

VULNERABILIDAD ANTE EL RIESGO DE EXPLOSIÓN DE HIDROCARBUROS EN ASENTAMIENTOS INFORMALES EN EL MUNICIPIO DE PUEBLA, MÉXICO

VULNERABILITY TO THE RISK OF HYDROCARBON EXPLOSION IN INFORMAL SETTLEMENTS IN THE MUNICIPALITY OF PUEBLA, MEXICO

ROSA MARÍA HERNÁNDEZ-VERA ²
STEPHANIE SCHEREZADA SALGADO-MONTES ³
MARÍA DE LOURDES FLORES-LUCERO ⁴

¹ Artículo financiado por el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología, Beca nacional México, 2022.

² Licenciada en Urbanismo y Diseño Ambiental
Estudiante de Posgrado, Maestría en Ordenamiento del Territorio, Facultad de Arquitectura
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México
<https://orcid.org/0009-0002-2792-6359>
rosa.hernandezv@alumno.buap.mx

³ Doctora en Procesos Territoriales
Profesora-Investigadora, Maestría en Ordenamiento del Territorio, Facultad de Arquitectura
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México
<https://orcid.org/0000-0001-6756-428X>
stephanie.salgado@correo.buap.mx

⁴ Doctora en Gestión y Valoración Urbana
Profesora-Investigadora, Maestría en Ordenamiento del Territorio, Facultad de Arquitectura
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México
<https://orcid.org/0000-0003-3849-0060>
maria.flores@correo.buap.mx

<https://doi.org/10.22320/07183607.2025.28.51.02>



En la periferia norte del municipio de Puebla, México, existen asentamientos urbanos que presentan amenaza de explosión de hidrocarburos debido a la baja regulación del suelo y a la extracción informal del producto. Las condiciones de rezago social, marginación y la respuesta reactiva de las instituciones gubernamentales aumentan la vulnerabilidad. El objetivo es evaluar las variables sociales, urbanas e institucionales en asentamientos urbanos informales para explicar las condiciones multifactoriales de vulnerabilidad ante el riesgo por explosión de hidrocarburos. En metodología se aplicó el análisis multicriterio de 66 indicadores y el análisis socioespacial de distribución de la vulnerabilidad. Los resultados muestran distintos patrones espaciales de vulnerabilidad ante el riesgo de desastre por explosión debido a la presencia de ductos de hidrocarburos, la marginación, el rezago social, la baja organización y percepción del riesgo y las acciones de reactivas. Las conclusiones son que el procesamiento de variables de diferentes tipos explica la vulnerabilidad multifactorial y las diferencias en su distribución ante el riesgo de desastre en asentamientos informales.

Palabras clave: catástrofe, asentamientos informales, uso del suelo, sistemas de información geográfica

In the northern peri-urban area of the municipality of Puebla, urban settlements are threatened by hydrocarbon explosions due to a lack of land regulation and illegal extraction of the product. The conditions of social backwardness, marginalization, and the reactive response of governmental institutions increase vulnerability. The objective of this paper is to evaluate the social, urban, and institutional variables in informal urban settlements to explain the multifactorial vulnerability to the risk of hydrocarbon explosion. The methodology applied was the multi-criteria analysis of 66 indicators and the socio-spatial analysis of vulnerability distribution. The results show different spatial patterns of vulnerability to explosion disaster risk due to the location of hydrocarbon pipelines, marginalization, social backwardness, low organization, low risk perception, and reactive actions. The conclusions are that the processing of variables of different types evidences the multifactorial vulnerability to disaster risk in informal settlements and the differences in vulnerability distributions.

Keywords: catastrophe, informal settlements, land use, geographic information systems

I. INTRODUCCIÓN

Las redes de hidrocarburos son fuentes que proveen energía para el funcionamiento de las ciudades, pero la distribución de estas redes en zonas urbanas y el mal manejo de los materiales explosivos pueden causar daños a la vida de las personas, sus propiedades y la calidad del medio ambiente (He et al., 2021; Azari y Karimi, 2017). Los ductos de la industria petrolera presentan condiciones físicas y de gestión que ocasionan frecuentemente fugas y derrames de hidrocarburos que constituyen amenazas para los ecosistemas, la población y las actividades económicas (Cram Heydrich et al., 2020).

A partir de la década de los setenta, los estudios de riesgo se han enfocado en demostrar que los desastres son efecto de las actividades humanas para alcanzar la modernidad (Mojtahedi y Oo, 2016), se asocian a la creciente concentración de personas, zonas de riesgo y la crisis climática (Mattedi et al., 2024).

El análisis de riesgo en las redes de hidrocarburos, los radios de derrames y/o explosión y la densidad de población expuesta (Azari y Karimi, 2017) se enfoca en la amenaza que representan las redes y su manejo, pero omite el análisis de la vulnerabilidad social (Cutter et al., 2003). Es importante estudiar las particularidades de las relaciones sociales que se suscitan en territorios en condiciones de riesgo debido a los impactos sociales que generan (Montes-Neri, 2023).

La vulnerabilidad refiere al proceso de exposición ante las amenazas que se acentúan en condiciones de pobreza, rezago y marginación (Birkmann, 2007). En las zonas urbanas como principales escenarios de producción económica aumenta la vulnerabilidad ante los bajos niveles educativos, bajos ingresos, carencia de servicios públicos y sanitarios, y bajo acceso a la información (Mattedi et al., 2024).

El análisis de riesgo en casos de asentamientos urbanos informales⁵ en Latinoamérica, que se caracterizan por las condiciones de marginación o que se encuentran en zonas de riesgo (Montes-Neri, 2023) posibilita generar y precisar la información para evaluar la vulnerabilidad (He et al., 2021; Mattedi et al., 2024; Azari y Karimi, 2017). En este estudio se plantea la hipótesis del análisis de variables con un enfoque multifactorial y socioespacial contribuye en evaluar la vulnerabilidad ante el riesgo de explosión por hidrocarburos en asentamientos informales que surgen fuera de los procesos de planeación urbana y de la legalidad ante exclusión de los sectores precarios para acceder a una vivienda. El objetivo es evaluar las variables sociales, urbanas e institucionales, a través de indicadores para explicar las condiciones multifactoriales de vulnerabilidad ante el riesgo por explosión de hidrocarburos en

el sector Jorge Murad Sección C-Nueva San Salvador, ubicado en el norte del municipio de Puebla del Estado de Puebla, México.

En estructura del estudio primero se presenta el estado de conocimiento que fundamenta el enfoque multifactorial y las variables para evaluar la vulnerabilidad; el caso de estudio del Sector Jorge Murad sección C – Nueva San Salvador conformado por dos asentamientos urbanos informales expuestos a la explosión por ductos de hidrocarburos en el municipio de Puebla; la metodología para el diseño y procesamiento de indicadores de vulnerabilidad; los resultados de la evaluación y la distribución de la vulnerabilidad; se discuten los resultados y hallazgos con los estudios previos; finalmente se presentan los aportes del estudio en el análisis de la vulnerabilidad con enfoque multifactorial.

