El crowdsourcing, especialmente cuando se diseña para reflejar las jerarquías locales de confianza y autoridad, surge aquí como una estrategia poderosa. A diferencia de los conjuntos de datos convencionales que borran los asentamientos informales, los sistemas de crowdsourcing pueden crear visibilidad desde abajo, traduciendo el conocimiento vivido en infraestructuras digitales que son importantes para la planificación, la respuesta a emergencias y la movilidad cotidiana.

En conjunto, estos debates ponen de relieve que las tecnologías urbanas digitales nunca son sistemas puramente técnicos, sino infraestructuras sociopolíticas que configuran la visibilidad, el poder y la justicia. El marco del gemelo digital social, basado en el SIG participativo, los sistemas de apoyo a la planificación vinculados al lugar, el crowdsourcing adaptado a la cultura y la atención a los datos no documentados, proporciona la base conceptual de este estudio. También enmarca el caso del Negev como una oportunidad para reimaginar cómo las herramientas digitales pueden redistribuir la visibilidad y el acceso en contextos marginados, ampliando así el alcance de los gemelos digitales urbanos desde instrumentos de optimización a mecanismos de inclusión y justicia espacial.

3. Estudio de caso: aldeas beduinas no reconocidas y el caso de Wadi Al-Na'am

En la región del Negev/Naqab, aproximadamente 100 000 beduinos viven en aldeas no reconocidas, lo que representa uno de los ejemplos más destacados de comunidades excluidas de los marcos de planificación oficiales de Israel (Yiftachel, et al., 2016). Estas aldeas no están incluidas en los planes legales y, por lo tanto, no aparecen en los sistemas catastrales gubernamentales ni en los registros municipales. Como resultado, permanecen al margen de la mayoría de las infraestructuras formales y están excluidas de la prestación sistemática de servicios básicos.

La falta de reconocimiento se refleja en la vida cotidiana. La mayoría de las aldeas no reconocidas no están conectadas a la red eléctrica, a la red de agua ni a los sistemas de alcantarillado. Las carreteras suelen estar sin asfaltar y se vuelven difíciles de transitar durante el invierno, lo que dificulta la asistencia a la escuela y retrasa el acceso a la atención médica de urgencia. Los servicios públicos, como la recogida de residuos, las instalaciones sanitarias y el transporte, son mínimos o inexistentes, lo que obliga a los residentes a recurrir a soluciones alternativas, como generadores, paneles solares y vehículos privados.

La falta de reconocimiento también produce lagunas en la representación digital. En los sistemas cartográficos gubernamentales, como GovMap, muchas aldeas solo aparecen parcialmente, si es que aparecen. Incluso cuando se marcan las huellas de los edificios, a menudo se representan como estructuras aisladas sin direcciones, numeración ni redes de carreteras. Esta visibilidad digital parcial no refleja el tejido social y espacial coherente de estas comunidades, que existen en la práctica,

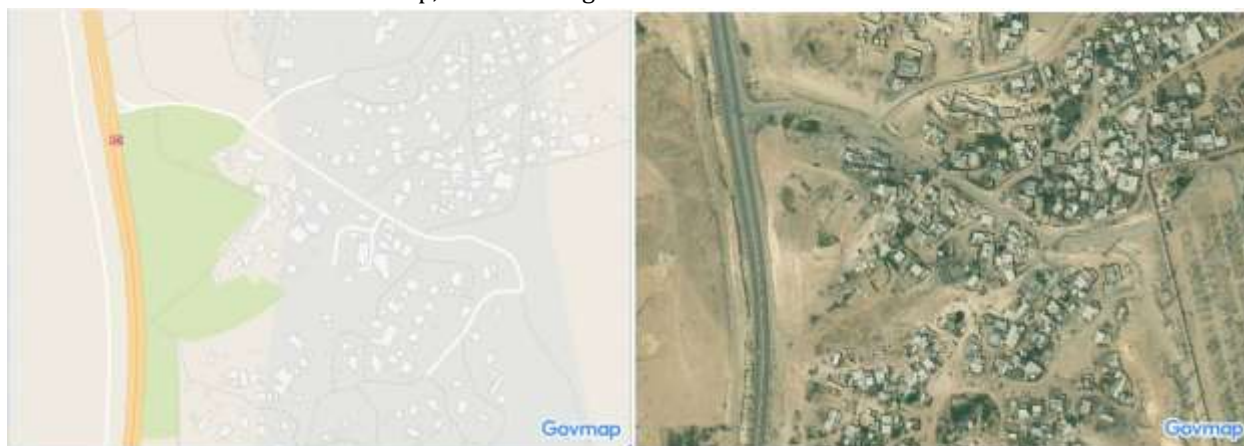
pero siguen estando infrarrepresentadas en los datos oficiales. La falta de información geoespacial fiable tiene implicaciones prácticas, especialmente para los servicios de emergencia y la asignación de recursos, que dependen de mapas precisos.

