

## **Riesgo para la salud asociado a la vivienda y su entorno. Propuesta metodológica para su evaluación**

DOI: 10.20868/ciur.2022.142.4888

Olatz Grijalba

Arquitectura (UPV/EHU), Máster en Eficiencia Energética y Sostenibilidad en la Industria, Transporte, Edificación y Urbanismo (UPV/EHU) y Construcción Sostenible y Eficiencia Energética (UPV/EHU - 2009) y Especialista Universitario en Desarrollo Sostenible y AGL 21 (UPV (EHU - 2010) y Doctora, Arquitecta, Departamento de Arquitectura (UPV/EHU)

[olatz.grijalba@ehu.eus](mailto:olatz.grijalba@ehu.eus)

Mikel Barrena-Herrán

Grado en Ingeniería Civil (UPV/EHU - 2016), Máster en Recursos Territoriales y Estrategias de Ordenación (UC)

[mikel.barrena@ehu.eus](mailto:mikel.barrena@ehu.eus)

Itziar Modrego - Monforte

Arquitectura (UPV/EHU - 2010), Máster en Investigación en Eficiencia Energética y Sostenibilidad en la Industria, Transporte, Edificación y Urbanismo (UPV/EHU).

[itziar.modrego@ehu.eus](mailto:itziar.modrego@ehu.eus)

### **PALABRAS CLAVE:**

Regeneración urbana / vivienda y salud / análisis multicriterio / sistemas de información geográfica / evaluación de la vulnerabilidad

### **RESUMEN:**

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) las condiciones morfológicas, materiales y de contexto de los edificios residenciales pueden exponer a las personas a distintos riesgos para la salud, tanto físicos como mentales. Dicho riesgo depende de factores de muy diversa índole (socioeconómica, sociocultural, ambiental, etc.). Es un fenómeno multifactorial y multicausal, donde los aspectos arquitectónicos y urbanísticos son una variable importante de un sistema complejo. Los retos a los que se enfrentan las estrategias de rehabilitación residencial deberían adaptarse para dar respuesta a las deficiencias de los distintos ámbitos.

En este contexto, se ha desarrollado un método para evaluar la vulnerabilidad residencial en función al riesgo para la salud de las personas. Se trata de una primera propuesta para incorporar aspectos como la iluminación y la ventilación natural o la espacialidad o flexibilidad de las viviendas en los métodos de evaluación del parque edificado. Pretende provocar una reflexión acerca de la diversidad existente en las necesidades, en contraposición a la uniformidad de las estrategias de rehabilitación impulsadas por la Administración Pública en esta última década. A su vez, posibilita entender la estructuración del parque residencial a nivel urbano e interrelacionar aspectos tipo morfológicos y socioeconómicos e indagar en las dinámicas de vulnerabilidad urbana.

El análisis se ha realizado en cuatro tipos de vulnerabilidad (espacial, ambiental, energético y socioeconómico) a través de 24 indicadores recogidos en un modelo SIG basado en la lógica difusa y la evaluación multicriterio. Se ha utilizado como base la información cartográfica y alfanumérica del catastro. La escala de trabajo y de análisis es municipal siendo la unidad de desagregación el portal. El método se ha implementado en un caso de estudio, el término municipal de Donostia-San Sebastián, aunque es exportable y adaptable a otros contextos.

La propuesta metodológica desarrollada posibilita tener una visión holística del parque y comparar las afecciones en distintas áreas de estudio. Dicha información es la base para diseñar adecuadamente las intervenciones para cada contexto o tipología y definir una estrategia de escala municipal.

## **1 INTRODUCCIÓN**

La primera gran expansión de las ciudades europeas se dio en la segunda mitad del siglo XX. Los edificios residenciales construidos en esa época constituyen gran parte del parque residencial actual siendo edificios antiguos, envejecidos, y que no responden a las necesidades y requisitos de las viviendas actuales (Dovjak & Kukec, 2019). En este contexto, el creciente interés mundial en el desarrollo e implementación de estrategias en el campo de la rehabilitación ha traído consigo numerosas políticas públicas europeas, centradas principalmente en la eficiencia energética y la accesibilidad.

Por otro lado, desde hace muchos años se reconoce que las características del entorno urbano y residencial afectan directamente a la calidad de vida y la salud de las personas (Fariña et al., 2019). Según la OMS, la mejora de las condiciones de la vivienda puede salvar vidas, prevenir enfermedades, aumentar calidad de vida, reducir la pobreza, ayudar a mitigar el cambio climático y contribuir a la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Organización Mundial de la Salud, 2018). Actualmente, más del 20% de la población mundial carece de un alojamiento adecuado, situación nociva para la salud de sus habitantes, y esta cifra se prevé que se incremente en un 40% en 2030 según la ONU (World Health Organization et al., 2018). Además, la crisis sanitaria provocada por la COVID-19 ha puesto de manifiesto deficiencias como la escasa adaptabilidad y flexibilidad de los edificios, la falta de acceso a la luz natural o mínimas dimensiones habitacionales que tienen efectos sobre la salud física y mental (UN-Habitat, 2021).

Bajo este marco, el interés por abordar la vinculación concreta entre salud y vivienda ha aumentado considerablemente. La OMS define la vivienda saludable como un refugio que sustenta un estado de bienestar físico, mental y social. Además, debe proporcionar un sentimiento de hogar, incluyendo el sentimiento de pertenencia, seguridad y privacidad (Organización Mundial de la Salud, 2018). Por lo tanto, la condición de salud individual ya no se considera únicamente como una consecuencia de causas biológicas, sino que el impacto en la salud de las inadecuadas condiciones de la vivienda y de su entorno dependen de factores diversos —socio-económicos,

socio-culturales, ambientales, energéticos y espaciales— que interaccionan sinérgicamente (Bonney, 2007).

Las políticas de vivienda, aquellas garantes de los derechos fundamentales y la distribución equitativa de los recursos públicos deberían priorizar en sus estrategias de rehabilitación las áreas o edificios con mayores necesidades y dificultades para acometer la transformación. Los planteamientos actuales, sin embargo, son sectoriales y carecen de una visión integral. Por ello, se requieren mecanismos de diagnóstico, sistematizables, exportables, automatizables y de rápida actualización que interrelacionen los múltiples ámbitos vinculados, que evalúen la vulnerabilidad de las edificaciones urbanas residenciales y que posibiliten la priorización de las intervenciones en función no únicamente del impacto en el cambio climático, sino también en la salud y bienestar de las personas.

En esta comunicación se presenta un método de análisis multicriterio para evaluar la prioridad de las intervenciones de rehabilitación residencial desde una perspectiva integral que aglutina aspectos sociales, energéticos, ambientales y de habitabilidad. Pretende ser un instrumento para mostrar el amplio abanico de problemáticas y vulnerabilidades existentes y provocar una reflexión acerca de la necesidad de diversificar las estrategias de rehabilitación del parque construido y servir como mecanismo de diagnóstico y toma de decisiones.