II. MARCO TEÓRICO

Reconocer la vulnerabilidad para disminuir el riesgo

Las ciudades son el espacio principal en el que la humanidad desarrolla sus actividades y concentra sus bienes, sin embargo, las altas concentraciones de éstas incrementan la vulnerabilidad ante todo tipo amenazas (Xiu et al., 2011). La vulnerabilidad es una condición asociada a procesos físicos, socioeconómicos y políticos de un sistema que lo hacen susceptible a potenciales impactos (Jurgilevich et al., 2021; Cutter et al., 2003).

La vulnerabilidad como un concepto no puede ser directamente medido, por ello se utilizan indicadores de observables que corresponden a variables sociales, urbanas e institucionales (Birkmann, 2007; Jurgilevich et al., 2021; Mojtahedi y Oo, 2016) en un espacio geográfico definido (Hernández Ajá et al., 2018; Cram Heydrich et al., 2020).

La *variable social* mide las dimensiones sociales y económicas (Lavell et al., 2020; Mattedi et al., 2024) a través de indicadores de empleo o ingresos, trabajo no remunerado, acceso a la educación (Montes-Neri, 2023), calidad de la vivienda (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social [CONEVAL], 2020), grupos que requieren de cuidados (Cutter et al., 2003), organización y representación social, percepción del riesgo, capacidad de respuesta y vinculación con autoridades gubernamentales (Mojtahedi y Oo, 2016).

La *variable urbana* mide las dimensiones de habitabilidad y medio ambiente (Acuña, 2016; Ochoa-Ramírez y Guzmán-Ramírez, 2020) a través de indicadores de calidad de infraestructura, cobertura de servicios de salud, seguridad

⁵ La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) define que los asentamientos informales son áreas residenciales donde los habitantes no tienen seguridad de tenencia frente a los terrenos o viviendas, van desde la ocupación informal hasta viviendas de alquiler informales, usualmente carecen de servicios básicos e infraestructura urbana, y se encuentran en áreas ambientales y geográficas peligrosas.

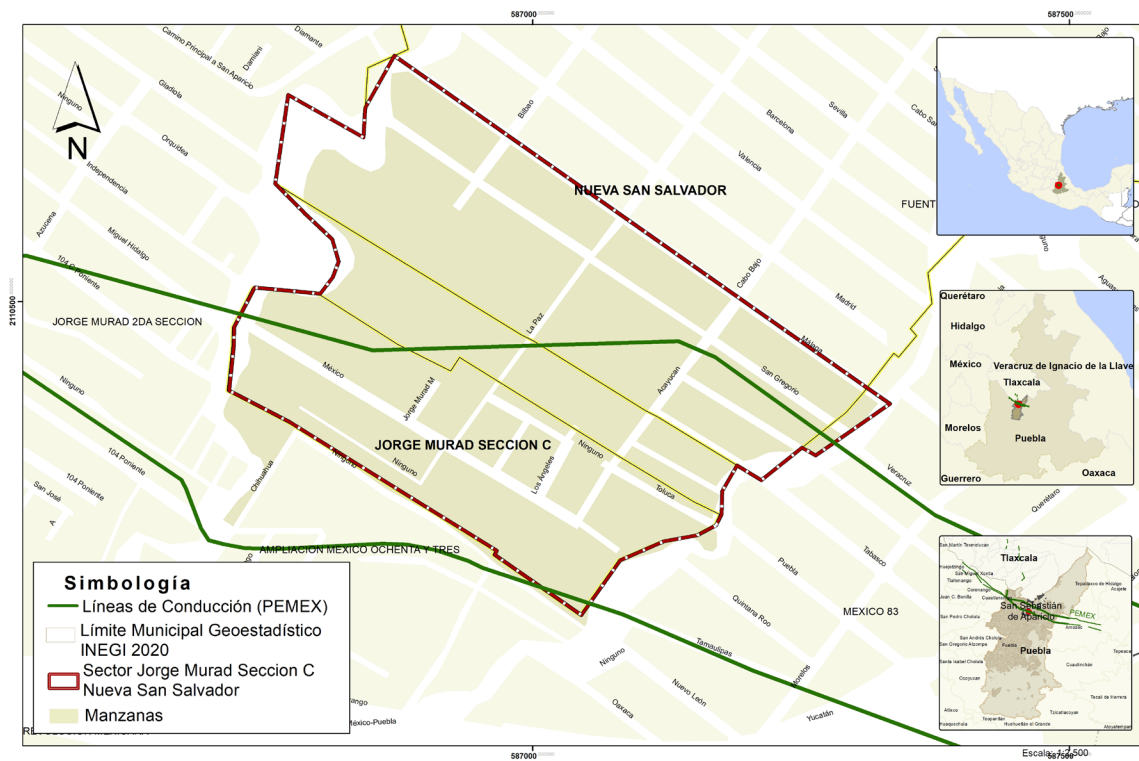


Figura 1. Sector Jorge Murad Sección C – Nueva San Salvador. Fuente: Elaboración propia de los autores con base en Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI] (2009); INEGI (2020); Secretaría de Protección Civil y Gestión Integral de Riesgos (2021).

pública y asistencia social, zonas de riesgo, tenencia de la tierra, planificación y regulación del suelo (Cutter et al., 2003).

La *variable institucional* mide las dimensiones políticas y de gestión (Acuña, 2016; Merlinsky y Tobías, 2016) a través de indicadores de financiamiento y recursos económicos, identificación, monitoreo, evaluación y manejo del riesgo, profesionalización, equipo e infraestructura (Ministerio del Trabajo, 2019). En esta variable incide directamente la omisión y falta de seguimiento en el crecimiento de los asentamientos en zonas de riesgo (Abdoul Nasser et al., 2021; Cavazos-Arroyo et al., 2014).

El análisis multicriterio es útil para identificar y clasificar las vulnerabilidades mediante el procesamiento de indicadores en distintas formas de ocupación del territorio (Ruiz Rivera, 2012; Mattedi et al., 2024). El análisis socioespacial posibilita asociar los indicadores a los datos vectoriales de la estructura urbana para diferenciar la distribución de la vulnerabilidad en un espacio geográfico (Buzai y Baxendale, 2010; Cutter et al., 2003) mediante

la automatización de la normalización y procesamiento de datos (Mattedi et al., 2024; Azari y Karimi, 2017). La participación de los actores involucrados es fundamental para el reconocimiento y percepción del riesgo (Mojtahedi y Oo, 2016; Jurgilevich et al., 2021; Cram Heydrich et al., 2020).

Sector Jorge Murad Sección C - Nueva San Salvador

El sector se conforma por dos asentamientos informales ubicados en el norte del municipio de Puebla del Estado de Puebla, México, con 869 habitantes y 241 viviendas en el derecho de vía de dos ductos de hidrocarburos de la industria Petróleos Mexicanos⁶ (PEMEX) (Figura 1). En 1983 se construyó Nueva San Salvador sobre un oleoducto de 12" que transporta Gas LP y en 1990, Jorge Murad Sección C sobre el gasoducto de 12" y el oleoducto de 24". El sector presenta condiciones de rezago, marginación, riesgo de explosión por hidrocarburos y antecedentes de fugas de gas y extracciones informales (Puebla Roja, 2020; Barrientos, 2020; Meza, 2017). Se seleccionaron estos casos representativos de los 62 asentamientos en norte del municipio de Puebla expuestos a la explosión de hidrocarburos

⁶ Petróleos Mexicanos es una empresa nacional que produce, procesa, distribuye y comercializa hidrocarburos y sus derivados en México.

por la vinculación con las organizaciones vecinales que posibilitaron la investigación a través de procesos participativos.