El caso de Wadi Al-Na'am, una aldea no reconocida situada al este de Be'er Sheva, ilustra esta dinámica de manera concreta. Wadi Al-Na'am, donde viven varios miles de residentes, ha desarrollado redes informales de agrupaciones de viviendas, rutas de circulación e infraestructuras comunitarias. Sin embargo, su ausencia en los marcos de planificación formales la deja sin seguridad de tenencia, sin integración en los sistemas municipales y con un acceso limitado a los servicios esenciales. Wadi Al-Na'am ejemplifica lo que Yiftachel (2009) denomina un espacio gris: una localidad suspendida entre la legalidad y la ilegalidad, tolerada en la práctica pero siempre vulnerable a la expulsión.

Un claro ejemplo de esta brecha se muestra en la figura 1, que juxtapone la capa vectorial GovMap (izquierda) con una ortofoto aérea (derecha). En el mapa vectorial, Wadi Al-Na'am aparece como huellas de edificios dispersos sin ningún sistema de carreteras ni direcciones. Por el contrario, la imagen aérea muestra la realidad vivida en la aldea: un entorno construido coherente con agrupaciones de viviendas, caminos de conexión y espacios cotidianos.

Esta comparación pone de relieve los retos que plantean los datos no documentados. Si bien los sistemas oficiales reconocen las estructuras individuales, no logran captar el asentamiento como una comunidad funcional. La ausencia de una representación digital completa no solo oscurece la lógica espacial de la aldea, sino que también complica la respuesta a emergencias, la planificación y la prestación de servicios. Como sostienen Haas y Tzfadia (2025), esta situación constituye un desplazamiento en el lugar: los residentes permanecen en sus tierras, pero sufren la erosión de sus derechos, su reconocimiento y su seguridad. En este sentido, Wadi Al-Na'am no es una excepción, sino un ejemplo crítico de cómo el borrado digital y el reconocimiento controvertido se entrecruzan para configurar la precariedad de los beduinos en el Negev.

Figura 1. Capa vectorial de GovMap de Wadi Al-Na'am (izquierda) y ortofoto aérea (derecha). Fuentes: GovMap, Portal Cartográfico del Gobierno de Israel.



Fuente: Elaboración propia, 2025.

4. Metodología

El diseño metodológico de este estudio refleja su doble ambición: basar el proyecto en pruebas empíricas del conocimiento espacial local y traducir estos conocimientos en una plataforma tecnológica para la cartografía participativa. Basándose en la bibliografía sobre SIG participativos (Haklay y Weber, 2008; Rambaldi, 2006) y el crowdsourcing basado en la confianza (Senarath et al., 2020), la investigación se estructuró en dos fases complementarias.

4.1. Encuesta: recopilación de datos y análisis de percepciones

En la primera fase, diseñamos y administramos una encuesta basada en SIG dirigida a los residentes y visitantes de Wadi Al-Naam para recopilar información espacial sobre las dificultades de navegación, la familiaridad con los mapas, los retos de la infraestructura y el reconocimiento de puntos de referencia. Utilizando ArcGIS Survey123 Connect, el instrumento incorporó elementos interactivos basados en mapas que permitían a los encuestados marcar puntos, rutas y áreas directamente en el mapa. Estas aportaciones generaron datos geospaciales generados por los participantes que permitieron una caracterización más precisa de las condiciones locales de navegación e infraestructura. El objetivo de esta fase era obtener conocimientos prácticos de la comunidad para informar sobre las mejoras de los servicios públicos de cartografía y orientar la planificación futura de las infraestructuras. En total, 33 personas (15 hombres y 18 mujeres) participaron en la encuesta, 13 residentes y 20 no residentes, lo que proporcionó un conjunto de datos diverso y revelador. La encuesta está disponible en el enlace de ESRI para residentes y para no residentes.

Aunque el tamaño de la muestra ($n=33$) es modesto, se diseñó intencionadamente como un estudio piloto para comprobar la viabilidad de la cartografía participativa en aldeas no reconocidas. El objetivo no era la representatividad estadística, sino captar perspectivas diversas: residentes con un profundo conocimiento local junto con no residentes con puntos de vista externos. Este diseño proporcionó suficiente variedad para identificar los principales retos de navegación, validar el algoritmo ponderado por confianza y generar ideas para orientar el desarrollo futuro de la plataforma NegevPulse. Las investigaciones futuras ampliarán la muestra para evaluar la escalabilidad y la aplicabilidad más amplia.