## **2 REVISIÓN DE LA LITERATURA: MÉTODOS DE ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD DEL PARQUE EDIFICADO**

Los métodos cuantitativos y los indicadores de evaluación de la vulnerabilidad del parque construido son una herramienta fundamental que facilitan la toma de decisiones en la definición de políticas de rehabilitación y la priorización de acciones. A pesar de que numerosos estudios remarcan la importancia de incorporar métodos con un enfoque multifactorial mediante una visión integradora que caracterice el parque residencial (Cruz et al., 2021), no se ha dado suficiente desarrollo metodológico en esa línea. Destacan principalmente los métodos de evaluación específicos vinculados a ámbitos concretos y parciales: habitabilidad, aspectos ambientales, energéticos y sociales.

El enfoque científico más estudiado es el correspondiente a la vulnerabilidad energética centrada en la pobreza energética y que aúna aspectos ambientales, energéticos y sociales (Perez-Bezós et al., 2020). El insuficiente acceso a la energía y la incapacidad de mantener las viviendas a una temperatura adecuada pueden tener un impacto negativo en la salud de las personas debido a la exposición prolongada a malas condiciones higrotérmicas (San Miguel-Bellod et al., 2018).

En cuanto a los métodos para su evaluación, las tendencias más reconocidas siguen dos enfoques centrados en aspectos económicos principalmente (Herrero, 2017): indicadores basados en los ingresos/gastos de los hogares e indicadores consensuados basados en las respuestas a los cuestionarios de privación material<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Eurostat, "European Union Statistics on Income and Living Conditions", 2019.

En la práctica, el método más utilizado para medir pobreza energética es la introducida por el Reino Unido, que considera una energía doméstica pobre si, para alcanzar un nivel adecuado de confort térmico en el hogar, se ve obligado a gastar más del 10% de sus ingresos en energía<sup>2</sup>.

Algunos autores van más allá de esta perspectiva energética y reclaman una visión más compleja y holística en el análisis. Por ejemplo, aquellos que estudian los edificios como sistemas socio técnicos complejos atendiendo el papel de los ocupantes en las viviendas (Lowe et al., 2017). O por otro lado, los que abordan la multidimensionalidad incorporando al método factores relacionados con la calidad de vida, la calidad del espacio e interacción social desarrollando un sistema de evaluación basado en la cuantificación y ponderación de los multielementos (Doi et al., 2008).

Otro enfoque específico correspondería a la vulnerabilidad ambiental, que se asocia principalmente con la propia estructura física de la vivienda y las carencias de un insuficiente confort (Emmitt, 2022). Se ha demostrado que la calidad del ambiente interior tiene un impacto directo sobre el confort de las personas que habitan las viviendas y que dependen no solo de los niveles térmicos, sino también acústicos, visuales y del aire (Al horr et al., 2016).

En lo referente al confort higrotérmico, las humedades son la principal causa del aumento del riesgo de sufrir enfermedades respiratorias (Bonney, 2007). Alrededor del 15% de la población europea vive afectada por problemas de humedad en las viviendas, y un 10% por hongos. En España estos valores son del 14 y 8% respectivamente (Ortiz & Salom, 2016). A su vez el confort lumínico, puede afectar a los patrones de sueño y a la productividad de las personas. Se estima que el riesgo de depresión aumenta un 60% sin la presencia de luz solar o con una exposición extensiva a la humedad y mohos (Calvillo Cortés, 2010). El ruido es un factor estresante que influye en el estado físico y psicológico de las personas, repercutiendo así en los sistemas nervioso, gastrointestinal, inmunosupresor y cardiovascular. Tanto la Comisión Europea como la OMS (WHO Regional Office for Europe, 2005) estiman que alrededor del 20% de la población de la Unión Europea, viven bajo niveles de ruido considerados inaceptables.

Los estudios de calidad ambiental de las viviendas se clasifican en dos tendencias. Por un lado, los que realizan mediciones cuantitativas, físicas y químicas, de evaluación de la calidad ambiental mediante monitorizaciones y métodos cuantitativos (Alonso et al., 2022). Por otro, estudios basados en aspectos cualitativos mediante encuestas con el fin de conocer la percepción de los habitantes (Pedersen et al., 2021). En esta última al tratarse de indicadores subjetivos los resultados pueden diferir de los estándares establecidos en términos de confort ya que dependen de la percepción individual de las personas usuarias (Aryal & Becerik-Gerber, 2020).

Por otro lado, la literatura demuestra que la condición de vulnerabilidad espacial está vinculada a las características físicas del entorno construido que habitamos puesto que sus malas condiciones no permitirán un desarrollo satisfactorio de la vida

---

<sup>2</sup> Dep. Energy Clim. Chang. UK, "Annual Fuel Poverty Statistics Report", 2015.

cotidiana (Ochoa-Ramírez & Guzmán-Ramírez, 2020) y ello ha supuesto un incremento en los estudios específicos en este campo. La insatisfacción con respecto a las condiciones de la vivienda o la falta de privacidad, puede ocasionar problemas, tales como, ansiedad, depresión e insomnio, o problemas conductuales y académicos en la infancia (Braubach et al., 2011). Se demuestra que el hacinamiento aumenta el riesgo de enfermedades infecciosas y puede generar una mayor irritabilidad o prevalencia de ansiedad, depresión, alteraciones del sueño, conductas de riesgo o peor rendimiento académico (Bonney et al., 2003). Una determinada distribución puede restringir o favorecer aspectos vinculados con accesibilidad, humedad, iluminación natural, ventilación, confort y disponibilidad de vistas. Además, el hecho de que las viviendas sean flexibles y adaptables en el tiempo (Best, 2012) supone un beneficio desde la perspectiva de la intergeneracionalidad, la cohesión social del entorno y el sentimiento de pertenencia.

Son varios los informes y guías de buenas prácticas que proponen mejoras en el diseño dirigidas a la salud y el bienestar de sus habitantes. Pero, resulta necesaria una mayor profundización que explore el papel del diseño interior de la vivienda y el edificio de cara a evaluar y cuantificar la vulnerabilidad espacial en términos de salud.

Por último, existe una demostrada evidencia de la incidencia que tiene la vulnerabilidad social sobre la salud; la integración de los indicadores e índices de este ámbito en la globalidad de la evaluación de la vulnerabilidad resultan sumamente importantes representando un eje transversal en todos los ámbitos anteriormente analizados. La relevancia del enfoque social se relaciona con la posibilidad de captar la forma y las causas por las que diversos grupos y sectores sociales están sometidos, de manera dinámica y heterogénea, a determinantes que limitan el bienestar y el ejercicio de los derechos ciudadanos (Wilches-Chaux, 1989).