III. METODOLOGÍA

En el análisis multicriterio se procesaron 66 indicadores correspondientes a las *variables social, urbana e institucional* para evaluar la vulnerabilidad con un enfoque multifactorial para todo el sector (Cutter et al., 2003; Montes-Neri, 2023; Cram Heydrich et al., 2020; CONEVAL, 2020). Los indicadores se obtuvieron del Censo de Población y Vivienda [CPV] 2020 (INEGI, 2020), el censo de 218 viviendas, 6 encuestas digitales y 68 aplicadas por los autores *in situ* con una confiabilidad de 90% y un margen de error de 9.61%, 4 entrevistas a autoridades locales, 5 servidores públicos, 5 líderes vecinales, 1 miembro de la mesa directiva y 2 del comité de servicios, cuya identidad se mantienen anónima por protección a los datos personales.

Los indicadores se integraron, por medio de la expresión matemática $\sum xi$, la sumatoria *xi* corresponde a la totalidad de cada variable y la multifactorial respectivamente. En la asignación de los niveles de vulnerabilidad se consideró el límite de clase $R = x_{max} - x_{min} / 3$, al límite superior (*xmax*) se restó el límite inferior (*xmin*) y se dividió en tres clases a las que se les

asignó un valor ordinal para hacerlas comparables 1 (bajo), 2 (medio) y 3 (alto) (Bollin e Hidajat, 2006, como se citó en Ruiz Rivera, 2012).

La *variable social* considera 26 indicadores de datos del CPV 2020 (INEGI,2020), (Tabla 1) y de las encuestas respecto a la organización, prevención, percepción y respuesta ante el riesgo (Tabla 2). La *variable urbana* considera 20 indicadores obtenidos en nueve visitas de campo (Hernández, 2023b) y un censo de viviendas (Tabla 3). Los indicadores urbanos y sociales se sumaron para obtener la vulnerabilidad urbana (Tabla 4). La *variable institucional* considera 20 indicadores correspondientes a acciones de financiamiento, identificación, manejo y reducción de riesgo realizadas en una frecuencia ponderada en siempre (1), regularmente (2), de vez en cuando (3) y nunca (4) (Tabla 5).

Se integraron las tres variables para obtener los indicadores y niveles de vulnerabilidad (Tabla 6). Se realizó el análisis socioespacial en QGis mediante la asociación de los indicadores a los vectores de manzanas urbanas (INEGI, 2016) para definir la distribución de vulnerabilidad.

Económica	Población económicamente no activa
	Hogares con jefatura femenina
	Población que no completa educación obligatoria
Población	Analfabeta
	Densidad
	0 a 14 años
	60 y más
	Discapacidad
	Sin servicios de salud
Vivienda	Sin agua potable
	Sin drenaje
	Sin electricidad
	Sin techo de losa
	Paredes otro material
	Piso de tierra
	Un cuarto
$\sum xi$	

Tabla 1. Indicadores de población y vivienda. Fuente: Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2020)

Organización	pregunta 4	En el sector 1 y otro 0
	Organización	Mesa Directiva 1, Comité 2, ninguno 3
Prevención	pregunta17	Ninguna 1, no sé 2, usar whatsapp 3, reunión para servicios 4, otros (resguardar los ductos, silbato, información por PEMEX, denunciar actividades) 5, debatir estrategias con los vecinos 6, difundir información brindada por las autoridades 7 y convocar una reunión 8
	pregunta18	No hay 1, desconoce 2, convocar reunión 3, alarma vecinal/avisar por red social 4, apagar la luz, cerrar gas 5, respetar las indicaciones 6, huir 7, hablar a la policía/autoridad/911 8, evacuar 9
Percepción	pregunta 11	Ninguno 1, otros (no sé, no sabía de los ductos) 2, falta de escrituración de su terreno 3, delincuencia 4, huachicol 5, riesgo de explosión 6, fugas 7
	pregunta 15	No 1, no estoy seguro 2, rara vez/de vez en cuando 3, sí 4
	pregunta 19	No hay 1, alerta o comunicación vecinal 2, acciones de la autoridad 3, vigilancia 4, evacuar 5
	Negativas	Negativas a responder encuesta
Respuesta	pregunta 14	Ninguna 1, federal 2, estatal 3, municipal 4, junta auxiliar 5, presidentes de mesa directiva/ comité de servicios 6
	pregunta 16	Nada 1, otros (no salir, evitar acercarme)2, llamar a autoridades 3, alarma vecinal 4, cerrar gas y desconectar luz 5, seguir indicaciones 6, evacuar 7
Σxi		

Tabla 2. Indicadores de encuestas. Fuente: Elaboración de los autores, 2023. Nota: Los encuestados podían seleccionar más de una opción

Habitabilidad	Luminarias	1 en toda la manzana, 2 en una parte de la manzana, y 3 no hay.
	Pavimento	1 en toda la manzana, 2 en una parte de la manzana, y 3 no hay.
	Tipo Pavimento	1 en toda la manzana, 2 existe en una parte de la manzana, y 3 no hay.
	Aceras	Total
Riesgo	Barrancas	0 no existe, 1 existe
	Viviendas en zona de riesgo	Total
	Cuerpos de agua	0 no existe, 1 existe
	Ductos	0 no existe, 1 existe en un lado de la manzana, 2 en la mitad de la manzana, 3 en toda la manzana.
	Tipo de producto	1 gasolina, 2 gas
	Viviendas en derecho de vía	Total
	Líneas de alta tensión	0 no existe, 1 existe
	Viviendas en derecho de vía	Total
	Corredores industriales	0 no existe, 1 existe
	Vialidades primarias	0 no existe, 1 existe
	Viviendas en derecho de vía	Total
Equipamientos	Hospital	0 en el sector, 1 en el área de cobertura
	Bomberos	0 en el sector, 1 en el área de cobertura
	Seguridad pública	0 en el sector, 1 en el área de cobertura
Tenencia de la Tierra	Asentamiento urbano	0 incorporada al desarrollo urbano, 1 registrada y reconocida, 2 informal
	Problemas de escrituración	0 no existe, 1 existe
Σxi		

Tabla 3. Indicadores de la variable urbana. Fuente: Elaboración de los autores, 2023.

