

# Máster en Ciudades Inteligentes y Sostenibles (Smart Cities)

## Trabajo Fin de Máster

### **Modelización de patrones de distribución espacial de la rata negra en Madrid: estudio de su predicción y los factores de riesgo urbanos**

**(Modelling spatial distribution patterns of the black  
rat in Madrid: a study of its prediction and urban  
risk factors)**

---

Convocatoria: Septiembre de 2021

Autora: Samanta Arnal Martín

Tutor: Dr. Juan Carlos García Palomares

Departamento de Geografía - Facultad de Geografía e Historia



MÁSTER EN CIUDADES INTELIGENTES  
Y SOSTENIBLES / SMART CITIES  
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID



U N I V E R S I D A D  
**COMPLUTENSE**  
M A D R I D



## ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS -----	6
AGRADECIMIENTOS -----	7
RESUMEN-ABSTRACT -----	8
INTRODUCCIÓN -----	9
OBJETIVOS -----	11
1. Objetivo principal -----	11
2. Objetivos secundarios -----	12
3. Objetivos transversales -----	12
HIPÓTESIS DEL TRABAJO -----	14
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA Y ESTADO DE LA CUESTIÓN -----	15
1. La gestión integrada de plagas (GIP) -----	16
2. Caracterización de la plaga: la rata Negra -----	17
3. Peligro como plaga -----	18
4. Comparación de la rata negra y la rata de alcatarilla -----	20
5. Factores de riesgo de aparición de la rata negra en los entornos urbanos -----	22
6. Formas de mitigar la aparición de ratas -----	24
7. La importancia del estudio de las plagas en la ciudad y validez del trabajo -----	24
8. La integración de las nuevas tecnologías para la gestión de plagas en el entorno urbano -----	25
9. Los SIG en la gestión y predicción de plagas -----	27
10. La geoestadística -----	28
METODOLOGÍA -----	30
1. FASE DE CONOCIMIENTO -----	30
1.1. Descripción de la zona de estudio -----	31
1.2. Consulta de bibliografía -----	34
1.3. Consulta a expertos -----	37
2. FASE DE OBTENCIÓN Y ENRIQUECIMIENTO DE DATOS: AVISOS DE RATA NEGRA -----	41
2.1. Medida directa: los avisos -----	43
2.2. Los datos de la investigación: los avisos reales de rata negra -----	44
2.3. Preparación de los datos: la base de datos final -----	45
2.4. Preparación de los datos: enriquecimiento a partir de la identificación de los factores de riesgo -----	47

3.	FASE DE USO Y TRATAMIENTO DE DATOS MEDIANTE HERRAMIENTAS SIG	49
3.1.	Exploración de datos, valoración de tendencias y revisión de la estacionalidad	50
3.2.	Análisis estructural: cálculo del semivariograma empírico y teórico para estudiar la variabilidad espacial	50
3.3.	Modelización de la predicción: cálculo de Kriging	51
3.4.	Comparativa e identificación de errores: muestra si los valores actuales y previstos coinciden	51
RESULTADOS		52
1.	IDENTIFICACIÓN DE LOS FACTORES DE RIESGO	52
2.	OBTENCIÓN Y ENRIQUECIMIENTO DE LOS DATOS	57
2.1.	Identificación de los avisos totales de rata negra en la ciudad de Madrid	57
2.2.	Enriquecimiento de la base de datos final	58
3.	FASE DE USO Y TRATAMIENTO DE DATOS MEDIANTE HERRAMIENTAS SIG	59
3.1.	Exploración de datos	59
3.1.1.	Histograma de frecuencias	59
3.1.2.	Análisis de tendencias	59
3.2.	Cálculo del semivariograma empírico y teórico	60
3.3.	Modelización de la predicción: cálculo de Kriging	62
3.4.	Identificación de errores	63
CONCLUSIONES, LIMITACIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN		64
BIBLIOGRAFÍA		67
ANEXO		78

## ÍNDICE DE FIGURAS

### Objetivos

Figura 1: Esquema de los objetivos del trabajo. Elaboración propia	13
--	----

### Hipótesis del trabajo

Figura 2: Esquema de correlación de aparición de plagas. Adaptado de Alberti (2005)	14
---	----

### Fundamentación teórica

Figura 3: Esquema de daños que ocasiona la rata negra en las ciudades. Elaboración propia	20
---	----

### Metodología

Figura 4: Esquema de la metodología del trabajo. Elaboración propia	30
Figura 5: Esquema-síntesis de la fase de conocimiento. Elaboración propia	31
Figura 6: Tabla de temperaturas y humedad relativa mensual en la serie temporal 1981-2010, en el observatorio de Madrid - Cuatro Vientos. Elaboración propia	32
Figura 7: Mapa de altitudes del municipio de Madrid. Fuente: visor topographic	32
Figura 8: Mapa de las zonas verdes de Madrid (en verde) y su desviación típica de 17'6° (lila opaco el 68% de la superficie, y translúcido el 95%). Elaboración propia	33
Figura 9: Lista de factores genéricos. Elaboración propia	36
Figura 10: Listado de factores de riesgo, determinados por expertos. Elaboración propia	37
Figura 11: Esquema-síntesis de la fase de obtención y enriquecimiento de datos. Elaboración propia	42
Figura 12: Cuadro-resumen de los tipos de datos. Elaboración propia	45
Figura 13: Mapas de los tres tipos de avisos, zona de influencia y su convergencia espacial. Elaboración propia.	46

### Resultados

Figura 14: Tabla de las 10 especies vegetales dominantes asociadas a los focos de rata negra analizados. Elaboración propia.	48
Figura 15: Factores de riesgo de proliferación de la rata negra. Elaboración propia	52
Figura 16: Mapas de calor de factores de la categoría medioambiente. Elaboración propia	54
Figura 17: Mapas de calor de factores de la categoría edificación. Elaboración propia	55
Figura 18: Mapas de calor de factores de la categoría socioeconómico. Elaboración propia	56
Figura 19: Mapa de calor del valor total. Elaboración propia	57
Figura 20: Nivel de incidencia de cada aviso. Elaboración propia	58
Figura 21: Histograma de frecuencias de los avisos definitivos respecto al valor final ponderado de riesgo. Elaboración propia.	59
Figura 22: Análisis de tendencia espacial de los avisos definitivos respecto al valor final ponderado de riesgo. Elaboración propia.	60
Figura 23: Ajuste del modelo Kriging. Elaboración propia	61
Figura 24: Semivariograma ajustado. Elaboración propia	61
Figura 25: Modelo de interpolación de Kriging. Puntos actuales y previsión de zonas vulnerables. Elaboración propia.	62
Figura 26: Cross validation del modelo Kriging. Elaboración propia	63

## **AGRADECIMIENTOS**

Mi primer agradecimiento está dirigido al tutor de este Trabajo de Fin de Máster, el profesor Juan Carlos García Palomares. Su amplia experiencia en la investigación y su calidad como docente, sumado a su infinita paciencia y dedicación en la revisión de este trabajo, ha resultado no sólo en el desarrollo del mismo, sino también en un crecimiento académico y una mejora de mi autoestima como investigadora gracias a la confianza depositada en mí, valorando mis ideas y concediéndome flexibilidad. Es todo un privilegio haber crecido en ese sentido a su lado.

Además, quiero agradecerle a todo el personal del departamento de Control de Vectores del Ayuntamiento de Madrid, pertenecientes al organismo autónomo Madrid Salud, tanto por su ayuda en la obtención de los datos necesarios para el desarrollo del trabajo como por el amplio conocimiento que me han proporcionado siempre que lo he necesitado. Quiero hacer especial mención al jefe de departamento, José María Cámara, quien ha sido mi figura de referencia en este camino transmitiéndome sus conocimientos, su entusiasmo y la importancia de tratar un tema como éste.

A nivel personal, quiero agradecer a mi entorno más cercano su apoyo incondicional durante estos meses, en los cuales los mundos académico y profesional se han fusionado, cambiándome la vida. Muchas veces en esta nueva situación, una se siente desorientada y confusa, y necesita de mucho cariño y comprensión, apoyo moral y buenos consejos para salir adelante. En estos momentos ha sido fundamental tener a mi lado a mi familia, a mis padres y a mis abuelos especialmente, y a muy buenos amigos como Samir, quien gracias a su experiencia vital ha alimentado mis ganas de mejorar y crecer. También quiero agradecerle a mi mejor amigo Luis tantos años de amistad, la cual tiene como base el respeto y la admiración el uno por el otro. No me cansaré de decir que soy quien soy, y estoy donde estoy, fundamentalmente gracias a ellos.

En estos meses llegaron personas nuevas a mi vida que han participado en mi enriquecimiento personal, profesional y académico: a Guadalupe, Víctor y Laura, compañeros de trabajo técnicos del Ayuntamiento de Madrid; a Juan Pablo y José, expertos en plagas con los que comparto formación e intereses en común; a Jorge y a Gabriel, compañeros del máster con los que tengo una afinidad especial; y a Abel, quien además de tener una calidad como investigador envidiable, es una persona maravillosa.

A todos y todas vosotras os agradezco vuestro granito de arena para hacer de mí una mujer más completa, en todos los sentidos.

## RESUMEN

La gestión de plagas en una ciudad inteligente y resiliente consiste en la creación de un modelo capaz de detectar las zonas más vulnerables para la proliferación de plagas. En este trabajo se han recopilado y tratado los registros de rata negra en la ciudad de Madrid para su posterior estudio mediante herramientas SIG. Este análisis está basado en operaciones estadísticas que modelizan los patrones de distribución de los focos de la plaga, a través de la localización de los focos actuales y los factores asociados a ellos. El resultado del trabajo es un conjunto de mapas que muestran las zonas de la ciudad con mayor riesgo de proliferación de ratas, atendiendo a sus características físicas y socioeconómicas. La finalidad del trabajo es demostrar que el análisis espacial es una herramienta fundamental para la resolución de problemas estructurales y en la modelización de sus patrones a través de la anticipación, minimizando los factores de riesgo, optimizando los recursos y evitando problemas de salud pública. El uso de este tipo de estrategias ha cobrado gran importancia en la gobernanza urbana en las últimas décadas dentro de la planificación territorial, situándose como punto estratégico para alcanzar el nivel de inteligencia y resiliencia que exigen los nuevos paradigmas de ciudad.

Palabras clave: *Rattus rattus*, distribución espacial, ecosistema urbano, influencia medioambiental, ecología de las ratas.

## ABSTRACT

Pest Control Management can be achieved in a smart and resilient city by creating a tool capable of detecting the most exhibited areas for pest proliferation. In this dissertation, the records of black rats in the city of Madrid have been collected and processed for subsequent analysis using GIS tools. This analysis is based on statistical procedures that represent the distribution patterns of the pest outbreaks through the location of the current spotlights and the key aspects connected to them. As a result of this analysis, we can see a set of maps showing city areas with a higher risk of rat proliferation according to their physical and socio-economic features. The aim of this project is to demonstrate data collection and spatial analysis are relevant tools for solving structural problems and modelling their patterns. It will be possible to anticipate future plagues, minimising risk factors, optimising resources and preventing public health problems with these important tools. The use of this kind of strategies has obtained great importance in urban governance in the last decades within territorial planning, becoming a strategic point to reach the level of intelligence and resilience demanded by the new city paradigms.

Key words: *Rattus rattus*, spatial distribution, urban ecosystem, environmental influences, rat ecology.

## INTRODUCCIÓN

“Compleja y multidimensional por su significación y formas en que se nos aparece, la realidad del fenómeno urbano no puede ser comprendida en la totalidad de su contenido, asomándonos a ella desde una perspectiva unilateral.”  
(Manuel de Terán, 1966)

Si hay un acuerdo entre urbanistas y geógrafos urbanos es que “la única forma de entender la ciudad es la integración de múltiples disciplinas que ayudan a explicarla” (Delgado Viñas, 2016). Mucho se ha hablado de ello antes: la ciudad es una realidad compleja y diversa que requiere de un estudio pluridisciplinar que pueda explicar todas sus facetas, las cuales se encuentran sobrepuestas y contrapuestas (García Ballesteros, 1995).

El enfoque para abordar el estudio de los espacios urbanos ha ido evolucionando y variando la importancia de cada faceta: en sus inicios, la ciudad se enmarcaba dentro de su contexto geográfico, considerando tanto el medio natural y sus factores (climatología, vegetación, litología, etc.) como la historia, la cual determinaba el modo de relación del ser humano con su medio natural; pero a mediados del siglo XX, Pierre George toma como nueva referencia los sistemas económico-sociales, culminando con Yves Lacoste la ruptura definitiva con el naturalismo (Moreira, 2017). Este cambio supuso un olvido de los factores naturales que afectan a la ciudad, perdiendo importancia en los estudios urbanos.

Cada ciudad tiene unas características únicas asociadas a la actividad humana que se desarrolla en ella, tanto físicas como socioeconómicas; pero existe un patrón que se repite en todas ellas, y es la imperiosa necesidad de desplazar a todo ser vivo que habitase en el lugar en pro de la habitabilidad humana. En los medios rurales las personas adaptan sus necesidades al medio, creando una simbiosis en la cual se producen relaciones de dependencia bidireccionales. En el caso de las ciudades esas relaciones no sólo se rompen, sino que son incesantemente maltratadas. Esta situación implica que el desplazamiento y la degradación de los factores naturales produce, por un lado, la desaparición de especies autóctonas al modificar o eliminar su hábitat; y por otro, la aparición de seres vivos con gran capacidad de adaptación al medio humano, que aprovechan tanto los recursos que genera su actividad como el desplazamiento de otras especies para desarrollarse y expandirse territorialmente. Una de las principales consecuencias negativas de esta situación es la aparición de plagas urbanas, es decir, la superpoblación de algunas especies sinantrópicas hasta un nivel no tolerable por los seres humanos (Bonney *et al.*, 2008). Ambas situaciones son igualmente graves y motivo de intervención, que necesitan de acciones específicas dentro del mismo marco ecológico y territorial.

El control de estas especies es crucial si se quiere garantizar la habitabilidad de las ciudades, ya que pone en riesgo la salud pública por la transmisión de enfermedades, los recursos económicos por la posible pérdida de alimentos por infestación, e incluso supone una

disminución de la calidad de vida de las personas referente a cuestiones de percepción por la sensación de rechazo que provoca. Todas las ciudades necesitan de un plan específico que recoja toda la problemática y diagnóstico de ésta, con su respectivo análisis cualitativo y cuantitativo, de diseño descriptivo e integral con carácter transversal. Hasta las últimas décadas, el uso de productos plaguicidas era el método considerado más eficaz en materia de control del problema pero, no obstante, implicaba serios riesgos tanto para la población de la ciudad como para el medio ambiente en general. Por ello, se han desarrollado otros métodos menos dañinos basados en la prevención, y no tanto en la actuación directa en la plaga. Sistemas como la vigilancia y las medidas técnicas (barreras físicas, disuasorias...) se han puesto en marcha dentro de un marco general denominado Control Integrado de Plagas, donde una integración y comunicación fluida de todos los actores responsables confluyen y dan lugar a un plan estratégico común. En España, muchas ciudades tienen en su ayuntamiento un departamento dedicado a la problemática de la gestión de plagas que, aun teniendo clara vocación de renovar los métodos y mejorar su eficacia mediante nuevas herramientas como los SIG y los sensores, tienen dificultades por falta tanto de investigación como de recursos económicos para su óptima implantación.

Actualmente, siendo la ciudad inteligente (*Smart City*) el nuevo paradigma urbano, se ha potenciado el uso de las TIC (y dentro de éstas, los SIG) para una gestión más eficiente de los entornos urbanos, ampliando tanto la efectividad de los planes como la información para llevarlos a cabo. El nuevo modelo de ciudad, sin embargo, mantiene los pilares conceptuales del anterior, los cuales se basan en las esferas económica y social principalmente, y ambiental de manera parcial (generalmente en los factores ambientales relacionados con la problemática del cambio climático). Tal y como plantean Bustillo y Rodríguez (2015):

Para que una ciudad inteligente triunfe, tiene que superar el concepto de ciudad como organización administrativa y convertirse en territorio inteligente que venga de la mano de determinadas características ambientales, sociales, económicas, culturales, donde se ponga de manifiesto la importancia de la ciudadanía. Una ciudad puede abordarse desde ámbitos donde la ciudadanía no tenga concurso ninguno, o bien desde un prisma de territorio urbano con una perspectiva que incluya a la población del mismo. (p. 258)

Por ese motivo, en los últimos años los SIG se han incluido como herramientas en el análisis, parametrización y gestión de las estrategias de control de plagas, buscando introducir y validar nuevos indicadores que ayuden a la interpretación de los datos a través de cartografiarlos y analizarlos espacialmente (Moreno *et al.*, 2007), desde la contextualización territorial (Tamayo, 2013). No obstante, ni desde el urbanismo ni la geografía urbana en España se ha mostrado hasta ahora un especial interés en su investigación, limitando el respaldo que las administraciones necesitan para mantenerse a la vanguardia en el ámbito de la gestión de plagas y la posibilidad de mejorar su eficiencia en materia ambiental.

La conversión a un territorio inteligente es un proceso complejo con muchas cuestiones a pulir. El uso de los SIG es la herramienta esencial para poder solucionar las cuestiones espaciales de los entornos urbanos, teniendo cabida la gestión de plagas en el conocimiento del mundo académico de las ciudades inteligentes.

## OBJETIVOS

Siguiendo lo expuesto en la introducción, se propone realizar un trabajo que contribuya a la bibliografía respecto a la gestión de plagas en los entornos urbanos. Desde la disciplina geográfica interesa conocer las características asociadas a la espacialidad, como es la distribución de la plaga por la ciudad y los factores que desencadenan su proliferación. De la misma manera, el uso de los SIG como herramienta de análisis espacial completa la definición de ciudad inteligente, que es el nuevo modelo al que aspirar ser, por lo que formará parte de los objetivos propuestos.

Dentro del estudio de las distintas plagas hay algunas que han sido consideradas más relevantes y, por ende, más estudiadas, bien por su peligrosidad, por su abundancia, por su existencia durante muchos años en los entornos urbanos, por su localización, o la conjunción de todos estos factores. Por ejemplo, la rata de alcantarilla (*Rattus norvegicus*) es una plaga muy común en todas las ciudades a nivel mundial, por lo que existe mucha literatura sobre ésta. En los últimos años en las ciudades europeas han empezado a proliferar focos de otro tipo de roedor ya conocido por el ser humano: la rata negra (*Rattus rattus*). La pulga de esta especie fue el vector de la bacteria *Yersinia pestis*, la causante de la devastadora peste negra en el siglo XIV, la pandemia más mortífera de toda la historia de la humanidad. La rata negra propagó la enfermedad desde Asia hasta Europa, mermando a la población europea en un 30%.

Actualmente, la peste negra está erradicada, pero eso no supone una disminución en los riesgos para la salud pública que la rata negra puede suponer. El aumento de su presencia en las ciudades es un fenómeno importante por el alcance mundial de este suceso, por lo que existen numerosos estudios realizados desde muchas partes y prácticamente de todos los continentes habitados. Paradójicamente, en el entorno mediterráneo no existen apenas estudios específicos.

En este trabajo se han determinado unos objetivos secundarios y transversales/metodológicos para la consecución de un objetivo principal:

### 1. Objetivo principal

El objetivo principal del trabajo es obtener una modelización de los patrones de distribución de la rata negra en los entornos urbanos, a partir de un modelo estadístico que muestra la probabilidad de que surja un foco de rata negra según las características de un lugar determinado. Para ello, es necesario conocer los factores relacionados con su aparición (en adelante, factores de riesgo), además de la influencia que supone cada uno de ellos en el modelo (la importancia o peso en forma de ponderación). La falta de estudios al respecto implica que la detección de los factores, así como su peso, es una labor que va a necesitar de mucho esfuerzo pero que enriquecerá el proceso y podrá adaptarse con mayor exactitud a la zona de estudio, que es la ciudad de Madrid. No obstante, se busca crear un modelo que pueda aplicarse a cualquier zona urbana y sea igualmente válido, aunque esto último es una cuestión a demostrar en futuras investigaciones.