A pesar del interés por evaluar la realidad social, a través de algún instrumento que permita su medición y cuantificación, la literatura científica demuestra que no es fácilmente medible ya que nos encontramos ante un sistema multifacético complejo (Birkmann, 2013). No obstante, existen diferentes herramientas basadas en datos estadísticos que cuantifican la vulnerabilidad entre diversas poblaciones y lugares (Fekete, 2012). Los indicadores sociales se configuran como instrumentos capaces de representar en un solo número o índice general las realidades complejas (Gilberto Jiménez-García et al., 2020).

La técnica más utilizada de estas herramientas es un indicador cuantitativo llamado Índice de Vulnerabilidad Social que se construye a partir del análisis de componentes principales basado en múltiples variables (Morgan, 1984). Si bien los índices de vulnerabilidad social se utilizan ampliamente, ninguno ha sido validado definitivamente ya que la vulnerabilidad social abarca un componente subjetivo que escapa del alcance de este índice (Spielman et al., 2020). La vulnerabilidad social representa un factor discriminatorio que, entre otros aspectos, potencia el impacto del riesgo para la salud en las personas que residen en determinados contextos urbanos, agravándose la situación cuando se suman otros factores de vulnerabilidad como el género.

Por tanto, de los estudios teóricos se extrae que la relación entre vivienda y salud supone un reto transversal y multidisciplinar, un fenómeno multifactorial y multicausal, donde los aspectos arquitectónicos son una variable importante de un sistema complejo. Pero, en la mayoría de los casos las variables se han estudiado de forma independiente y se detecta una carencia en cuanto a sistemas de análisis complejos e integrales.

### 3 METODOLOGÍA

Se propone un método sistematizado y exportable que se implementa a través de la herramienta SIG (Sistema de Información Geográfica). Se utiliza como base la información catastral georreferenciada a nivel de edificio, que incluye tanto los datos dimensionales y geométricos como la información alfanumérica agregada.

El planteamiento metodológico se establece en las cuatro fases que se describen a continuación.

#### 3.1 Fase 1. Indicadores

Habitabilidad			Confort Higrotérmico			Confort Lumínico		
I.01	G	Superficie media de vivienda por habitante	I.01	G	Superficie media de vivienda por habitante	I.02	G	Longitud de frente de fachada con respecto a la superficie construida de vivienda
I.02	G	Longitud de frente de fachada con respecto a la superficie construida de vivienda	I.03	G	Fondo edificatorio de la vivienda	I.03	G	Fondo edificatorio de la vivienda
I.03	G	Fondo edificatorio de la vivienda	I.04	G	Número de orientaciones promedio de las viviendas del edificio	I.04	G	Número de orientaciones promedio de las viviendas del edificio
I.04	G	Número de orientaciones promedio de las viviendas del edificio	I.05	G	Incidencia de radiación solar	I.05	G	Incidencia de radiación solar
I.05	G	Incidencia de radiación solar	I.06	E.S.	Porcentaje de huecos de fachada	I.06	E.S.	Porcentaje de huecos de fachada
I.06	E.S.	Porcentaje de huecos de fachada	I.10	G	Amplitud y perspectiva de la huella urbana edificada	I.10	G	Amplitud y perspectiva de la huella urbana edificada
I.07	E.S.	Existencia de balcones y/o terrazas en las viviendas	I.11	G	Proximidad de vegetación a los edificios			
I.08	E.S.	Tipo de cubierta del edificio	I.13	E	Capacidad de ventilación natural y renovación de aire			
I.09	E.S.	Tipo de estructura del edificio	I.14	E.S.	Transmitancia térmica de las fachadas principales			
I.10	G	Amplitud y perspectiva de la huella urbana edificada	I.15	G	Compacidad del edificio			
I.11	G	Proximidad de vegetación a los edificios						
I.12	E	Accesibilidad vertical						
Confort Acústico			Demanda energética			Perfil social		
I.11	G	Proximidad de vegetación a los edificios	I.18	G	Demanda energética de CAL del edificio	I.20	E	Envejecimiento de la población
I.16	G	Exposición a la contaminación acústica	I.19	G	Demanda energética de ACS del edificio	I.21	E	Feminización del envejecimiento
I.17	E.S.	Aislamiento acústico a ruido aéreo				I.22	E	Presencia de la población inmigrante
						I.23	E	Formación básica de la población
						I.24	E	Renta disponible familiar
						I.10	E	Amplitud y perspectiva de la huella urbana edificada
Método de cálculo								
G	Geoprocesamiento							
E.S.	Estrategia de Segmentación - Fichas							
E	Estadística							

Figura 1 Esquema de indicadores por cada ámbito vulnerable y método de cálculo.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez definidos los criterios que se consideran determinantes para asociar las condiciones de la vivienda y sus efectos sobre la salud, se establece una primera propuesta de variables e indicadores a través de un exhaustivo estudio de la

literatura. Tras el estudio de redundancias, viabilidad de cálculo, existencia de datos, escala espacial, necesidades de procesamiento y consistencia, se establece el set de 24 indicadores final y su incidencia en cada uno de los ámbitos temáticos objeto de estudio —espacial, ambiental, energético y social—. Para cada indicador, se desarrolla una ficha genérica que reúne la definición, fuentes y método de cálculo.

En la Figura 1 se presentan los 24 indicadores categorizados según los 4 ejes de vulnerabilidad. Como se representa en la tabla, se han utilizado dos métodos para la implantación de los indicadores en SIG:

### **Geoprocesamiento y estadística**

La potencialidad de la base de datos catastral reside en la cantidad de información reunida y estructurada de forma uniforme para todo el territorio, pero ésta se presenta de forma independiente en sus dos vertientes: la gráfica (cartografía) y la literal/descriptiva (alfanumérica), requiriendo dichos datos brutos una transformación en parámetros cuantitativos georreferenciados a nivel de edificio.

A partir de la información vectorial se realiza el cálculo de variables geométricas mediante geoprocesamiento en el propio SIG, mientras que la información descriptiva de cada edificio se consigue realizando operaciones estadísticas en una hoja de cálculo que se asocian espacialmente a la cartografía. La plena integración catastral se completa con la suma de información cartográfica y alfanumérica.

### **Estrategia de segmentación y caracterización de las tipologías**

En los indicadores que no son extraíbles de datos catastrales es necesario el desarrollo de una estrategia de segmentación y caracterización de las tipologías residenciales.

La particularidad de la propuesta que se presenta es su nivel de detalle en la caracterización arquitectónica, llegando a singularizar el análisis hasta la escala del propio edificio, pero a su vez considerando el contexto urbano en el que se inserta. A partir de la combinación de cuatro variables definidas (año de construcción y altura del edificio, densidad de la trama urbana y circularidad y relación de aspecto de los edificios); se obtiene la matriz tipomorfológica que clasifica el parque residencial atendiendo a la evolución de las técnicas constructivas, al tejido urbano en el que se inserta y a los modelos de ocupación y gestión de los edificios residenciales; de esta manera, se pretende que la clasificación de los edificios de una ciudad resulte una tarea ágil, objetiva y precisa a partir de la definición de unas características medibles y extrapolables.