Indicador	Indicadores urbanos	Vulnerabilidad Social	Vulnerabilidad Urbana (Σ)
Valor	1 a n	1 a n	xi

Tabla 4. Indicadores para obtener la vulnerabilidad urbana. Fuente: Elaboración de los autores, 2023

Financiamiento	Organización interinstitucional, vertical y horizontal
	Fondos de reservas para el fortalecimiento institucional
	Localización y movilización de recursos
Identificación	Inventario de desastres y pérdidas
	Monitoreo de amenazas y pronósticos
	Mapeo de amenazas
	Evaluación de vulnerabilidad y riesgo
	Información pública y participación comunitaria
	Capacitación y educación en gestión de riesgos
Manejo	Organización y coordinación de operaciones de emergencia
	Planificación respuesta en caso de emergencia y sistemas de alerta
	Equipos e infraestructura
	Simulación, actualización y prueba de la respuesta interinstitucional
Reducción	Preparación y capacitación de la comunidad
	Integración de riesgo en la definición de los usos de suelo y planificación urbana
	Intervención de cuencas hidrográficas y protección ambiental
	Implementación de técnicas de protección y control de peligros
	Mejoramiento de vivienda y reubicación de asentamientos
	Actualización y aplicación de normas y códigos de construcción
	Refuerzo e intervención de la vulnerabilidad de bienes públicos y privados
Σxi	

Tabla 5. Indicadores de la variable institucional. Fuente: Elaboración de los autores, 2023.

Multifactorial						
Variable	Vulnerabilidad Social	Vulnerabilidad Urbana	Vulnerabilidad Institucional	Σ	Ponderación	Nivel de vulnerabilidad
Indicadores	n	n	n	n	1 a 3	Alto, medio o bajo

Tabla 6. Indicadores de vulnerabilidad multifactorial. Fuente: Elaboración de los autores, 2023.

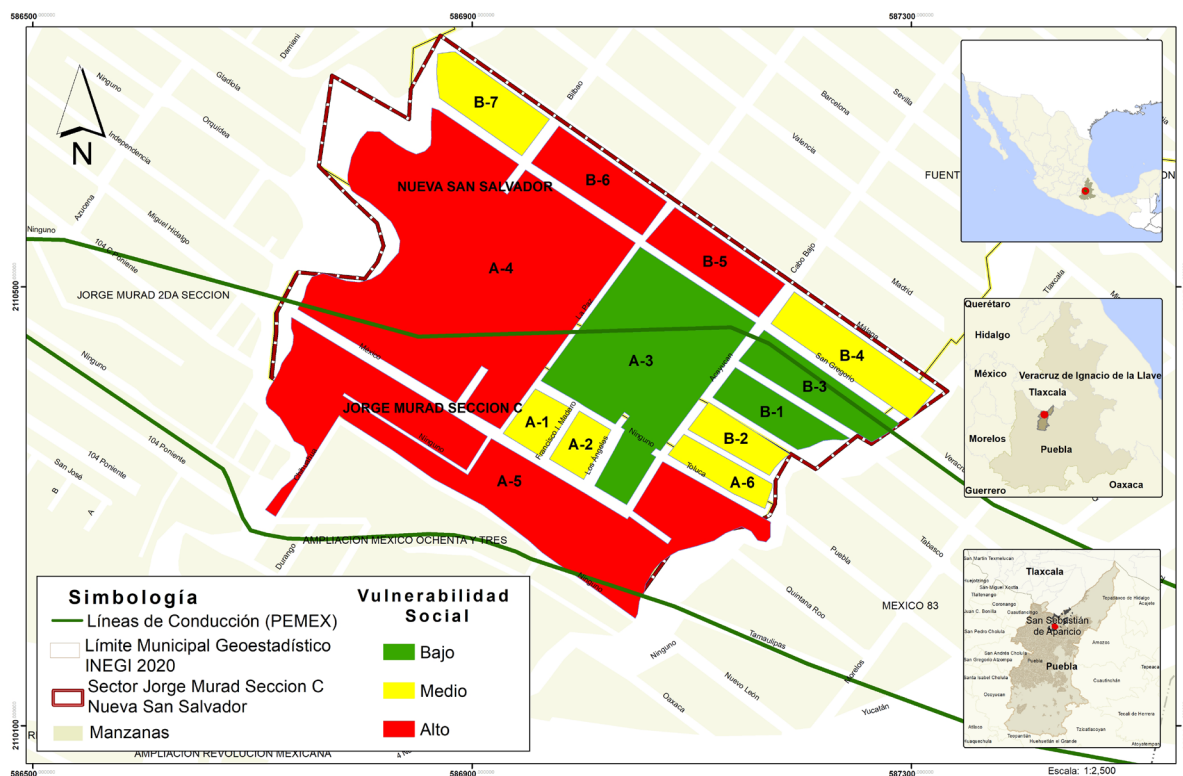


Figura 2. Vulnerabilidad social. Fuente: Elaboración de los autores con base en INEGI (2009); INEGI (2016); INEGI (2020); INEGI (2023); Secretaría de Protección Civil y Gestión Integral de Riesgos (2021).

IV. RESULTADOS

La vulnerabilidad es un proceso social

La evaluación multivariable evidencia la vulnerabilidad como un proceso en el que incide el rezago social, la marginación y omisiones en la planificación urbana, la baja percepción del riesgo y la respuesta reactiva. La cartografía representa las diferencias de distribución de la vulnerabilidad por manzanas urbanas.

Se obtuvo un puntaje en los indicadores socioeconómicos de 325; bajo acceso a educación, y salud y población vulnerable de 2 186; baja calidad de vivienda de 85; organización, percepción y prevención del riesgo de 1 881, con un total de 4 477 indicadores. Los resultados revelan que la percepción de riesgo es secundaria para los habitantes, ya que, de la población analizada, el 73.61% considera prioritaria la delincuencia, 48.61% los ductos de hidrocarburos, 44.44% la carencia de servicios públicos y 40.28% la presencia de barrancas. El 72.22% mencionan que son inexistentes las acciones para la reducción del riesgo.

Las acciones de prevención son incipientes, si bien algunos habitantes indican que se ha convocado reuniones, difundido información brindada por autoridades y se han debatido estrategias entre los vecinos, otros habitantes indican que no han realizado o no tienen conocimiento de ninguna.

Respecto a las estrategias de respuesta elaboradas por los líderes vecinales o por los mismos habitantes, éstos indican que no existen o desconocen si existen este tipo de estrategias. En situaciones de emergencia los habitantes evacúan las viviendas, siguen indicaciones, no usan energía eléctrica y cierran las tomas de gas, activan la alarma vecinal, contactan a las autoridades, no salen o evitan acercarse a la zona, pero existen otros habitantes que indican no hacer nada o no saber qué hacer. Aunado a esto, el desconocimiento de los habitantes respecto a los límites, nombre y adscripción del asentamiento urbano al que pertenecen dificulta los procesos de gestión de riesgo ante las autoridades municipales. En la vulnerabilidad social se define un nivel alto en las manzanas⁷ A4, A5, B5 y B6, medio en A1, A2, B2, B4 y B7 y bajo en A3, B3 y B1 (Figura 2).

⁷ Las manzanas con nomenclatura A corresponden al asentamiento Jorge Murad Sección C y con nomenclatura B a Nueva San Salvador.