4.2. Fase 2: Desarrollo de aplicaciones y cartografía colaborativa

La segunda fase se basó en estos hallazgos y cambió el enfoque hacia el desarrollo tecnológico. En este caso, se hizo hincapié en el diseño y la implementación de la plataforma NegevPulse, una herramienta de cartografía digital participativa respaldada por un algoritmo de crowdsourcing ponderado por la confianza. Esta fase demuestra cómo el conocimiento localizado e impulsado por la comunidad puede integrarse sistemáticamente en una infraestructura digital que sirva tanto a los residentes como a los actores externos, como los servicios de emergencia.

4.2.1. Algoritmo de votación basado en la confianza con visibilidad por niveles

Una de las innovaciones fundamentales de la plataforma NegevPulse es el desarrollo y la implementación de un algoritmo de validación comunitaria ponderado por confianza. Este mecanismo se diseñó para garantizar la fiabilidad de los datos espaciales obtenidos mediante

crowdsourcing en contextos en los que no existe una autoridad cartográfica oficial, como en las aldeas no reconocidas. A diferencia de las plataformas convencionales, que tratan todas las aportaciones de los usuarios por igual, NegevPulse distingue a los colaboradores asignándoles ponderaciones de confianza diferenciales en función de su estatus en la comunidad y la precisión de sus mapas.

La plataforma define tres tipos de colaboradores:

- Residentes habituales (ponderación = 1): todos los usuarios con registro básico y un historial mínimo de cartografía.
- Residentes activos (ponderación = 2): usuarios que han contribuido con ≥ 2 puntos de referencia verificados o han alcanzado una precisión de votación $\geq 80\%$ en al menos cinco sesiones de votación.
- Residentes superlocales (ponderación = 4): residentes de larga duración (≥ 5 años) nominados por la comunidad, que han votado correctamente (es decir, en consonancia con la verificación final) al menos 10 veces y han aportado ≥ 2 características verificadas.

Cuando un usuario envía un nuevo punto de referencia o ruta, este pasa a estar en estado pendiente y solo es visible para los miembros registrados de la comunidad. No aparece para los usuarios externos ni los visitantes hasta que se valida. Para alcanzar el estado verificado, una propuesta debe cumplir dos requisitos:

1. Debe recibir votos de al menos cinco usuarios únicos.

2. La suma ponderada de los votos «a favor» debe alcanzar o superar un umbral definido: $T = 5,6$. Esto se calcula utilizando la siguiente fórmula:

Figura 2. Fórmula de validación basada en la confianza para la verificación de características en NegevPulse. La ecuación define la condición umbral para que un punto de referencia o una ruta enviados sean aceptados en función del peso acumulativo de los votos a favor.

$$\sum_{j=1}^{|v|} (w_j \times v_j) \geq T$$

A weight w_i :

$$w_i = \begin{cases} 1 & \text{Regular Resident} \\ 2 & \text{Active Resident} \\ 4 & \text{Superlocal Resident} \end{cases}$$

- A binary vote $v_i \in \{1,2\}$ (reject/accept)
- Counters:
 - c_i : Total votes cast.
 - s_i : Votes matching final verification.

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Estas métricas permiten la asignación dinámica de confianza y la promoción de los usuarios entre los distintos niveles. Por ejemplo, un residente habitual que vote repetidamente en consonancia con el consenso de la comunidad puede ascender al estado de activo o incluso de superlocal.

Este marco basado en la confianza logra un equilibrio entre la apertura y la calidad de los datos, lo que potencia la participación inclusiva y, al mismo tiempo, protege la plataforma de la desinformación o los errores accidentales. Es importante destacar que refleja las jerarquías sociales y la autoridad empírica dentro de la propia comunidad, lo que ofrece un modelo sociotécnico de cartografía que es a la vez sólido y está arraigado culturalmente.

Ecuación 1. Mecanismo de crowdsourcing basado en un algoritmo de votación basado en la confianza

• A weight w_i :

$$w_i = \begin{cases} 1 & \text{Regular Resident,} \\ 2 & \text{Active Resident,} \\ 4 & \text{Superlocal Resident.} \end{cases}$$

• A binary vote $v_j \in \{0, 1\}$ (reject/accept).

• Counters:

- * c_i : Total votes cast.
- * s_i : Votes matching final verification.

Verification Condition:

User Promotion Rules:

1. Regular \rightarrow Active Resident:
 If u_i submits ≥ 2 verified landmarks/routes $\implies w_i \leftarrow 2$.

2. Active \rightarrow Superlocal Resident:
 If $c_i \geq 10 \wedge s_i > 10 \implies w_i \leftarrow 4$.

A landmark/route is verified if the weighted sum of "accept" votes meets threshold $T = 5.6$:

$$\sum_{j=1}^{|V|} w_j \cdot v_j \geq T$$

Fuente: Elaboración propia, 2025.

