

Informes de la Construcción
Vol. 70, 551, e262
julio-septiembre 2018
ISSN-L: 0020-0883
<https://doi.org/10.3989/ic.58962>

Evaluación de riesgo de incendio urbano en el centro histórico de la ciudad de Guimarães

Assessing urban fire risk in the historic city centre of Guimarães

T. M. Ferreira (*), P. Baquedano (*), S. Graus (*), E. Nochebuena (*), T. Socarrás (*)

RESUMEN

El principal objetivo de este trabajo fue evaluar el riesgo de incendio urbano en el Centro Histórico de Guimaraes, Portugal, declarado Patrimonio Cultural de la Humanidad en 2001 por la UNESCO. A partir del estudio de las características urbanas, arquitectónicas y constructivas del Centro Histórico de Guimarães, la presente investigación se centró en el análisis de un amplio conjunto de información recogida in situ y en su posterior utilización para la aplicación de una metodología simplificada de evaluación de riesgo de incendio urbano. Los datos obtenidos fueron procesados con la herramienta GIS (Geographic Information System), preparándose planos donde se muestra el nivel de vulnerabilidad del Centro Histórico de Guimarães, además de detectar las zonas de mayor riesgo en función de los cuatro factores globales de riesgo asociado al inicio, propagación, evacuación y combate al incendio.

Palabras clave: Vulnerabilidad, riesgo de incendio urbano, centro histórico, patrimonio edificado, construcción histórica.

ABSTRACT

The main objective of this work was to evaluate the urban fire risk of the Historic Centre of Guimarães, Portugal, which was declared by UNESCO as a World Heritage Site in 2001. From the study of the singular urban, architectural and constructive characteristics of Historic Centre of Guimarães, the present research focused on the analysis of a broad set of information collected in situ and on its subsequent use to apply a simplified urban fire risk assessment methodology. A GIS tool (Geographic Information System) was used to process and plot the results, allowing to obtain vulnerability maps from which it is possible to assess the global vulnerability of the Historical Centre of Guimarães, as well as to identify the areas where, from the evaluation of four global factors related with the fire ignition, propagation, evacuation and combat, urban fire risk is potentially higher.

Keywords: Vulnerability, urban fire risk, historic centre, built heritage, historical construction.

(*) ISISE, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad do Minho, Portugal.

Persona de contacto/Corresponding author: tmferreira@civil.uminho.pt (T. M. Ferreira)

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6454-7927> (T. M. Ferreira); <http://orcid.org/0000-0002-5678-4962>

(P. Baquedano); <http://orcid.org/0000-0002-6929-0865> (S. Graus); <http://orcid.org/0000-0002-6661-0122>

(E. Nochebuena); <http://orcid.org/0000-0002-3520-0331> (T. Socarrás)

Cómo citar este artículo/Citation: T. M. Ferreira; P. Baquedano; S. Graus; E. Nochebuena; T. Socarrás (2018). Evaluación de riesgo de incendio urbano en el centro histórico de la ciudad de Guimarães. *Informes de la Construcción*, 70(551): e262. <https://doi.org/10.3989/ic.58962>

Copyright: © 2018 CSIC. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

Recibido/Received: 28/06/2017
Aceptado/Accepted: 28/11/2017
Publicado on-line/Published on-line: 10/09/2018

1. INTRODUCCIÓN

Los centros históricos son áreas de gran importancia debido a su alto valor cultural, histórico y arquitectónico, ya que son el origen de las ciudades y testigos de su evolución histórica, por lo que estos entornos patrimoniales requieren una especial atención y protección. Actualmente, los centros históricos son considerados áreas de alto riesgo de incendio debido a sus particulares características urbanas, arquitectónicas y constructivas, relacionadas con: la conformación de su trama urbana, materiales de construcción en mal estado de conservación, instalaciones técnicas obsoletas tales como gas y electricidad, usos inadecuados y un porcentaje significativo de edificaciones vacías.

El desarrollo de esta investigación surge de la necesidad de aportar un punto de vista científico a la conservación y protección del Centro Histórico de Guimarães (en adelante CHG), el cual fue declarado Patrimonio Cultural de la Humanidad por la UNESCO en 2001 (1), y tiene como objetivo la identificación de las áreas del CHG vulnerables a incendios, por medio del estudio de tipologías constructivas y arquitectónicas de las edificaciones, el levantamiento del estado de conservación de los inmuebles y la utilización de la metodología simplificada de evaluación de riesgo de incendio implementada por (2).

El trabajo de investigación se fundamenta en la aplicación *in situ* de una encuesta basada en la metodología de (3). Con ella, fue recogida información del 72 % de los inmuebles del CHG correspondiente a 269 edificios habitados y 45 vacíos, de un total de 493 edificios, en donde se abarcan ámbitos de tipo demográfico, tipológico, constructivo, de conservación del edificio y de preparación de la comunidad frente a la amenaza de incendio.

2. CIUDAD DE GUIMARÃES

El municipio de Guimarães está ubicado en el Distrito de Braga, Portugal. Su centro histórico se divide en dos zonas principales: la zona intramuros, clasificada como patrimonio cultural de la UNESCO, con un área territorial de 16 hectáreas; y la zona envolvente, que ocupa 98 hectáreas del territorio de la ciudad. El CHG (Figura 1) es un área importante en la dinámica del municipio debido a que es la zona de la malla urbana con mayor aglomeración y diversidad de usos.



Figura 1. El Centro Histórico de Guimarães (fuente: UNESCO, autor: M&G Therin-Weise).

2.1. Desarrollo urbano y tipologías arquitectónicas

Guimarães es denominada cuna de la nacionalidad portuguesa al haber sido escenario de la batalla por la independencia del país en 1128 al mando de Don Alfonso Henriques. Asimismo, como ciudad de origen medieval, empezó a desarrollarse aproximadamente entre los años 959 y 968 (ver Figura 2), cuando la Condesa Mumadona Días, emparentada con la familia Real de León, mandó construir en sus tierras de Vimaranes el Monasterio de monjes y monjas de Santa María, São Salvador y todos los Santos. Monasterio que años más tarde se vería acompañado por un castillo y rodeado por una doble muralla para la seguridad de la población, hecho que contribuyó al desarrollo embrionario del centro histórico (4).

La mampostería de la época utilizó como base de toda construcción piedra de granito para el nivel de planta baja (a veces también en los niveles superiores y/o en fachadas) y, sumado a ello, muros de *taipa de rodízio* y *taipa de fasquio* para construir los pisos superiores, Figura 3. Las estructuras de los forjados y de las cubiertas son mayoritariamente de madera, apoyadas directamente sobre los muros portantes periféricos. Sin embargo, en algunos casos se verifica la existencia de vigas cumbreras de madera que permiten mejorar la transmisión de acciones verticales procedentes de esas estructuras. Por general, bajo las tejas tradicionales en barro cocido rojo existe un forro de listones de madera.

Estos sistemas constructivos se utilizaron aproximadamente desde el siglo XVI hasta la segunda mitad del siglo XVIII, en tipologías de vivienda que variaban muy poco en el tiempo, pues sus cambios afectaban principalmente a elementos arquitectónicos como pórticos, balcones, escudos de armas, revoques, ornamentos, escaleras, etc.

Fue apenas entre los siglos XVIII y XIX donde pudo observarse una transición entre las tipologías del pasado y las nuevas, en una época en la que se sufrieron grandes transformaciones a nivel urbano, pues, en 1853, la reina Dona María II elevó la villa a categoría de ciudad y autorizó el derrumbamiento de las murallas. Influida por las nuevas ideas urbanísticas de higiene y simetría, la ciudad sufre los mayores cambios de su historia (4).

Tras derribar las murallas, a partir del siglo XIX, se construyeron los *Largos* y las avenidas que rodean el casco histórico y





Figura 2. Evolución de la ciudad de Guimarães de 950 a 1750.