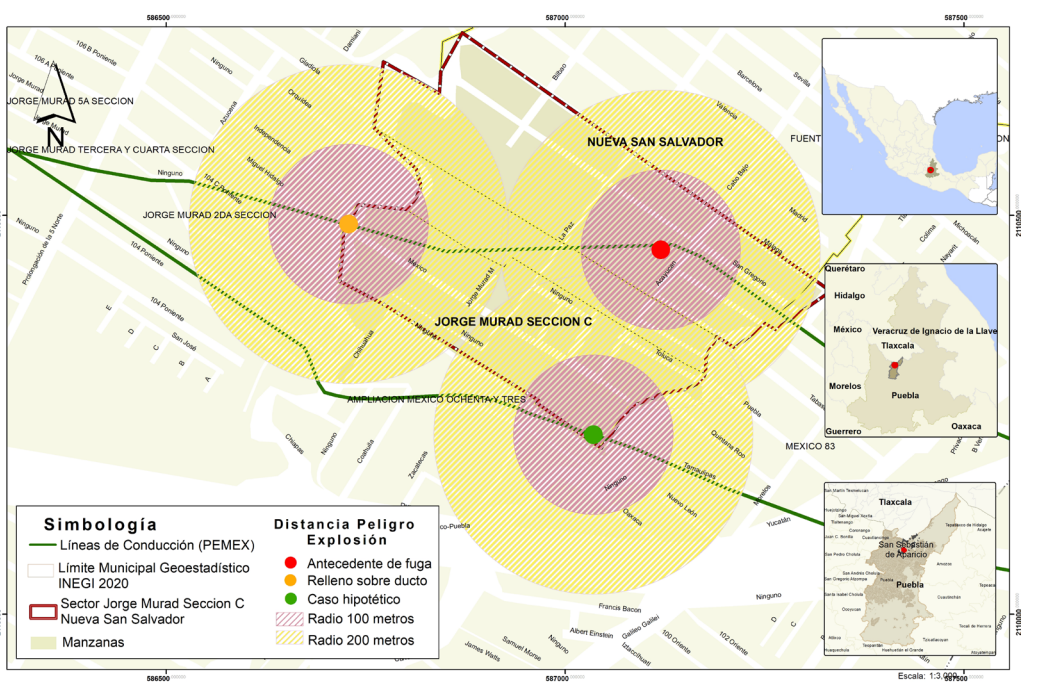


Figura 3. Peligro de explosión. Fuente: Elaboración de los autores con base en CENAPRED (2021); INEGI (2009); INEGI (2016); INEGI (2023); Secretaría de Protección Civil y Gestión Integral de Riesgos (2021); Hernández (2023a).

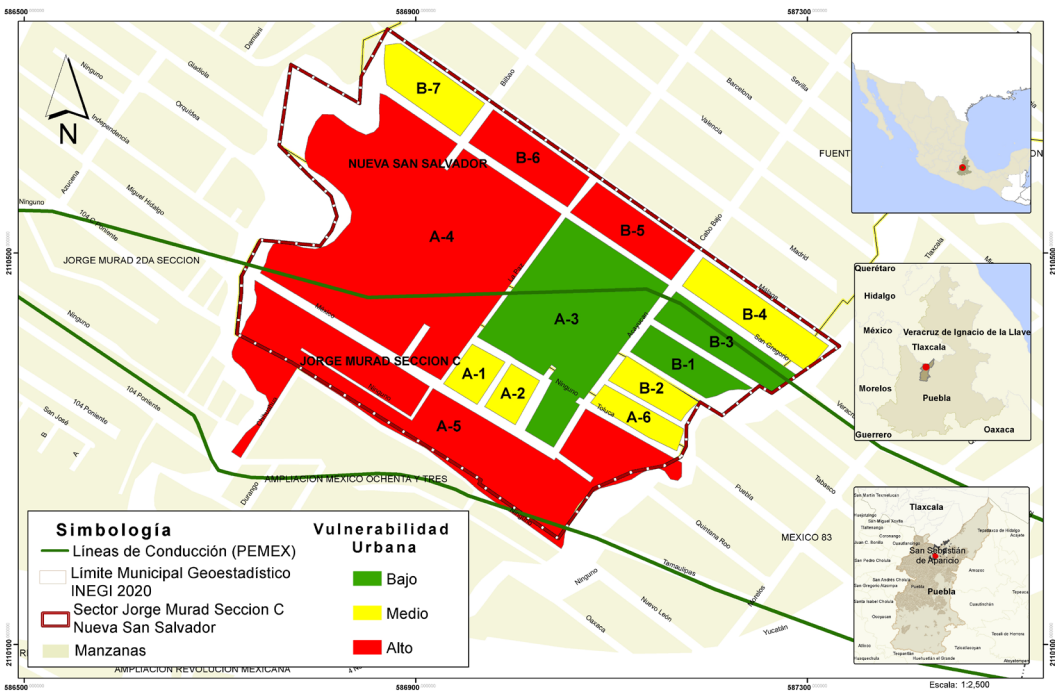


Figura 4. Vulnerabilidad urbana. Fuente: Elaboración de los autores con base en INEGI (2009); INEGI (2016); INEGI (2020); INEGI (2023); Hernández (2023a); Secretaría de Protección Civil y Gestión Integral de Riesgos (2021).

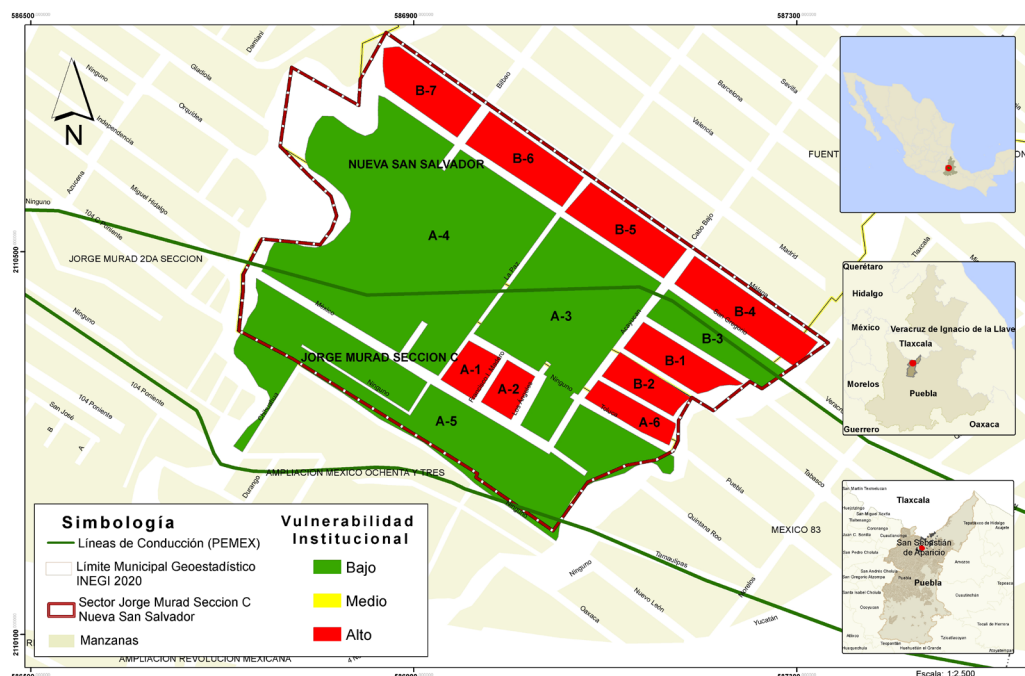


Figura 5. Vulnerabilidad institucional. Fuente: Elaboración de los autores con base en INEGI (2009); INEGI (2016); INEGI (2020); Secretaría de Protección Civil y Gestión Integral de Riesgos (2021); Hernández (2023b).