El modelo basado en la confianza no es puramente técnico, sino que codifica las jerarquías sociales del conocimiento dentro de la comunidad. Al elevar la autoridad de los superlocales y mantener el sistema abierto a todos los residentes, la aplicación refleja la experiencia vivida de las personas más arraigadas en el pueblo. Al mismo tiempo, protege contra la desinformación o las entradas maliciosas, que son preocupaciones comunes en las plataformas abiertas de crowdsourcing.

Además, el modelo integra la sensibilidad cultural: ciertos lugares marcados como social o culturalmente sensibles (por ejemplo, cementerios, espacios de reunión privados) solo son visibles para los residentes, nunca para los usuarios externos. Esta visibilidad selectiva reconoce que la representación digital es también un acto político, que requiere la protección de la autonomía de la comunidad sobre lo que se hace visible y lo que permanece restringido.

4.2.2. Entorno de desarrollo

La aplicación se diseñó como un sistema multiplataforma accesible a través de interfaces web móviles y aplicaciones móviles nativas. El desarrollo se basó en React y React Native para la interfaz de usuario, JavaScript para la lógica del lado del cliente y MongoDB y Node.js para la gestión de datos del backend. La visualización geoespacial fue posible gracias a Leaflet y OpenStreetMap, mientras que Expo Go facilitó la creación rápida de prototipos y las pruebas.

La arquitectura (Figura 3) asegura modularidad, escalabilidad y compatibilidad con el código abierto, lo que permite adaptar la plataforma a otros asentamientos informales. Es importante destacar que el uso de estándares geoespaciales abiertos permite la interoperabilidad con las infraestructuras SIG municipales y humanitarias existentes, lo que reduce la brecha entre la cartografía de base y los conjuntos de datos formales.

Figura 3. Arquitectura técnica de la aplicación NegevPulse, que integra el front-end, el back-end y el procesamiento de datos geoespaciales.



Fuente: Elaboración propia, 2025.

5. Resultados

El capítulo de resultados se organiza en dos partes: los resultados de la encuesta y una descripción de la aplicación.

5.1. Resultados de la encuesta

5.1.1. Conocimiento y apego de los residentes

Como principales conocedores de Wadi al-Na'am, los residentes demostraron un conocimiento excepcionalmente profundo del paisaje del pueblo. En promedio, los encuestados declararon llevar casi tres décadas viviendo en Wadi al-Na'am, y más del 90 % indicó que había vivido allí desde su nacimiento. Esta larga residencia se traduce en un rico acervo de conocimientos sobre puntos de referencia, rutas de circulación y prácticas de orientación espacial.

Los residentes se referían constantemente a puntos de referencia clave de la comunidad cuando guiaban a otras personas por la aldea. El punto de referencia más citado fue la *compañía eléctrica*, mencionada por más del 75 % de los encuestados. Otros puntos de referencia adicionales fueron las tiendas locales, las mezquitas, la entrada de la escuela y la clínica nocturna. Las indicaciones se complementaban a menudo con señales relacionales o sociales, como «*te esperaré*» o «*antes de llegar a la mezquita, gira a la izquierda*», lo que subraya que la navegación no es solo espacial, sino que también está integrada en las prácticas de hospitalidad e interacción social.

Figura 4. Nube de palabras de los términos utilizados por los residentes al dar indicaciones verbales en Wadi al-Na'am



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Los residentes también expresaron una gran disposición a compartir sus conocimientos locales. Más del 60% seleccionó el nivel más alto de participación cuando se les preguntó si contribuirían a las plataformas de cartografía participativa, y un 23% adicional manifestó una fuerte disposición. Este entusiasmo pone de manifiesto tanto la urgencia de abordar las deficiencias infraestructurales como la disposición de la comunidad a participar activamente en soluciones digitales.

5.1.2. Perspectivas de los no residentes y retos de navegación

Por el contrario, los participantes no residentes aportaron una perspectiva externa moldeada por una interacción menos frecuente y más fragmentada con la aldea. Aunque el 60% había visitado Wadi al-Na'am al menos una vez, solo el 15% afirmó visitarla con regularidad. Para estos participantes, los retos de navegación eran graves: casi todos afirmaron tener dificultades para utilizar los servicios basados en GPS, y el 80% señaló que Waze, la única plataforma que utilizaban, a menudo era inexacta o fallaba por completo. Ninguno de los encuestados declaró utilizar Google Maps u OpenStreetMap, lo que pone de relieve tanto el predominio como las limitaciones de las herramientas de navegación comerciales en los asentamientos informales.