Figura 3. Tipos de taipa presentes en el CHG: (a) taipa de rodízio; (b) taipa de fasquio.

las viviendas de la zona empiezan a hacer uso de la estructura *Pombalina* como sistema constructivo similar a la *taipa de rodízio*. Se abre la *Alameda* y se crea un parque en la colina del castillo. Estas modificaciones dieron más valor a la ciudad ya que se hicieron de un modo controlado y conservando el ostentoso centro histórico. A estos cambios sólo siguieron modificaciones en el estilo de las fachadas y la introducción del uso del azulejo como material de recubrimiento, primero en Porto y luego en Guimarães.

En los años 80 del siglo XX se emprende una profunda rehabilitación del centro utilizando técnicas y materiales tradicionales y tratando de conservar su entramado social. Guimarães es Patrimonio de la Humanidad por ser el mejor ejemplo de arquitectura con tipologías genuinamente portuguesas, basadas en una técnica surgida en la Edad Media y que años más tarde se exportó a África y América.

2.2. Historial de incendio en el CHG y plan piloto de lucha contra incendios

El CHG, por su carácter de centro urbano antiguo, presenta todas las condiciones para un riesgo de incendio potencialmente elevado, condiciones inherentes a sus características y que no siempre pueden ser modificadas.

Para la consulta del registro de incendios en el CHG, no se halló una fuente de información completa. En la información suministrada por la unidad de bomberos se reporta un solo evento significativo en los últimos 10 años y en los registros de prensa digital consultados, en el periodo entre 2006 y 2017, se encontraron nueve incendios, de los cuales tres sucedieron en el área de estudio y los restantes en el área de amortiguamiento (5) (6) (7). De acuerdo a lo registrado en prensa, en los incendios ocurridos no hubo pérdidas humanas

ni heridos, pero sí daños materiales, generalmente no sólo en el inmueble origen del fuego, sino también en inmuebles contiguos debido a la facilidad de propagación del incendio, probablemente por la alta combustibilidad de los materiales de construcción de estas edificaciones.

Es importante señalar aquí que Guimarães cuenta desde el 2004 con el “Plano piloto de luta contra incêndios e segurança na cidade de Guimarães”. El plan se desarrolló en 5 fases: Fase 1: Metodología de Intervención; Fase 2: Adquisición de información sobre objeto de análisis; Fase 3: Elaboración de la Carta de Riesgo; Fase 4: Elaboración de medidas de seguridad; y Fase 5: Plan de Emergencia. En este Plan Piloto, no se propone un plan de emergencia específico de riesgos de incendios, debido a que el municipio de Guimarães ya cuenta con un Plan de Emergencias en los términos requeridos (8). Nótese también que, estando en fase de declaración de Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO, el Ayuntamiento de Guimarães solicitó un estudio sobre la seguridad contra incendios al Laboratorio Nacional de Ingeniería Civil (LNEC), en el que se recomienda la instalación de hidrantes de alta presión y eliminación de barreras arquitectónicas. Sin embargo, se desconoce si estas recomendaciones fueron atendidas.

3. METODOLOGÍA SIMPLIFICADA PARA LA EVALUACIÓN DE RIESGO DE INCENDIO EN NÚCLEOS URBANOS ANTIGUOS

La metodología de evaluación de riesgo, de la cual parte este trabajo, es la metodología ARICA simplificada, propuesta por (2) y utilizada por primera vez en el estudio de los núcleos antiguos de Seixal, Portugal¹ (9). Desarrollada en el marco de la Ley Portuguesa DL n.º 220/2008 (10), esta metodología resulta de la simplificación de la metodología ARICA original (11) en algunos de sus procedimientos, con el objetivo de disminuir los condicionantes en su aplicación a gran escala.

Diseñada para la evaluación de núcleos antiguos, la metodología simplificada no sustituye a la metodología ARICA original, si no que se agiliza el procedimiento para poder aumentar la escala de aplicación y hace posible la obtención de una evaluación macro de seguridad contra incendios en centros históricos, permitiendo identificar los edificios críticos en cuanto a riesgo de incendio.

En términos generales, la metodología compara las condiciones existentes en el edificio con las condiciones prescritas por el reglamento portugués de seguridad contra incendio en edificios nuevos, teniendo en cuenta todos los factores relevantes en el riesgo de incendio. Al igual que la metodología ARICA original, la metodología simplificada se basa en dos tipos de factores: factores globales de riesgo y el factor global de eficacia. Estos factores contemplan en general los aspectos relacionados con la seguridad contra incendios, desde el inicio del incendio hasta su combate, y cada uno de ellos se desarrolla en varios factores parciales, ver Tabla 1.

La valoración de los factores parciales se hace de acuerdo a la exigencia de la normativa portuguesa, según los tipos de uso y las categorías de riesgo identificadas.

Como se presenta en la Ecuación (1), el riesgo de incendio del edificio, FR_p , se describe con un índice de riesgo que se obtiene por medio del cociente entre la media aritmética de los cuatro factores globales de riesgo y eficacia (SF_p , SF_p , SF_E y SF_C), con incremento de 1.20 y 1.10 para el primer y el segundo factor respectivamente, y un factor de riesgo de referencia, FR_R , que depende del tipo de uso del edificio, ver Tabla 2.

$$FR_1 = \frac{(1.20 \times SF_1 + 1.10 \times SF_p + 1.20 \times SF_E + 1.20 \times SF_C / 4.0)}{FR_R} \quad [1]$$

Tabla 1. Factores globales y parciales relacionados con la seguridad contra incendios

Factores Globales		Factores parciales	
Riesgo	Inicio del incendio (SF_I)	($SF_{I,1}$) Estado de conservación de la construcción	
		($SF_{I,2}$) Instalaciones eléctricas	
		($SF_{I,3}$) Instalaciones de gas	
		($SF_{I,4}$) Naturaleza de las cargas de incendio	
	Desarrollo y propagación (SF_p)	($SF_{p,1}$) Cargas de incendio	
		($SF_{p,2}$) Compartimentación corta fuego	
		($SF_{p,3}$) Detección, alerta y alarma de incendio	
		($SF_{p,4}$) Equipos de seguridad	
		($SF_{p,5}$) Distancia entre huecos superpuestos	
	Evacuación (SF_E)	($SF_{E,1}$) Factores inherentes a las rutas de evacuación	
		($SF_{E,2}$) Factores inherentes al edificio	
		($SF_{E,3}$) Factor de corrección	
Eficacia	Combate (SF_C)	($SF_{C,1}$) Factores exteriores de lucha contra el fuego	
		($SF_{C,2}$) Factores interiores de lucha contra el fuego	
		($SF_{C,3}$) Equipos de seguridad	

¹ Es un estudio realizado por el Instituto Pedro Nunes, coordinado por investigadores de la Universidades de Coímbra y Aveiro, en un esfuerzo del municipio de Seixal por dotar su plan de emergencia de un fuerte componente técnico (3)

Tabla 2. Factor de riesgo de referencia, FR_R , para diferentes tipos de uso de edificio.

Factor de Riesgo de Referencia	Residencial	Servicios o espacios industriales, librerías y archivos
FR_R	$0.915 + 0.25 \times F_C^1$	$1.10 + 0.25 \times F_C^1$

¹ F_C es un factor de corrección que puede asumir el valor de 1.0, 1.2 o 1.3 para edificios con hasta 3, 7 o más de 7 plantas, respectivamente.

Cuando el valor del riesgo de incendio, FR_p , es superior a la unidad deben tomarse medidas para minimizar el riesgo de incendio, y en caso de ser menor a la unidad, se verifica que el edificio cumple con la normativa.

4. LEVANTAMIENTO Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

El estudio de evaluación de la vulnerabilidad al riesgo de incendio urbano en el CHG abarca un área de 15.900 m² y aproximadamente 436 inmuebles.