La consecución de este objetivo implica, esencialmente, controlar los factores que influyen en la aparición de rata negra en los entornos urbanos mediante modelos estadísticos y los SIG, lo que conlleva una optimización y eficiencia de los medios de detección y los recursos destinados a su erradicación.

## **2. Objetivos secundarios**

1. Definir las características físicas, conductuales, implicaciones en el entorno urbano y social, ubicación espacial (dónde suele aparecer, asociado a qué características físicas, qué patrones y/o tendencias se detectan, etc.) que permitan identificar de forma precisa la localización de rata negra y obtener patrones y mapas de densidad de su población en la ciudad de Madrid.
2. Determinar los factores de riesgo implicados en la aparición de la rata negra en los entornos urbanos. A través de la consulta de bibliografía sobre el hábitat y costumbres de la especie se establecen unos potenciales o posibles factores que pueden influir en la aparición de la misma, los cuales se comprueban con la ubicación espacial real de los focos mediante modelos de distribución.
3. Calcular el grado de correlación existente entre los factores de riesgo de aparición de rata negra y la densidad poblacional de éstas, para estimar la influencia de cada uno de los factores en la propagación y distribución de la plaga.
4. Establecer una comparativa de la rata negra con rata de alcantarilla para detectar las similitudes y diferencias que presentan, ya que sobre esta última existen numerosos estudios que pueden ayudar a correlacionar los factores de localización de cada una y establecer la posible relación entre la aparición de una u otra especie.
5. Realizar un ejercicio de entendimiento de los resultados mediante la descripción e interpretación de estos, tanto de aquellos que demuestran su relación con la aparición de la plaga como los que se pueden declarar confusos o nulos en su correlación.
6. Validar el índice de detectabilidad de la rata negra en la ciudad de Madrid comparando la distribución espacial real de los focos y los que el modelo creado determina.

## **3. Objetivos transversales**

1. Desarrollar una metodología basada en el uso de los SIG y de modelos estadísticos de distribución para explicar los factores de riesgo y visualizar los resultados obtenidos. La conjunción de ambos métodos es posible gracias a que tienen un

enfoque cuantitativo esencial para la parametrización y normalización de los factores.

2. Encontrar apoyo bibliográfico e información de profesionales del sector que conformen una base teórica sólida, respaldando las decisiones tomadas tanto en la elección de la metodología como en la interpretación de los resultados. Puede servir de guía a futuras investigaciones y aumentar los estudios acerca de plagas en los entornos urbanos.
3. Acercar a la ciudad de Madrid a ser considerada “inteligente” por adquirir métodos de detección de plagas basados en las TIC (SIG). Además, busca incentivar la implantación de sensores en la gestión de plagas para la detección y conteo de individuos.



Figura 1: Esquema de los objetivos del trabajo. Elaboración propia.

## HIPÓTESIS DEL TRABAJO

Las hipótesis que han llevado a desarrollar este trabajo de investigación parten de la premisa de que la rata negra como plaga urbana está cobrando mucha importancia en los últimos años, pero la escasez de antecedentes contemporáneos en los entornos urbanos españoles ha hecho que los estudios sean muy parciales. No obstante, a nivel global esta problemática lleva existiendo y es considerada desde hace varias décadas, habiendo ya estudios consolidados. Las hipótesis generadas tienen que ver con lo consultado en la bibliografía disponible y una primera toma de contacto con los avisos de focos reales detectados en el municipio de Madrid.

- Las condiciones medioambientales tienen gran peso en la proliferación de focos de rata negra. Según la temporalidad y el número de avisos detectados en primavera y verano, se puede pensar que hay una tendencia a un mayor número de individuos de rata negra en estos meses precisamente por el aumento del florecimiento de la vegetación, ya que en algunos estudios se ha comprobado que el hábitat de la rata negra está asociado a la vegetación y a la existencia de masa forestal densa.
- El estado de conservación de los elementos urbanos. Según varios autores, existe correlación entre la proliferación de rata negra con el estado de los edificios, calles, mobiliario y otros elementos públicos como contenedores de residuos, papeleras y asfalto, los cuales pueden ocasionar un aumento de los focos de rata negra si su estado de conservación está por debajo de un límite establecido. En este caso, las grietas de los edificios o los contenedores defectuosos/con falta de mantenimiento tienen especial importancia, ya que suponen una fuente de cobijo y/o alimentación para la rata negra.
- Las características socioeconómicas de la población influyen notablemente en la aparición de rata negra, asociado principalmente a la falta de recursos para la eliminación efectiva de basuras y/o la limpieza de espacios públicos y privados. La acumulación de residuos como restos de comida o mobiliario en mal estado o sucio genera una fuente de alimentación y de cobijo que la rata negra aprovecha.

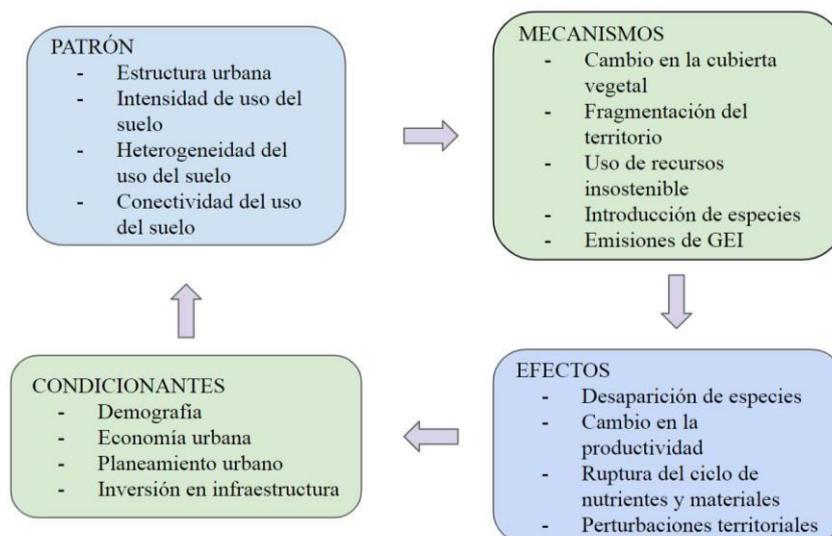


Figura 2: Esquema de correlación de aparición de plagas. Adaptado de Alberti (2005).

## FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA Y ESTADO DE LA CUESTIÓN

Las ciudades como espacios de convivencia de personas y otros seres vivos han sido ampliamente abordadas, sobre todo en los últimos años. Estas relaciones están basadas en que las especies comensales, que son aquellas que se benefician de otra sin perjudicarla (como las ratas), aprovechan el superávit de recursos alimenticios y de cobijo, como son los parterres, la red de alcantarillado, grietas en los edificios, etc.; lo que conlleva una mayor densidad de población de la plaga respecto a su ecosistema natural (Hulme-Beaman *et al.*, 2016).

El desarrollo urbano supone una serie de cambios cortos y drásticos en el medio, impulsados por el sistema biofísico y las interacciones humanas, que transforman los ecosistemas a todos los niveles (Vitousek *et al.*, 1997; Alberti, 2005; Grimm *et al.*, 2008). Hasta los últimos 50 años, la tendencia de los espacios urbanos es a mantener una dualidad entre las construcciones humanas y la vegetación natural remanente dentro y en los bordes de la ciudad. Aunque esta última suele estar degradada y fragmentada, actúa como refugio para la fauna autóctona (Miyashita *et al.*, 1998; Hahs y McDonnell, 2007; Threlfall *et al.*, 2012). No obstante, el aumento exponencial tanto de la velocidad del crecimiento de las ciudades como de la modificación del medio a partir de la Revolución Industrial (en 1760) ha propiciado la introducción de especies exóticas y, por ende, un cambio en la composición de la comunidad del nuevo hábitat, ya que algunas especies aparecen y otras desaparecen (Grimm *et al.*, 2008).

La aceleración promueve que muchas especies autóctonas tiendan a moverse a las zonas urbanas, como las zarigüeyas en Sídney (Hill *et al.*, 2007), y exista una adaptación al entorno urbano para asegurar su existencia y extinción. El propio paisaje urbano afecta a la distribución y dispersión de vectores, lo cual conlleva una heterogeneidad espacial en la aparición de enfermedades infecciosas relacionadas con las nuevas especies, como es la peste (infección por *Yersinia pestis*) en el caso de la rata negra que ha causado tres pandemias altamente mortíferas (Mangombi *et al.*, 2016).

No obstante, las especies comensales no pueden ser consideradas especies “exóticas” en los espacios urbanos, salvo que exista un desplazamiento íntegro de las especies autóctonas de su hábitat natural cuando las primeras salen del entorno urbano, ya que la ciudad es el “hábitat nativo de las especies comensales” (Salo *et al.*, 2007). Por tanto, debido a las adaptaciones al mundo urbano, estas especies deben considerarse nativas de los ecosistemas humanos (Banks *et al.*, 2015). La ocupación de espacios urbanos por parte de estas especies es mucho más común y difícil de evitar, pues no siguen el mismo proceso que la invasión de las especies exóticas. Las 5 grandes etapas del proceso de invasión son el transporte, la introducción, la colonización, la naturalización en el espacio y la propagación e impacto (Blackburn *et al.*, 2011). En el caso de las especies comensales, al estar adaptadas previamente a vivir tanto con humanos como sin ellos, las cuatro primeras fases están superadas. La propagación está determinada por los efectos abióticos, bióticos y los efectos de presión de los propágulos<sup>1</sup> (Catford *et al.*, 2009), pero en el caso de las especies comensales estos factores no interfieren porque el nuevo medio

---

<sup>1</sup> La teoría de presión de propágulos (Blackburn *et al.*, 2004; Lockwood *et al.*, 2005) defiende que “los factores determinantes en el establecimiento de especies no nativas en ambiente exóticos son el tamaño y número de propágulos liberados en el ambiente a invadir”.

urbano a ocupar no dista mucho del que vienen (Banks *et al.*, 2015).

Todos los autores y autoras que han estudiado las plagas en los entornos urbanos coinciden en que la evaluación de las características del paisaje es una parte esencial dentro de la evaluación de los riesgos que suponen las plagas en la ciudad, dirigido específicamente al diseño de programas de vigilancia y control de estas (Brouat *et al.*, 2013), y pudiendo extrapolar las conclusiones de la evaluación de una ciudad a otras de relativa semejanza.

## **1. La gestión integrada de plagas (GIP)**

La figura esencial en materia de tratamiento de plagas es la Gestión Integrada de Plagas (en adelante, GIP). Generalmente ha estado dirigida al mundo rural, para evitar la infestación de cultivos y los daños en la producción, pero además hay otro tipo de GIP para los espacios urbanos que pretenden prevenir y mitigar los impactos de las plagas, sobre todo en materia de salud pública.

El GIP tiene como finalidad el desarrollo de estrategias de gestión a través de la información existente sobre la biología y el comportamiento de las plagas objetivo, en vez del uso de métodos tradicionales como los rodenticidas. Por ejemplo, los roedores comensales tienen unos patrones de movimiento que revelan la migración por el espacio urbano, los cuales sirven para delimitar las unidades de gestión que se puedan crear (Gaertner *et al.*, 2017, Combs *et al.*, 2018), y con ello maximizar la eficacia y la optimización de los tratamientos.

Los Planes de Manejo de Plagas (en adelante, PMP) son la herramienta dentro del GIP encargada de definir las líneas de actuación y la importancia relativa de determinadas colonias en base a los fundamentos conductuales de la plaga, lo cual es especialmente relevante en el caso de los roedores (Russell *et al.*, 2010, Glass *et al.*, 2016, Puckett *et al.*, 2016). Los PMP tienen como uno de sus principales objetivos evitar el aumento de la tasa de reinvasión de la plaga, es decir, limitar su expansión geográfica, y eliminar la posibilidad de reaparición de la especie después del tratamiento de erradicación, y generalmente son las barreras migratorias las que suponen un impedimento a su dispersión (Clark *et al.*, 2010). Las barreras migratorias son elementos físicos, naturales o artificiales, que limitan el movimiento de una especie, bien directamente (impedimento total de paso) o indirectamente (la barrera supone un peligro para la integridad del individuo y él mismo decide evitarlo) (Harris *et al.*, 2002, Lee *et al.*, 2009). Los ejemplos más comunes de barreras migratorias en la ciudad son las carreteras con mucho tráfico y la hermetización de los edificios. Conociendo este condicionante, los PMP pueden determinar la escala espacial de dispersión y, por ende, desarrollar áreas de tratamiento específicas con su zona de amortiguación correspondiente.

## 2. Caracterización de la plaga: la rata negra

La Rata negra (*Rattus rattus*) es un roedor de tamaño mediano, que no suele sobrepasar los 250 gramos de peso. Su cuerpo mide aproximadamente 10 cm. de largo, sin contar la cola que generalmente es más larga que el tamaño del cuerpo (de 9 a 24 cm.). En los estudios de plagas de la ciudad de Madrid se ha empezado a considerar su amenaza en los últimos 5 años, que ha sido cuando su presencia y daños se han incrementado notablemente.

La rata negra se caracteriza por ser una especie campestre, lo que significa que tenderá a vivir en las zonas rurales con gran cantidad de vegetación. Igualmente, cada vez tienen mayor adaptación al medio urbano, pudiendo alimentarse -además de especies vegetales- de residuos que genera la actividad humana. Este movimiento se produce a través de los bordes ecológicos, también llamados “franja metropolitana” (Daniels, 1999) o interfaz urbano-forestal (Radeloff *et al.*, 2005): son un conjunto de vegetación autóctona que rodea la ciudad, ubicados en la periferia, y hacen efecto barrera y de transición desde el medio urbano al rural. En general, cuando los recursos cubren satisfactoriamente la demanda de alimentación y cobijo, el movimiento entre parcelas es leve; mientras que, si se da una sequía de recursos, las especies sedesplazarán a las zonas vecinas buscando cubrir sus necesidades (Roshier *et al.*, 2008).

En el caso de la rata negra, ésta no se limita a estar en una zona concreta, sino que usan tanto las zonas periurbanas y de matorral como el centro, dentro de la matriz urbana, si tiene los recursos suficientes como para permanecer (Weerakoon, 2011; Banks *et al.*, 2012). Las infestaciones de rata negra suelen ser mayores en las zonas con vegetación, demostrando que el movimiento entre zonas es bidireccional (Patergnani *et al.*, 2010; Tamayo-Uria *et al.*, 2014).

La amplitud de recursos en la ciudad respecto a la del campo ha ocasionado modificaciones en el comportamiento y la anatomía de la rata negra. Los individuos urbanos suelen tener una tasa de crecimiento mayor y, por ende, una madurez sexual más temprana, debido seguramente a que en la ciudad se garantiza la disponibilidad de recursos (Perry, 1945; Glass *et al.*, 1988; McGuire *et al.*, 2006; Vadell *et al.*, 2010). De hecho, es tal el impacto que se pueden producir variaciones en el tamaño dentro de la misma ciudad (Glass *et al.*, 1988). Además, la tasa de reproducción aumenta porque las condiciones son más favorables y estables en el tiempo en la ciudad que en el campo (más recursos alimenticios y de cobijo), por lo que las ratas se pueden reproducir durante todo el año (Marsh, 1994), aunque se mantienen los picos de reproducción en las estaciones de verano y otoño. La tasa de reproducción es mayor y la cría tiene más éxito de supervivencia si las ratas hembra viven en grupos estables y con sincronía de celo en el grupo (Marsh, 1994; Ziporyn y McClintock, 1991). Esto quiere decir que, como en las ciudades se mantienen las condiciones territoriales, las comunidades de rata negra están sujetas a un lugar, tipo de comida e individuos que las componen muy estables, lo que favorece la reproducción, gestación y cría de los descendientes y aumenta en número a la comunidad.

Respecto a la alimentación, la rata negra tiene preferencia por las frutas, los frutos secos y las semillas (Marsh, 1994), pero al ser una especie oportunista se adapta según la disponibilidad a gran variedad de alimentos. En el caso de las ratas urbanas, si hubiera escasez de recursos, una fuente de alimentación es la basura (Traweger y SlottaBachmayr, 2005). El lugar de la ingesta

de los alimentos está determinado por el tamaño de éstos, pues generalmente lo prefieren llevar a cabo en zonas cubiertas, evitando al máximo los espacios abiertos; pero si son trozos pequeños de alimento (migas, trigo, etc.) lo consumen en el mismo lugar (Takahashi y Lore, 1980). La búsqueda de recursos generalmente se produce en las horas nocturnas, evitando las horas de luz salvo necesidad imperiosa (evitar la competencia, búsqueda infructuosa por la noche, etc.). Además, tal y como apuntan Whishaw y Whishaw (1996), las inclemencias del tiempo disuaden a las ratas negras de buscar alimento, mientras que la presencia de personas no suele causar ese efecto.

La neofobia en la rata negra es un rasgo muy importante que afecta a su comportamiento en la ciudad. Se manifiesta mediante la evitación de alimentos, lugares y situaciones que desconoce por los peligros que pueda suponer (Mills, 2010), como por ejemplo ruidos, objetos, luz artificial, etc. Su grado depende de la especie, y de la estabilidad de la comunidad y de los recursos: si el individuo está acostumbrado a que su entorno varíe constantemente tendrá una respuesta neofóbica menor del que le corresponde por naturaleza (Inglis *et al.*, 1996).

El aumento de esta población provoca graves impactos en la habitabilidad de la ciudad, ya que son potenciales vectores de enfermedades. La infección más conocida es *Yersinia pestis*, un bacilo causante de la gran pandemia de Peste bubónica que asoló Europa, produciendo la muerte de más de 20 millones de personas. Pese a ser una enfermedad ya erradicada, en la actualidad la rata negra es causante de daños materiales e inmateriales en la ciudad, que necesitan ser paliados de forma inminente.

### **3. Peligro como plaga**

Las ciudades son ecosistemas que crean interfaces entre el medio natural, el ser humano y el resto de especies, favoreciendo el contacto estrecho y aumentando el riesgo de transmisión de enfermedades zoonóticas. Por ello, se consideran puntos críticos de transmisión de nuevos patógenos (Dixon *et al.*, 2014; Hassell *et al.*, 2017), los cuales pueden afectar a la salud física y/o mental de los ciudadanos (Byers *et al.*, 2019). Además, hay que tener en cuenta que los daños materiales causados a las infraestructuras y a los alimentos suponen un perjuicio económico en la ciudad.

El género *Rattus*, de la familia *Muridae*, es un conjunto de especies de rata que portan de manera crónica la *Leptospira spp.*, que es un género de bacterias que pueden ser patógenas o no (según la especie). La más común entre los roedores es la *Leptospira interrogans*, la cual es patógena y causa la leptospirosis en humanos y otros animales. Su afección es variable, pudiéndose manifestar como un resfriado común, o bien causar la muerte. No obstante, actualmente en las regiones consideradas “desarrolladas” no supone un riesgo de muerte porque su tratamiento es mediante antibióticos de amplio espectro, pero a nivel mundial se estima que afecta a más de un millón de personas y causa casi 60 mil muertes al año (Costa *et al.*, 2015). Además, las ratas pueden portar el hantavirus de Seúl, el *Yersinia pestis* (la bacteria causante de la peste negra o bubónica) y el tifus marino, entre otros (Meerburg *et al.*, 2009).