Cuando se les pidió que identificaran puntos de referencia, los no residentes reconocieron con mayor frecuencia la escuela Alazazmah (50%), seguida de la mezquita Algergawi y la tienda Algergawi (25% cada una). En comparación con el énfasis de los residentes en la compañía eléctrica y otros puntos de referencia cotidianos de la comunidad, los no residentes tendían a confiar en instituciones más formales y reconocibles a nivel regional.

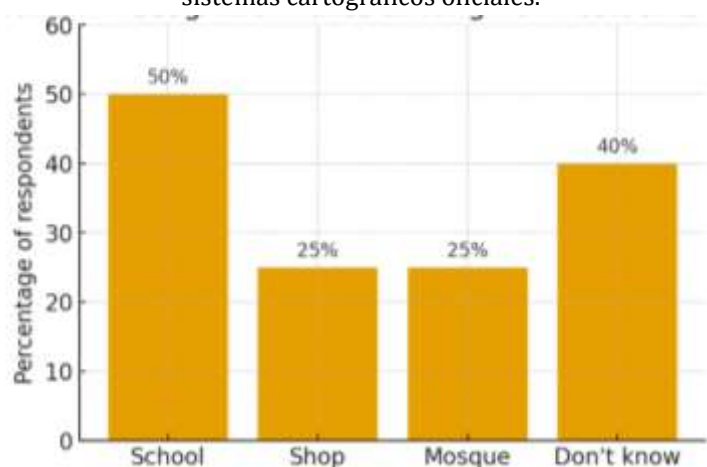
Figura 5. Puntos espaciales dentro de Wadi al-Na'am que carecen de representación en las plataformas oficiales de cartografía digital (por ejemplo, GovMap, Google Maps, Waze). A pesar de su ausencia en las bases



de datos estatales o comerciales, los residentes locales asignaron sistemáticamente nombres a estos lugares, vinculando las ubicaciones físicas con los topónimos vernáculos. Esto ilustra cómo el conocimiento de la comunidad proporciona una capa paralela de información espacial, compensando la invisibilidad digital de las aldeas no reconocidas.

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Figura 6. Tasas de reconocimiento de puntos de referencia entre los no residentes en Wadi al-Na'am. Mientras que la mitad de los participantes reconoció la escuela como un punto de referencia central, menos identificaron otros lugares como la tienda o la mezquita. Una proporción considerable de los encuestados expresó su incertidumbre, destacando la ausencia de nombres estandarizados y de visibilidad digital en los sistemas cartográficos oficiales.



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Los no residentes también destacaron las barreras físicas y digitales que condicionan el acceso a Wadi al-Na'am. Las carreteras sin asfaltar, la ausencia de nombres de calles y la mala conexión a Internet se citaron como los obstáculos más importantes. Las sugerencias de mejora hicieron hincapié en el asfaltado de las carreteras y la introducción de señalización vial, y algunos participantes vincularon explícitamente estas necesidades a la cuestión más amplia del reconocimiento oficial.

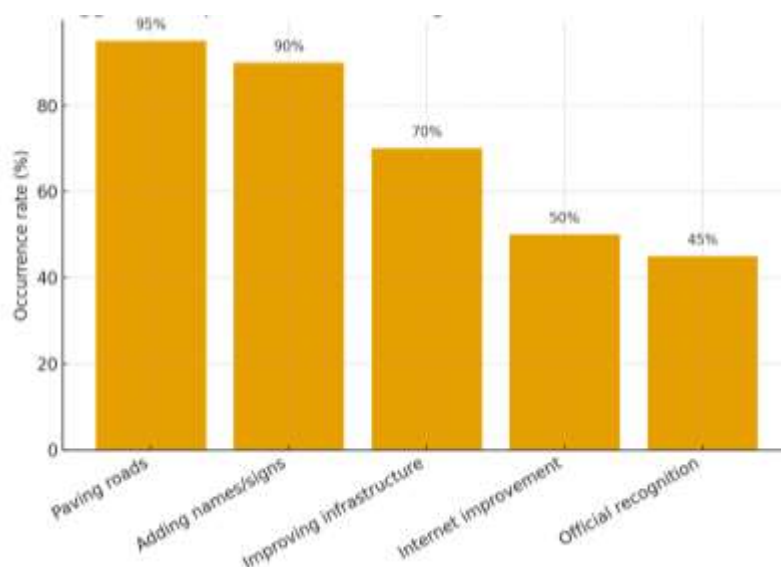
Figura 7. Ubicación de los puntos de referencia identificados por los residentes en la encuesta.

Los residentes marcaron una densa red de puntos de referencia locales, caminos y cruces, asignando nombres a espacios no documentados. Esto ilustra la riqueza del conocimiento espacial local en comparación con los no residentes



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Figura 8. Mejoras sugeridas para la navegación y la infraestructura en Wadi al-Na'am. Los participantes en la encuesta destacaron la pavimentación de las carreteras y la adición de nombres/señales como las necesidades más urgentes, seguidas de la mejora general de las infraestructuras, la mejora del acceso a Internet y el reconocimiento oficial de la aldea.