El levantamiento de la información se inició con la corrección *in situ* de la planimetría recibida del Ayuntamiento de Guimarães. Una vez corregido el plano y dividido en zonas, se hizo la codificación y el levantamiento fotográfico de cada uno de los edificios para la posterior creación de la base de datos. El procesamiento de la información de cada inmueble se realizó mediante la aplicación de operaciones lógicas en el programa Microsoft Excel®, de acuerdo a la metodología simplificada, y el mapeo se realizó mediante el software *open source* QGIS (12).

Por medio de la inspección y el levantamiento de los edificios existentes en el área de estudio fue posible obtener información detallada de 269 edificios. De los 167 restantes, se verificó que 45 estaban deshabitados y que los otros 122 edificios, por ser construcciones de hormigón armado o por presentar características de uso particulares (como iglesias, bibliotecas, museos, etc.), no eran evaluables a través de la metodología ARICA simplificada. Sin embargo, es importante señalar que estos edificios no están exentos de riesgo y, por lo tanto, en el marco de un estudio más amplio, deben evaluarse utilizando técnicas de análisis más detalladas.

Es importante señalar que la mayoría de los edificios evaluados corresponden a construcciones de mampostería de piedra regular con paredes de tabique de madera según la técnica local conocida como *tabique* y pavimentos y carpinterías, casi en su totalidad, de madera.

5. RESULTADOS DE LA METODOLOGÍA APLICADA

De acuerdo a los resultados de la evaluación obtenidos a partir de las encuestas y el procesamiento de datos por medio de sistema de información geográfica GIS, se realizó el mapeo de cada factor global de vulnerabilidad, del índice de vulnerabilidad del área de estudio y de los tipos de uso.

Sobre los tipos de uso, ilustrados en la Figura 4, se observó que los edificios en su mayoría tienen un uso mixto, 107 edificios combinan comercio, bares, restaurantes, oficinas, etc. (en planta baja) con vivienda (en pisos superiores), 55 son exclusivamente residenciales, y 58 mezclan distintos usos que no incluyen vivienda.

También es importante mencionar que 40 de los edificios evaluados son utilizados en planta baja como comercio principalmente y sus pisos superiores se encuentran deshabitados la mayor parte del año. A pesar de no ser parte de la evaluación de la metodología, se considera importante mencionarlos porque potencian los factores de riesgo, en especial en la detección y propagación de incendios, entre otras, porque el tiempo de respuesta es mayor.

5.1. Índice de riesgo de incendio

El primer resultado presentado es el índice de riesgo de incendio, que conjuga todos los factores globales, Figura 5 (a). Al analizar los resultados es posible observar que existe una gran cantidad de construcciones (161) dentro del rango 1.00-1.30 (riesgo medio), distribuidos por todo el CHG. De los inmuebles evaluados, 92 tienen un valor por encima de 1.30 (riesgo elevado). La mayoría de ellos están ubicados en vías inaccesibles para los vehículos de bomberos, como por ejemplo los inmuebles encontrados en la calle Santa María. Sólo el 6 % de los edificios (16) obtuvo un valor inferior a 1.00, es decir, están clasificados con riesgo bajo y se puede decir que no presentan riesgo y que cumplen totalmente con la reglamentación vigente. Por lo tanto, es necesario tomar medidas en gran parte de los inmuebles para disminuir su riesgo, en aquellos con índices por encima de 1.00, pero sobre todo en los que tienen un índice mayor a 1.30.

Este resultado puede también correlacionarse con el número de personas que habitan en cada edificio, permitiendo analizar la magnitud de la población en riesgo en caso de un evento de incendio. En la Figura 5 (b) se puede observar que el 30 % de la población habita en edificaciones con riesgo elevado y extremo.

5.2. Mapeo del factor global de riesgo asociado al inicio de incendio

El índice de vulnerabilidad asociado al inicio de incendio (SF_i) muestra el promedio de cuatro factores parciales: estado de conservación de la construcción ($SF_{i,1}$), instalaciones eléctricas ($SF_{i,2}$), instalaciones de gas ($SF_{i,3}$) y naturaleza de las cargas de incendio ($SF_{i,4}$).

El factor parcial referente al estado de conservación proporciona información valiosa sobre las condiciones que pueden propiciar el inicio de un incendio, asumiendo que los edificios en mal estado de conservación son más susceptibles debido a que se supone una falta de mantenimiento generalizada del inmueble. En general, los edificios que tienen un estado de conservación razonable alcanzan un 59 % (160), el 37 % (99) se encuentra en buenas condiciones y solo el 4 % (10) presentan índices de estado de conservación malo. Durante la evaluación se localizaron dos edificios en ruina total y 9 estaban en obras de rehabilitación. En cuanto al factor $SF_{i,2}$, referente al estado de las instalaciones eléctricas, en el 51 % de los

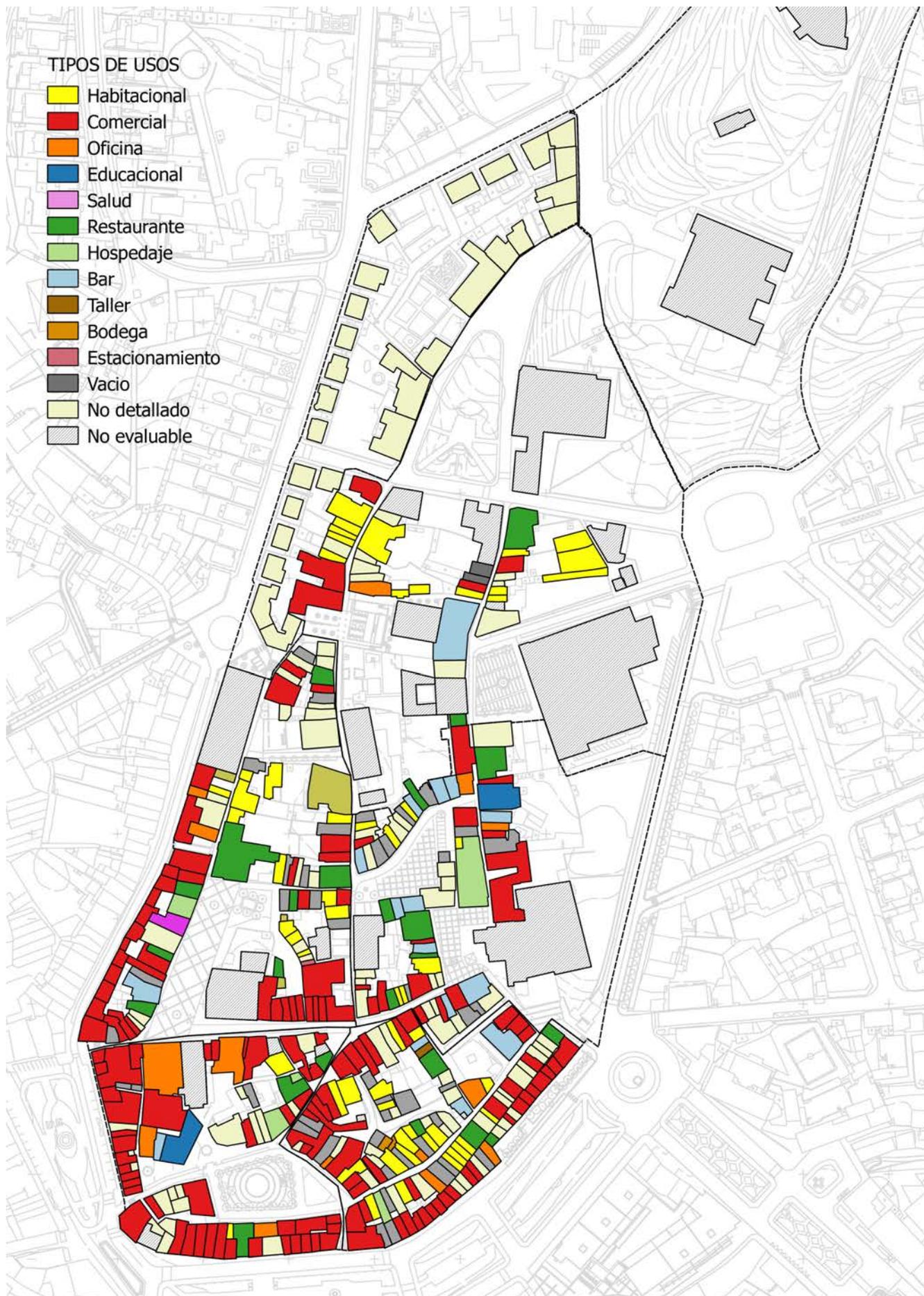


Figura 4. Mapeo de la distribución de usos con mayor riesgo por edificio.