Es importante considerar que la rata negra fue el vector asociado a la pandemia de la Peste Negra: su pulga es potencial portador de la *Yersinia pestis*, la bacteria causante de la enfermedad de la peste bubónica especialmente, la cual mermó hasta al 40% de la población europea en el brote del siglo XIV (Perry y Fetherston, 1997). Por ello, existe todo un miedo social a la rata negra tras este traumático episodio. Cuando existe una densidad de población de rata negra en los matorrales y arbustos que supera la tasa media, los patógenos asociados a ella suponen un riesgo para la salud humana que no puede mantenerse en los espacios urbanos (Daszak *et al.*, 2000). El desplazamiento por el territorio de estos roedores supone un incremento sustancial del riesgo, pues este lo pueden extender por varios ecosistemas aumentando la transferencia de enfermedades al ser humano y/u otras especies (Bar-Massada *et al.*, 2014).

Además de los posibles perjuicios que pueda ocasionar a la salud humana y ambiental, la rata negra tiende a causar destrozos en la ciudad, como son los daños estructurales en edificios y en los alimentos, lo cual supone un gasto tanto para reparar o reponer el desperfecto, como para aumentar el control de plagas (Margulis, 1977; Marsh, 1994; Vadell *et al.*, 2010).

El comportamiento de esta especie en el entorno urbano ha sido estudiado para entender mejor a qué se debe este tipo de respuestas tan destructivas. Las modificaciones antrópicas en el medio han hecho que las relaciones entre las personas, la fauna y flora, y el biotopo sean mucho más complejas, lo cual supone una respuesta de la fauna salvaje a la amenaza percibida y su interpretación basada en el estrés (Boonstra, 2013; Fardell *et al.*, 2020). De hecho, se ha estudiado que existe una presión de depredación más fuerte sobre los nidos de aves por parte de la rata negra en ciudades y sus bordes que en los entornos naturales (Townes *et al.*, 2006).

No obstante, también se han estudiado los efectos positivos de la presencia de rata negra en el paisaje urbano. Se ha destacado que la interfaz urbano-arbusto posibilita la polinización, el arraigo y enriquecimiento del suelo y la dispersión de semillas (Blitzer *et al.*, 2012), lo cual es fundamental en el ecosistema vegetal. Sin embargo, otros autores critican este enfoque sosteniendo que el comportamiento de alimentación de la rata negra es muy destructivo y, por ende, este supuesto beneficio en el medio se daría sólo en los entornos previamente degradados (Saul, 2013).

Consideraciones a tener en cuenta:

- En España, la rata negra no se considera especie exótica/bioinvasora (salvo en las Islas Canarias), por lo que no están sujetas a medidas de erradicación.
- La rata negra no considera parte de su hábitat el alcantarillado, por lo que no accede a él -dificultad en la colocación de rodenticidas-.
- El ecosistema urbano de la rata negra son los parques, jardines y zonas verdes en general, que están considerados lugares de difícil tratamiento por la multitud de seres vivos - "fauna no diana" y ciudadanos- que lo conforman o visitan frecuentemente.
- La existencia de focos de ratas negras no está íntimamente relacionada con los desechos y basuras, dificultando el diagnóstico y eliminación de la plaga.
- La introducción de especies depredadoras de la rata negra no es eficiente en los entornos urbanos.

- Dificultad en el empleo de rodenticidas u otras técnicas de control de plagas, ligado a cuestiones ambientales, espaciales y jurídicas.

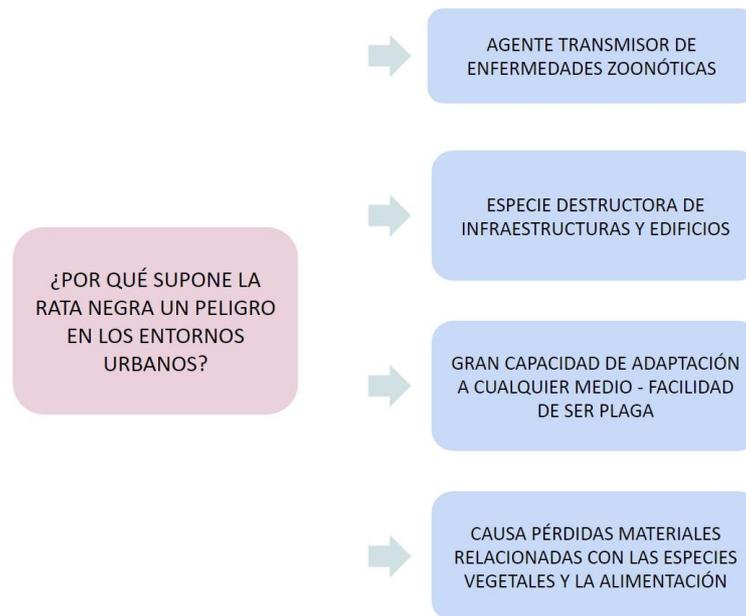


Figura 3: Esquema de daños que ocasiona la rata negra en las ciudades. Elaboración propia.

#### 4. Comparación rata negra y rata de alcantarilla

Muy ligada a la actividad roedora en los entornos urbanos está la rata de alcantarilla (*Rattus norvegicus*), de la cual existen multitud de estudios al respecto. Tanto ésta como la rata negra (*Rattus rattus*) son de las especies roedoras más ubicuas a nivel mundial, las cuales “comprenden más del 40% de todas las especies de mamíferos” (Wilson y Reeder, 2005). Son especies comensales que destacan por la facilidad que tienen de adaptación a un nuevo medio y a sus recursos, lo cual provoca un impacto en los ecosistemas, especialmente en el urbano (Aplin *et al.*, 2003). Además, los *Rattus spp.* urbanos tienen “una comunicación ultrasónica más potente que sus homólogos salvajes” (Langton, 2007), validando la afirmación de que las adaptaciones potencian la capacidad de las especies comensales de explotar nuevos espacios más allá de sus ecosistemas naturales.

Ambas especies se introdujeron en la Edad Media a través del desembarco de barcos provenientes de Asia en los puertos europeos, durante el auge de la Ruta de la Seda. Infestaron, además, los barcos que se dirigían a América tras su descubrimiento, por lo que en menos de un siglo las ratas habían ocupado todos los continentes (salvo la Antártida y Oceanía). Pese a que ambas especies convivieron durante mucho tiempo, en la actualidad no se encuentran en la misma región y la aparición de una u otra depende de las condiciones ambientales (Clinton, 1969). Estadísticamente se han encontrado más ratas negras en las zonas costeras y tropicales, así como en los espacios rurales (Bonney *et al.*, 2008); mientras que la rata de alcantarilla tiene una mejor adaptación a los climas templados y, sobre todo, a los entornos urbanos (Yahner, 2001). Ambas especies suponen un peligro en el mundo agrícola, pues son altamente

destructivas de los cultivos (Aplin *et al.*, 2003).

El gran tamaño y el comportamiento más agresivo de *Rattus norvegicus* (rata de alcantarilla) en comparación con *Rattus rattus* (rata negra) hace que estas últimas tengan que abandonar sus nidos en las zonas urbanas y desplazarse a entornos rurales o a espacios de la ciudad más inaccesibles, como pisos superiores de los edificios y tejados (Barnett y Spencer, 1951; Nagorsen, 2005; Nowak y Walker, 1999), pese a que ambas especies pueden compartir recursos alimenticios. Si se da una eliminación de alimento o refugio, la presión ambiental intensifica la competencia tanto intraespecífica (entre individuos de la misma especie) como interespecífica (entre especies diferentes), de tal manera que en muchas zonas la rata negra se ha considerado en peligro de extinción por el desplazamiento completo por parte de la rata de alcantarilla. La rata de alcantarilla es una especie sustancialmente más grande que la rata negra, con mayor adaptación al medio urbano ya que la existencia de red de alcantarillado beneficia su cobijo y alimentación. Pese a que la aparición de la rata campestre en los entornos urbanos fue anterior a la rata de alcantarilla, esta última fue capaz de desplazarla a los entornos rurales, adquiriendo la hegemonía de la ciudad.

No obstante, en los últimos años, por el aumento del tamaño de las ciudades y las nuevas configuraciones que está adquiriendo (ciudad difusa), hace que la rata negra haya podido regresar a las zonas urbanas sin suponer una amenaza a la rata de alcantarilla, pues la disponibilidad de alimentos y cobijo para ambas está garantizada. Los hábitos naturales de cada una de las especies, sumado al cambio estructural de las ciudades en el siglo XX (edificios más altos, apertura de túneles para metro, etc.) y a las nuevas técnicas de control de plagas, han hecho que la rata negra tenga ventaja sobre la rata de alcantarilla, pues la primera prefiere anidar en lugares altos (árboles, áticos) y la segunda vive en madrigueras y alcantarillas, lo cual hace que sea más fácil de intervenir en su erradicación (Clinton, 1969).

En síntesis, el comportamiento de la rata negra difiere de la de la rata de alcantarilla, tanto conductualmente como de hábitos alimenticios y de cobijo:

- Son eminentemente nocturnas, pero las condiciones urbanas hacen que sus ritmos varíen (luz artificial, ruidos, etc.), por lo que pueden tener actividad diurna.
- Su dependencia al agua es menor que la de la rata de alcantarilla, además que evitan los lugares húmedos.
- Tienen la capacidad de trepar por diferentes elementos y materiales, llegando a alturas de hasta 10 metros
- Sus nidos se ubican en los árboles, y son muy parecidos a los de las aves. Además, pueden hacer madrigueras en la base de árboles o alcorques. En las ciudades se encuentran en la parte superior de los edificios (falsos techos, buhardillas, tejados, etc.).
- Roen la corteza de los árboles, sintiendo predilección por los olmos.
- Su alimentación se basa en el consumo de frutas, semillas, granos, insectos..., son omnívoros, pero con menor intensidad que la rata de alcantarilla.
- El área de influencia -"home range"- es de 100 a 150 metros, mayor que el de la rata de alcantarilla.

- Los principales enemigos en el espacio urbano son el ser humano y la rata gris/de alcantarilla.

Así pues, los factores de localización de la rata negra difieren sustancialmente de la de la rata de alcantarilla, pese a que cohabitan en el espacio urbano. Las preferencias de ambas son distintas, por lo que los estudios respecto a la rata de alcantarilla son parcialmente válidos para el caso de la rata negra, pero es necesaria suma determinación de los factores que tienen en común. La falta de estudios sobre la rata negra dificulta el análisis espacial de éstas en el entorno urbano; no obstante, los estudios de la rata de alcantarilla se pueden considerar un punto de partida en el inicio de estos.

## **5. Factores de riesgo de aparición de la rata negra en los entornos urbanos**

Pese a que existe una gran capacidad de adaptación al medio urbano por parte de la rata negra, existen una serie de factores que potencian o minimizan las posibilidades de infestación. Estos factores son de varios tipos, afectando a la ecología del animal, a los recursos para sobrevivir y el propio movimiento por el entorno.

- Factores ambientales que afectan a las poblaciones de ratas: climatología y estacionalidad.

Los factores climáticos juegan un papel fundamental en la distribución a nivel global de la rata negra, estando especialmente adaptada al clima tropical (Marsh, 1994). No obstante, cuando viven en otros entornos como las ciudades ubicadas en los climas templados, las estaciones del año condicionan su actividad e influye en la reproducción (Margulis, 1977), en el cobijo (en invierno buscan refugio interior en edificios por las inclemencias del tiempo (Frantz y Comings, 1976)) y en el tamaño de las poblaciones, alcanzando mayores tasas durante el invierno por la disminución de competencia con otras especies y la mejor preservación de los alimentos (Glass *et al.*, 1988).

- Factores urbanos: estructura y recursos de las ciudades.

La ubicación de las poblaciones de rata negra en una misma ciudad no es una cuestión aleatoria. Los individuos seleccionan determinadas zonas según la disponibilidad de refugio, agua y comida, siendo este último el factor más determinante porque dictamina la capacidad de carga de un hábitat (Masi *et al.*, 2010; Sacchi *et al.*, 2008). La alimentación en las ciudades se basa en los productos comestibles que se almacenan de forma ineficaz y en los residuos orgánicos que no son eliminados adecuadamente, así como en la comida de los animales domésticos que suele estar accesible por largos períodos de tiempo (Promkerd *et al.*, 2008). El acceso al agua fresca no ha sido especialmente considerado en los estudios acerca de la rata negra, pero es un factor importante porque las ratas negras necesitan a diario beber para sobrevivir (Sacchi *et al.*, 2008).

La disponibilidad de refugio es un factor esencial para comprender la ubicación espacial de la

plaga. Determina el tiempo de estancia en un lugar porque, pese a que haya alimentación cerca, también necesitan de un espacio seguro en el que vivir (Masi *et al.*, 2010). Los mismos autores demostraron que un edificio tiene casi 25 veces más de posibilidades de infestación si su estructura facilita el acceso a las ratas, especialmente si es a través de agujeros en el techo y grietas (a diferencia de la rata de alcantarilla, que prefiere accesos a ras del suelo o subterráneos como sistemas de alcantarillado). Igualmente, las ratas prefieren estructuras abandonadas a cohabitar con personas, pero no es un factor especialmente determinante (Childs *et al.*, 1998). Por ello, la rata negra tiene una tendencia a ocupar espacios con alta densidad de edificios, especialmente si es una zona degradada (Cavia *et al.*, 2009), creando un desequilibrio territorial dentro de la ciudad: las zonas más prósperas presentan menor tasa de infestación por rata que los barrios descuidados y/o empobrecidos (Easterbrook *et al.*, 2005). Este desequilibrio pone en marcha un sistema que se retroalimenta positivamente, pues a más empobrecimiento de la zona, mayor proporción de edificios y propiedades en mal estado o abandonadas, lo cual implica servicios públicos de peor calidad (eliminación de residuos ineficientes por falta de equipamientos) y aumento de la insalubridad en la zona, creando el ecosistema perfecto para la infestación por ratas (Langton *et al.*, 2001; Easterbrook *et al.*, 2005). La presencia de ratas en los barrios deprimidos no es un problema ajeno ni a los vecinos y vecinas de la zona ni a la administración. El conocimiento sobre ellas (comportamiento, hábitos) es muy superior en estos barrios que en otros de mayores rentas, lo cual supone que los habitantes de las zonas más pobres conocen de primera mano cómo controlarlas o erradicarlas (Wundram y Ruback, 1986).

- Factores conductuales: patrones de movimiento y limitaciones.

El movimiento de la rata negra por el espacio urbano depende esencialmente de la idoneidad del entorno. Si las necesidades vitales (alimentación y refugio) están cubiertas, la plaga no encuentra necesidad de desplazamiento salvo por aumento del tamaño de la comunidad, por lo que existe una topofilia o fidelidad al lugar (Gardner-Santana *et al.*, 2009). Como esta situación suele ser puntual y efímera, las ratas se ven obligadas a moverse por el medio y a ampliar su área de distribución, condicionadas por la presencia de barreras y la disponibilidad de recursos. Aparte de éstos, hay otros factores que influyen en el área de distribución de la rata, como por ejemplo la etapa de reproducción en los machos, que hace que éstos aumenten el área buscando una hembra con la que reproducirse (Clapperton, 2006).

Respecto a las barreras físicas, las calles son una de las más importantes, actuando como brecha y agente de aislamiento de poblaciones de ratas, limitando su área de distribución a una manzana (Traweger y Slotta-Bachmayr, 2005). Esta separación física puede resultar en una alta heterogeneidad en la distribución de las ratas, incluso en pocos metros (Gardner-Santana *et al.*, 2009). Hay una gran diferencia entre las áreas de distribución de una rata urbana y de la rural, dependiendo tanto de la distancia entre los recursos como de las barreras existentes (Traweger *et al.*, 2006). No obstante, cuando se trata de callejones se ha observado que hay un incremento del movimiento de la rata negra utilizando toda la longitud (Glass *et al.*, 2009).

La alta capacidad de las ratas a adaptarse a los entornos urbanos provoca que la dispersión por el espacio sea común y los nuevos asentamientos sean estables y exitosos (Easterbrook *et al.*,

2005). Esta dispersión se suele dar a distancias cortas, pero a veces hay desplazamientos más largos debidos a la elevada competencia, cambios ambientales o falta de recursos extrema (Gardner-Santana *et al.*, 2009).

## **6. Formas de mitigar la aparición de ratas**

Teniendo en cuenta todos los factores anteriormente descritos y la labor de la gestión integrada de plagas (GIP), muchos autores coinciden en que la erradicación y control de la rata negra necesita de un análisis de la escala espacial a la que van a trabajar. La idea es diseñar una zona de amortiguación alrededor del área objetivo, teniendo en cuenta los patrones de movimiento de la comunidad a tratar para evitar una nueva infestación (Combs *et al.*, 2019). Para conocer el área de distribución, muchos estudios se han enfocado en analizar a las poblaciones de ratas mediante un correlograma genético a través del modelo evolutivo común de aislamiento por distancia (IBD<sup>2</sup>; Wright, 1943), que consiste en correlacionar la distancia geográfica y la distancia genética. Si el coeficiente es positivo se demuestra que los individuos más cercanos espacialmente tienen mayor relación genética, es decir, existe un grado de parentesco superior que con otros individuos más lejanos, por motivos relacionados con la propia distancia geográfica, posibles barreras o a características del espacio que evitan o reducen el flujo genético (Guillot *et al.*, 2009). En Vancouver se ha estipulado que a menos de 250 metros las ratas presentan una autocorrelación espacial con sus parejas, mientras que con una distancia superior la deriva genérica muestra que la relación entre individuos es meramente azar. Por lo tanto, un tratamiento en un radio de 300 metros es más que suficiente para reducir una reinvasión de la zona por parte de otras poblaciones cercanas (Combs *et al.*, 2019). Si se quisiera realizar una personificación de esta cuestión, el estudio de la estructura genética es una herramienta esencial para aumentar el éxito de las actuaciones de los planes de manejo de plagas, pues eliminan colonias enteras de individuos emparentados (Feng y Himsworth, 2014). Además, la estructura genética puede ayudar a identificar los focos de nuevos posibles invasores a través de los individuos encontrados en la zona de estudio, pero que no pertenecen a la población dominante (Combs *et al.*, 2019).

Teniendo en cuenta la morfología de las ciudades y sus elementos, así como la conducta de dispersión de la rata negra por el espacio urbano, los GIP recomiendan que los planes de manejo de plagas actúen con rapidez en puntos concretos de la ciudad, como entre los bloques en manzanas dentro del radio de distribución de la población. A veces se pueden dar movimientos de larga distancia, sobre todo después de una alteración del medio y/o de los recursos, los cuales son impredecibles y difíciles de mitigar (Creel, 1915).

## **7. La importancia del estudio de las plagas en la ciudad y validez del trabajo**

La población que vive en entornos urbanos supone más de la mitad del total de la humanidad, por lo que cada vez urge más el estudio y el control de las cuestiones relacionadas con salud

---

<sup>2</sup> IBD: por sus siglas en inglés, isolation-by-distance (aislamiento por distancia).

pública y la ciudad. Las especies comensales adaptadas a la ciudad necesitan una consideración diferente al resto, pues se ha comprobado que tienen unos patrones de movimiento y dinámicas de invasión muy diferentes a las especies exóticas (Banks *et al.*, 2015). Siempre que se ha estudiado el medio ambiente urbano se ha puesto el foco en los efectos de la urbanización en las especies autóctonas naturales, pero hay muy pocos estudios que contemplen los efectos de las especies nativas<sup>3</sup>, tanto los positivos como los negativos, en las ciudades (Banks *et al.*, 2015). Las infestaciones de ratas urbanas y los problemas que ocasionan tienen una tendencia creciente, incrementando la importancia de estudiar la ecología de las ratas en las ciudades y sus riesgos zoonóticos. Los planes de manejo de plagas se enfrentan al reto de controlar constantemente las colonias de ratas, por lo que según Feng *et al.* (2013) se debería hacer una revisión exhaustiva para:

“1. El desarrollo de estrategias de control de ratas eficientes y eficaces; 2. Para calibrar los riesgos para la salud pública asociados a las ratas y las medidas necesarias para mitigar esos riesgos; y 3. Para anticipar y seguir los cambios en las poblaciones de ratas relacionadas con la evolución del ecosistema urbano”.