Fuente: Elaboración propia, 2025.

5.1.3. Patrones comunes e implicaciones

A pesar de las diferencias de perspectiva, tanto los residentes como los no residentes demostraron su dependencia de la navegación basada en puntos de referencia. La mitad de los no residentes declararon utilizar puntos de referencia para orientarse, lo que refleja las prácticas de los residentes, aunque con puntos de referencia diferentes. Esta convergencia subraya el papel fundamental de los puntos de referencia en contextos en los que no existen direcciones y señalización formales.

En conjunto, los resultados de la encuesta confirman dos ideas fundamentales. En primer lugar, los residentes de Wadi al-Na'am poseen un conocimiento espacial detallado, fiable y arraigado en la sociedad que puede aprovecharse para llenar las lagunas de los conjuntos de datos formales. En segundo lugar, los servicios de cartografía digital existentes son inadecuados en estos contextos, lo que perjudica tanto a los lugareños como a los visitantes. Estos hallazgos proporcionan la base empírica para el desarrollo de NegevPulse, la aplicación de cartografía participativa que se describe en el siguiente capítulo, que traduce el conocimiento de la comunidad en datos digitales estructurados y validados.

5.2. Descripción de la aplicación

A partir de los resultados de la encuesta, que pusieron de relieve tanto la profundidad de los conocimientos espaciales locales de los residentes como las dificultades de orientación a las que se enfrentan los forasteros, desarrollamos NegevPulse, una aplicación de cartografía digital participativa adaptada al contexto de las aldeas no reconocidas. La plataforma no es solo una

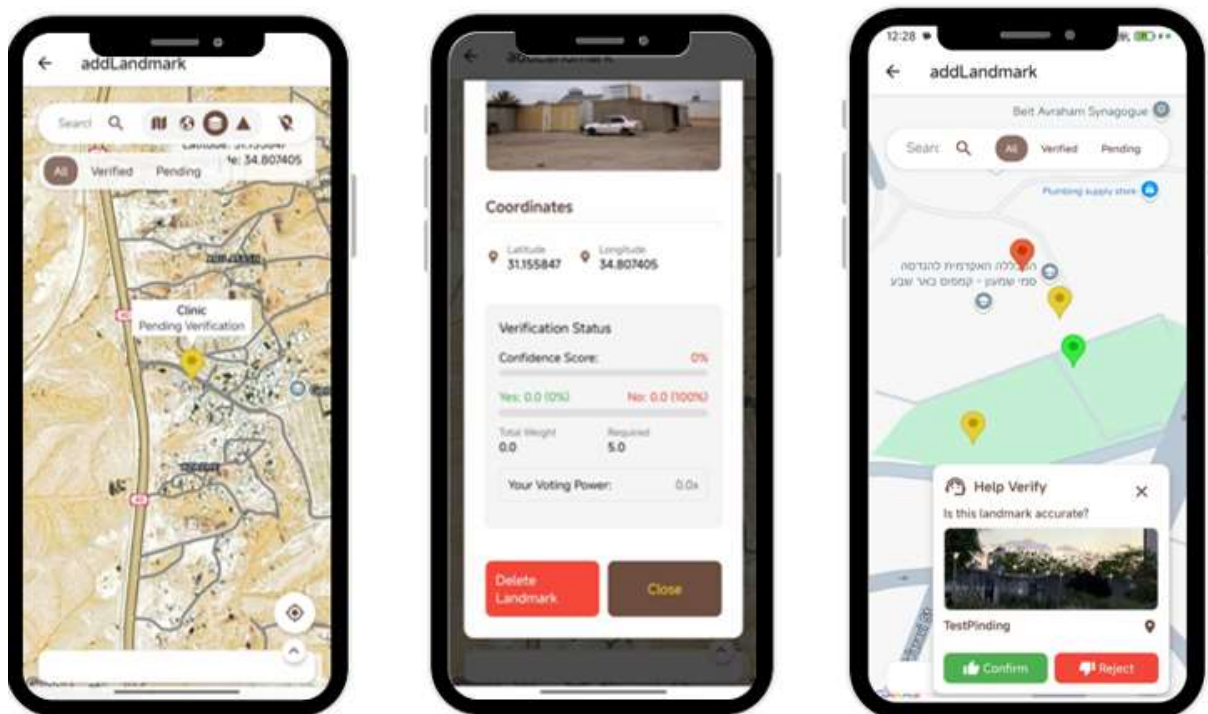
herramienta tecnológica, sino un sistema sociotécnico que pone en práctica los conocimientos de la comunidad en capas digitales estructuradas y validadas.