Figura 5. Mapeo del índice de riesgo de incendio en el CHG: (a) distribución; (b) correlación con la población.

edificios evaluados (138) las instalaciones fueron completamente remodeladas en los últimos 10 años, en el 23 % de los inmuebles (62) las instalaciones están parcialmente remodeladas y el 26 % de las construcciones (69) presentan instalaciones no remodeladas. Este dato se relaciona directamente con el índice de vulnerabilidad ya que muchos de los edificios con valores superiores a 1.60 (riesgo elevado) poseen instalaciones eléctricas que no han sido remodeladas. El factor parcial SF_{p,3} concerniente a instalaciones de gas revela que en el 56 % de los edificios del CHG no existen instalaciones de gas o poseen gas canalizado. El resto de los inmuebles utilizan bombona de gas, de los cuales en el 9 % de los edificios la bombona está localizada en el exterior del edificio, en el 23 % se almacena en espacios ventilados y en el 12 % restante la bombona se ubica en lugares sin ventilación. Nuevamente, al relacionar estos datos con el índice de vulnerabilidad, algunos edificios con valor por encima de 1.30 (vulnerabilidad elevada) poseen bombonas de gas en espacios no ventilados. No se detalla a continuación el cuarto factor parcial SF_{p,4} de naturaleza de la carga de incendio debido a que los materiales que se encontraron en el interior de cada edificio fueron clasificados con riesgo bajo, tanto en el coeficiente de combustibilidad como en el coeficiente de activación.

La distribución espacial del índice de vulnerabilidad asociado al inicio de incendio se muestra en la Figura 6, y en un análisis general se observa que el 94 % (253) de los edificios detallados presenta un riesgo bajo, mientras que el 6 % (16) de ellos son clasificados con un riesgo moderado.

A pesar de que hay edificios donde se combinan las instalaciones eléctricas no remodeladas con el almacenamiento de bombonas en locales no ventilados, el riesgo de ignición resultó moderado debido a que la naturaleza de los materiales en el interior de los inmuebles es de peligro bajo, es decir, los materiales juegan un papel importante en el inicio del incendio.

5.3. Mapeo del factor global de riesgo asociado al desarrollo y propagación de incendio

El índice de vulnerabilidad asociado al desarrollo y propagación de incendio resulta del promedio de cinco factores: distancia entre huecos superpuestos (SF_{p,1}), equipos encargados de la seguridad (SF_{p,2}), medios de detección y alarma de incendio (SF_{p,3}), compartimentación contra el fuego (SF_{p,4}) y cargas de incendio (SF_{p,5}).

Según la normativa contra incendios vigente en Portugal, la separación entre huecos debe ser de, como mínimo, 1.10 metros. Sólo el 30 % (78) de los edificios cumple con estas características y el 70 % (188) tiene 2 o más huecos con una separación inferior a 1.10 metros. Éstos se localizan principalmente en las zonas Z3, Z4 Y Z5, y la mayoría corresponden a edificios de uso comercial, lo que constituye un motivo de preocupación aún mayor.

Los sistemas de detección, alerta y alarma de incendio se evalúan de la siguiente forma: los edificios residenciales se en-

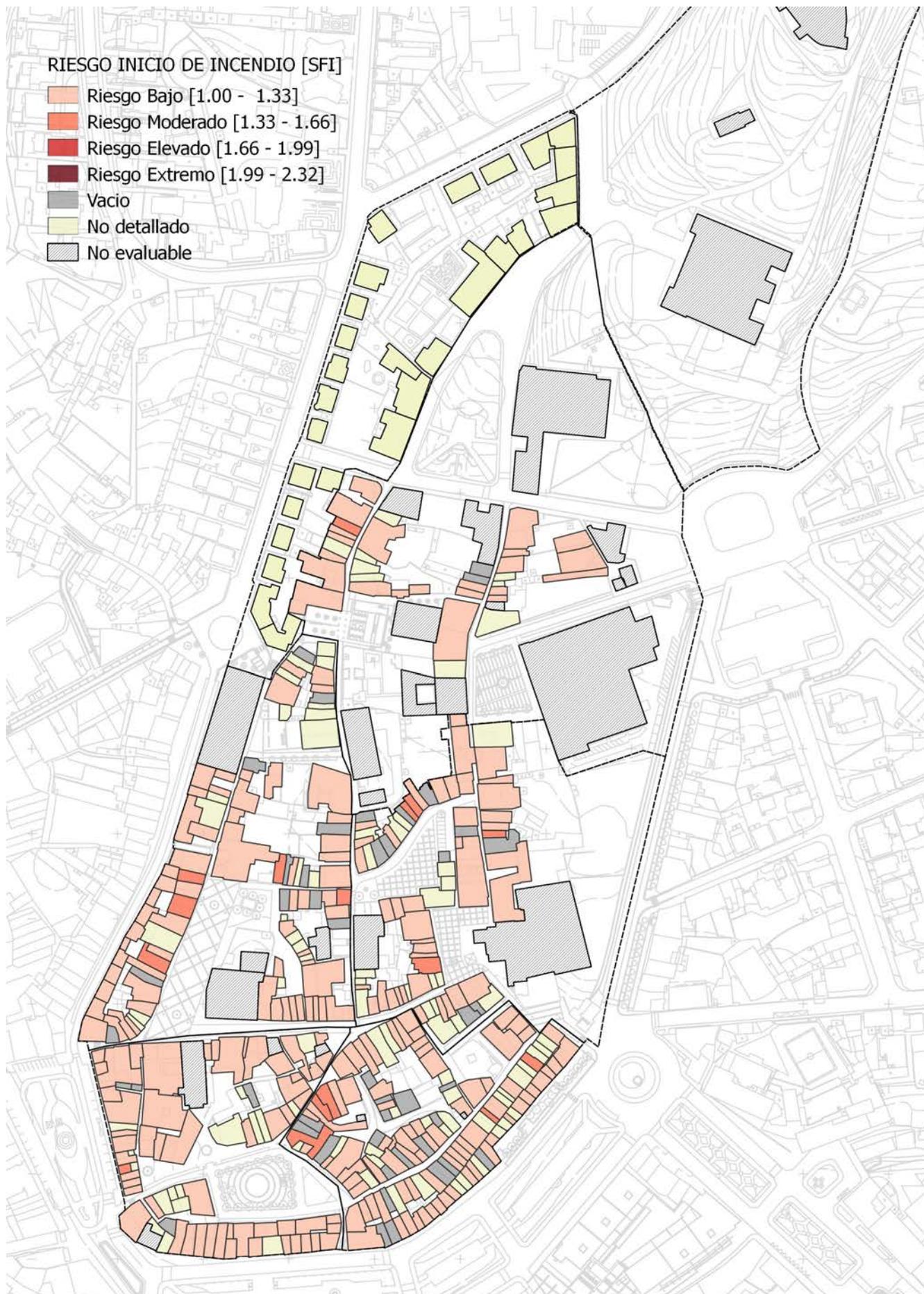


Figura 6: Mapeo del factor global de riesgo asociado al inicio de incendio.

cuentan exentos de la obligación de contar con algún sistema, por lo que se considera que todas las viviendas cumplen con la reglamentación. Para los edificios de uso comercial, bares, sedes sociales, hospedajes o restaurantes, mayoritariamente se exige que cuenten con un sistema automático de alarma de incendio y pulsadores de alarma, pero la mayor parte de los casos sólo cuentan con uno de los sistemas de detección, principalmente el sistema de detección automática. El 37% (100) de los edificios se encuentra conforme a la reglamentación, es decir, son viviendas o comercio que cumplen con la norma, el 19% (51) de los edificios exige un sistema de pulsadores de alarma pero no tiene y un 41% (110) de los edificios exige un sistema de detección pero no tienen.