## **3.2 Fase 2. Evaluación multicriterio**

El concepto genérico de evaluación multicriterio se determina como el conjunto de operaciones espaciales para lograr un objetivo a partir de una serie de criterios, cuya intensidad y umbrales son variables, que de alguna manera inciden en la actividad evaluada y se solapan espacialmente a la manera típica de la superposición de la información geográfica (Gómez & Barredo Cano, 2005). La implementación del método multicriterio juntamente con la lógica difusa mediante SIG presenta un

elevado potencial para la modelización de la vulnerabilidad de forma multidimensional.

Una vez calculados los valores absolutos de cada uno de los indicadores, se realiza la transformación de los rangos de valores absolutos en factores reclasificados en capas de pertenencia difusa a través de una función matemática específica; esto es, aportar valores intermedios entre un nivel de vulnerabilidad nulo (0) que irán ganando intensidad hasta un valor de vulnerabilidad máximo (1).

Para reclasificar los valores absolutos del indicador en cada ámbito se definen unos umbrales compuestos por criterios estadísticos, normativos y espaciales. Estos, al combinarlos, fijan unos valores de referencia o puntos de control y justifican la tendencia de crecimiento de la función de pertenencia estimada, que simula el comportamiento del indicador estableciendo un gradiente en relación con la vulnerabilidad que representa.

Para la preparación de conjuntos difusos a partir de los factores originales se incorpora la herramienta Fuzzify, con algunas adaptaciones por imposiciones específicas del comportamiento de las variables, desarrollada en el entorno del software libre QGIS, con la cual se toman como referencia funciones de pertenencia difusa de tipo lineal, exponencial o sigmoidal.

Por otra parte, se utiliza el procedimiento de asignación de pesos de expertos en la materia referida, basados en el Método de comparación por pares (Saaty, 1987) que, a partir del cálculo del autovector dominante de una matriz de comparaciones binarias de los factores, establece una matriz cuadrada recíproca en la cual el número de filas y columnas está definido por el número de factores a ponderar. En esta matriz se asigna la importancia relativa, donde la formalización de los juicios de valor se realiza en una escala de tipo continuo que va desde 1 a 9 —de igual importancia a extrema diferencia— comparando uno a uno los criterios.

Por tanto, cada factor asume un peso relativo que hará que ciertas variables incidan en mayor medida sobre la adecuación final para el objetivo propuesto. La evaluación multicriterio además de contemplar gradaciones de adecuación permite considerar que los factores tienen importancias relativas distintas.

Por último, la modelización de la vulnerabilidad a través del procedimiento multicriterio de Sumatoria Lineal Ponderada (Jiang & Eastman, 2010) contribuye decisivamente a poner de relieve el modelo espacial graduado de vulnerabilidad a nivel municipal, sobre la base de los principios de una ausencia de límites categóricos y de la necesaria combinación y compensación de factores mediante el establecimiento de un sistema de pesos expresados en tantos por uno.

El cálculo para cada índice de vulnerabilidad en cada ámbito asociado a cada edificio se realiza mediante la siguiente expresión:

$$I_{j,A} = \sum P_{i,A} \cdot Z_{ij,A} \leq 1 \quad [1]$$

Siendo: A=Ámbito vulnerable  
P= Ponderación  
Z=puntuación de la reclasificación  
i= indicador  
j= edificio



Tras efectuar la sumatoria lineal ponderada para el total del parque edificado integrando los indicadores correspondientes a cada ámbito, se obtiene los mapas con gradaciones de vulnerabilidad acordes a los criterios y su importancia relativa. Así, se consigue caracterizar varios perfiles según el ámbito de afección considerado. Dado que los valores de los índices carecen de un significado categórico per se, se opta por una clasificación mediante rupturas naturales de Jenks (De Smith et al., 2007) de manera que se generan 5 agrupaciones con valores similares y se maximizan las diferencias entre clases, cuyos límites quedan establecidos dónde hay diferencias considerables entre los valores de los datos.

### 3.3 Fase 3. Contraste y validación del método

Las unidades tipomorfológicas más representativas determinadas en la estrategia de segmentación y caracterización del parque de edificios, son estudiadas mediante un muestreo selectivo para verificar la correcta asignación de parámetros e indicadores asociados en las fichas.

Sobre los edificios seleccionados para el análisis se realiza una verificación cruzada de los indicadores entre los valores experimentales calculados y los valores reales medidos, diferenciando los valores numéricos de los descriptivos. Como resultado se obtiene un valor porcentual que representa la magnitud de la desviación del método en lo que a la modelización de los indicadores se refiere.

Por último, con el fin de conseguir una caracterización con mayor precisión de cara a orientar las políticas de rehabilitación, se plantea detectar las zonas con una mayor concentración de viviendas o edificios muy vulnerables —*hotspots*—. Las técnicas de autocorrelación espacial no consideran cada valor de vulnerabilidad de cada edificio de forma aislada, sino con relación a las localizaciones de su entorno. Se calcula el índice global de Moran y se realiza un análisis  $G_i^*$  de Getis-Ord para identificar clústeres espaciales.

Mientras que el Índice Global de Moran describe el patrón general de localización de los valores de vulnerabilidad, sea este disperso, aleatorio o concentrado; el Índice Getis-Ord mide la concentración de valores altos o bajos del área de estudio. Se usan polígonos de Voronoi y un criterio de contigüidad tipo Queen. Por otro lado, el análisis  $G_i^*$  de Getis-Ord muestra la distribución de los *hotspots* y *coldspots* espaciales a tres niveles de significación, pudiendo formar varios clústeres o tender al monopolio.

### 3.4 Caso estudio

La metodología se aplica a la ciudad de Donostia-San Sebastián, capital de la provincia de Gipuzkoa, en la comunidad autónoma del País Vasco. La superficie alcanza los 60,89 km<sup>2</sup> y, en el año 2020, la población del municipio es de 188.240 habitantes<sup>3</sup>, por lo que la densidad de población es de 3.060,77 hab./km<sup>2</sup>. Además, cuenta con 10.717 edificios conformados por 93.818 viviendas de las cuales 4.704 son

---

<sup>3</sup> INE (Instituto Nacional de Estadística), "Gipuzkoa: Población por municipios y sexo" 2021.

unifamiliares y las 89.114 restantes son plurifamiliares<sup>4</sup>. La muestra de análisis final de esta investigación consta de un total de 6.757 edificios y 80.336 viviendas.

## 4 RESULTADOS - DISCUSIÓN

A continuación, se exponen los resultados de la aplicación del método al caso de estudio descrito previamente. Primeramente, se presentan los datos y mapas resultantes en el cálculo de los índices de vulnerabilidad y posteriormente el resultado del análisis la autocorrelación espacial.