En los indicadores urbanos de los sectores estudiados, se obtuvo un puntaje total de 269. Las condiciones urbanas presentan vialidades de terracería y sin iluminación, viviendas en el derecho de vías de los ductos de hidrocarburos y las barrancas fueron rellenadas para la construcción de otras viviendas. En el asentamiento Jorge Murad Sección C el 85% de las viviendas no cuenta con escrituras de propiedades y en Nueva San Salvador el 15%⁸. El riesgo por explosión de hidrocarburos representa un problema para el 19.44% de los habitantes debido a que obstaculiza la escrituración. Las manzanas cuyo estatus legal obstaculiza su integración a los procesos de planeación urbana dificulta la dotación de servicios públicos.

Los servicios de asistencia que se encuentran dentro del radio sugerido para la atención en caso de emergencia (Secretaría de Estado en el Despacho de Desarrollo Social [SEDESOL], 1999)⁹ son la estación de bomberos, la seguridad pública, y los centros de salud. No obstante, se identificaron tres puntos nuevos de peligro de explosión con radios de afectación de 100 y 200 (Centro Nacional de Prevención de Desastres [CENAPRED], 2021) que incrementan la zona de riesgo (Figura 3).

En la vulnerabilidad urbana se define nivel alto en las manzanas A4, A5, B5 y B6, medio en A1, A2, A6, B2, B4 y B7 y bajo en A3, B1 y B3 (Figura 4).

Se obtuvo un puntaje en los indicadores de financiamiento de 117, identificación de riesgo de 278, manejo de 152 y reducción de 286, con un total de 883. En las entrevistas con el personal técnico de la Dirección de Gestión de Riesgos en Materia de Protección Civil del Municipio de Puebla (GRMPC) se identificaron recursos financieros limitados para la actualización de equipo y programas informáticos para la identificación y análisis de riesgos, debido a que la asignación de recursos depende de Tesorería Municipal, y no se cuenta con un fondo o reserva económica propia para la operabilidad.

Respecto a la información municipal, no se cuenta con un inventario, ni documentación histórica, ni monitoreo de los desastres o pérdidas por explosión de hidrocarburos, la información se transmite de manera oral entre el personal. Se carece de la localización precisa de los ductos, no existe mapeo, ni evaluación de vulnerabilidad y riesgo, y la información existente está reservada por Petróleos Mexicanos (PEMEX). Respecto a la profesionalización, el personal no recibe capacitación continua, el

⁸ El ayuntamiento municipal ha incorporado al desarrollo urbano sólo a Nueva San Salvador, este proceso es el último paso que llevan a cabo los asentamientos urbanos para solicitar el reconocimiento para la dotación de los servicios públicos básicos, este proceso agiliza la acreditación de la propiedad.

⁹ En la actual norma NOM-SEDATU-002 del año 2022 este radio no está definido.

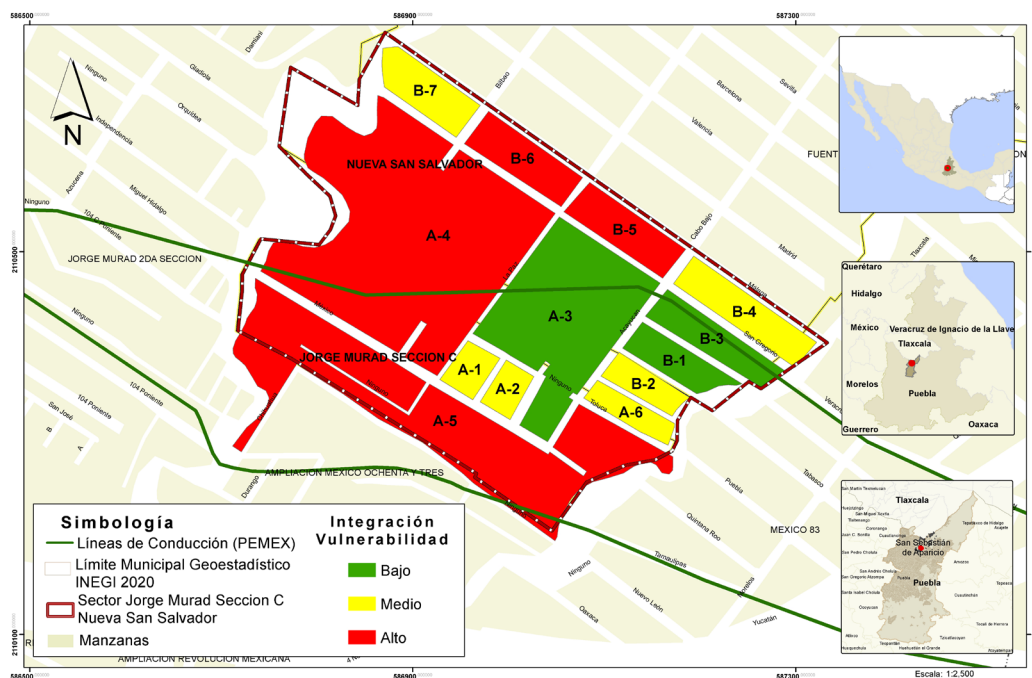


Figura 6. Integración de Vulnerabilidades. Fuente: Elaboración de los autores con base en INEGI (2009); INEGI (2016).

intercambio de conocimientos se da por iniciativa del personal y/o ante la necesidad de resolver problemas específicos de gestión (Personal-técnico, comunicación personal, 2023).

Respecto al manejo del riesgo, si bien la Dirección Municipal de Protección Civil (PC) es responsable de la fase operativa y cuenta con equipo para atender la emergencia, carece de acciones preventivas entre personal y habitantes en asentamientos urbanos. Las acciones de las industrias y empresas PEMEX y Maxi Gas se limitan al personal técnico, por lo que la Secretaría de Seguridad Pública se encarga de la vigilancia y monitoreo, a través de cámaras ubicadas en vasos reguladores y canales con riesgo de inundación.

Respecto a la prevención, PC realiza campañas de prevención de emergencias en redes sociales y radio y Gestión de Riesgos en Materia de Protección Civil del Municipio de Puebla (GRMPC) revisa los planes de protección civil en construcciones que ofrecen bienes y servicios (Personal-técnico, comunicación personal, 2023). Resalta que ambas carecen de responsabilidad y recursos para reubicar viviendas.

En la vulnerabilidad institucional se definen nivel alto en las manzanas A1, A2, A6, B1, B2, B4, B5, B6 y B7 y bajo en A3, A4, A5 y B3 ya que son atendidas por PEMEX (Figura 5).