La interfaz de NegevPulse se diseñó para que fuera intuitiva y accesible incluso para usuarios con conocimientos digitales limitados. Los usuarios pueden:

- Añadir puntos de referencia o rutas tocando directamente en el mapa o cargando fotografías geolocalizadas.
- Actualizar las características existentes con texto descriptivo, multimedia o coordenadas corregidas.
- Validar las contribuciones votando las entradas pendientes, utilizando sencillos botones de aprobación/rechazo.

Las nuevas entradas aparecen como *pendientes* (iconos grises) y solo después de la validación de la comunidad pasan a ser características *verificadas* (iconos azules). Las características relacionadas con emergencias (por ejemplo, puntos de agua, clínicas) reciben visibilidad prioritaria para los servicios de emergencia designados.

Figura 9. Interfaz de usuario de la aplicación móvil NegevPulse: añadir un punto de referencia (izquierda), pantalla de validación (centro) e interfaz de confirmación (derecha).



Fuente: Elaboración propia, 2025.

6. Debate y conclusión

La creciente adopción de las tecnologías Urban Digital Twin (UDT) en la gobernanza urbana subraya la creciente dependencia de la planificación y la toma de decisiones basadas en datos. Sin embargo, esta dependencia presupone la existencia de conjuntos de datos fiables, estructurados y completos, una suposición que fracasa en contextos caracterizados por la pobreza de datos. Los asentamientos informales, como las aldeas beduinas no reconocidas de en el Negev, ejemplifican este desafío. Estas comunidades no solo están excluidas de los sistemas oficiales de planificación e infraestructura, sino también de la visibilidad digital. Su ausencia en las plataformas SIG nacionales, los servicios de navegación y los registros catastrales formales se traduce tanto en desventajas prácticas (por ejemplo, retrasos en la respuesta a emergencias) como en una marginación simbólica (por ejemplo, invisibilidad en el imaginario urbano).

Los resultados de este estudio muestran que la ausencia de datos no equivale a la ausencia de conocimientos. Los residentes de Wadi al-Na'am demuestran un conocimiento espacial rico, coherente y socialmente arraigado, que les permite orientarse, identificar y describir su entorno utilizando puntos de referencia locales y comunes. Este conocimiento, aunque vernáculo y oral en su forma, es muy estructurado y fiable. La encuesta inicial basada en el SIG confirmó la capacidad y la voluntad de la comunidad de aportar este conocimiento a las plataformas participativas, en particular en respuesta a necesidades críticas como el acceso en casos de emergencia, la navegación y las infraestructuras básicas.

A partir de estas ideas, se desarrolló la plataforma NegevPulse como una herramienta sociotécnica para formalizar y validar el conocimiento local a través de un mecanismo de crowdsourcing basado en la confianza. A diferencia de las herramientas de cartografía digital convencionales, que tratan todas las contribuciones por igual, NegevPulse introduce un modelo de usuario por niveles que da más peso a las contribuciones de los residentes de larga duración y de confianza, los «superlocales». Este enfoque alinea la validación digital con las jerarquías sociales y las prácticas culturales existentes, al tiempo que protege contra la desinformación y el uso indebido. La arquitectura técnica de la plataforma permite además la visibilidad selectiva de puntos de referencia sensibles, la priorización de datos relacionados con emergencias y el refinamiento continuo de los datos basado en el consenso de la comunidad.

Más allá de su aplicabilidad local, la contribución más amplia de este estudio radica en replantear el papel de la cartografía digital participativa en contextos informales. En entornos de marginación infraestructural e invisibilidad digital, el crowdsourcing no es solo un método de recopilación de datos, sino que se convierte en un mecanismo para afirmar la presencia, reclamar el espacio y resistir el desplazamiento. Si bien los sistemas oficiales pueden excluir o borrar estas comunidades, las plataformas participativas como NegevPulse ofrecen una alternativa ascendente que restaura tanto la visibilidad como la capacidad de acción.

Este replanteamiento es fundamental para ampliar la aplicabilidad de las UDT más allá de los núcleos urbanos bien cartografiados y digitalizados. Para que los gemelos digitales sirvan como herramientas de planificación equitativas, deben evolucionar para incluir entornos indocumentados y comunidades marginadas. NegevPulse representa un modelo replicable para dicha evolución. Demuestra que los datos espaciales pueden coproducirse con las comunidades y que las

infraestructuras digitales pueden reflejar el conocimiento local, la sensibilidad cultural y la validación social dinámica.