En cuanto al factor parcial $SF_{p.5}$, que evalúa la densidad de carga de incendio de materiales que se pueden encontrar con mayor frecuencia en los edificios y que presentan algún grado de riesgo, el 48% (129) de los edificios del CHG presenta una carga de incendio media, es decir contienen en su interior gran cantidad de papeles, libros, revistas o textiles, lo que en caso de incendio acrecentaría medianamente el riesgo de propagación. Los edificios con carga de incendio alta suponen el 4% (10). La mayoría se localizan en la zona Z4 y son principalmente edificios utilizados como bodegas o talleres.

No se detallan los factores relacionados con los equipos encargados de seguridad ni con la compartimentación contra el fuego ya que en ambos casos la mayoría de los edificios presentan las mismas características, por lo que no son representativos para el análisis. De todas formas es importante considerar que, desde el punto de vista de la vulnerabilidad ante incendios, los materiales y sistemas constructivos utilizados son un factor importante; en primer lugar, por su capacidad para contener el fuego, los gases y el calor producidos por las llamas dentro de un local durante un tiempo determinado (compartimentación corta fuego) (3); y, en segundo lugar, por la naturaleza combustible de los elementos, es decir, si los materiales pueden o no ser consumidos por las llamas y por lo tanto contribuir a la carga y la propagación del incendio. Además, por la velocidad en la que los muros, losas y cubiertas se consumen o degradan con las llamas, ya que contribuye a la resistencia y capacidad estructural última de la construcción al ser sometidos a altas temperaturas. En la Figura 7 se muestra la distribución espacial del promedio de factores parciales que conforman el factor global asociado a la propagación de incendio, el cual se divide en 4 partes: riesgo bajo, moderado, elevado y extremo.

El riesgo elevado se muestra con mayor frecuencia, en un 52% (140) de los edificios detallados. Esto ocurre porque los inmuebles tienen características comunes, como no poseer sistema de detección y alarma de incendio cuando es exigido por la reglamentación, poseer separación entre huecos sobrepuestos menor a 1.10 metros y contener en su interior materiales con carga de incendio media o alta. El 38% de los inmuebles presenta un riesgo moderado de propagación de incendio y son principalmente inmuebles de uso residencial que poseen alta carga de incendio o separación entre huecos superpuestos menor a 1.10 metros. El 3% (8) de los edificios posee un riesgo extremo en referencia a la propagación de incendio, éstos son principalmente inmuebles utilizados como bodegas y talleres, o bien son edificios de comercio que no cumplen con ninguna exigencia de la normativa.

5.4. Mapeo del factor global de riesgo asociado a la evacuación del edificio

En el CHG existe un riesgo elevado y extremo asociado a la evacuación en un 41% del total de los edificios evaluados. Como se puede observar en la Figura 8, este riesgo se localiza mayoritariamente en las zonas 3 a 6, siendo la zona 6 la que cuenta con más inmuebles (5) en calidad de riesgo extremo. Se ha podido comprobar en el análisis que los edificios no equipados son en su mayoría comerciales y de servicios.

El factor global de riesgo asociado a la Evacuación del edificio (SF_E) depende de tres factores parciales que corresponden a factores inherentes a rutas de evacuación ($SF_{E.1}$), Factores inherentes al edificio ($SF_{E.2}$) y Factor de corrección ($SF_{E.3}$). El factor parcial $SF_{E.1}$ es relativo a las rutas de evacuación y sus componentes proporcionan datos sobre la libertad de tránsito en las vías y los obstáculos que puedan presentar, por lo que son determinantes en lo que respecta a la evacuación de los ocupantes del edificio, que en algunos casos se ve agravado por el tipo de uso de la edificación, su número de ocupantes, el número de salidas de evacuación existentes y el ancho de las mismas, además de la inclinación de las vías verticales y la señalización de evacuación en caso sea necesario.

En el caso del CHG, la medida promedio del ancho de las vías de evacuación en las edificaciones se encuentra entre 0.90 y 1.20 m, siendo casi nulo el caso de edificios registrados que presentan huecos de salida con menos de 0.80 m de ancho. Por otro lado, los resultados hacen notorio el peligro presente en las zonas 2 a la 6, que se debe básicamente a la inclinación de las vías verticales, pues aquellas que superan los 45° de inclinación perturban significativamente la velocidad de evacuación del edificio. Este problema aumenta el riesgo pues se traduce en un gran condicionante en la evacuación de las personas con movilidad reducida o nula.

Esta cuestión es pertinente en los núcleos urbanos antiguos como Guimarães, debido a que aproximadamente un 30% de la población reside en edificaciones con riesgo elevado y extremo. Además, la presencia de población anciana y con problemas de movilidad, sumada a las vías de evacuación deficientes, se traduce en una evacuación complicada y demorada en caso de incendio.

En cuanto al factor parcial $SF_{E.2}$, referido a los ejercicios de seguridad y su periodicidad, se pudo corroborar *in situ* que es casi nulo el hecho de que los pobladores hayan sido parte activa de simulacros realizados en la ciudad, por lo que su resultado es poco revelador.

Finalmente, en el caso del factor parcial $SF_{E.3}$, basado en las características del edificio, tiene en cuenta tres condiciones. La presencia de brigadas de seguridad no dio un resultado relevante en el centro histórico evaluado, pues la mayoría de las edificaciones no cuenta con ellas. También verifica la presencia de equipos de detección y alarma de incendio y de salidas iluminadas y señalizadas. Condiciones que fueron verificadas de acuerdo al tipo de uso que se desarrollaba en cada edificio en base a la reglamentación usada en la metodología (3). Cabe resaltar que, en este factor parcial, también se hace uso de un factor de corrección en función del número de pisos de cada predio, pues la altura dificulta aún más la evacuación del edificio en el tiempo adecuado.