Hay gran cantidad de información sobre la ecología de las ratas urbanas, especialmente de la rata negra y la rata de alcantarilla. Pese a ser un problema global, los estudios y su difusión suelen tener una trayectoria mucho más reducida que otras cuestiones. Salvo pocas excepciones muy recientes, no existe literatura en español ni estudios de ciudades mediterráneas que faciliten la extrapolación de metodologías y resultados al caso de Madrid, por lo que este trabajo pretende recopilar la bibliografía más oportuna y ofrecerla en español.

El carácter generalista que se ha mantenido para el estudio de la rata negra supone fuertes deficiencias en el conocimiento sobre ella en la ciudad. A día de hoy, ningún estudio ha señalado las características exactas y su relación entre ellas y el medio (es decir, las relaciones entre los rasgos particulares de la rata y el entorno urbano) que incentivan o disuaden la aparición de la plaga. Combs *et al.* (2018) han comprobado que el comportamiento de las ratas en los entornos urbanos tiene pocas variaciones respecto a sus pautas de dispersión de una ciudad a otra. Por lo tanto, los PMP pueden ser extrapolables en un alto grado a otros escenarios (Parsons *et al.*, 2017), sin olvidar que las estrategias de tratamiento necesitan de un contexto local porque las características físicas, sociales y estructurales son factores condicionantes en la dispersión de las comunidades. Por ejemplo, las barreras migratorias pueden ser carreteras, redes de alcantarillado, disponibilidad y ubicación de recursos, etc., las cuales varían entre una ciudad y otra.

Tener este conocimiento accesible (sobre todo para las entidades públicas) será muy beneficioso para la planificación y la gestión del municipio, pues la rata negra es una fuente potencial de enfermedades tanto para humanos como para animales domésticos y aves urbanas, además de un vector capaz de ocasionar graves destrozos que supongan un gasto de recursos elevado.

---

<sup>3</sup> En referencia a que se han empezado a considerar a las especies adaptadas a la ciudad como “especies nativas urbanas”

## **8. La integración de las nuevas tecnologías para la gestión de plagas en el entorno urbano**

Desde los primeros asentamientos humanos, las personas y ciertos seres vivos han convivido de forma equilibrada, pero en ciertos momentos esta relación derivaba hacia un problema para los seres humanos cuando se disparaban el número de individuos de otras especies, o cuando se convertían en vectores de agentes transmisores de enfermedades. Las formas de controlar y paliar las plagas urbanas han ido evolucionando y sofisticando a lo largo de la historia, pero no siempre a la par con los avances tecnológicos de otras áreas, por lo que en la mayoría de las ocasiones existe una discordancia entre la implantación de las nuevas tecnologías para la gestión de plagas y para otro tipo de gestiones, como el tráfico.

No obstante, en los últimos años la irrupción del concepto de “ciudad inteligente” en las esferas académicas y de la empresa privada, ha empujado a la administración pública a asumir la necesidad de integrar la tecnología como herramienta de gestión en todos sus ámbitos, incluyendo el análisis y el tratamiento de vectores y plagas, siempre considerando que las entidades públicas tienen una capacidad de innovación mucho más pobre, tanto porque sus recursos económicos son más limitados como por la lentitud en la toma de decisiones (Fernández, 2015). En muchas ocasiones, el término “Smart” vinculado a la gestión del espacio urbano se ha limitado a la gobernanza y la administración, así como a cuestiones más visibles como la movilidad, el turismo y la publicidad. Por ende, otras esferas de la ciudad se han tenido que ir actualizando a la sombra de forma más tardía, con menos recursos y sin nunca estar a la vanguardia.

Una de las opciones más económicas para la gestión de la ciudad es el uso de los SIG por su fácil implantación, el bajo coste del hardware y software, y porque es transversal a diversas áreas. Además, implica la generación de gran cantidad de datos convertibles a información muy valiosa (datos relevantes, representación cartográfica, resultados de operaciones estadísticas, etc.), lo cual optimiza los recursos, reduce el gasto, mejora la gestión de servicios (aumento de la calidad de vida de los y las ciudadanas) y la transparencia de la administración. Los SIG pueden ser una herramienta de impulso a que una ciudad sea más inteligente, además de resiliente, por su carácter transversal a muchas áreas, las cuales pueden beneficiarse del mismo método y mismos datos para diferentes fines.

Actualmente, en España todavía sigue habiendo una predisposición al uso de técnicas convencionales, como el tratamiento directo con cebos y trampas. Los SIG son una técnica indirecta que no sólo ayuda a georeferenciar los puntos en los que se encuentran las plagas, sino a predecir los posibles focos que pudieran darse y prevenir su aparición, optimizando los recursos y evitando el tratamiento de la plaga, que siempre conlleva una serie de riesgos para la salud de personas y otros seres vivos no diana. La gestión de plagas con métodos tecnológicos está muy incipiente, pero en los últimos años han surgido diversos estudios con el uso de SIG tanto para la obtención como para el tratamiento y el análisis de los datos geográficos. Autores

como Ibon Tamayo<sup>4</sup> y Francisco Javier Ruiz Sánchez<sup>5</sup> han tratado de cerca el uso de los SIG y las plagas en el territorio español, poniendo de manifiesto la eficacia de la herramienta mediante el análisis tanto a nivel municipal como regional/comarcal.

## 9. Los SIG en la gestión y predicción de plagas

Los problemas ambientales requieren un gran ejercicio de investigación y análisis, dada su complejidad intrínseca, mediante nuevas técnicas de obtención y análisis de datos, mayores conocimientos y modelos cada vez más precisos (Bautista, 2011). Las ciencias ambientales pronto acogieron todas las herramientas tecnológicas, especialmente las de base geográfica como las tecnologías de información geográfica (TIG). Las TIG'S son ampliamente utilizadas para muchas cuestiones: siguiendo a López Beltrán (2014), "son un conjunto de técnicas y metodologías en torno a la cartografía, percepción remota, sistemas de información geográfica (SIG), sistemas de posicionamiento global (GPS), geoestadística, entre otras; generando una interoperabilidad de los distintos datos y metodologías, que se pueden integrar o no entre sí para resolver o analizar una problemática en cuestión". Dentro de éstas, una de las más utilizadas por su gran utilidad son los SIG, los cuales son capaces de construir representaciones del mundo real a partir de datos, pero también de describir, explicar y predecir procesos (Bautista, 2011).

Los SIG son un conjunto de elementos capaces de almacenar, manipular, analizar, actualizar, representar y convertir en información los datos georreferenciados, por lo que en su visualización se pueden apreciar y analizar patrones, tendencias y relaciones que en tablas de datos no se evidencia (Yañez y González, 2005). Por ello, dentro de las ciencias ambientales es una herramienta muy útil de análisis y distribución de especies, pues son capaces de incorporar tanto datos espaciales como no espaciales en el software para generar modelos en forma de mapas que muestran la probabilidad de detectar una especie en un territorio concreto. Su utilidad se extiende desde la planificación urbana en materia de control hasta la detección de zonas problemáticas sin necesidad de una vigilancia directa (Moncayo *et al.*, 2000; Brownstein *et al.*, 2003; Elnaiem *et al.*, 2003; Diuk-Wasser *et al.*, 2006). Ya existen modelos de distribución de plagas realizados por SIG en entornos urbanos, como el estudio de Traweger y SlottaBachmayr (2005) en la ciudad de Salzburgo (Austria), los cuales han demostrado que se pueden determinar los factores de riesgo de proliferación de una plaga concreta a través de esta herramienta. Los SIG son capaces de incorporar explícitamente las características del entorno urbano y su paisaje, lo cual posibilita nuevos enfoques que ayudan a entender complejos patrones de estructura y movilidad, pues ponen de manifiesto qué aspectos ambientales promueven o restringen la distribución de la especie por el territorio (Stragier *et al.*, 2019).

---

<sup>4</sup>Tamayo Uría, Ibon (2013): "Análisis espacio-temporal de plagas urbanas". (Tesis doctoral). Universidad de Alcalá de Henares, Alcalá de Henares.

<sup>5</sup>Ruiz Sánchez, Francisco Javier (2019): "Sistemas de información ambiental (bases de datos georreferenciadas y aplicaciones SIG): herramientas para la gestión y control de plagas de importancia en salud pública. Mapas de riesgo potencial". Revista de Salud Ambiental, 19, pp. 8-63.

Una de las funciones más valoradas del software SIG es su capacidad de análisis espacial mediante operaciones geoestadísticas. Permite obtener datos y estadísticas de compleja resolución a través de funciones automatizadas previamente, por lo que elimina posibles errores de cálculo, agiliza de manera espectacular la obtención de datos, a la par de que posibilita el acceso a estos procesos a personas con conocimientos mínimos de cálculo. Esta función es esencial para poder crear modelos de distribución de plagas, ya que realizan estimaciones y calculan correlaciones entre variables contando con la variable espacial.

## 10. La geoestadística

Se trata de una rama de la estadística especializada en el análisis y la interpretación de datos geográficos, es decir, predicen modelos con dependencia espacial. El fin último de la geoestadística es caracterizar un fenómeno natural (Caro, 2012), siendo una de las formas la interpolación o estimación de valores desconocidos a partir de datos medidos en localizaciones cercanas, para crear mapas con variables medioambientales (*ibidem*, 2012). La interpolación parte de la premisa de que existe una correlación espacial entre los puntos medidos y los que se consideran previsibles, es decir, son estocásticamente<sup>6</sup> dependientes. En la naturaleza es muy común encontrar fenómenos con un comportamiento estocástico: depende, por una parte, de un componente determinista que explica el nivel de predisposición hacia un comportamiento concreto; y por otro, de un componente aparentemente azaroso que hace imposible una predicción exacta (*ibidem*, 2012).

En la geoestadística es común utilizar el término de “variable regionalizada”, que es aquella que se encuentra distribuida por el territorio y presenta correlación espacial. Las variables regionalizadas en su conjunto presentan un comportamiento estocástico, siendo los factores ambientales las variantes aleatorias y la variabilidad espacial el resultado de una serie de procesos sucedidos en una línea de tiempo concreta (Caro, 2012). No se pueden conocer todos los factores que afectan a un objeto concreto, pero a través de la geoestadística se puede plantear un modelo que lo estime a través de los datos recogidos.

Para ello, Hengl (2009) plantea dos tipos de modelos, según el grado de certeza de las variables:

- Si se conocen los valores de los parámetros es un modelo determinista/tradicional, y son polígonos de Thiessen, IDW (Inverse Distance Weight), mínimos cuadrados ordinarios, splines, etc.
- Si las variables son aleatorias, se trata de un modelo geoestadístico o estocástico, y son los Kriging, los cokriging y los modelos Bayesianos.

Tal y como apunta Caro (2012), en el análisis de los patrones de distribución espacial de un factor ambiental como son las plagas, el modelo geoestadístico es una herramienta fundamental para la elaboración de los modelos de predicción que necesita de tres etapas: un análisis exploratorio

---

<sup>6</sup> Refiere de variables o sistemas aleatorios que dependen de una variable común

de los datos, que verifique la consistencia de los datos; un análisis estructural, basado en el estudio de la variabilidad espacial a través del semivariograma; y la predicción de valores desconocidos integrando la información de los análisis previos, ajustando el modelo a la realidad para minimizar el error de la interpolación.

El semivariograma es un gráfico que representa la autocorrelación espacial entre una serie de puntos definidos sobre un área concreta. Muestra información tanto del grado de influencia de un punto sobre la aparición de otro como de las tendencias en su comportamiento espacial, pudiendo estimar la posibilidad de aparición de un tercero. Para representar este gráfico, es necesario el kriging: es un método geoestadístico de interpolación que incluye la autocorrelación, es decir, las variables regionalizadas, generando nuevos datos en una superficie continua estimada. Surge en la rama de la ingeniería de minas, de la mano del ingeniero D.G. Krige. Su formulación es muy similar a IDW (Inverse Distance Weight) pero posteriormente Matheron en 1962 introdujo la variable regionalizada, creando un nuevo modelo estocástico. La evolución del kriging es el método cokriging, que consiste en integrar datos de una segunda variable junto a la autocorrelación de la principal, mejorando la predicción. Este modelo sólo es posible si existe relación entre las variables.

El Kriging está considerado como un método de estimación superior a otros porque no sólo tiene en cuenta la Primera ley de Tobler (“los lugares que disten menos entre sí tendrán unos valores de los atributos más semejantes que los correspondientes a los puntos o bloques que estén más separados”), sino además integra la geometría de la localización. En los patrones de distribución naturales suele cumplirse ambas premisas. Este método minimiza el error de la interpolación y suaviza las superficies generadas, dando lugar a un modelo muy intuitivo y atractivo (Moral, 2004).

Los mapas resultantes del *krigeado* tiene una alta fiabilidad en las estimaciones de los puntos desconocidos, ya que se realiza un ajuste a la distribución normal de los datos conocidos, es decir, se particulariza el modelo a la realizar a analizar.

En el análisis de plagas, el modelo kriging y cokriging estaría formado por los valores de los factores que determinan la proliferación de algún vector. Por sus características geográficas y su validez metodológica, es el método ideal para poder predecir los posibles focos que puedan surgir a través de los factores de riesgo.

## METODOLOGÍA

Siguiendo el objetivo principal, el trabajo consta de tres procesos: el primero supone la identificación de los factores de riesgo de proliferación de rata negra a través de la consulta de bibliografía y la realización de encuestas a profesionales del sector, que implica la generación de conocimiento; el segundo proceso supone la obtención y tratamiento de los datos de avisos de rata negra (recopilados y verificados); y el tercero, el uso de los datos finales para realizar operaciones estadísticas a través de herramientas SIG (en este caso se usará ArcGIS Pro, de la empresa ESRI). El resultado que se espera obtener es un modelo que prediga la posibilidad de aparición de un foco de rata negra según las características del entorno. Esta metodología ha sido confeccionada basándose en la de múltiples estudios previos de análisis de plagas, principalmente en la tesis de Ibon Tamayo Uria, “Análisis espacio-temporal de plagas urbanas”, tanto por su cercanía al objeto y finalidad como por ser la zona de estudio la misma en ambos casos.

Los procesos son:

1. Fase de conocimiento: identificación de los factores de riesgo.
2. Fase de obtención y enriquecimiento de datos: avisos de rata negra.
3. Fase de uso y tratamiento de datos mediante herramientas SIG.

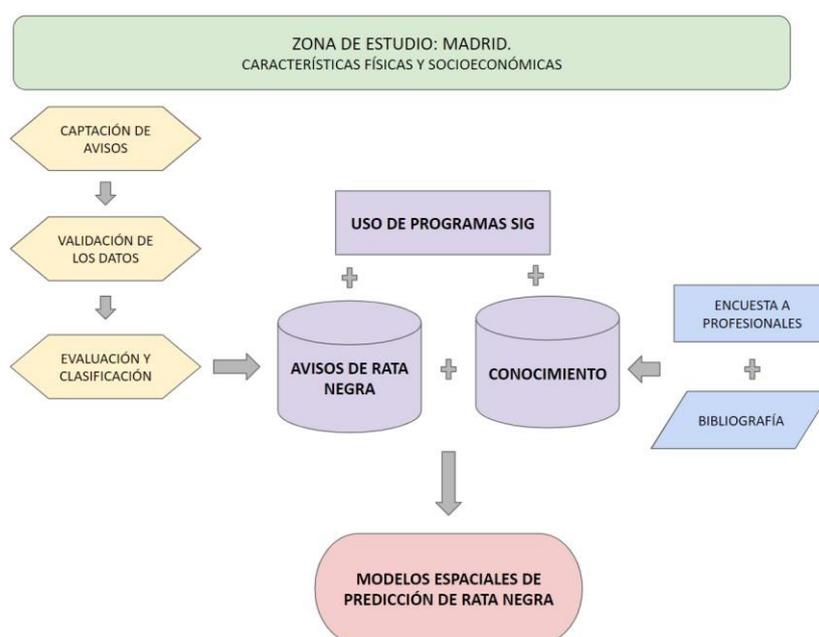


Figura 4: Esquema de la metodología del trabajo.

1. **Fase de conocimiento:** consiste en la identificación de los factores de riesgo relacionados con la aparición de rata negra a través de un acercamiento a las características de la zona de estudio, la lectura y estudio de una extensa bibliografía

especializada en el vector y otras cuestiones relevantes, la consulta a varios expertos en la materia a través de reuniones, y finalmente a la conversión de la información en datos con los que poder operar y transformar a estadísticas.



Figura 5: Esquema-síntesis de la fase de conocimiento. Elaboración propia.

### 1.1. Descripción de la zona de estudio

Todas las ciudades presentan problemas relacionados con las plagas. La tipología y la cantidad de especies e individuos varían según las características físicas, socioeconómicas, demográficas, e incluso culturales, del entorno urbano. Por ello, pese a que existan patrones de comportamiento y distribución similares de las plagas en todas las ciudades, hay una disparidad que es necesaria estudiar a través de la concretización de la zona de estudio.

En este caso, Madrid es el escenario en el análisis de plagas, concretamente de la rata negra. La capital ha sido sobradamente descrita por muchos autores, por lo que se van a obviar los datos que no estén relacionados directamente con el riesgo de proliferación de este vector.

Respecto a sus características físicas y geográficas, la ciudad se encuentra en el hemisferio norte, en torno a 40° 25' de latitud N, a una media de 655 metros sobre el nivel del mar (msnm). El clima es mediterráneo continental, el cual es templado y estacional, y se caracteriza por tener temperaturas suaves en invierno (6°C de media en el mes más frío) y muy altas en verano (más de 24°C de media), centrándose la época húmeda o lluviosa en las estaciones de primavera y otoño. La humedad relativa del aire es de 57% de media anual, oscilando estacionalmente según la época: julio se mantiene con un 34%, mientras que diciembre se sitúa en el 75% de media.

Según Candelaria Alférez Molina (1998), biológicamente la rata negra necesita de una humedad atmosférica relativa de entre un 65% y un 80%, siendo su temperatura óptima los 28°C. La época de cría coincide con los meses más cálidos, disminuyendo su actividad reproductiva en invierno. Tal y como se ve en la siguiente tabla (figura 6), la temperatura y la humedad relativa ideal para la rata negra no coinciden en ningún mes de los datos recopilados entre 1981 y 2010 en la ciudad de Madrid (y, en algunos casos, no es favorable en ninguno de los parámetros). Por ende, no es una ciudad especialmente óptima para la proliferación de rata negra, climáticamente hablando.

MES	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
Tª MEDIA (°C)	6	7.6	10.8	12.6	16.5	22.2	25.6	25.1	21	15.2	9.8	6.7	14.9
HUMEDAD RELATIVA (%)	75	67	57	56	53	43	36	39	49	65	73	77	58

 Medias más favorables para la proliferación de rata negra

Figura 6: Tabla de temperaturas y humedad relativa mensual en la serie temporal 1981-2010, en el observatorio de Madrid - Cuatro Vientos. Elaboración propia.