En conclusión, el caso de Wadi al-Na'am ilustra que las herramientas digitales participativas pueden hacer más que llenar las lagunas técnicas: pueden desafiar el desplazamiento espacial y reforzar la presencia de la comunidad frente a la exclusión sistémica. En el futuro se debería explorar la escalabilidad de este modelo, su integración con los sistemas municipales y sus implicaciones en materia de gobernanza. A medida que las ciudades dependen cada vez más de los datos, garantizar que todas las comunidades, documentadas o no, puedan participar en la capa digital de la vida urbana no es solo una necesidad técnica, sino una cuestión de justicia espacial.

7. Agradecimientos

Los autores expresan su más sincero agradecimiento a los residentes de Wadi Al-Na'am por compartir generosamente su tiempo, conocimientos y opiniones a lo largo de esta investigación. Su participación activa y su profundo conocimiento del paisaje local fueron fundamentales para el diseño y el desarrollo de la plataforma NegevPulse. Estamos especialmente agradecidos por su confianza y colaboración, y esperamos que este trabajo contribuya de manera significativa a mejorar las condiciones diarias y el reconocimiento de las aldeas beduinas no reconocidas en el Negev.

Referencias

- Bennet, S., Ekirapa-Kiracho, E., Shaila Mahmood, S., Paina, L. & Peters, D., H. (2020). Strengthening social accountability in ways that build inclusion, institutionalization and scale: reflections on FHS experience. *Int J Equity Health* 19, 220. <https://doi.org/10.1186/s12939-020-01341-x>
- Cardullo, P. (2020). Citizens in the 'smart city': Participation, co-production, governance. Routledge.
- Goodchild, M. F. (2007). Citizens as sensors: The world of volunteered geography. *GeoJournal*, 69(4), 211–221. <https://doi.org/10.1007/s10708-007-9111-y>
- Grieves, M., & Vickers, J. (2017). Digital twin: Mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems. In F.-J. Kahlen, S. Flumerfelt, & A. Alves (Eds.), *Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems* (pp. 85–113). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-38756-7_4
- Haas, O., & Tzfadia, E. (2025). Displaced in place: Tracing displaceability in a housing strategy for a Bedouin community in Israel. *EPC: Politics and Space*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1177/23996544251362608>
- Haklay, M., & Weber, P. (2008). OpenStreetMap: User-generated street maps. *IEEE Pervasive Computing*, 7(4), 12–18. <https://doi.org/10.1109/MPRV.2008.80>
- Nochta, T., Wan, L., Schooling, J. M., & Parlikad, A. K. (2021). A socio-technical perspective on city-scale digital twins. *Journal of Urban Technology*, 28(1–2), 263–287. <https://doi.org/10.1080/10630732.2020.1798177>
- Rambaldi, G. (2006). Participatory GIS and participatory mapping for empowerment. *Participatory Learning and Action*, 54(13), 1–13.
- Senarath, U., See, L., & Sester, M. (2020). Quality assessment of crowdsourced data: A review. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(10), 582. <https://doi.org/10.3390/ijgi9100582>
- See, L., Mooney, P., Foody, G. M., Bastin, L., Comber, A., Estima, J., Fritz, S., Kerle, N., Jiang, B., Liu, H.-Y., Milčinski, G., Minghini, M., Patriarca, J., Schultz, M., Skopeliti, A., Vatsava, R., Van Genderen, J., & Wiemann, S. (2023). Crowdsourcing and VGI for sustainable development. *Sustainability*, 15(3), 2342. <https://doi.org/10.3390/su15032342>
- UNITAR (United Nations Institute for Training and Research). (2023a). Satellite mapping of refugee settlements in the Middle East: Technical report. UNOSAT. <https://www.unitar.org/maps>
- UNITAR (United Nations Institute for Training and Research). (2023b). Mapping for humanitarian response. UNOSAT. <https://www.unitar.org/maps>
- Weiner, R., Mello Rose, F., Yossef Ravid, B., Aharon-Gutman, M., & Noennig, J. (2023). Place-bound planning support systems for deliberation: Affording better communication and comprehension. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1177/23998083231216572>
- Yiftachel, O. (2009). Critical theory and “gray space”: Mobilization of the colonized. *City*, 13(2–3), 246–263. <https://doi.org/10.1080/13604810902982227>
- Yiftachel, O., Roded, B., & Kedar, A. (2016). Unrecognized Bedouin villages in Israel: The legal geography of dispossession. *Journal of Planning Education and Research*, 36(4), 442–456. <https://doi.org/10.1177/0739456X16657358>

- Yossef Ravid, B., & Aharon-Gutman, M. (2023). The Social Digital Twin: The social turn of the smart city. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 50(6), 1455–1470. <https://doi.org/10.1177/23998083221137079>
- Yossef Ravid, B., & Aharon-Gutman, M. (2024). The place of co-production: A physital space for collaborative urban government. *Technological Forecasting and Social Change*, 209, 123748. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2024.123748>