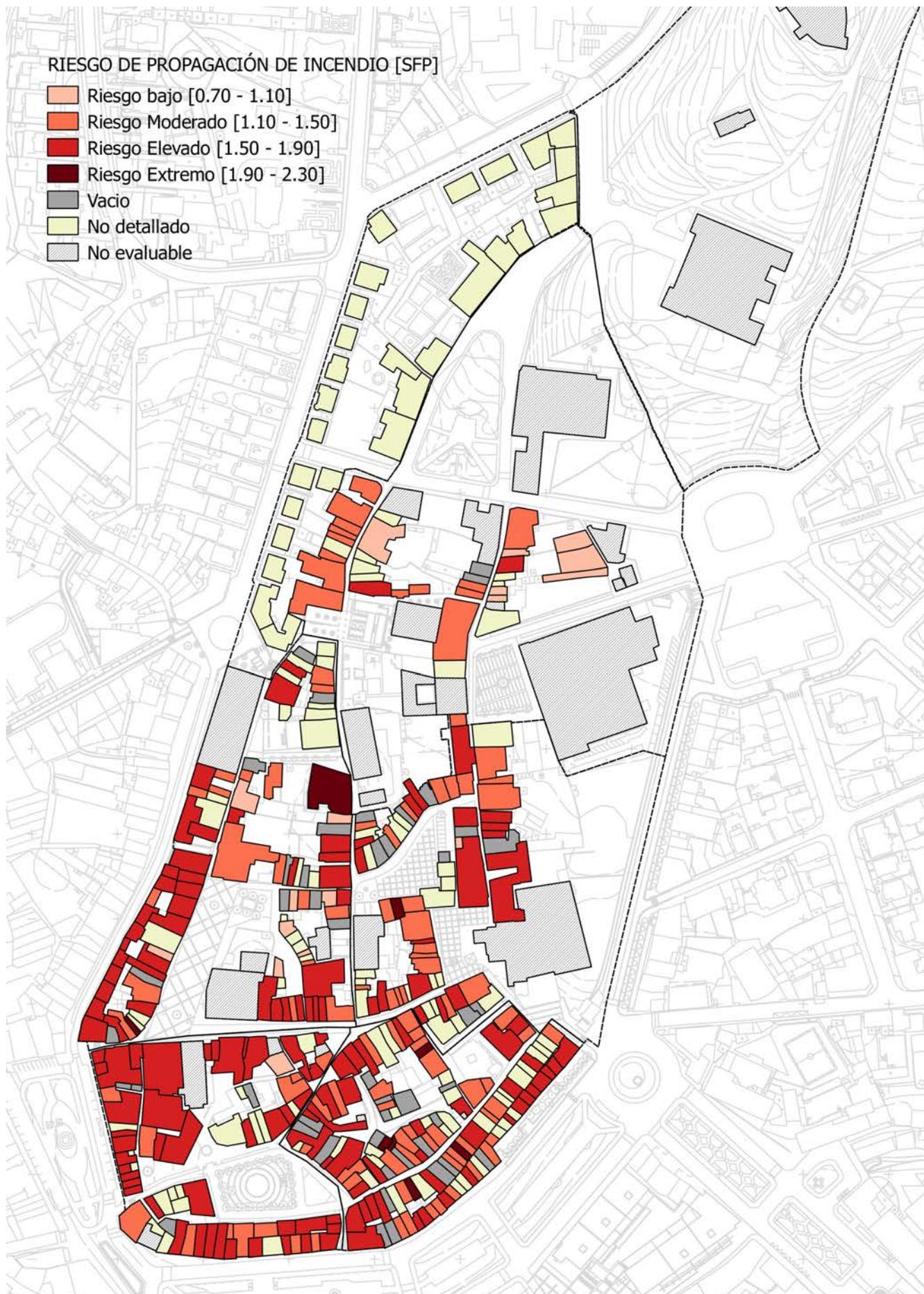


Figura 7. Mapeo del riesgo asociado a propagación de incendio.

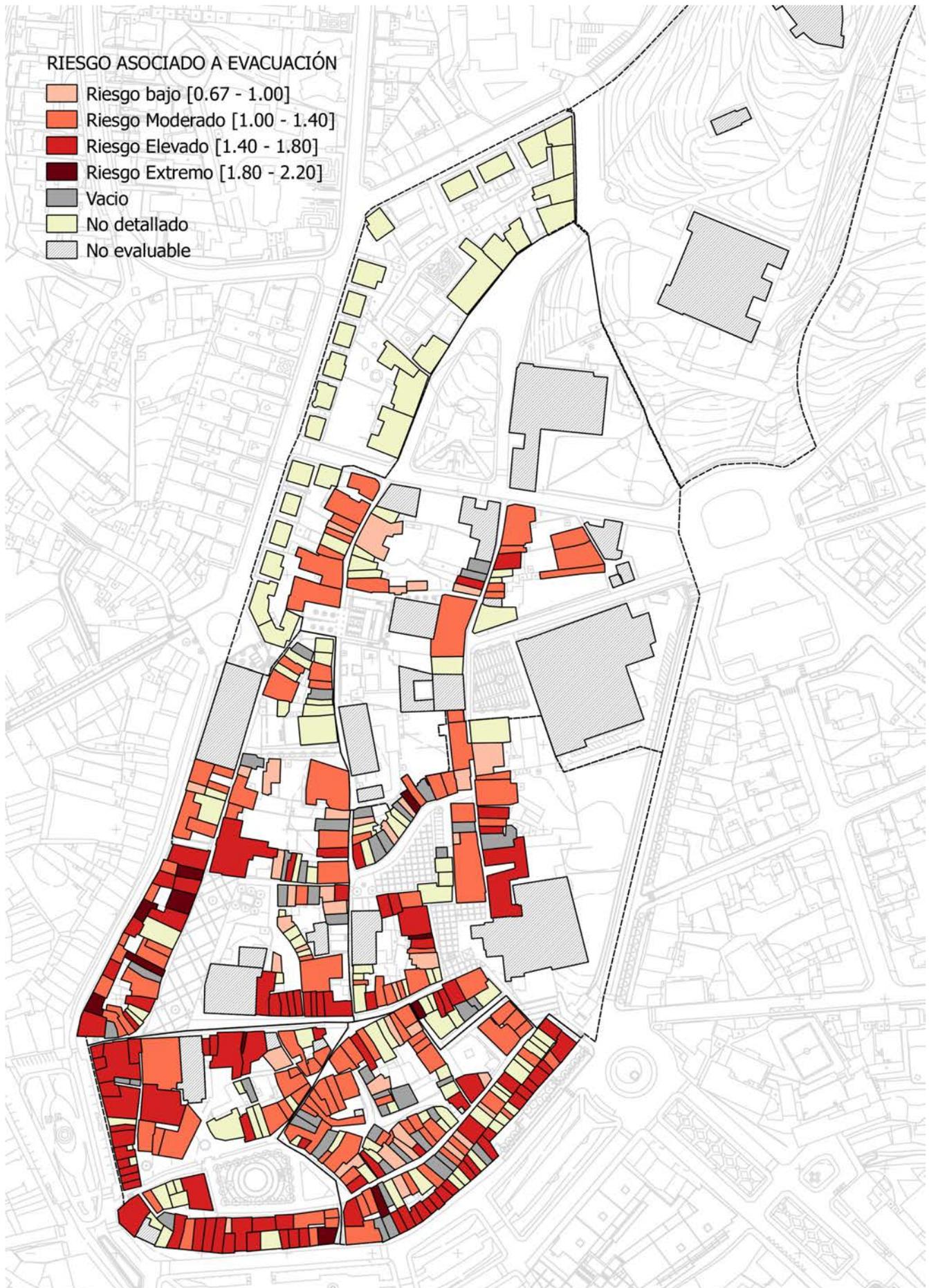


Figura 8. Mapeo del factor global de riesgo asociado a la Evacuación del Edificio.

5.5. Mapeo del factor global de eficacia asociado a la lucha contra el fuego

El factor global de eficacia asociado a la lucha contra el fuego depende de tres factores parciales: Factores exteriores de lucha contra el fuego ($SF_{c,1}$), Factores interiores de lucha contra el fuego ($SF_{c,2}$) y Equipo encargado de la seguridad ($SF_{p,3}$). La evaluación de cada factor parcial genera los resultados discutidos en las subsecciones siguientes.

Dentro del área de estudio, el 68 % de los inmuebles detallados tiene un combate limitado y el 32 % un combate eficaz. El resultado de este factor parcial depende de dos subfactores: accesibilidad al edificio y localización de hidrantes.

El subfactor parcial de accesibilidad está evaluado a partir del ancho, altura e inclinación de las vías de acceso. La altura (excepto en dos calles) e inclinación en el área de estudio no tuvo ninguna influencia en los resultados porque los valores en general se encuentran en los rangos aceptados como seguros en la calificación de riesgo, pero los anchos de las vías representan una mayor criticidad, teniendo en cuenta que el ancho mínimo de referencia de las vías es de 3.5 metros.