La ciudad tiene una diferencia altitudinal máxima de 200 metros, por lo que no presenta un relieve pronunciado. La zona con menor altitud es el cauce del río Manzanares, el cual está a 560 msnm aproximadamente; y la mayor a 770 msnm, cerca de la estación de Madrid Chamartín - Clara Campoamor. Entre estos dos puntos existe una distancia de 8 kilómetros en línea recta, aproximadamente.

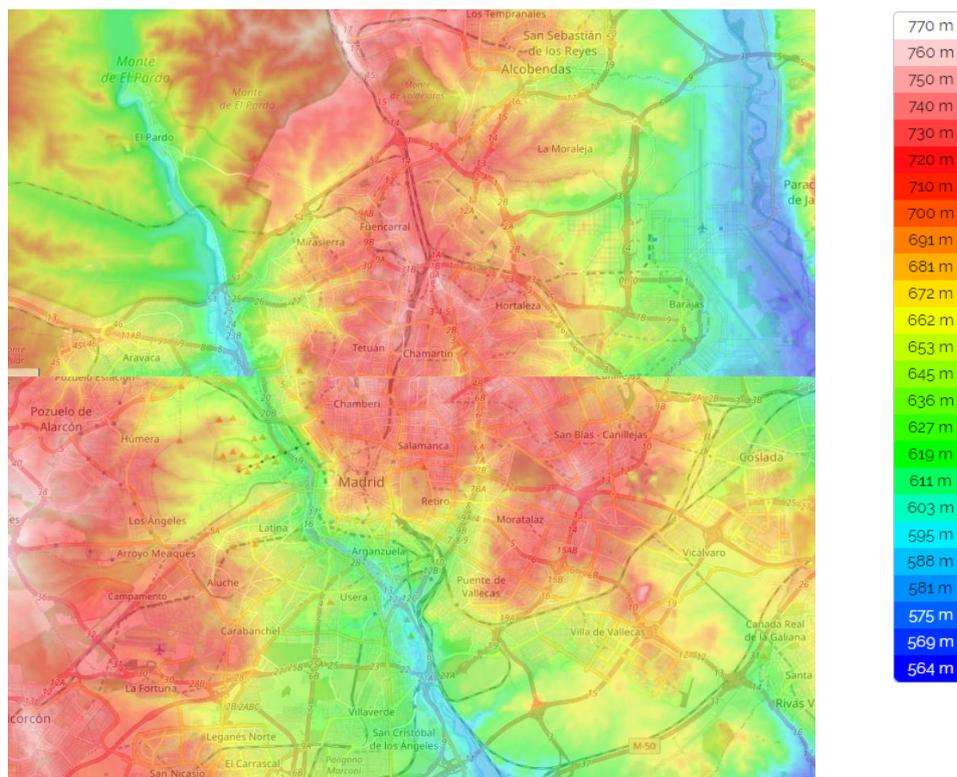


Figura 7: Mapa de altitudes del municipio de Madrid. Fuente: visor topographic-map.com

La rata negra es una especie roedora arborícola o semiarborícola (Rodríguez-Posada *et al.*, 2016), que vive en las copas de los árboles porque encuentran allí su fuente de alimentación (semillas, frutos, hongos, etc.), y es un enclave de cobijo y vigilancia. Numerosos autores y autoras destacan la correlación entre los espacios verdes o ajardinados de las ciudades y la aparición de ratas negras, siendo éstos los lugares más óptimos para su supervivencia. Según el Ayuntamiento de Madrid, existen 5.889 hectáreas de zonas verdes de mantenimiento municipal, excluyendo zonas forestales singulares como el Monte de El Pardo. Esta cifra supone casi el 10% de la superficie total del municipio. La figura 8 representa la distribución real de las zonas verdes en la ciudad, además de su tendencia espacial: con una desviación típica de  $17^{\circ}6'$ , a grandes rasgos tiene una direccionalidad noreste-suroeste, debido a que las masas verdes más grandes se encuentran en estas áreas de la ciudad. El resto de zonas se encuentran en el centro de la elipse, y por su tamaño y discontinuidad suponen poco contrapeso. Como detalle, mencionar que la no consideración del monte de El Pardo como zona verde varía drásticamente este esquema.

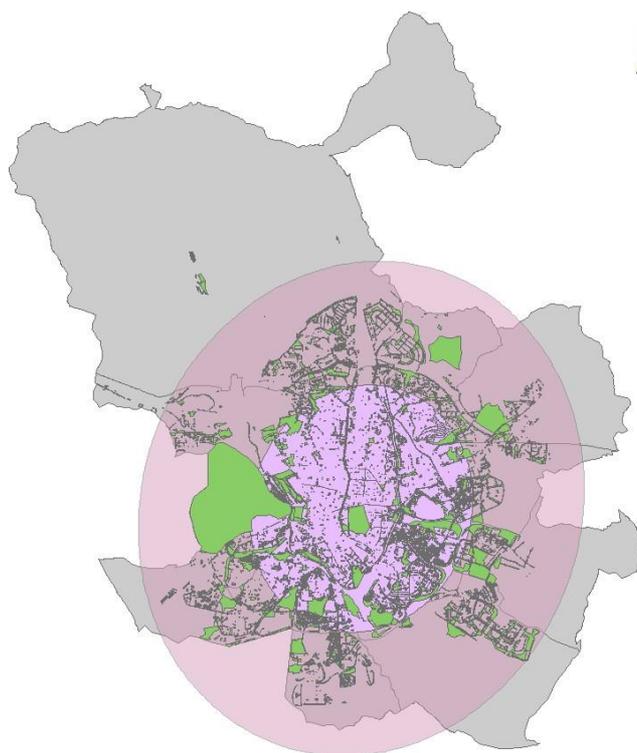


Figura 8: Mapa de las zonas verdes de Madrid (en verde) y su desviación típica de  $17^{\circ}6'$  (lila opaco el 68% de la superficie, y translúcido el 95%). Elaboración propia.

Demográficamente, Madrid tiene una población de 3.334.730 habitantes a 1 de enero de 2020 (Patrón del municipio de Madrid, 2020). Este número no ha sido constante en el tiempo, sino que ha sufrido fuertes variaciones que han afectado a la estructura física de la ciudad: en el siglo XX se produjo el fenómeno del éxodo rural (que, aunque se inició a finales del siglo XIX, tuvo su pico máximo en los años 50), lo cual produjo un acelerado y descontrolado crecimiento de la ciudad. Esta falta de planificación favoreció la aparición de núcleos residenciales de autoconstrucción e infravivienda, principalmente en las áreas meridionales porque eran las

zonas donde se encontraba la incipiente industria madrileña. No obstante, en las décadas posteriores se dio un proceso de rehabilitación y acondicionamiento de estos barrios acorde al nivel de vida de sus habitantes (Fusi Aizpurúa, 1989). A partir de los años 70 hasta finales de los 90, se produce una estabilización de la población, por lo que se consolidan estas nuevas zonas tanto residencial como económicamente. Este momento coincide también con la terciarización de la economía española, afectando especialmente a los espacios urbanos, que produce una disminución de la industria y la agricultura (esta última adquiere un carácter residual) porque el sector terciario alcanza casi el 80% del PIB madrileño.

En los últimos 20 años se han producido tres variaciones sustanciales en la demografía y tipología de la población: desde finales del siglo XX hasta el 2010, la llegada de inmigrantes provocó un aumento considerable de la población, lo cual modificó estructural y socialmente a la ciudad mediante la densificación de ciertos barrios, la aparición de nuevos modelos de familia y estilos de vida (consumo, servicios), el aumento del alquiler frente a la venta de viviendas, nuevos tipos de locales y productos, etc. (Dirección General de Migraciones). Según el Informe del Padrón Municipal de Habitantes Ciudad de Madrid, de 2020, a partir de 2010 hasta 2015 con motivo de la crisis económica, la población madrileña disminuye por el aumento de los precios de la residencia (tanto para alquiler como para compra), la disminución del empleo, y la calidad y salario del mismo. Mucha población extranjera decide regresar a su lugar de origen o emigrar a otros lugares en busca de nuevas oportunidades, otra mucha población natural de Madrid no puede mantenerse en su residencia habitual por el aumento de precios (tanto de la vivienda como de productos y servicios de primera necesidad), o bien sus hijos no pueden optar a vivir en la misma zona que sus progenitores por estos mismos motivos, etc. No obstante, desde 2015 se ha incrementado paulatinamente la población, especialmente la extranjera (Informe del Padrón Municipal de Habitantes Ciudad de Madrid, 2020). Este crecimiento no ha sido tan pronunciado como el episodio anterior, por lo que el impacto en la ciudad no ha sido especialmente llamativo. Además, la precedencia supone que el territorio y la sociedad ya están adaptados, por lo que el choque económico y sociocultural es mínimo.

### *1.2. Consulta de bibliografía*

Se han estudiado más de 20 artículos científicos que contemplan diferentes aspectos de la rata negra, dando un total de 13 factores generales divididos en tres categorías (figura 10): medio ambiente urbano, características de la edificación en la ciudad y aspecto socioeconómico de la población.

Esta primera delimitación se explica a través de la fundamentación teórica del presente trabajo, atendiendo a las siguientes explicaciones dentro de cada categoría:

- MEDIO AMBIENTE: los factores de riesgo medioambientales son, quizá, los más determinantes en la proliferación de rata negra en el entorno urbano, ya que suponen la existencia de cobijo, alimentos y seguridad reproductiva que naturalmente busca esta especie.

Su hábitat son los espacios verdes con una densidad de vegetación considerable, tanto en número de ejemplares como por la altura de los mismos y la extensión del espacio, ya que sus nidos se ubican en la parte superior de los árboles o en la base de éstos (madrigueras), y tienen un radio de movimiento de 150 metros.

Respecto a su alimentación, la rata negra tiene una dieta omnívora con tendencia al consumo de frutas y semillas, por lo que el tipo y la especie vegetal son relevante en sus preferencias geográficas.

Siguiendo la hipótesis de trabajo sobre la importancia de la climatología en la proliferación de rata negra, se ha estudiado este factor en la ciudad de Madrid (dentro del análisis de la zona de estudio) y se concluye que no es relevante en este caso, pues no presenta las condiciones idóneas en ninguna estación del año para su proliferación.

- EDIFICACIÓN: en esta categoría los factores de riesgo están especialmente relacionados con los aspectos urbanos que estimulan la aparición de focos de rata negra, bien porque facilitan su acceso, por la posibilidad de cobijo, o bien por la cercanía a fuente de alimentación antrópica.

Lo más relevante es el aprovechamiento de las ratas de los edificios en mal estado para vivir y reproducirse allí. Su técnica consiste en ocuparlos a través de las grietas o agujeros, los cuales hacen que un edificio tenga 25 veces más de posibilidades de ser infestado. Por ello, la tendencia es a ocupar los espacios de la ciudad con mayor densidad de edificios, especialmente si es una zona degradada.

Además, su gran habilidad para escalar hasta 10 metros en vertical hace que puedan acceder a los espacios más altos, como falsos techos y pisos superiores (buhardillas, tejados, etc.). Pese a que las ratas prefieren espacios abandonados, esto no es una condición determinante (Childs *et al.*, 1998).

Atendiendo a José María Cámara (2021), la antigüedad del edificio no determina su estado de conservación necesariamente, ya que los materiales de construcción, el mantenimiento, etc., son determinantes en su conservación más que en la antigüedad. No obstante, existe una correlación entre antigüedad y estado del edificio, por lo que para facilitar el indicador se ha tomado esto de referencia. Para determinar este factor, se ha considerado seguir el criterio del arquitecto y divulgador Luis Jurado Téllez, experto en conservación de los edificios, el cual defiende que la forma más objetiva de clasificar a un edificio según su conservación es siguiendo lo dispuesto en la Ley de Ordenación de la Edificación (LOE) y el Código Técnico de Edificación (CTE) (ver Anexo, figura 1).

Además de la antigüedad, hay otros factores como los caminos, calles y carreteras que son importantes en la distribución de la rata negra en la ciudad, ya que actúan tanto como agente facilitador como de barrera limitante. Por una parte, si se trata de callejones y caminos verdes existe un incremento en el movimiento de la rata negra (Glass *et al.*, 2009); y por otra, las calles actúan como brecha y agente de aislamiento de las poblaciones, por lo que aumenta la

heterogeneidad en la distribución (Gardner-Santana *et al.*, 2009).

El uso del edificio es un factor de riesgo de plaga por las actividades que se desarrollan en él. Por ejemplo, si el uso es administrativo, el riesgo es menor porque no existe manipulación de materiales y alimentos; por el contrario, si en el edificio existe un restaurante o es un centro educativo (que en la gran mayoría de los casos tiene servicio de comedor), el riesgo es muy alto (Cámara, 2021).

Otro de los factores que más se han relacionado con la aparición de rata negra es la existencia de solares o parcelas vacías en el entorno urbano. Estos espacios suelen ser ocupados por vegetación y desechos, por lo que se crea el hábitat perfecto para la proliferación de esta plaga.

- SOCIOECONÓMICOS: esta categoría engloba los factores relacionados con las características económicas y sociales de la población de Madrid. Se trata de factores que no suponen un riesgo directo en la proliferación de rata negra, pero sí retroalimentan a otros más determinantes, como los descritos en las categorías anteriores, potenciando su impacto.

Estos factores son la renta per cápita, el porcentaje de inmigrantes y el porcentaje de personas en edad vulnerable. Se han determinado estos factores siguiendo la bibliografía consultada, ya que influyen en la incapacidad de preservar los edificios por falta de mantenimiento y rehabilitación (pudiendo llegar a su abandono), la disminución de la calidad de los servicios públicos en el barrio (eliminación de residuos ineficientes por falta de equipamientos, por ejemplo) y en la existencia de parcelas sin edificar por la falta de interés en el desarrollo de la zona por ser un barrio degradado.



Figura 9: Lista de factores genéricos. Elaboración propia.

### 1.3. Consulta a expertos

Se ha recurrido a este método de generación de conocimiento porque, siguiendo a Flórez y Correa (2015), “puede ser vista como la ingeniería del conocimiento, utilizada ampliamente en contextos donde la distribución elicitada no se combina con la evidencia de los datos, ya que la opinión de los expertos es esencialmente todo el conocimiento disponible”, tal y como sucede en este caso.

La consulta se realizó a tres expertos<sup>7</sup> pertenecientes a la Unidad Técnica de Control de Vectores (UTCV) y colaboradores del Ayuntamiento de Madrid para realizar una lista más concreta, basada en su formación práctica y su experiencia profesional.

De estas reuniones y conferencias se concluyó que los factores deben ser los siguientes:

CATEGORÍA	FACTOR DE RIESGO	PONDERACIÓN SEGÚN CARACTERÍSTICA		
		IMPORTANCIA ALTA (nivel 3)	IMPORTANCIA MEDIA (nivel 2)	IMPORTANCIA BAJA (nivel 1)
MEDIO AMBIENTE	FUENTES DE AGUA	< 150 m.	150-300 m.	> 300 m.
	TAMAÑO DEL ESPACIO VERDE	> 10000 m2	3000 - 10000 m2	< 3000 m2
	ESPECIE VEGETAL DOMINANTE	Afin/comestible	Mixta	No afin
	DISTANCIA A ZONA VERDE	< 150 m.	150-300 m.	> 300 m.
EDIFICACIÓN	CERCANÍA A FOCO DE ALIMENTACIÓN	< 150 m.	150-300 m.	> 300 m.
	CONTENEDORES DE BASURA	< 150 m.	150-300 m.	> 300 m.
	USO DEL EDIFICIO	Colegios y servicios	Centros culturales y bibliotecas	Administrativo
	ANTIGÜEDAD DEL EDIFICIO	Anterior a LOE	Posterior a LOE y más de 10 años	Menos de 10 años
SOCIOECONÓMICO	DENSIDAD DE POBLACIÓN	Mayor a la media municipal	Similar a la media municipal	Menor a la media municipal
	RENDA PER CÁPITA	Menor a la media municipal	Similar a la media municipal	Mayor a la media municipal

Figura 10: Listado de factores de riesgo, determinados por expertos. Elaboración propia.

Tal y como se puede ver en la figura 10, ha habido modificaciones respecto a la lista primera, que se deben a la opinión de los expertos anteriormente citados. Los expertos han identificado

<sup>7</sup> Los expertos fueron: José María Cámara, jefe de departamento de la Unidad Técnica de Control de Plagas y Vectores (UTCV) del Ayuntamiento de Madrid; Agustín Cordobés, responsable de la empresa externa Lokímica S.A., que se dedica al control de plagas y colaboradora con la UTCV; y Juan Pablo Orán, técnico superior de la empresa Lokímica S.A., especializado en rata negra.

un total de 10 factores y tres niveles de importancia según la característica del factor (siendo nivel 3 el de mayor importancia, nivel 2 el de importancia media, y nivel 1 si tiene una importancia menor). Para ello, han seguido dos criterios: por una parte, que el factor influya notablemente en la aparición de rata negra; y por otra, que se pueda cuantificar su nivel de influencia. De esta manera se proporciona información tanto del nivel de riesgo de cada factor como del cómputo de todos.

Respecto a la categoría de medio ambiente, los expertos han considerado los factores más importantes:

- Las fuentes de agua: la rata negra tiene menor dependencia que otras especies al agua, pero aun así sigue siendo un factor de riesgo por formar parte de sus necesidades vitales. Siguiendo la experiencia de los expertos, se ha encontrado cierta correlación entre los puntos de suministro de agua y la aparición de roedores por parte. En este factor la clasificación ha sido marcada por la distancia, aumentando el riesgo cuanto menor sea ésta. Se han estipulado rangos de 150 metros porque es la distancia media de la zona de confort de la rata negra.
- El tamaño del espacio verde más cercano: a mayor tamaño del jardín o zona verde, se aumenta la capacidad de proporcionar movimiento, cobijo y alimento a la rata negra. Se han estimado tres rangos: espacios menores a 3000 m<sup>2</sup>, jardines con un tamaño entre los 3000 y los 10000 m<sup>2</sup>, y zonas verdes de tamaño superior a 1000 m<sup>2</sup>. Estas cifras corresponden al tamaño medio de los espacios verdes más comunes en las ciudades: los jardines de los edificios que actúan como límite entre las viviendas y la vía pública no suelen superar los 3000 m<sup>2</sup>, los jardines o parterres de las plazas suelen tener entre 3000 y 10000 m<sup>2</sup> de superficie, y los espacios ya considerados parques tienen un tamaño superior a los anteriores.
- La especie vegetal dominante en el entorno: este factor es uno de los más importantes porque condiciona la aparición de rata negra al ser la fuente de alimentación de ésta. Dentro de las especies vegetales, algunas tienen mayores posibilidades de ser consumidas, bien por su fruto (las especies frutales proporcionan gran cantidad de alimento), o bien por otro tipo de características como su altura y corteza. En este factor se han determinado tres rangos, según el grado de afinidad que se ha obtenido mediante la consulta de bibliografía y analizando la especie vegetal dominante en los avisos de las tres bases de datos (ver tabla completa en Anexo, figura 2).
- La distancia a la zona verde más cercana: la cercanía a un jardín o espacios con cobertura vegetal es un factor de riesgo de aparición de rata negra, ya que estas zonas proporcionan tanto alimento como cobijo a esta especie. Por ello, aumentan las posibilidades tanto de aparición como de movimiento de esta plaga por el territorio. En este factor la clasificación ha sido marcada por la

distancia, aumentando el riesgo cuanto menor sea ésta. Se han estipulado rangos de 150 metros porque es la distancia media de la zona de confort de la rata negra.