### 4.1 Índices de vulnerabilidad

En la tabla que se presenta a continuación, se muestra la cuantificación del porcentaje de viviendas y porcentaje de edificios según grado de vulnerabilidad para cada ámbito de estudio. Es de destacar que un 22% de las viviendas tiene valores de muy alta vulnerabilidad en el ámbito acústico, 16.923 viviendas. Así mismo, no es despreciable que casi el 12% son muy vulnerables en el ámbito lumínico y social, mientras que el 7,76% lo son en cuanto a la habitabilidad.

Grado de Vulnerabilidad	Habitabilidad		Higrotérmico		Lumínico		Acústico		Energético		Social	
	% edif.	% viv.	% edif.	% viv.	% edif.	% viv.	% edif.	% viv.	% edif.	% viv.	% edif.	% viv.
vulnerabilidad muy baja	10,59%	12,09%	0,68%	2,25%	25,00%	21,65%	5,28%	3,80%	46,24%	56,13%	28,29%	24,93%
vulnerabilidad baja	29,87%	33,83%	45,69%	46,97%	37,47%	27,81%	27,12%	19,40%	28,32%	23,72%	21,45%	20,40%
vulnerabilidad media	25,80%	28,13%	24,11%	25,26%	14,85%	16,51%	32,00%	32,16%	13,30%	11,35%	25,19%	29,73%
vulnerabilidad alta	22,33%	18,19%	23,41%	20,76%	16,16%	22,20%	19,95%	22,30%	9,24%	6,99%	14,97%	12,96%
vulnerabilidad muy alta	<b>11,40%</b>	<b>7,76%</b>	<b>6,10%</b>	<b>4,76%</b>	<b>6,53%</b>	<b>11,84%</b>	<b>15,66%</b>	<b>22,34%</b>	<b>2,90%</b>	<b>1,81%</b>	<b>10,10%</b>	<b>11,98%</b>

Tabla 1. Porcentaje de viviendas y edificios por nivel de vulnerabilidad para la ciudad de Donostia-San Sebastián.

Fuente: Elaboración propia.

La georreferenciación de los resultados permite percibir importantes desigualdades en la ciudad y visualizar las dinámicas espaciales para cada ámbito de estudio. Además, la representación del índice de vulnerabilidad por portal posibilita realizar análisis de escala de barrio, observando las diferencias existentes dentro de cada unidad morfológica, incluso dentro de un mismo conjunto edificatorio.

El índice de vulnerabilidad representa la posibilidad de que en el portal existan viviendas con unas ciertas características. Evidentemente, dentro de cada portal las condiciones de cada unidad habitacional también pueden ser muy diversas, sobre todo en aquellos casos en los que las viviendas tienen una única orientación o son portales con muchas plantas en zonas muy densas. El sistema permite analizar cada edificio de forma independiente, obteniendo los índices de vulnerabilidad para cada portal y por cada ámbito. A su vez, se pueden consultar los datos absolutos y reclasificados para cada indicador, de tal manera que se podría estudiar de forma independiente cada conjunto edificatorio. A continuación, en la figura e, se representa

<sup>4</sup> Eustat (Instituto vasco de Estadística), "Tablas estadísticas: Edificios de la C.A. de Euskadi por ámbitos territoriales, según tipo de edificio", 2020.

como ejemplo, un edificio de tipología manzana del barrio de Amara en Donostia – San Sebastián.



Figura 2. Visualización de los índices de vulnerabilidad por portal en una manzana del barrio de Amara en Donostia-San Sebastián.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 3 se muestra como ejemplo el resultado para el índice de vulnerabilidad en el ámbito de la habitabilidad.

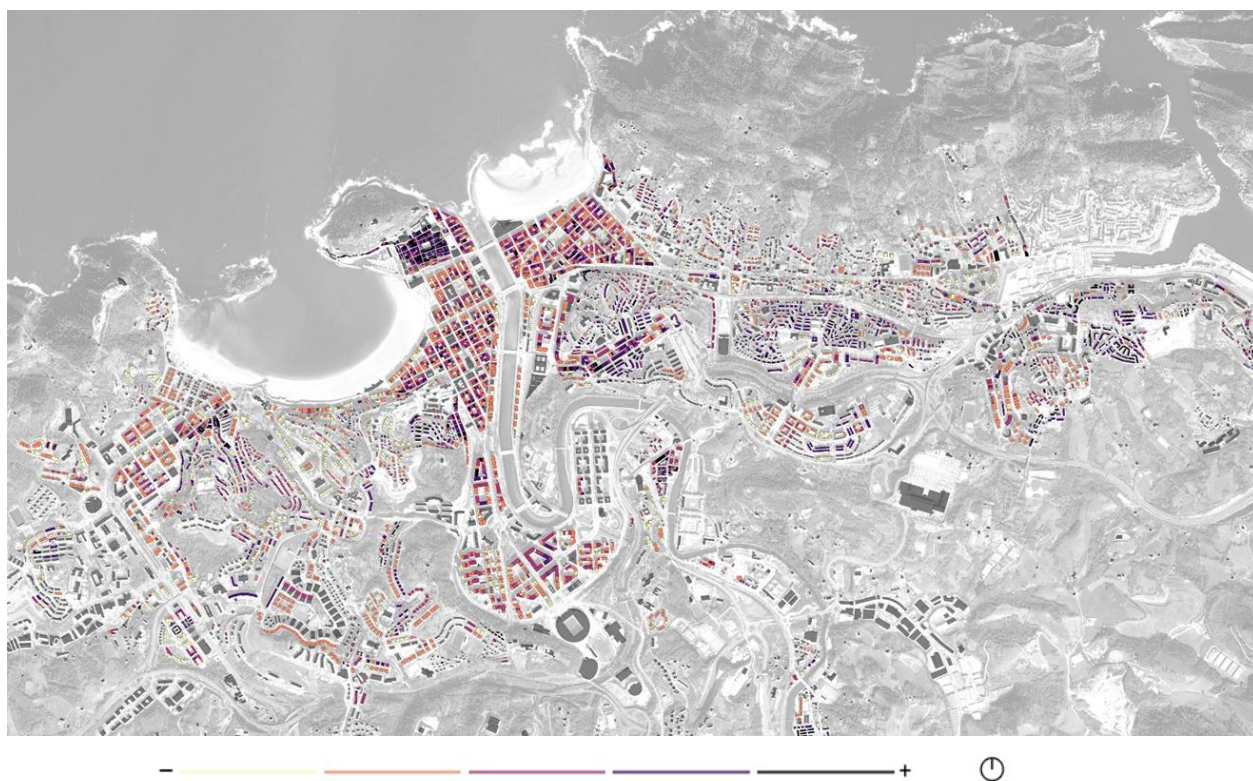


Figura 3. Vulnerabilidad en habitabilidad de las viviendas en Donostia-San Sebastián.