Como se puede observar en la Figura 9, el mayor porcentaje de las vías del CHG tiene dimensiones menores a 3.5 metros, con excepción de las vías periféricas del área de estudio, que tienen dimensiones iguales o superiores a la referencia.

Teniendo en cuenta estas condiciones, el 69 % de los inmuebles clasificados con riesgo elevado o extremo no tienen una accesibilidad adecuada para la lucha contra el fuego; y el 31 % restante tiene una accesibilidad media gracias a su localización periférica.

En cuanto al componente de localización de hidrantes, las condiciones son más favorables porque ningún inmueble excede una distancia de 100 metros de los hidrantes existentes, pero no se identificaron existencia de sistemas para suministro de agua en ninguna de las zonas estudiadas. La presencia de sistemas para suministro de agua contribuyen a mejorar significativamente las acciones de lucha contra el fuego.

El factor parcial $SF_{c,2}$, se evalúa de acuerdo a la existencia o no de extintores en los inmuebles que estén obligados a disponer de ellos. Se halló que el 75 % de los inmuebles cumple con la norma, es decir, tiene un número de extintores igual o superior al número de pisos con un tipo de uso que está obligado a tener, el 7 % de los inmuebles tiene extintores, pero no cumplen con la norma, y el 18 % de los inmuebles no tiene extintores a pesar de estar obligados.

Respecto al tercer factor parcial, que se refiere a los equipos encargados de la seguridad ($SF_{p,3}$), ningún inmueble detallado cuenta con un equipo de seguridad destinado a la vigilancia y protección en caso de incendio.

Entonces, como se puede observar en la Figura 10, el 65 % de los inmuebles detallados tiene un nivel de riesgo entre elevado y extremo en eficacia asociada al combate de incendio, el 50 % tiene riesgo moderado y el 15 % riesgo extremo.

6. CONCLUSIONES

Después del análisis respectivo, se puede concluir que las instalaciones eléctricas y de gas son una de las causas más comunes en la ignición de edificios de centros históricos donde las construcciones son similares a las existentes en Guimarães. La combinación de una instalación eléctrica en mal estado con un almacenamiento inadecuado de gas, condición presente en varios edificios del centro histórico, es preocupante y por lo tanto debería ser uno de los primeros elementos a intervenir para reducir el riesgo de ignición o explosión. La utilización de herramientas GIS permite comparar datos y gestionar la información para localizar de forma rápida aquellas edificaciones en las que condiciones como la mencionada anteriormente se mezclan y, de esta forma, afrontar el problema. Todos los factores que influyen en el inicio de incendio pueden ser controlados y disminuidos, por ejemplo, los inmuebles en estado degradado pueden rehabilitarse, el mantenimiento de la estructura y las instalaciones debe hacerse periódicamente y las cargas de incendio pueden reducirse.

El elevado riesgo de incendio asociado a la propagación se da principalmente por la tipología arquitectónica de los edificios, ya que más del 70 % no cumple con la distancia entre huecos superpuestos recomendada por la norma, y también a la gran cantidad de inmuebles que cuentan con cargas de incendio moderada. Para reducir el riesgo de propagación se podría considerar incrementar la seguridad por medio de medios de detección y alarma de incendio, ya que la mayoría de los edificios son deficientes en este aspecto.

En cuanto a la evaluación del factor de evacuación, se vuelve necesario determinar y cuantificar todo factor que obstaculice significativamente la evacuación de los ocupantes, sobre todo en ciudades con núcleos urbanos antiguos debido a la elevada presencia de población de edad avanzada y con problemas de movilidad, ya que las vías deficientes se traducen en una evacuación complicada y demorada en caso de incendio u otro siniestro. Por ello, generar una cultura de gestión del riesgo de incendio apoyada en información y realización de simulacros con alta participación de residentes es muy importante.

Se pudo comprobar que la dificultad de ingreso y maniobra de vehículos de lucha contra el fuego al centro histórico no permite atacar de manera adecuada un incendio en esta zona. Dado que las características inherentes a su carácter de centro antiguo no permiten ser modificadas, se debe reforzar la prevención y conciencia de los habitantes del riesgo presente; además de fortalecer los otros componentes de combate, tales como la presencia de sistemas para suministro de agua en las áreas de mayor riesgo, el buen mantenimiento de hidrantes y la existencia de extintores en las unidades edificatorias.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado con el apoyo de la Comisión Europea a través del programa ELARCH: Referencia 552129-EM-1-2014-1-IT-ERAMUNDUS-EMA2 y de la Fundación para la Ciencia y la Tecnología de Portugal a través de la beca de investigación (SFRH/BPD/122598/2016) otorgada al primer autor. Los autores agradecen al Ayuntamiento de Guimarães por el apoyo logístico y por la información disponible para la realización de este trabajo.

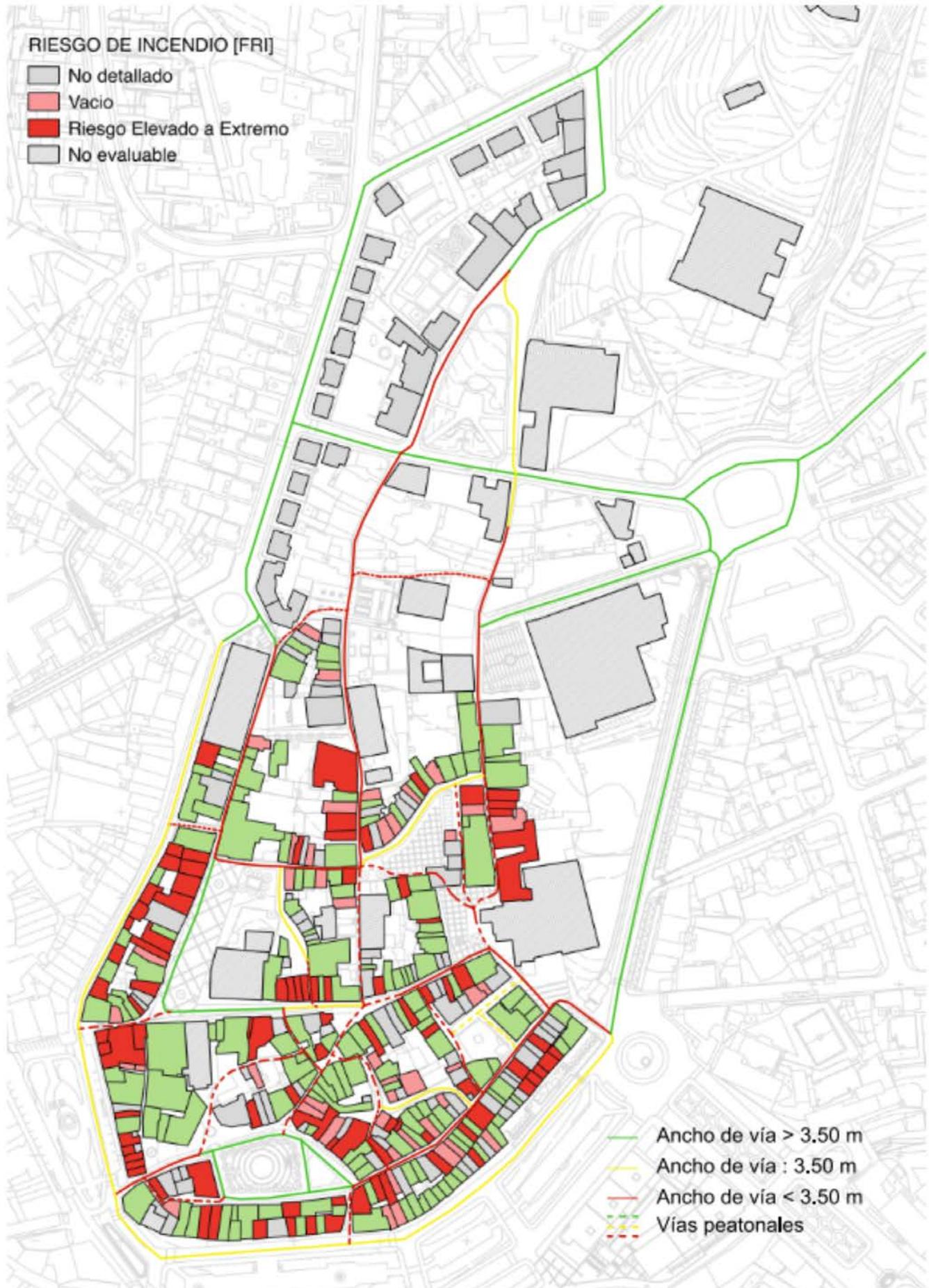


Figura 9. Mapeo del ancho de vías en el área de estudio y edificios con riesgo de incendio elevado o extremo.