En la categoría de edificación se han considerado cuatro factores:

- Los contenedores de basura: este factor se relaciona directamente con la provisión de alimentos que las ratas pueden consumir. Se debe a que se acumulan restos orgánicos y, si no son recogidos en un corto tiempo, son aprovechados por éstas. En este caso, se han estimado tres rangos de importancia atendiendo a la distancia entre el contenedor de basura y el foco, siendo de 150 metros porque es la distancia media de la zona de confort de la rata negra.
- La cercanía al foco de alimentación: este factor hace alusión a focos de alimentación no naturales, es decir, de origen antrópico como son los restaurantes, contenedores de residuos, etc. Siguiendo la misma justificación que en el factor anterior, se ha clasificado según la distancia al foco de alimentación, estipulando rangos de 150 metros.
- El uso principal del edificio: este factor responde a la actividad principal que se desarrolla, pues ello implica si hay presencia de alimentos, cocina u otro tipo de espacios vulnerables como duchas o huertos. Como estos avisos corresponden sólo a edificios municipales, se ha clasificado según: si se trata de un centro escolar o de otro tipo de servicios deportivos y sanitarios (polideportivos, centros de salud), si su uso está enfocado a servicios culturales (bibliotecas), o bien tiene un uso administrativo.
- La antigüedad del edificio: este factor está relacionado con el previsible estado de conservación y, por ende, la existencia de grietas o agujeros que pudieran servir de entrada de la rata negra al interior, con el fin de buscar seguridad y cobijo. Siguiendo las opiniones de los expertos, se decidió mantener este factor y clasificar los rangos de importancia atendiendo al criterio de Luis Jurado Téllez (2021): los edificios con construcción anterior a la LOE (1999) serían los más degradados, los posteriores a la LOE con más de 10 tendrían un estado de conservación medio, y los edificios con menos de 10 mantendrían un buen estado.

En avisos de rata negra que se han dado en espacios verdes, las características relacionadas con los edificios (altura, uso y antigüedad) se han valorado atendiendo al conjunto de éstos de la zona del foco. Esta labor ha sido relativamente fácil porque generalmente los edificios de un mismo barrio suelen tener una tipología y antigüedad muy similares.

Respecto a la categoría socioeconómica, los expertos consideraron reducir a dos los factores más influyentes, atendiendo a las características demográficas y económicas de la población:

- La densidad de población: este factor es fácil de medir y supone un aliciente a que la rata negra se instale en un punto o en otro de la ciudad, pues indirectamente la densidad de población indica densidad de edificios y mayor altura de éstos, potenciando además los indicadores de edificación. Por ello, los expertos han decidido estipular los rangos de importancia según si ese barrio se encuentra por debajo, igual, o por encima de los valores medios a nivel municipal.
- La renta per cápita: este factor determina el nivel de vida de las personas que viven en el barrio donde se ha detectado el foco de rata negra. Este indicador supone, además, la capacidad de adquisición de bienes y servicios, de hacer frente a obras de rehabilitación de los edificios residenciales, la calidad de los servicios municipales, etc. Los expertos han decidido mantener este factor, determinando los rangos de importancia igual que en el anterior: según si ese barrio se encuentra por debajo, igual, o por encima de los valores medios a nivel municipal.

Estos factores han sido determinados atendiendo tanto a la influencia que tienen en la proliferación de rata negra como a la viabilidad de obtención de la información relativa a éstos. Los expertos coinciden en que hay muchos más factores que no se han considerado por su alto nivel de complejidad, ya que la finalidad de este trabajo es una primera aproximación lo más fiable posible con la información y datos que se tienen. En el apartado de “limitaciones del estudio” se profundizará en esta cuestión.

Para completar la fase de conocimiento es necesaria la estipulación de los pesos específicos de cada factor, concluyendo con una ponderación que posibilite la cuantificación del riesgo real de infestación por rata negra. Por ello, se han valorado junto a los expertos y mediante bibliografía la importancia de cada factor en la aparición de rata negra en la ciudad. La valoración se realizaría de la siguiente manera: con un número del 1 al 5 (siendo 1 poco relevante, y 5 muy relevante) se puntuaría la importancia de cada factor.

La ponderación de cada uno de los factores para estimar su peso previsible:

- 1º. Se suman los 15 valores proporcionados para cada factor (el valor de cada experto).
- 2º. Se vuelven a sumar los resultados anteriores, dando un número global.
- 3º. Los 15 valores “parciales” se someten a ponderación a través del número global, en porcentaje.

## 2. Fase de obtención y enriquecimiento de datos: avisos de rata negra.

Tradicionalmente el control de vectores y plagas se realizaba mediante la aplicación de productos plaguicidas. Estas estrategias han conseguido disminuir la incidencia de las enfermedades transmitidas por vectores en países desarrollados, pero han introducido incertidumbres y riesgos adicionales relacionados con la eventual exposición directa del ser humano y/o indirecta vía contaminación de los diferentes compartimientos ambientales, cadena alimentaria, etc. Esta situación obliga a un replanteamiento global de las estrategias (Gestión o Control Integrado de Plagas) en la que se detectan, parametrizan y gestionan adecuadamente todos los factores que generan riesgo o vulnerabilidad frente a plagas y los biocidas se utilizan de manera proporcionada y eficiente (Moreno *et al.*, 2007). En este sentido existe un consenso técnico general sobre el valor de esa “integración total” de las medidas de lucha antivectorial (Control Integrado de Plagas) como estrategia general de lucha frente a plagas y así es reconocido por numerosos autores e instituciones. Esta estrategia implica actuaciones “proactivas” y ha demostrado ser eficaz, pero exige unas mínimas condiciones y prerequisites favorables. Entre otras destacan los medios humanos y materiales adecuados, recursos técnicos y tecnológicos, financiación y tiempo. Estas circunstancias han conducido a que varios sectores profesionales de gestión de plagas sigan abordando el problema desde una óptica más “reactiva”.

La generación de información sobre una plaga se puede realizar de dos maneras: a través de medidas directas y de medidas indirectas

- Las medidas directas consisten en técnicas de captura, que implica atrapar y etiquetar a los individuos para su futura identificación. Después, se liberan en el mismo punto en el que se atraparon, pudiendo posteriormente capturarlos de nuevo y medir la distancia entre un punto y otro para conocer el espacio en el que se mueven. Este método es conocido como captura-marcado-recuperación (CMR). La ventaja principal es la fiabilidad del método, ya que supone un tratamiento directo con la plaga, permite rastrear un alto número de individuos e incluso implantar Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), lo que proporciona información espacial de gran utilidad (Byers *et al.*, 2019). Estas medidas tienen limitaciones: implica una sobrecarga de trabajo y de inversión de tiempo, su éxito depende de la ubicación de los puntos de captura, el sistema GPS es muy costoso (Cagnacci *et al.*, 2010), y se pueden producir sesgos en la información, ya que se pueden alterar los resultados por la naturaleza neofóbica<sup>8</sup> de la rata (Taylor, 1978). También existe otra medida directa basada en los avistamientos, que consiste en reportar el encuentro visual entre una persona y el vector dando información como la ubicación, de contacto, etc. Esta medida es mucho menos intrusiva y más económica que la anterior, pero depende de la colaboración ciudadana y de la rapidez en la intervención. Para trabajos de investigación y análisis específico de una especie en un espacio generalmente reducido se suele utilizar la técnica de la captura,

---

<sup>8</sup> Referente a la neofobia, es el grado de aversión a un objeto nuevo o a situaciones no experimentadas previamente (Greenberg & Mettke-Hofmann, 2001)

pero en el caso de gestión de plagas de una ciudad (que implica multitud de especies y un gran espacio) la técnica del registro de avistamientos e intervención es la más común.

- Las medidas indirectas consisten en estimar la ubicación espacial de la plaga o vector en relación a los restos que pueden ir dejando, como huellas, restos de comida y excrementos. Estos métodos son más económicos y rápidos que los directos, pero proporcionan una información mucho más limitada y general sobre la actividad de las ratas (Byers *et al.*, 2019).

Los SIG son una herramienta especialmente útil para el análisis y tratamiento de este tipo de datos, los cuales tienen mucha información, está georreferenciada y hacen una aproximación lo más exacta posible a los modelos de localización espacial previsible.

En este trabajo se ha considerado trabajar con información georreferenciada de los informes de avisos de avistamiento de rata negra (medida directa) y hacer uso de los SIG para su tratamiento y análisis, específicamente el programa ArcGIS Pro de la empresa ESRI (ver figura 11).

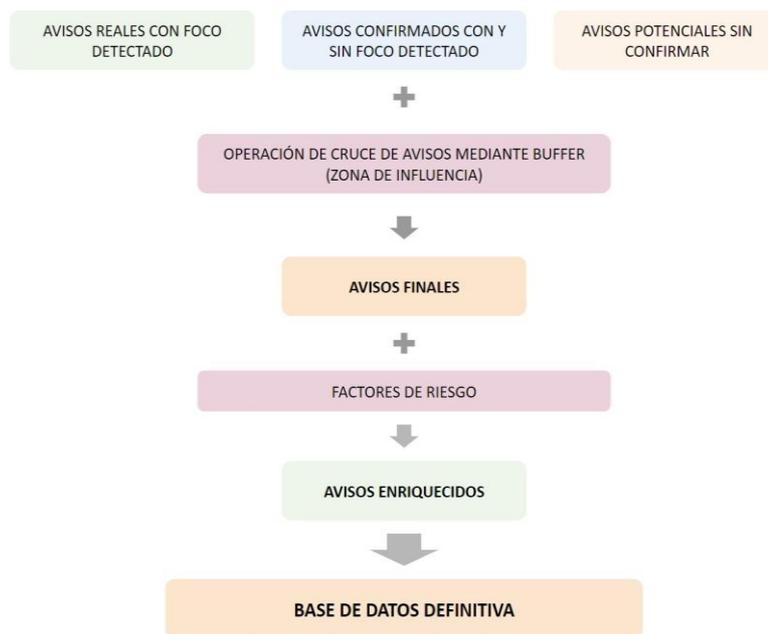


Figura 11: Esquema-síntesis de la fase de obtención y enriquecimiento de datos. Elaboración propia.

### 2.1. Medida directa: los avisos

Los avisos se definen como toda información proporcionada por la ciudadanía o ente público del avistamiento o sospecha de la existencia de un vector o plaga considerado de riesgo para la salud pública, y encontrados en espacios o edificios públicos. En el caso de la ciudad de Madrid, las alertas entran en una base de datos denominada ARGOS, que es un sistema de registro de avisos implementado en 2002 y forma parte de las competencias de la Unidad Técnica de Control de Vectores (UTCV en adelante), perteneciente al Ayuntamiento de Madrid. Este modelo implica tanto a las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) como a la colaboración ciudadana en la comunicación de las situaciones de avistamiento (Tamayo, 2013).

Estos avisos pueden transmitirse por llamada, a través de un formulario online, o bien presencialmente en las oficinas de la UTCV. La conversión a informes la elabora el personal de la Unidad, el cual recopila y completa información relativa a:

1. Datos de la persona o ente público que ha comunicado el aviso.
2. Número de incidencia para un seguimiento del caso.
3. Información respecto a la ubicación espacial del foco a través de coordenadas UTM.
4. Observaciones que se consideren pertinentes transmitir (detalles relativos a la ubicación, el momento del día, la cantidad de individuos avistados...; en definitiva, cualquier dato que la persona o ente considere relevante añadir).
5. Actualizaciones del proceso de análisis y tratamiento del caso: registro de actuaciones, información añadida por el técnico asignado, limitaciones, etc.

La figura 4 del Anexo I es un esquema del proceso que se sigue desde la entrada del aviso hasta la resolución del mismo, al cual se llega mediante la planificación y actuación de la orden de trabajo a través de los técnicos municipales, la valoración del proceso y resultado, posibles refuerzos posteriores, etc.; y se concluye con la respuesta al ciudadano o ente local emisor del aviso sobre ello (figura y explicación sustraída de Tamayo, 2013).

No obstante, estos datos al basarse en la localización de los avisos en el territorio, así como los supuestos productos que el profesional que ha intervenido en la plaga ha utilizado, esta información es deficitaria por los siguientes motivos:

- El aviso proporciona información geográfica parcial, basada muchas veces en el lugar desde donde se produce el avistamiento, y no el sitio *per se* donde se encuentra la plaga. El conocer detalles de la situación está determinado por la voluntad de la persona que da el aviso, que puede especificar más o no en el comentario (el cual no es obligatorio de rellenar).
- Los biocidas empleados proporcionan una información que se debe considerar con cuidado: pese a que se especifiquen los productos utilizados por los profesionales, todos los años estos productos varían para que la eficacia de su uso no disminuya (esto se debe a que la plaga acaba siendo conocedora de los efectos de consumir esa sustancia, y deja de hacerlo). Además, muchas veces se actúa con productos genéricos porque el profesional no puede conocer con exactitud el tipo de plaga que hay, por lo que a veces la información del biocida empleado no es útil.
- En muchas ocasiones, pese a la existencia y conocimiento de la plaga, no se puede actuar por motivos que superan el riesgo de la plaga *per se*, como es la afección que se puede producir en la población, en otros seres vivos, o bien que el tratamiento sea impracticable por inaccesibilidad, etc. Esta información no se refleja en el informe del aviso por parte del profesional, dificultando la obtención de información veraz a partir de la base de datos.

## *2.2. Los datos de la investigación: los avisos reales de rata negra*

La base de datos ARGOS recoge todos los avisos de plaga, su ubicación y la información de cada uno de ellos. A través de su filtración, se pueden seleccionar los avisos según el tipo de vector, una línea temporal determinada, el biocida empleado, etc. Esta base de datos es interna, por lo que las personas ajenas a la Unidad Técnica de Control de Vectores no tienen acceso. El registro de los avisos por rata negra empezó en el año 2018, ya que anteriormente no existían indicios de su presencia en la ciudad de Madrid. No obstante, hay que tener en cuenta que no todos los avisos por rata negra son reales, pues en muchas ocasiones los técnicos no han podido verificar su presencia, se producen repeticiones (varias personas avisando por el mismo motivo), o existe un error en la detección de la plaga (equivocación en el tipo de rata). Esta limpieza de datos es todavía más compleja y se realiza a nivel interno para crear estadísticas e informes de evaluación, por lo que no está en la base de datos ARGOS. Gracias a la inestimable colaboración del jefe de departamento, José María Cámara, proporcionando tanto el acceso a ARGOS como a estos datos, se ha podido llevar a cabo esta investigación.

En este trabajo, se van a trabajar con tres conjuntos de datos:

- Avisos reales de rata negra confirmados. Son aquellos en los que el o la técnico ha podido verificar la existencia del vector por su presencia física en el lugar. Esto puede ser viendo a los individuos vivos, o bien encontrando ejemplares muertos. Son un total de 30 avisos reales registrados desde 2018 hasta el 28 de julio de 2021. Estos avisos son los que se van a considerar relevantes y con los que se trabajará en los modelos estadísticos.
- Avisos potenciales de rata negra. Son aquellos que han sido obtenidos mediante la filtración en la aplicación ARGOS, según la reincidencia del aviso, al tipo de biocida empleado (específico en el tratamiento de rata negra) por el técnico o si ha habido consumo de cebo pese a no haber visto ningún ejemplar, y a las repeticiones de aviso por rata de alcantarilla mal gestionadas, pues ha podido haber confusión en el aviso. En este caso los avisos son en total 101, del año 2020 y 2021. Pese a no tener validez a nivel de investigación, este conjunto de datos servirá para hacer una segunda comprobación por ser un número de avisos mayor, aportando solidez al estudio.
- Avisos confirmados de rata negra, con o sin detección del vector. Estos avisos se diferencian de los anteriores porque, si bien han sido verificados por un o una profesional de que el vector al que refiere es a la rata negra (es decir, no ha habido confusión en la plaga a la que se refiere el aviso), no existe confirmación de que se haya detectado a la plaga. Son un total de 85 avisos, correspondientes al año 2019.

La base de datos de los avisos reales será enriquecida por la autora con información relativa a los factores de riesgo determinados en la fase de encuesta y entrevista, ya que es esencial para el posterior trabajo con herramientas SIG. Las bases de datos de avisos potenciales y de avisos confirmados complementarán a la primera, engrosando el número de avisos y posibilitando el análisis estadístico.

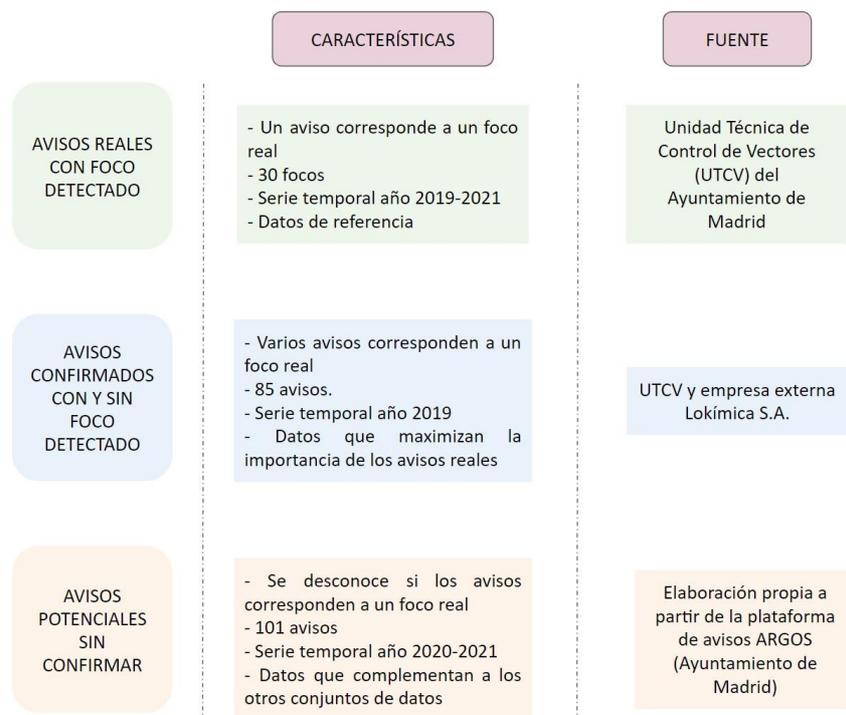


Figura 12: Cuadro-resumen de los tipos de datos. Elaboración propia.

### 2.3. Preparación de los datos: la base de datos final

Tal y como se ha explicado en el apartado anterior, los datos que se tienen han sido obtenidos de tres bases de datos diferentes. Para poder trabajar de forma óptima, se ha considerado su unión siguiendo las premisas:

- La base de datos de avisos reales será la de referencia, es decir, la que servirá de base para determinar la validez de los avisos de las otras.
- Se estipula un área de influencia de 300 metros a la redonda a partir del aviso real porque las poblaciones de ratas se desplazan una media de 100 metros anuales, y se tienen registros de 3 años. Por lo tanto, se puede extrapolar que los individuos se han podido mover y, por ende, los avisos dentro de esa área sean avistamientos reales.

Haciendo esta operación a través de la herramienta Clip en el programa ArcGIS Pro, de ESRI, se obtiene el siguiente resultado:

- Avisos posibles: 67 de 85.
- Avisos potenciales: 21 de 101.
- Avisos totales: 118 avisos.

La figura 13 se compone de dos mapas que representan el resultado de la combinación de las bases de datos: el mapa grande muestra la operación a escala municipal, mientras que el

pequeño es un mapa de detalle en el que se aprecian avisos potenciales y posibles dentro de la zona de influencia de un aviso real, así como otro fuera (que no estaría en la base de datos final).