Fuente: Elaboración propia.

## 4.2 Análisis de autocorrelación espacial

Una vez analizado las distintas vulnerabilidades, se procede a realizar el análisis geoestadístico centrado en la concentración espacial y la caracterización de los fenómenos. El Índice Global de Moran muestra una autocorrelación espacial positiva significativa en todos los casos (0,455 en Habitabilidad; 0,499 en Higrotérmico; 0,578 en Acústico y 0,489 en Lumínico), pero mucho más alta en los índices Social (0,897) y Energético (0,764), lo cual es coherente con el proceso de cálculo de los indicadores que los componen, en los cuales los datos agregados por sección censal agudizan un ya acusado fenómeno de concentración espacial.

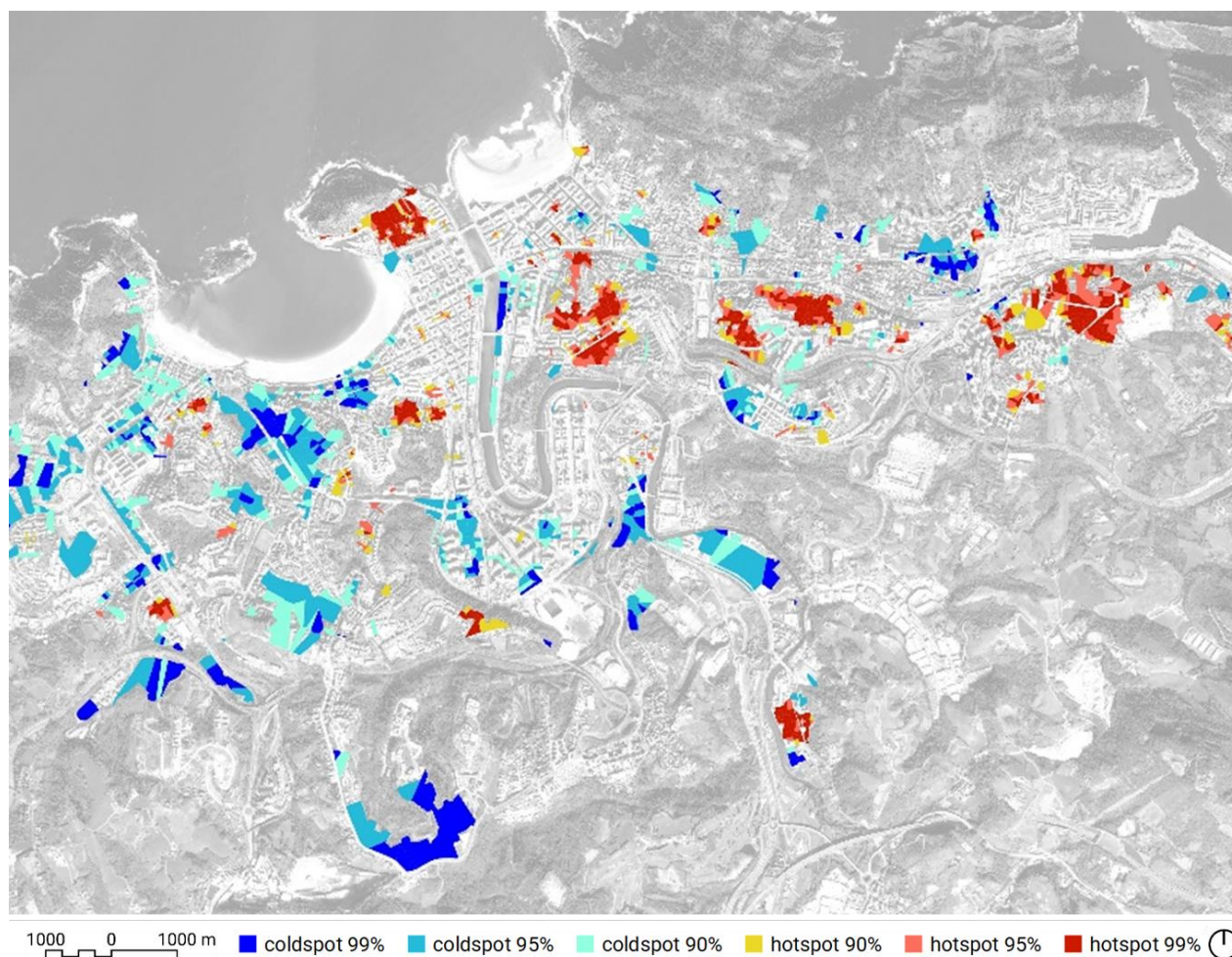


Figura 4. Plano resultante del análisis de *hotspots* del índice de vulnerabilidad de habitabilidad. Fuente: Elaboración propia.

El índice de habitabilidad presenta una marcada dualidad, con cuatro focos de vulnerabilidad, siendo el centro histórico y el eje oriental las localizaciones con una mayor concentración de edificios con valores muy altos, mientras que en la parte occidental de la ciudad se encuentra la situación inversa, con concentraciones de valores bajos. Una situación parecida, aunque más intensa sucede en el caso del

índice social. En el caso higrotérmico, la concentración de valores muy altos se da en el centro histórico y los ensanches. En el índice energético existe un gran contraste, donde la zona del centro histórico, ensanche y frente marítimo tienden a formar un único *hotspot*, frente a los *coldspots* de desarrollos más modernos. La concentración de valores altos del índice lumínico sigue el eje del río Urumea, de forma similar al acústico, aunque este último de forma más axial.

### **4.3 Análisis de los resultados**

A continuación, se describen los resultados tanto en los índices de vulnerabilidad como en el análisis de autocorrelación para cada ámbito en el caso de estudio.

#### **Habitabilidad**

Se observa que la mayor concentración de edificios de alta vulnerabilidad se agrupa en la zona del casco histórico donde predominan viviendas lotificadas entre medianeras datadas previas a 1900 cuyos aspectos constructivos en cuanto al tipo de estructura y cubierta son susceptibles de generar patologías y necesarias rehabilitaciones. Además, aspectos como la amplitud, el soleamiento, la disposición en la trama urbana —que en su mayoría cuentan con una sola orientación—, las proporciones geométricas de las viviendas —que dificultan la correcta distribución— y la falta de flexibilidad de los espacios habitados se presentan como cualidades predominantes. También se detecta una concentración de la vulnerabilidad en otros tres barrios —Egia, Intxaurre y Alza—, donde predominan viviendas datadas de los años 1960-80, de escasa superficie media de vivienda, cuya orientación principal es la Noroeste y Sureste y bajo porcentaje de huecos en fachada, con cubiertas inclinadas que limitan las posibilidades de usos comunitarios, y dada la configuración urbana no dispone de zonas verdes o abiertas.