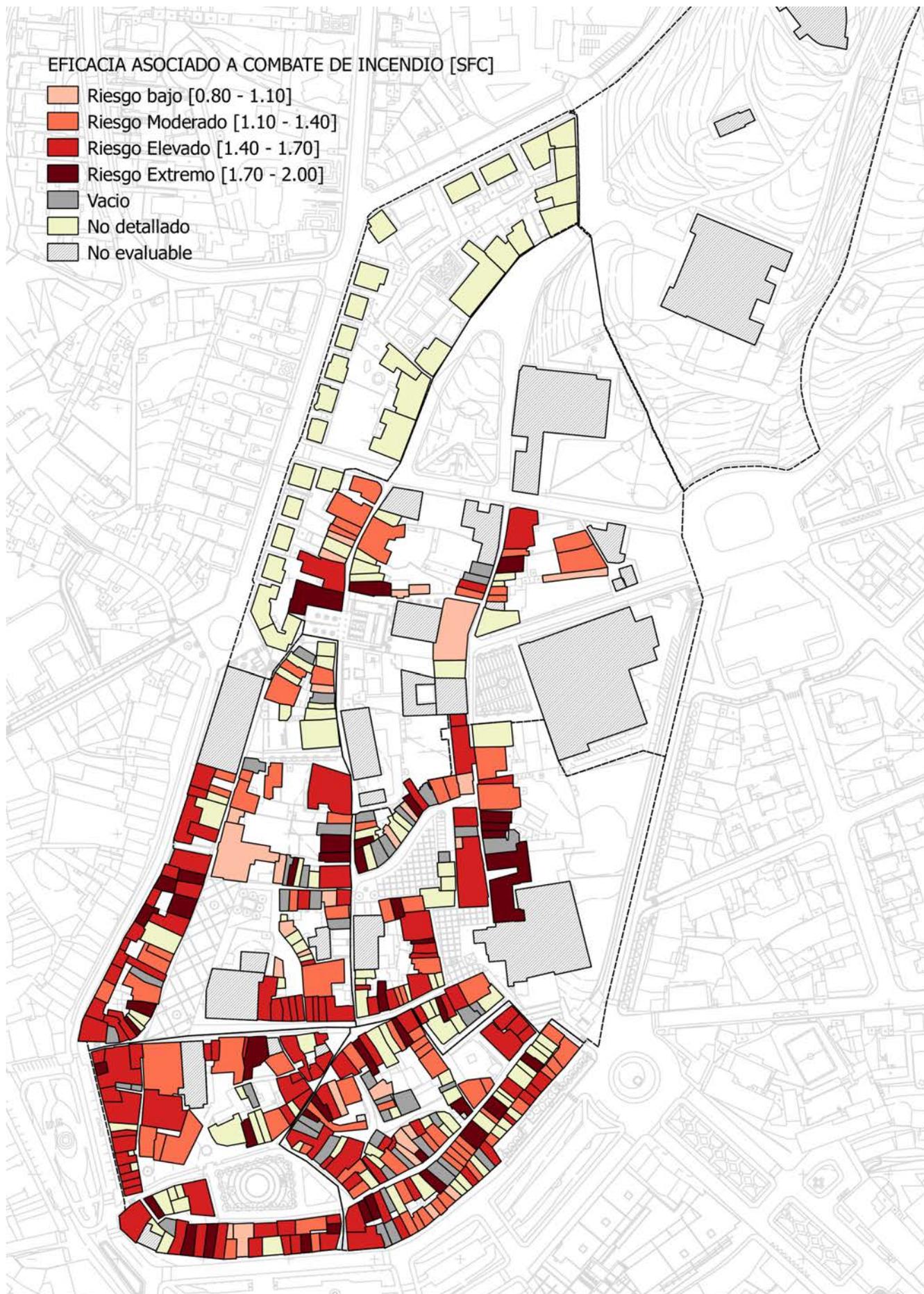


Figura 10. Mapeo del factor global de eficacia asociado al combate de incendio.

REFERENCIAS

- (1) UNESCO (2001) World Cultural Heritage Nomination Document: Historic Centre of Guimarães. UNESCO World Heritage Centre. URL: <http://whc.unesco.org/uploads/nominations/1031.pdf>
- (2) Ferreira, T.M., Vicente, R., Mendes da Silva, J.A.R., Varum, H., Costa, A., Maio, R. (2016) Urban fire risk: Evaluation and emergency planning. *Journal of Cultural Heritage* 20:739–745. doi: 10.1016/j.culher.2016.01.011
- (3) Vicente, R., Mendes da Silva, J.A.R., Varum, H., Costa, A., Ferreira, T., Santos, M., Subtil, A., Santos, C. (2010) Cuaderno de apoyo 04. Evaluación de Riesgo sísmico y de incendio de los núcleos urbanos antiguos de Seixal. Instituto Pedro Nunes, Coimbra (en portugués).
- (4) Afonso, J., Ferrão, B. (2002). A evolução da Forma Urbana de Guimarães e a criação do seu património edificado. in *Guimarães Património Cultural da Humanidade*, Câmara Municipal de Guimarães/GTL.
- (5) Barreira, R., Silva, C. (2008) Incêndio assusta população – Exclusivo viver Guimarães. em: <http://viverguimaraes.blogspot.pt>.
- (6) Guimarães Digital (2009) 10 pessoas desalojadas após incêndio na rua de Camões. in *Guimaraes Digital*: <http://guimaraesdigital.com/noticias/39352/10-pessoas-desalojadas-apos-incendio-na-rua-de-camoes-fotos>
- (7) Jornal de Notícias (2016). Incêndio ameaçou várias casas no centro de Guimarães. in *JN Online*: <http://www.jn.pt/local/noticias/braga/guimaraes/interior/incendio-de-grandes-dimensoes-no-centro-de-guimaraes-5458948.html>
- (8) Sá, L. (2004) Plano piloto de luta contra incêndios e segurança na cidade de Guimarães. Câmara Municipal de Guimarães/GTL.
- (9) Santos, C., Ferreira, T.M., Vicente, R., Mendes da Silva, J.A.R. (2013) Building typologies identification to support risk mitigation at the urban scale – Case study of the old city centre of Seixal, Portugal, *J. Cult. Herit.* 14 (6) 449–463.
- (10) Portugal (2008) Decreto-Lei No. 220/2008 de 12 de novembro, “Segurança contra Incêndios em Edifícios”, Publicado em *Diário da República*, 1ª. Série, DL 220. Lisboa, 2008, pp. 7903–7922.
- (11) Fernandes, A. (2006) Segurança ao Incêndio em Centros Urbanos Antigos. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil especialidade em Ciências da Construção, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal.
- (12) QGIS (2017) Development Team. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation. URL: <https://www.qgis.org>

* * *