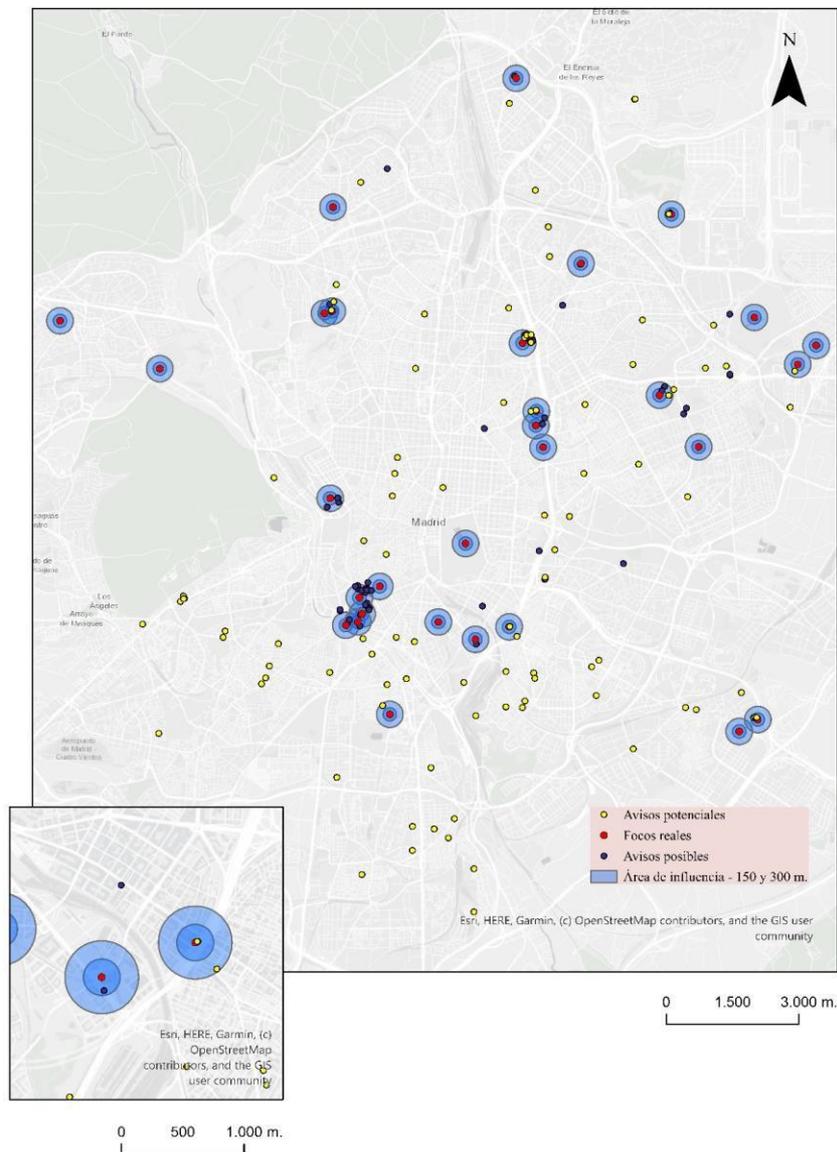


Figura 13: Mapas de los tres tipos de avisos, zona de influencia y su convergencia espacial.  
Elaboración propia.

#### 2.4. Preparación de los datos: enriquecimiento a partir de la identificación de los factores de riesgo

Esta fase corresponde a la preparación de la base de datos definitiva para su posterior análisis, tratamiento y uso en operaciones estadísticas a través de herramientas SIG. Supone la integración del conocimiento generado y los avisos de rata negra, es decir, el enriquecimiento de los datos para incluir en el análisis los factores de riesgo de la siguiente manera:

1. En primer lugar, se estudia y trata cada aviso de manera individual, añadiendo la información que cada factor necesita para ser valorado. Cada indicador debe ser

puntuado con un número del 1 al 3, según el rango al que corresponda, para simplificar y normalizar los datos. La fuente de información de cada uno de los factores se puede ver en el Anexo I, figura 5.

De manera manual, se ha ido completando la base de datos hasta obtener una tabla que recoge información sobre la ubicación del aviso y sus coordenadas, además de la puntuación correspondiente de cada uno de los 10 factores. La concreción de la puntuación se ha elaborado siguiendo los siguientes métodos:

- Los factores de las fuentes de agua, la distancia a la zona verde más cercana, los focos de alimentación y los contenedores de basura han sido medidos a través del visor Google Maps y su herramienta de Medir distancias.
- El factor del tamaño del espacio verde se ha obtenido también a través del visor Google Maps y su herramienta de Medir área.
- La especie vegetal dominante se ha medido a través de la creación de una tabla complementaria, la cual recoge los avisos definitivos y las tres especies de mayor relevancia dentro de los 300 metros alrededor del foco. A través del visor “Un alcorque, un árbol” del Ayuntamiento de Madrid, se ha buscado cada uno de los avisos, y se han contabilizado los árboles de la misma especie en el área, creando una clasificación de las 3 especies más numerosas (si las hubiera). Haciendo este procedimiento en todos los avisos, se analizan las 10 especies que más coinciden en los avisos (ver figura 14), concluyendo que son éstas las más afines a la aparición de rata negra.

	ESPECIE	AP_DOM1	%AP_DOM1	AP_DOM2	%AP_DOM2	AP_DOM3	%AP_DOM3	SUM_%
1	OLMO DE SIBERIA	22	40%	10	20%	4	10%	23%
2	PALMERA	20	32%	8	16%	1	2%	17%
3	PINO PIÑONERO	13	24%	4	8%	5	13%	15%
4	ALIGUSTRE DEL JAPON	7	13%	10	20%	3	8%	13%
5	CIRUELO ROJO Y PÚRPURA	2	4%	5	10%	10	25%	13%
6	ACACIA DEL JAPON	10	18%	3	6%	3	8%	11%
7	PLATANO DE SOMBRA	3	5%	3	6%	5	13%	8%
8	CEDRO ATLAS/LLORON	1	2%	5	10%	4	10%	7%
9	ALMEZ	2	4%	5	10%	3	8%	7%
10	FALSA ACACIA	1	2%	5	10%	2	5%	6%

Figura 14: Tabla de las 10 especies vegetales dominantes asociadas a los focos de rata negra analizados. Elaboración propia.

- Los factores de uso del edificio y su antigüedad se han medido a través de la consulta del catastro. En alguna ocasión se ha necesitado de la ayuda del visor Google Maps para verificar la información.

- Los factores de densidad de población y la renta per cápita se han medido a través de la consulta del INE, el cual muestra esta información a nivel de barrio y la media municipal. Ambos datos se han comparado y así se ha estipulado el nivel.
2. Cada valor se pondera según el resultado de la encuesta sobre la importancia de cada factor.
  3. Se hace la sumatoria de todos los valores ponderados. De esta manera, se estipula un nivel de riesgo general de cada aviso, lo cual es de gran importancia para crear el modelo.

### **3. Fase de uso y tratamiento de datos mediante herramientas SIG.**

Esta última parte corresponde al análisis y tratamiento de los datos elaborados en las fases previas, haciendo uso de la geoestadística y programas SIG que permitan aplicarlas. En este trabajo se ha optado por seguir la estimación geoestadística de *krigeado*, ya que es un método que ofrece una superficie continua (capa ráster) aplicando la Primera ley de Tobler, la cual suele cumplirse en cuestiones relacionadas con la naturaleza, como es este caso.

El Kriging es una técnica de interpolación basado en un modelo estocástico (es decir, las variables que analiza son aleatorias), el cual se usa para obtener una capa de superficie continua a partir de un conjunto de puntos. En este trabajo se ha escogido el conjunto de avisos previamente definidos, siendo un total de 118 registros.

Además de información sobre su ubicación, se utilizan los datos sobre los factores de riesgo en cada aviso para poder trabajar tanto con cada uno de ellos como con su combinación. Por ende, la base de datos recoge tanto cada uno de los registros y datos generales como información acerca de la presencia de cada factor de riesgo, puntuado entre 1 y 3 puntos (el 1 supone una incidencia baja, mientras que el 3 implica una incidencia alta). Además, se ha calculado un valor conjunto de los factores teniendo en cuenta el peso relativo de cada uno de ellos (en adelante, valor total).

El resultado es un conjunto de mapas temáticos sobre la distribución espacial de focos de rata negra, tanto de los actuales como de los estimados, los cuales representan las zonas más afectadas y vulnerables de la ciudad, tanto a nivel específico (por cada factor) como a nivel global (el conjunto de todos ellos). Se plantea una matriz de mapas de calor en la cual se pueda observar los puntos de la ciudad más afectados por cada factor de riesgo, en los cuales se usa el valor concreto del factor en cada registro para su cálculo; así como la creación de un mapa de vulnerabilidad general que implica el uso del valor total de cada uno, es decir, considerando

todos los factores al mismo tiempo. El total son 11 mapas, de los cuales 10 corresponden a cada uno de los factores (mapas parciales), y el último es uno general.

Siguiendo a expertos en geoestadística como Edgar M. Uribe y Alejandra Duque Roper, el método Kriging necesita de unos pasos previos, los cuales se van a seguir en este trabajo. Para ello, se va a hacer uso del software SIG ArcGIS Pro, de la empresa ESRI, el cual mediante la herramienta ya integrada *Geostatistical Analyst* permite realizar todas las operaciones necesarias, así como graficar y mapear los datos.

### *3.1. Exploración de datos, valoración de tendencias y revisión de la estacionalidad.*

La finalidad de este primer paso es demostrar y verificar la consistencia de los datos, pudiendo detectar aquellos erróneos y ajustar el modelo a la realidad. En este punto se realizan las siguientes operaciones:

- Distribución de las muestras a través del histograma. La distribución debe presentar una desviación estándar, es decir, gaussiana, para poder realizar Kriging. Si esta premisa no se cumple, se pueden ajustar los datos mediante técnicas Box-cox u operaciones logarítmicas.
- Modelo de análisis de tendencias. Sirve para conocer si existe un patrón de tendencia espacial en los datos y, si es así, en qué grado y su direccionalidad (N-S, E-O).

### *3.2. Análisis estructural: cálculo del semivariograma empírico y teórico para estudiar la variabilidad espacial.*

Este paso se basa en el estudio de la autocorrelación espacial que presentan los datos, pudiendo conocer cómo varía su distribución espacial y el grado de similitud entre ellos. Es el paso intermedio entre la descripción espacial y la predicción.

Para ello, es imprescindible calcular el semivariograma empírico, que muestra la autocorrelación espacial de los datos conocidos (en este caso, los avisos definitivos); y el semivariograma teórico, el cual representa la predicción que realizará Kriging en su modelo. Después, hay que hacer el análisis de las tendencias y la periodicidad que representa el semivariograma para poder estimar si el Kriging resultante es válido o no. Para ello, hay que tener en cuenta el rango, el nugget (efecto pepita) y la meseta:

- El rango es la distancia en la cual la línea del modelo se estabiliza y comienza a aplanarse. Se produce la relación de a menor distancia de las muestras con el rango, mayor autocorrelación espacial, y viceversa.
- La meseta es el valor en el eje Y en el cual se alcanza el rango.
- El nugget es un efecto producido por errores de medición y/o a variaciones en la distancia respecto a las muestras.

Por ello, modelo será válido si el nugget es bajo respecto a la meseta, y el rango es largo respecto a las muestras.

### *3.3. Modelización de la predicción: cálculo de Kriging.*

Una vez realizados los ajustes entre el modelo empírico y el modelo previsto, se puede aplicar Kriging, para crear una superficie continua de datos puntuales generando una capa ráster. Dentro del Kriging, existen dos métodos: el ordinario y el universal. Su diferencia radica en la consideración por parte del método universal de que haya factores externos que puedan invalidar los datos, o no. Generalmente se desconoce esta información, por lo que el método más popular es el ordinario y es el que vamos a aplicar en este caso.

### *3.4. Comparativa e identificación de errores: muestra si los valores actuales y previstos coinciden.*

Además, la validación cruzada (*Cross validation*) del reporte de errores es interesante de realizar para conocer la diferencia entre lo medido y lo interpolado, obteniendo una tasa de error. Esta operación se realiza restando los valores de los datos modelados y los valores de los datos observados. Si el valor del resultado tiene signo positivo, implica que ha habido una sobreestimación de los valores de la media; mientras que, si el signo es negativo, existe una subestimación del campo interpolado.

Como complemento a la validez del modelo, se puede realizar una comparativa entre dos modelos Kriging creados a partir de la misma base de datos, pero mediante un muestreo aleatorio conformado por datos diferentes. En este caso no se ha realizado porque el número de muestras es muy bajo y no se puede prescindir de la mitad de éstas, ya que el modelo no podría generarse.

## RESULTADOS

Atendiendo a la finalidad del trabajo, el resultado ha sido la generación de modelos de predicción de la rata negra en la ciudad de Madrid, a partir de diferentes factores de riesgo, siguiendo las fases descritas en la metodología.

### 1. Identificación de los factores de riesgo

En la primera fase se obtuvieron los factores de riesgo más determinantes en la proliferación de rata negra, así como la forma de medirlo y su peso específico. Se ha confeccionado a través de la consulta de bibliografía especializada y a expertos en la materia. Para la determinación de la relevancia de cada factor se confeccionó una encuesta, la cual fue realizada por 15 trabajadores pertenecientes al departamento de Control de Vectores del Ayuntamiento de Madrid. De esta manera, se aseguró la validez de la información.

CATEGORÍA	FACTOR DE RIESGO	PONDERACIÓN SEGÚN CARACTERÍSTICA			PESO CATEGORÍA	PESO ESPECÍFICO
		IMPORTANCIA ALTA (nivel 3)	IMPORTANCIA MEDIA (nivel 2)	IMPORTANCIA BAJA (nivel 1)		
MEDIO AMBIENTE	FUENTES DE AGUA	< 150 m.	150-300 m.	> 300 m.	50%	30%
	TAMAÑO DEL ESPACIO VERDE	> 10000 m2	3000 - 10000 m2	< 3000 m2		10%
	ESPECIE VEGETAL DOMINANTE	Afín/comestible	Mixta	No afín		20%
	DISTANCIA A ZONA VERDE	< 150 m.	150-300 m.	> 300 m.		40%
EDIFICACIÓN	CERCANÍA A FOCO DE ALIMENTACIÓN	< 150 m.	150-300 m.	> 300 m.	40%	20%
	CONTENEDORES DE BASURA	< 150 m.	150-300 m.	> 300 m.		30%
	USO DEL EDIFICIO	Colegios y servicios	Centros culturales y bibliotecas	Administrativo		30%
	ANTIGÜEDAD DEL EDIFICIO	Anterior a LOE	Posterior a LOE y más de 10 años	Menos de 10 años		20%
SOCIO-ECONÓMICO	DENSIDAD DE POBLACIÓN	Mayor a la media municipal	Similar a la media municipal	Menor a la media municipal	10%	70%
	RENTA PER CÁPITA	Menor a la media municipal	Similar a la media municipal	Mayor a la media municipal		30%

Figura 15: Factores de riesgo de proliferación de la rata negra. Elaboración propia

Tal y como se puede observar en la tabla (figura 15), la categoría con mayor peso es la de medioambiente, que recoge la mitad del total; la categoría de edificación supone un 40%; mientras que los factores socioeconómicos sólo influyen directamente un 10%.

El factor de mayor peso es la distancia existente a la zona verde más cercana, es decir, al espacio más parecido a su hábitat natural. Muy relacionado con ello es la existencia de puntos de suministro de agua como las fuentes, las cuales cubren una parte de necesidad vital de hidratación de la rata; además, la especie vegetal dominante en el entorno supone el otro factor más importante, relacionado esencialmente por su uso tanto de cobijo como de fuente de alimentación. Se ha comprobado que el tamaño de la zona verde apenas influye en un aumento de los focos.

Otros factores relevantes son el uso del o los edificios y su antigüedad donde surja el foco, o cerca de ellos, que generalmente son viviendas. Esto se debe a que existen focos de alimentación como la cocina o partes de la casa sin aislar correctamente porque el gasto de rehabilitación depende de los propietarios. Además, la cercanía de locales externos relacionados con la venta de productos alimenticios, bien sean mercados o restauración, y los contenedores de residuos orgánicos influyen en la vulnerabilidad de la zona a que existan focos de ratas, ya que también supone una fuente de alimentación alternativa.

Se ha demostrado que los factores socioeconómicos no influyen especialmente en la aparición de rata negra, pero están asociados a otros, como los niveles de generación de residuos orgánicos y el mantenimiento de los edificios. En este caso, es más determinante la densidad de población que la renta media.

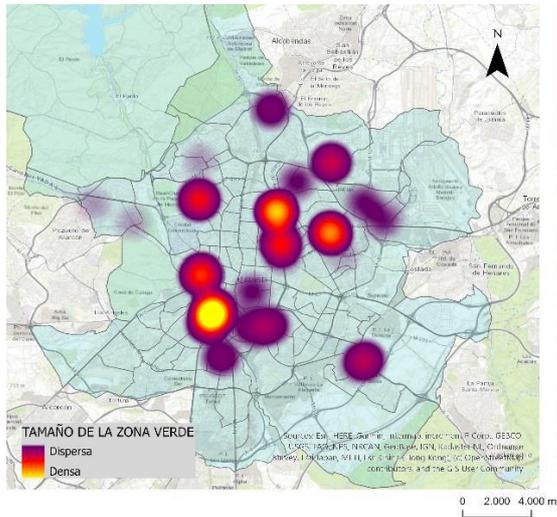
El siguiente conjunto de mapas muestran el valor de cada factor de riesgo de cada uno de los 118 registros estudiados. Son un total de 10 mapas parciales (uno por cada factor de riesgo contemplados en las figuras 16, 17 y 18), y un último general que aúna el conjunto de éstos (figura 19). Hay que tener en cuenta que los resultados están muy condicionados por los datos con los que se ha trabajado, pues son pocos y muchas veces concentrados en el espacio, por lo que la nube de puntos es especialmente pequeña. Se han ordenado por categorías: medioambiente, edificación y socioeconómico.

#### CATEGORÍA MEDIOAMBIENTE

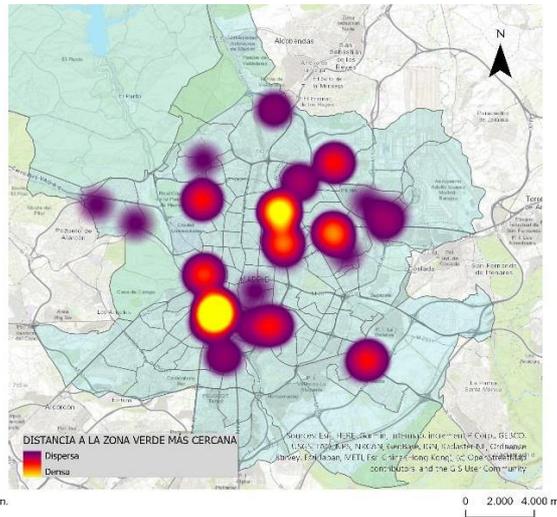
Los factores de esta categoría tienen un peso bastante homogeneizado en el territorio, pudiéndose identificar dos zonas con especial densidad: en primer lugar, un área central de la ciudad con tendencia hacia el suroeste que es el norte del distrito de Carabanchel y de Usera, y el suroeste del distrito de Arganzuela; y en segundo lugar, el foco septentrional, ubicado en las zonas colindantes del tramo más oriental de la carretera m-30 (distritos de Chamartín, Hortaleza, Ciudad Lineal y Salamanca). Pese a que el peso es mayor en el área central, la diferencia no es especialmente relevante. Existe un tercer y cuarto focos, mucho más puntuales, que se encuentran en el distrito de Villa de Vallecas y en el límite sur del distrito de Fuencarral-El Pardo, los cuales son importantes porque están aislados, pero tienen la capacidad de extenderse dado el número de registros.