#### **Confort higrotérmico**

Se aprecia una concentración de edificios de mayor vulnerabilidad en el casco histórico y ensanches decimonónicos que por su antigüedad presentan carencias en las características constructivas referentes a la envolvente térmica. Por otro lado, las proporciones geométricas de las viviendas, cuyo fondo es excesivamente elevado, dificultan la ventilación e iluminación natural, siendo susceptibles de presentar patologías como humedades, mohos, etc. A pesar de esas características constructivas, el hecho de tener una morfología compacta hace que se compensen de cierta manera las limitaciones constructivas mencionadas.

#### **Confort lumínico**

En este caso, son los tejidos urbanos más densos los presentan una mayor vulnerabilidad mientras que los tejidos de menor densidad y más dispersos y con mayores espacios libres presentan una mejor situación. Por una parte, está la tipología del casco histórico, con una trama urbana muy compacta, donde las viviendas tienen poca superficie de fachada con respecto a la superficie de vivienda y, además, los huecos al exterior tienen dimensiones escasas. En el caso de las

viviendas de Amara el Ensanche de Cortázar o el de Gros, la vulnerabilidad lumínica viene dada principalmente por disponer gran cantidad de viviendas de una única orientación, que en caso de ser Norte causa un mayor impacto en este índice. En el caso de Amara la vulnerabilidad es mayor porque, además, existen varios edificios con viviendas que dan únicamente al patio en edificios de 8 y 9 pisos de altura.

### **Confort acústico**

Las zonas más vulnerables se concentran en las vías de mayor tráfico combinadas con la baja vegetación cercana que podría disminuir esa contaminación acústica. Esta situación se agrava si son viviendas con malas características constructivas de la envolvente de los edificios. Esto está muy vinculado al tipo de ventanas, que depende de las modificaciones que se hayan realizado en cada vivienda lo cual es muy difícil de caracterizar en este tipo de estudio de escala municipal. En una primera aproximación, se identifican sobre todo los conjuntos edificatorios cercanos a las entradas principales de la ciudad en Amara y Avenida Tolosa. No obstante, existen factores de gran importancia en el confort acústico como son el ruido de ocio nocturno y ruido ambiental que no se han tenido en cuenta en este estudio por falta de datos accesibles por fuentes públicas.

### **Demanda energética**

La demanda energética se ha definido por dos indicadores, demanda energética de calefacción y estimación de consumo en función de la ocupación —ACS y electricidad. La mayor concentración de la vulnerabilidad se establece en las zonas de los ensanches decimonónicos y casco histórico. La conjunción de los siguientes factores, las características constructivas definidas por la antigüedad de los edificios y la amplia superficie de las viviendas y su baja ocupación dan como resultado unas demandas per cápita elevadas.

### **Perfil social**

La vulnerabilidad en este caso se concentra en los barrios altos periféricos como Intxaurre, Alza y Bidebieta y también, pero en menor medida, en los barrios Loiola o partes de Amara. Son barrios que cuentan con un alto envejecimiento de la población, presencia alta de inmigración, escasa formación básica y baja renta familiar. Hay que tener en cuenta que estos se han realizado a partir de datos públicos que se desagregan a nivel de sección censal. Por ello, se establecen varemos similares en los barrios y no hay diferenciación por portales.

## **5 CONCLUSIONES**

El análisis del estado de arte realizado evidencia que existe vinculación entre las características de las viviendas y la salud de las personas que en ellas habitan. Los factores determinantes del riesgo para la salud están identificados y definidos en varias publicaciones y se describen los métodos cuantitativos mediante indicadores como herramientas fundamentales para la evaluación y la toma de decisiones en la definición de estrategias de rehabilitación priorización. Sin embargo, se ha

evidenciado la necesidad de desarrollar métodos que contemplen el enfoque multifactorial mediante una visión integradora y holística que caracterice el parque construido.

A este respecto, la presente investigación desarrolla una primera propuesta metodológica multidimensional, novedosa y compleja, que integra aspectos sociales, energéticos, ambientales y de habitabilidad, mediante el cálculo de índices para cada ámbito referido. La metodología que se presenta se ha demostrado eficaz para la consecución de los objetivos fijados y la herramienta SIG asociada ha resultado ser ágil y exportable, a pesar de la gran cantidad de datos empleada.

Entre las dificultades encontradas destaca que el elemento de análisis en la propuesta que se presenta es la vivienda y se pretende determinar el nivel de riesgo para la salud asociado a cada unidad habitacional. Evidentemente, un mismo edificio puede contener viviendas de características diversas que pueden tener afecciones dispares en los indicadores propuestos. Sin embargo, caracterizar las viviendas con la información disponible actualmente en las fuentes accesibles, resulta imposible en un trabajo realizado a escala municipal. La información asociada a las viviendas requiere de enfoques más particulares, por lo que supondría una escala de aproximación mayor, como podría ser un análisis de un conjunto de edificios o un barrio. En el método desarrollado los resultados están desagregados a escala de edificio, que permite identificar las zonas o edificios con mayor vulnerabilidad.

Por otra parte, los datos existentes en fuentes públicas no permiten el cálculo de todos los indicadores de forma automática, por lo que resulta necesario introducir en la metodología un sistema para realizar la clasificación tipológica que permita asociar los portales con algunas características constructivas tipo de fachada —porcentaje de huecos, tipo de cubierta, etc.— o espaciales —existencia de balcones—. El método más extendido en los estudios realizados anteriormente se basa en dos variables —año de construcción y altura del edificio—. Una vez realizadas los análisis pertinentes, en esta propuesta se ha concluido que estos métodos no dan resultados lo suficientemente precisos para el objetivo que se persigue con esta metodología y se han añadido dos variables nuevas —densidad de la trama urbana y circularidad y relación de aspecto de los edificios—. Esto permite alcanzar unos resultados mejores y que la asignación de calores en los indicadores sea más idónea.

El método propuesto pretende ser una herramienta que visibilice la variedad de las problemáticas asociada a las viviendas y provoque una reflexión acerca de la idoneidad de las estrategias de rehabilitación impulsadas desde la administración pública actualmente. Puede ser, a su vez, un instrumento para elaborar diagnósticos y planes de intervención de medio-largo plazo de escala municipal o regional, donde se diseñen políticas que acometan de forma diversa las múltiples vulnerabilidades existentes en el parque edificado de su municipio.