A partir de un enfoque multifactorial, se identificó que si bien existe población y vivienda en condiciones de rezago y marginación sobre ductos de hidrocarburos, la organización y la comunicación vecinal en situaciones de emergencia, y la vinculación con autoridades locales ayuda a reducir la vulnerabilidad, aunque la amenaza no desaparece. En nivel alto se definieron las manzanas A4, A5, B5 y B6, en medio A1, A2, A6, B2, B4 y B7, en bajo A3, B1 y B3 (Figura 6).

V. DISCUSIONES

La evaluación de vulnerabilidad con un enfoque multifactorial implicó la integración de indicadores sociales, urbanos e institucionales que abordan autores como Acuña (2016), Cram Heydrich et al. (2020), Ruíz Rivera y Magaña Rueda (2020). Este enfoque representa un avance respecto a los estudios como los de He et al. (2021) y Abdoul Nasser et al. (2021) que analizan el riesgo enfatizándose en las amenazas.

El estudio aporta en colocar en el centro del análisis los perfiles y capacidades de los actores involucrados como sugieren Mojtahedi y Oo (2016). De acuerdo con Cutter et al. (2003) y Mattedi et al. (2024) se explora el diseño

de indicadores, a través de normalización e integración de datos para medir y comparar la vulnerabilidad por manzana urbana como la máxima aproximación espacial posible.

En la vulnerabilidad social se consideraron los indicadores referentes a grupos que presentan rezago (CONEVAL, 2020), atención y cuidados, y pobreza (Montes-Neri, 2023). En la vulnerabilidad urbana se consideraron los indicadores de marginación, proximidad de equipamientos y servicios urbanos, los derechos de vía, radios de explosión y áreas de afectación como mencionan Azari y Karimi (2017). En la vulnerabilidad institucional se consideraron los indicadores respecto a las acciones para el financiamiento, planeación urbana, acceso a la información, profesionalización y capacidad de respuesta como parte fundamental en los procesos de gestión que resaltan Merlinsky y Tobías (2016).

Se corrobora que en la gestión se ignoran los riesgos antropogénicos como los químico-tecnológicos y prevalece la respuesta reactiva como lo señalan Abdoul Nasser et al. (2021). Los habitantes como principales involucrados se organizan y toman de decisiones para intentar reducir la vulnerabilidad, sin embargo, no es suficiente ante las omisiones institucionales de brindar certeza jurídica de la propiedad como menciona Cutter et al. (2003) y servicios públicos en Ochoa-Ramírez y Guzmán-Ramírez (2020), esta es una situación que coloca al riesgo de desastre en un problema secundario o invisibilizado de acuerdo con González (1994) y Cavazos-Arroyo et al. (2014).

VI. CONCLUSIONES

El estudio es un aporte ante la carencia de análisis que integren variables de diferentes tipos para determinar el origen multifactorial de la vulnerabilidad ante el riesgo de desastre y su mapeo (Birkmann, 2007). Se ratifica que múltiples factores determinan la vulnerabilidad ante el riesgo de explosión de hidrocarburos (Xiu et al., 2011; Ruíz Rivera y Magaña Rueda, 2020). Se contribuyó con el diseño y procesamiento de indicadores sociales, urbanos e institucionales para definir los niveles de vulnerabilidad (Cutter et al., 2003) en el Sector Jorge Murad C-Nueva San Salvador debido a que representa la exposición en la que se encuentran otros asentamientos urbanos informales en el municipio de Puebla (Montes-Neri, 2023). El análisis socioespacial de los indicadores asociados a datos vectoriales (Mattedi et al., 2024) evidencian las diferencias en la distribución de la vulnerabilidad por manzana urbana como la máxima aproximación espacial posible (He et al., 2021; Cutter et al., 2003). El riesgo se presenta por la

exposición de la población y viviendas ante la explosión de hidrocarburos, pero la vulnerabilidad se incrementa ante el rezago social, la marginación y una respuesta reactiva. Mediante los procesos participativos se corroboró que la organización y vinculación de los actores involucrados coadyuva en reducir la vulnerabilidad.

VII. CONTRIBUCIÓN DE AUTORES CRediT:

Conceptualización: R.M.H.V. y S.S.S.M.; Curación de datos: R.M.H.V.; Análisis formal: R.M.H.V. y S.S.S.M.; Adquisición de financiación: R.M.H.V.; Investigación: R.M.H.V., S.S.S.M. y M.L.F.L.; Metodología: R.M.H.V., S.S.S.M. y M.L.F.L.; Administración de proyecto: S.S.S.M. y M.L.F.L.; Recursos: R.M.H.V.; Software: R.M.H.V.; Supervisión: S.S.S.M. y M.L.F.L.; Validación: R.M.H.V. y S.S.S.M.; Visualización: R.M.H.V. y S.S.S.M.; Escritura – borrador original: R.M.H.V., S.S.S.M. y M.L.F.L.; Escritura – revisión y edición: S.S.S.M.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdoul Nasser, A. H., Ndalila, P. D., Mawugbe, E. A., Emmanuel Kouame, M., Arthur Paterne, M., y Li, Y. (2021). Mitigation of Risks Associated with Gas Pipeline Failure by Using Quantitative Risk Management Approach: A Descriptive Study on Gas Industry. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(10), 1098. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/jmse9101098>
- Acuña, J. (2016). Análisis de la Vulnerabilidad Institucional en el Distrito Metropolitano de Caracas. *Terra Nueva Etapa*, XXXII(52), 151-175. <https://www.redalyc.org/pdf/721/72148468007.pdf>
- Azari, P., y Karimi, M. (2017). Quantitative risk mapping of urban gas pipeline network using GIS. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42(4), 319-324. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W4-319-2017>
- Barrientos, J. (06 de abril de 2020). Detectan fuga de gas de una toma clandestina en ductos de Pemex en la Colonia Nueva San Salvador/. Desde Puebla: <https://desdepuebla.com/2020/04/06/detectan-fuga-de-gas-de-una-toma-clandestina-en-ductos-de-pemex-en-la-colonia-nueva-san-salvador/>
- Birkmann, J. (2007). Risk and vulnerability indicators at different scales: Applicability, usefulness and policy implications. *Environmental Hazards*, 7(1), 20-31. <https://doi.org/10.1016/j.envhaz.2007.04.002>
- Buzai, G., y Baxendale, C. (2010). Análisis Espacial con Sistemas de Información Geográfica. Aportes de la Geografía para la elaboración del Diagnóstico en el Ordenamiento Territorial. *Fronteras*, (10), 25-38. https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/193310/CONICET_Digital_Nro.3129b8db-06fd-4c35-a4cd-717577017ce0_C.pdf?sequence=5/1000
- Cavazos-Arroyo, J., Pérez-Armendáriz, B., y Mauricio-Gutiérrez, A. (2014). Afectaciones y consecuencias de los derrames de hidrocarburos en suelos agrícolas de Acatzingo Puebla, México. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 11(4), 539-550. <https://www.scielo.org.mx/pdf/asd/v11n4/v11n4a6.pdf>

Centro Nacional de Prevención de Desastres [CENAPRED]. (2021). *Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. Secretaría de Gobernación*. <https://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/44.pdf>

Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social [CONEVAL]. (2020). Índice de rezago social. https://www.coneval.org.mx/Medicion/IRS/Paginas/Indexe_Rezago_Social_2020.aspx

Cram Heydrich, S., Oropeza Orozco, O., y Fernández Lomelín, P. (Coords.). (2020). Vulnerabilidad intrínseca ante derrames de hidrocarburos: una propuesta para su estimación en Universidad Nacional Autónoma de México, (Ed.), *Geografía Para el Siglo XXI. Serie: Libros de investigación*. Instituto de Geografía, Ciudad de México. <https://www.cervantesvirtual.com/nd/ark:/59851/bmc1222482>

Cutter, S. L., Boruff, B. J., y Shirley, W. L. (2003). Social Vulnerability to Environmental Hazards. *Social Science Quarterly*, 8(2), 242-261. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1540-6237.8402002>

González, P. J. (1994). Crecimiento industrial y riesgo urbano: el caso de Mexicali, Baja California. *Estudios Fronterizos*, (34), 9-29. <https://doi.org/10.21670/ref.1994.34.a01>

He, B., Bai, M., Shi, H., Li, X., y Qi, Y. (2021). Risk assessment of pipeline engineering geological disaster based on GIS and WOE-GA-BP models. *Applied Sciences*, 11(21), 9919. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/app11219919>

Hernández Ajá, A., Rodríguez Alonso, R., Rodríguez Suárez, I., Gómez Giménez, J. M., González García, I., Córdoba Hernández, R., Alguacil Gómez, J., Camacho Gutiérrez, J., Carmona Mateos, F., y Jaramillo Cáceres, S. (2018). *Barrios Vulnerables de las Grandes Ciudades Españolas. 1991/ 2001/ 2011*. Instituto Juan Herrera (IJH), Madrid. <http://oa.upm.es/51015/>

Hernández, R.V.M. (2023a). Taller de Cartografía Participativa con habitantes de la colonia Jorge Murad Sección C [Taller 24 de abril]de 2023. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla [BUAP], Puebla, México.

Hernández, R.V.M. (2023b). Visitas de campo.[BUAP], Puebla, México.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2009). *Carta topográfica. Topografía. Puebla*, Puebla, México. <https://www.inegi.org.mx/temas/topografia/#descargas>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2016). *Cartografía Geoestadística de Localidades Urbanas y Rurales Amanzanas*. Marco Geoestadístico: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825218881>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2020). *Censo de Población y Vivienda. Principales resultados por AGEB y manzana*. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/default.html#Microdatos>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2023). *Marco Geoestadístico Nacional*. <https://www.inegi.org.mx/temas/mg/#Descargas>

Jurgilevich, A., Räsänen, A., y Juhola, S. (2021). Assessing the dynamics of urban vulnerability to climate change: Case of Helsinki, Finland. *Environmental Science and Policy*, 125, 32-43. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.08.002>

Lavell, A., Mansilla, E., Maskrey, A., y Ramírez, F. (20 de abril de 2020). La construcción social de la pandemia COVID-19: desastre, acumulación de riesgos y políticas públicas. *La Red - Red de estudios sociales en Prevención de desastres en América Latina*. 1-16. <https://www.ces.uc.pt/ficheiros2/sites/osiris/files/Construcao%CC%81n-social-pandemia-Covid19-desastre-riesgo-politicas-publicas-RNI-LA-RED-23-04-2020.pdf>

Mattedi, M. A., Mello, B. J. M., S. C., Vicenteiner, D. A., y Kormann, T. C. (2024). Application of a socio-environmental vulnerability index for disasters through

a Geographic Information System (GIS): a case study in Blumenau (SC). *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, 13(1), e23423. <https://doi.org/https://doi.org/10.5585/2024.23423>

Merlinsky, M. G., y Tobias, M. A. (2016). Inundaciones y construcción social del riesgo en Buenos Aires. Acciones colectivas, controversias y escenarios futuros. *Cuaderno del Cendés*, 33(91), 45-63. <https://ve.scielo.org/pdf/cdc/v33n91/art04.pdf>

Meza, K. (27 de marzo de 2017). Nación Huachicol: la cultura en torno al robo de combustible en Puebla. *Periódico Central*. <https://www.periodicocentral.mx/2017/pagina-negra/huachicol/item/4661-nacion-huachicol-la-cultura-en-torno-al-robo-de-combustible-en-puebla>

Ministerio del Trabajo (2019) Estándares mínimos del Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo SG-SST, Resolución Número 0312 de 2019, Colombia. https://safetya.co/normatividad/resolucion-0312-de-2019/#google_vignette

Mojtahedi, M., y Oo, B. L. (2016). Critical attributes for proactive engagement of stakeholders in disaster risk management. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 21, 35-43. <https://doi.org/doi:10.1016/j.ijdrr.2016.10.017>

Montes-Neri, G. (2023). Vulnerabilidad y Resistencias: Las mujeres en sus diversidades ante los riesgos urbano-ambientales en asentamientos informales en la periferia norte de Puebla, México. *Astrágalo. Cultura de la Arquitectura y de la Ciudad*, 1(33-34), 307-325. <https://dx.doi.org/10.12795/astragalo.2023.i33-34.16>

Ochoa-Ramírez, J. A., y Guzmán-Ramírez, A. (2020). La vulnerabilidad urbana y su caracterización socio-espacial. *Legado de Arquitectura y Diseño*, 15(27). <https://doi.org/10.36677/legado.v15i27.13288>

Puebla Roja. (06 de abril de 2020). Detectan toma clandestina de gas entre las colonias México 83 y Nueva San Salvador. *Puebla Roja*. <https://pueblaroja.mx/detectan-toma-clandestina-de-gas-entre-las-colonias-mexico-83-y-nueva-san-salvador/>

Ruiz Rivera, N. (2012). La definición y medición de la vulnerabilidad social. Un enfoque normativo. *Investigaciones Geográficas*, (77), 63-74. <https://doi.org/10.14350/rig.31016>

Ruiz Rivera, N., y Magaña Rueda, V. (2020). *Marco Metodológico para Atlas de Riesgos orientados a la Planeación Metropolitana para la Gestión de Riesgos. Aplicación al Área Metropolitana de Guadalajara*. Instituto Metropolitano de Planeación y Gestión del Desarrollo del Área Metropolitana de Guadalajara. <https://publicaciones.geografia.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/196/177/1016>

Secretaría de Protección Civil y Gestión Integral de Riesgos. (2021). *Atlas de Peligros y Riesgos*. http://rmgir.proyectomesoamerica.org/AtlasMunPDF/2021/21114_PUEBLA_2021.pdf

Secretaría de Estado en el Despacho de Desarrollo Social [SEDESOL]. (1999). *Sistema Normativo de Equipamiento Urbano. Subsistema Servicios Urbanos*. <https://aducarte.weebly.com/uploads/5/1/2/7/5127290/tomo6.pdf>

Xiu, C., Cheng, L., Song, W., y Wu, W. (2011). Vulnerability of large city and its implication in urban planning: A perspective of intra-urban structure. *Chinese Geographical Science*, 21, 204-2010. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11769-011-0451-7>