## **6 BIBLIOGRAFÍA**

Al horr, Y., Arif, M., Katafygiotou, M., Mazroei, A., Kaushik, A., & Elsarrag, E. (2016). Impact of indoor environmental quality on occupant well-being and comfort: A

- review of the literature. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 5 (1), 1–11. <https://doi.org/10.1016/J.IJSBE.2016.03.006>
- Alonso, A., Calama-González, C. M., Suárez, R., León-Rodríguez, Á. L., & Hernández-Valencia, M. (2022). Improving comfort conditions as an energy upgrade tool for housing stock: Analysis of a house prototype. *Energy for Sustainable Development*, 66, 209–221. <https://doi.org/10.1016/J.ESD.2021.12.009>
- Aryal, A., & Becerik-Gerber, B. (2020). Thermal comfort modeling when personalized comfort systems are in use: Comparison of sensing and learning methods. *Building and Environment*, 185, 107316. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2020.107316>
- Best, R. (2012). Housing our Ageing Population: Plan for Implementation. , *APPG Inquiry Secretary* .
- Birkmann, J. (2013). Measuring vulnerability to natural hazards. *United Nations University*.
- Bonnefoy, X. (2007). Inadequate housing and health: An overview. *International Journal of Environment and Pollution*, 30 (3–4), 411–429. <https://doi.org/10.1504/IJEP.2007.014819>
- Bonnefoy, X., Braubach, M., Krapavickaite, D., Ormandy, D., & Zurlyte, I. (2003). Housing conditions and self-reported health status: A study in panel block buildings in three cities of Eastern Europe. *Journal of Housing and the Built Environment*, 18, 329–352.
- Braubach, M., Jacobs, D. E., & Ormandy, D. (2011). Environmental burden of disease associated with inadequate housing: A method guide to the quantification of health effects of selected housing risks in the WHO European Region. *World Health Organization*.
- Calvillo Cortés, A. (2010). *Luz y Emociones: Estudio sobre La Influencia de la Iluminación Urbana en las Emociones; tomando como base el Diseño Emocional*. Universidad Politécnica de Cataluña.
- Cruz, R. B. C. da, Marins, K. R. de C., & Kurokawa, F. A. (2021). Multicriteria methodological-rational model to evaluated urban areas: A case study of the São Paulo City/Brazil. *Sustainable Cities and Society*, 67. <https://doi.org/10.1016/J.SCS.2021.102718>
- De Smith, M. J., Goodchild, M. F., & Longley, P. A. (2007). *Geospatial Analysis: A Comprehensive Guide to Principles, Techniques and Software Tools* (2nd ed.). Troubador Publishing Ltd.
- Doi, K., Kii, M., & Nakanishi, H. (2008). An Integrated Evaluation Method of



- Accessibility, Quality of Life, and Social Interaction: *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 35 (6), 1098–1116.  
<https://doi.org/10.1068/B3315T>
- Dovjak, M., & Kukec, A. (2019). *Creating Healthy and Sustainable Buildings. An Assessment of Health Risk Factors*. Springer International Publishing.  
<https://doi.org/10.1007/978-3-030-19412-3>
- Emmitt, S. (2022). Building health and wellbeing. *Building Research & Information*, 50 (1–2), 1–5. <https://doi.org/10.1080/09613218.2021.2015273>
- Fariña J., Higuera E., & Román E. (2019). *Ciudad Urbanismo y Salud. Documento Técnico de criterios generales sobre parámetros de diseño urbano para alcanzar los objetivos de una ciudad saludable con especial énfasis en el envejecimiento activo*.
- Fekete, A. (2012). Spatial disaster vulnerability and risk assessments: Challenges in their quality and acceptance. *Natural Hazards*, 61 (3), 1161–1178.  
<https://doi.org/10.1007/S11069-011-9973-7/FIGURES/1>
- Gilberto Jiménez-García, W., Manzano-Chávez, L., & Bellalta, A. M. (2020). *Medición de la vulnerabilidad social: propuesta de un índice para el estudio de barrios vulnerables a la violencia en América Latina\**.  
<https://doi.org/10.5565/rev/papers.2850>
- Gómez, M., & Barredo Cano, J. I. (2005). *Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio (II)*. Ra-Ma.
- Herrero, S. T. (2017). Energy poverty indicators: A critical review of methods. *Indoor and Built Environment*, 26(7), 1018–1031.  
<https://doi.org/10.1177/1420326X17718054>
- Jiang, H., & Eastman, J. R. (2010). Application of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in GIS. [Http://Dx.Doi.Org/10.1080/136588100240903](http://Dx.Doi.Org/10.1080/136588100240903), 14 (2), 173–184. <https://doi.org/10.1080/136588100240903>
- Lowe, R., Chiu, L. F., & Oreszczyn, T. (2017). Socio-technical case study method in building performance evaluation. *Building Research & Information*, 46 (5), 469–484. <https://doi.org/10.1080/09613218.2017.1361275>
- Morgan, B. (1984). Social Geography, Spatial Structure and Social Structure . *King's College London*, 301–310.
- Ochoa-Ramírez, J. A., & 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>

- Organización Mundial de la Salud. (2018). *Directrices de la OMS sobre vivienda y salud: resumen de orientación*.
- Ortiz, J., & Salom, J. (2016). Estimación del efecto de la rehabilitación energética en la salud de las personas. *Eficiencia Energética: Sistemas, Edificios y Comunidades*.
- Pedersen, E., Borell, J., Li, Y., & Stålné, K. (2021). Good indoor environmental quality (IEQ) and high energy efficiency in multifamily dwellings: How do tenants view the conditions needed to achieve both? *Building and Environment*, 191, 107581. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2020.107581>
- Perez-Bezoz, S., Grijalba, O., & Irulegi, O. (2020). Proposal for Prioritizing the Retrofitting of Residential Buildings in Energy Poverty Circumstances. *Environmental and Climate Technologies*, 24 (3), 66–79. <https://doi.org/10.2478/RTUECT-2020-0086>
- Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, 9 (3–5), 161–176. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)
- San Miguel-Bellod, J., González-Martínez, P., & Sánchez-Ostiz, A. (2018). The relationship between poverty and indoor temperatures in winter: Determinants of cold homes in social housing contexts from the 40s–80s in Northern Spain. *Energy and Buildings*, 173, 428–442. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2018.05.022>
- Spielman, S. E., Tuccillo, J., Folch, D. C., Schweikert, A., Davies, R., Wood, N., & Tate, E. (2020). Evaluating social vulnerability indicators: criteria and their application to the Social Vulnerability Index. *Natural Hazards*, 100 (1), 417–436. <https://doi.org/10.1007/S11069-019-03820-Z/FIGURES/2>
- UN-Habitat. (2021). *Cities and Pandemics: Towards a More Just, Green and Healthy Future*.
- WHO Regional Office for Europe. (2005). *Experts consultation on methods of quantifying burden of disease related to environmental noise*.
- Wilches-Chaux, G. (1989). *Desastres, ecologismo y formación profesional*. Popayán: Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA).
- World Health Organization. Department of Housing and Urban Development, France. Ministère des affaires sociales et de la santé & United States. Environmental Protection Agency. (2018). *WHO Housing and health guidelines. Recommendations to Promote Healthy Housing for a Sustainable and Equitable Future*, 149.