El factor en el que más se igualan las cuatro zonas es la distancia a la zona verde más cercana y las fuentes de agua. Esto supone que la importancia del factor en los avisos es muy similar, por lo que lo que determina en este caso el mapa es el número de avisos. El tamaño de la zona verde y la especie vegetal dominante, al ser factores más diversos, representan mejor la característica.

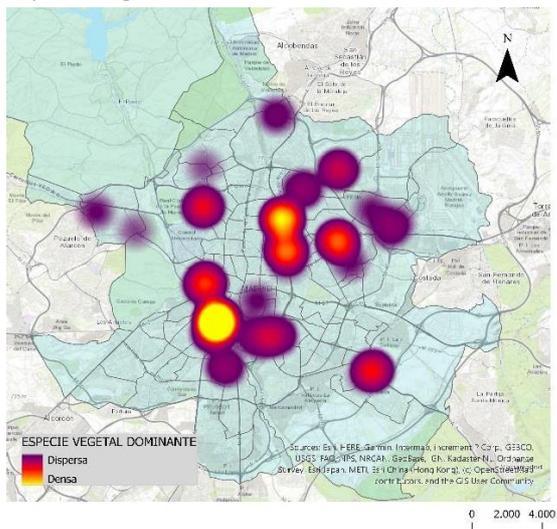
Tamaño del espacio verde



Distancia a la zona verde más cercana



Especie vegetal dominante



Fuentes de agua

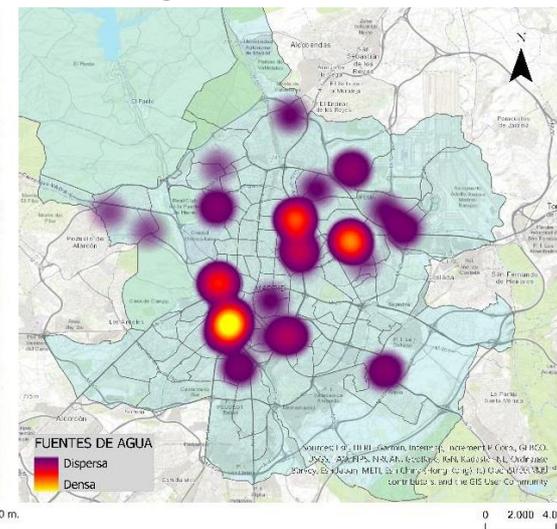


Figura 16: Mapas de calor de factores de la categoría medioambiente. Elaboración propia.

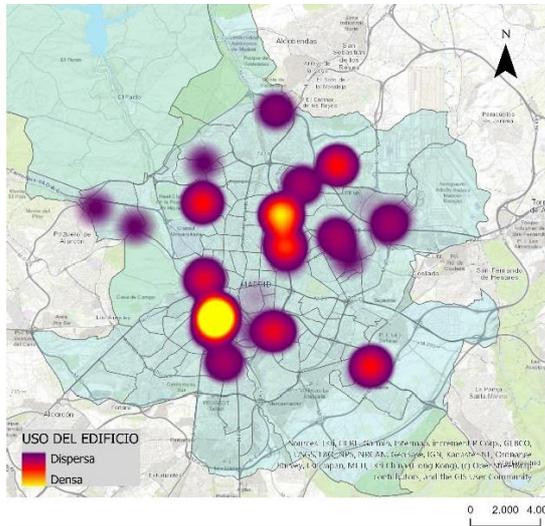
### CATEGORÍA EDIFICACIÓN

Respecto a los factores relacionados con la parte urbana de la ciudad, se puede observar una tendencia a la pérdida de importancia en los avisos más lejanos del centro, manteniéndose igual que en los factores medioambientales las tres zonas con los niveles más altos de concentración de avisos (la zona centro-sur, la zona norte, Villa de Vallecas y límite sur del distrito de Fuencarral-El Pardo). En esta categoría la diferencia entre las cuatro es más notoria.

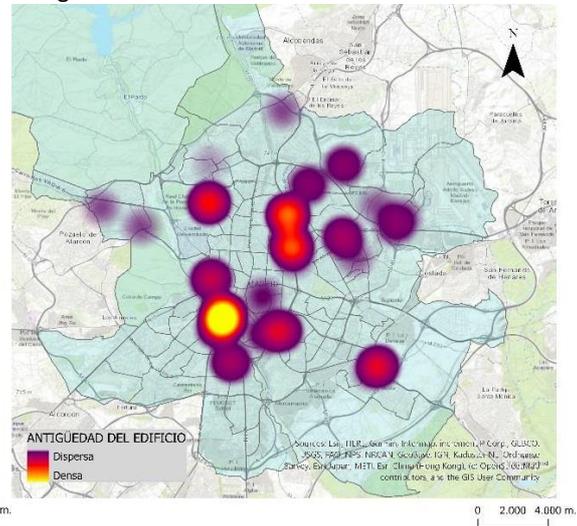
Se entiende que, al ser factores relacionados con la construcción, el valor disminuye en aquellas zonas en las que predominan los espacios verdes y hay una densidad de vivienda menor, como en los distritos más periféricos. No obstante, se puede observar que el factor de contenedores, por ser un elemento urbano imprescindible, tiene un peso más homogéneo por el territorio; al igual que el uso del edificio, que es una característica inherente a la construcción. Destaca que

en la zona límite sur del distrito de Fuencarral-El Pardo los valores son tan bajos que están cerca de su desaparición, sobre todo los puntos más septentrionales.

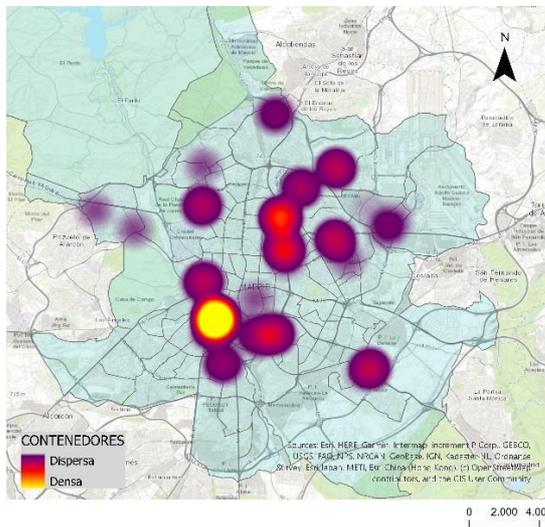
Uso del edificio



Antigüedad del edificio



Contenedores



Focos de alimentación (restauración)

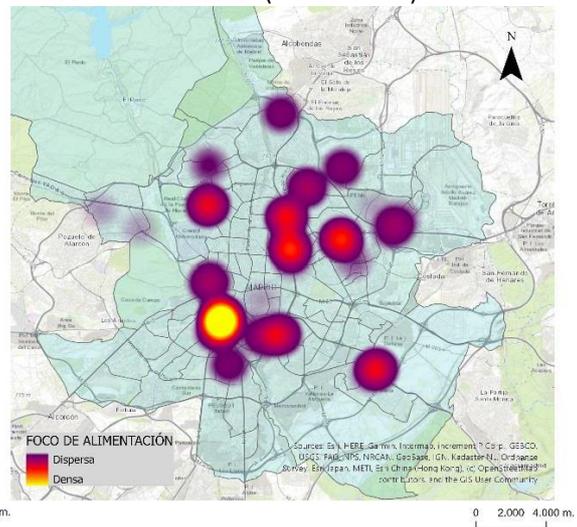
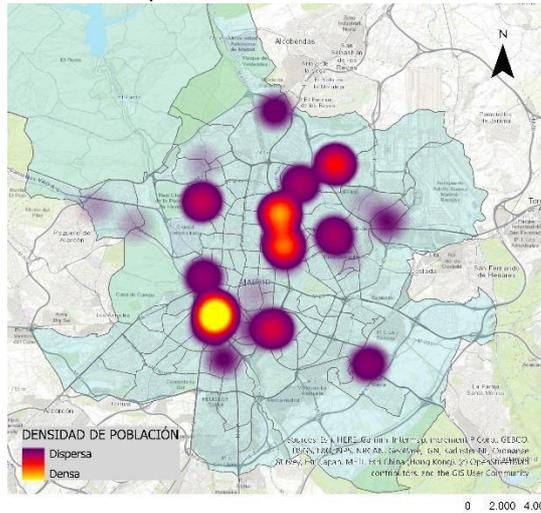


Figura 17: Mapas de calor de factores de la categoría edificación. Elaboración propia.

## CATEGORÍA SOCIOECONÓMICO

Los factores de esta categoría son los de menor relevancia, pero se consideran importantes de analizar. En ambos mapas se puede apreciar que se mantiene la polarización de los avisos en tres de las cuatro zonas anteriormente mencionadas: la zona centro-sur (Arganzuela, Carabanchel y Usera), la zona norte (Chamartín, Salamanca y Hortaleza), Villa de Vallecas. En el factor de densidad de población, la importancia de las zonas es muy similar, pues la densidad de población de los tres puntos es muy alta en comparación con otras zonas como el límite sur del distrito de Fuencarral-El Pardo, la cual tiene densidades bajas. No obstante, en el caso de la renta, la zona centro-sur cobra especial protagonismo frente a las otras por tener una media inferior sustancial. En el caso de Fuencarral-El Pardo ambos parámetros tienen una representación especialmente baja.

Densidad de población



Renta per cápita

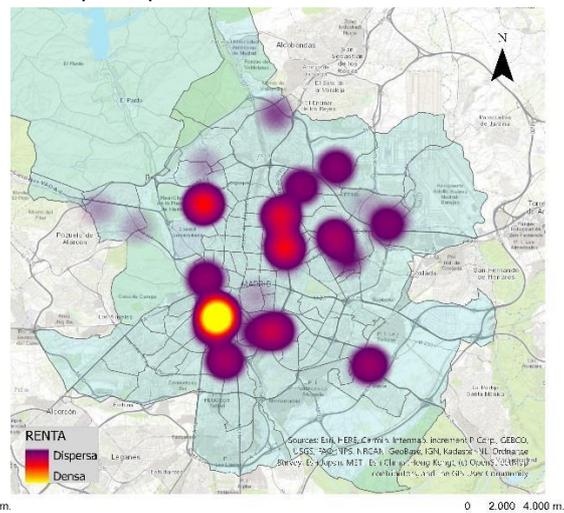


Figura 18: Mapas de calor de factores de la categoría socioeconómico. Elaboración propia.

#### MAPA DEL CONJUNTO DE FACTORES

Este último mapa corresponde al valor general de los factores, es decir, la unificación de todos los valores parciales en uno único. Se observa que se mantienen las dos regiones-foco: la zona centro-sur (Arganzuela, Carabanchel y Usera) y la zona norte (Chamartín, Salamanca y Hortaleza); y las otras dos zonas perimetrales: límite sur del distrito de Fuencarral-El Pardo y Villa de Vallecas.

Este mapa representa unos mayores índices de riesgo en la zona centro-sur de la ciudad respecto al resto de puntos, especialmente los datos más céntricos. Villa de Vallecas es el distrito con mayor concentración de los focos, mostrando además un índice medio-alto. La zona norte presenta mayor dispersión de los registros, los cuales tienen índices de riesgo mayores a medida que su ubicación es más meridional. El índice de los avisos del borde sur de Fuencarral-El Pardo tiene gran influencia de la categoría medioambiental, ya que es una zona con muchas y grandes zonas verdes, como el monte de El Pardo, lo que disminuye tanto la actividad edificatoria como la densidad de población. Por ello, salvo un punto concreto del distrito de Chamberí, su índice general es especialmente bajo.

En definitiva, los focos tienen una distribución bastante extendida en la ciudad de Madrid, pero el índice de riesgo varía sustancialmente. La direccionalidad actual es de noreste-suroeste, bastante distorsionada por los nuevos focos de Villa de Vallecas y Fuencarral-El Pardo. Se puede pensar que existe un cambio en los patrones de movimiento de la rata negra.

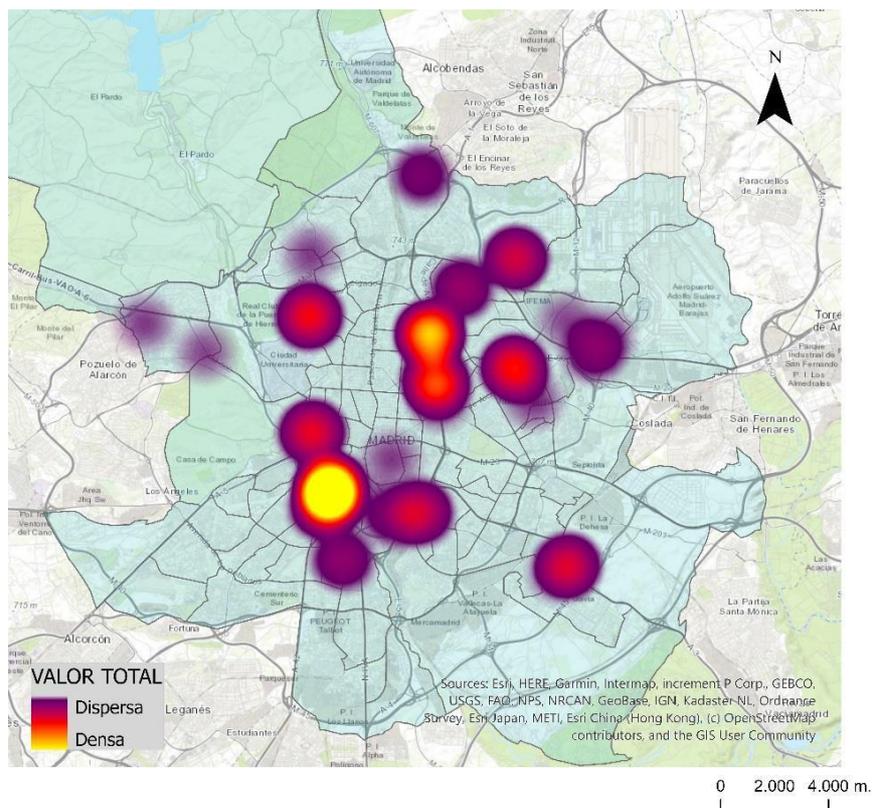


Figura 19: Mapa de calor del valor total. Elaboración propia.

## 2. Obtención y enriquecimiento de datos

Esta fase está marcada por la elaboración de una base de datos que contenga los avisos georreferenciados, la fecha en la que se produjeron y toda la información relativa a cada uno de los factores de riesgo.

### 2.1. Identificación de los avisos totales de rata negra en la ciudad de Madrid.

Se contaron con tres bases de datos de avisos con diferentes características:

- Avisos reales de rata negra confirmados. Fueron proporcionados por el departamento de Control de Vectores del Ayuntamiento de Madrid. Son 30 avisos en total, y por su alta fiabilidad se tomaron de base para considerar válidos el resto.
- Avisos potenciales de rata negra. Son aquellos que han sido obtenidos mediante la filtración en la aplicación ARGOS. En este caso los avisos son en total 101, del año 2020 y 2021. Este conjunto de datos servirá para aumentar el número de avisos, aportando solidez al estudio.
- Avisos confirmados de rata negra, con o sin detección del vector. Estos avisos se diferencian de los anteriores porque no existe confirmación de que se haya detectado

a la plaga, pero sí hay verificación de su existencia por parte de un profesional. Son un total de 85 avisos, correspondientes al año 2019.

Con estas tres bases de datos, se creó una cuarta con un total de 118 avisos.

El siguiente mapa muestra cada uno de los registros en la ciudad de Madrid, los cuales tienen un color siguiendo el valor conjunto de todos los factores de riesgo considerados previamente. Este valor se corresponde con el nivel o índice de incidencia, pues es un indicador tanto de los factores implicados en su aparición como de la forma en la que lo hicieron, es decir, su nivel de afección.

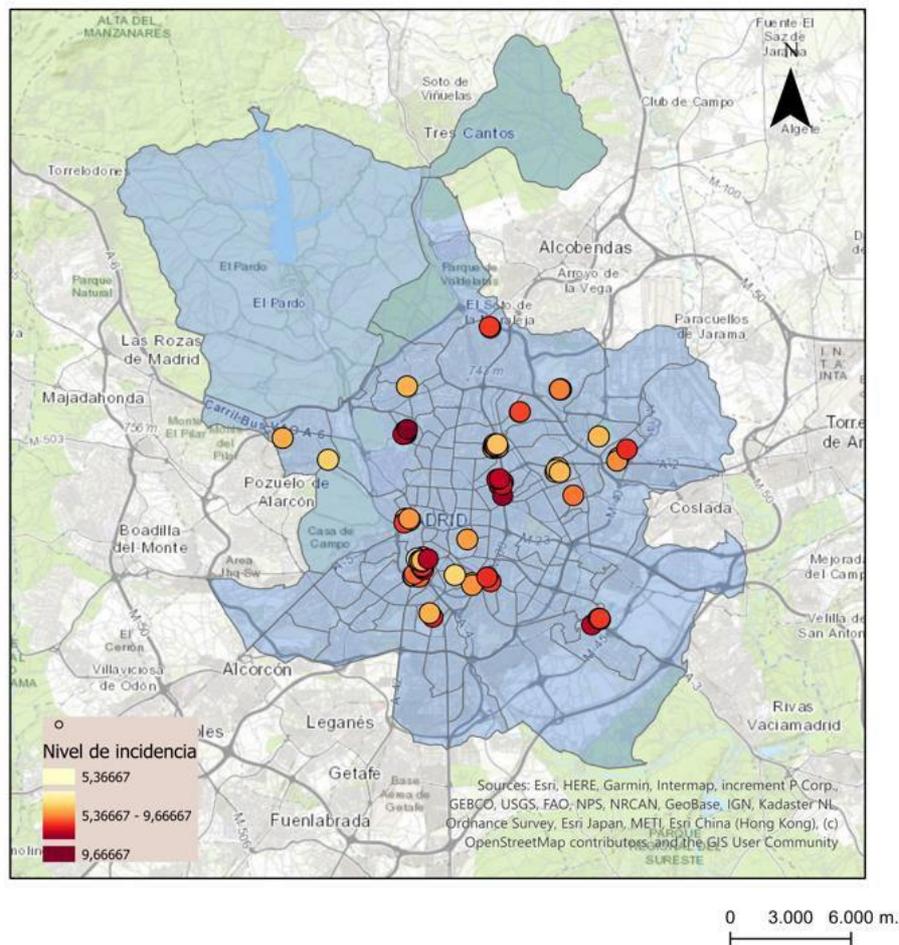


Figura 20: Nivel de incidencia de cada aviso. Elaboración propia.

## 2.2. Enriquecimiento de la base de datos final.

Tal y como recoge la metodología, se enriquecieron los avisos definitivos a través de la consulta de las diferentes fuentes. El resultado es una tabla en la cual se recoge el ID, el año, mes, dirección completa, coordenadas UTM, distrito y barrio, código postal, el valor de importancia de cada factor (1, 2 ó 3), y el valor ponderado total (ver Anexo, figura 5).

### 3. Fase de uso y tratamiento de datos mediante herramientas SIG.

El resultado final de este trabajo es la creación de un modelo de predicción de las zonas más vulnerables de la ciudad de Madrid en materia de proliferación de rata negra. Siguiendo lo planteado en la metodología, se ha propuesto un modelo de interpolación basado en Kriging, el cual tiene los siguientes resultados:

#### 3.1. Exploración de datos.

##### 3.1.1. Histograma de frecuencias

El gráfico representa la distribución de los avisos respecto al nivel de influencia de los factores de riesgo que tiene cada uno de ellos. Se comprueba que los datos tienen una distribución gaussiana, la cual ha sido posible a través de un ajuste logarítmico, por lo que es posible realizar la operación de *krigeado*. Existe cierta tendencia a los valores más altos, con un valor medio y mediana de 2,04.

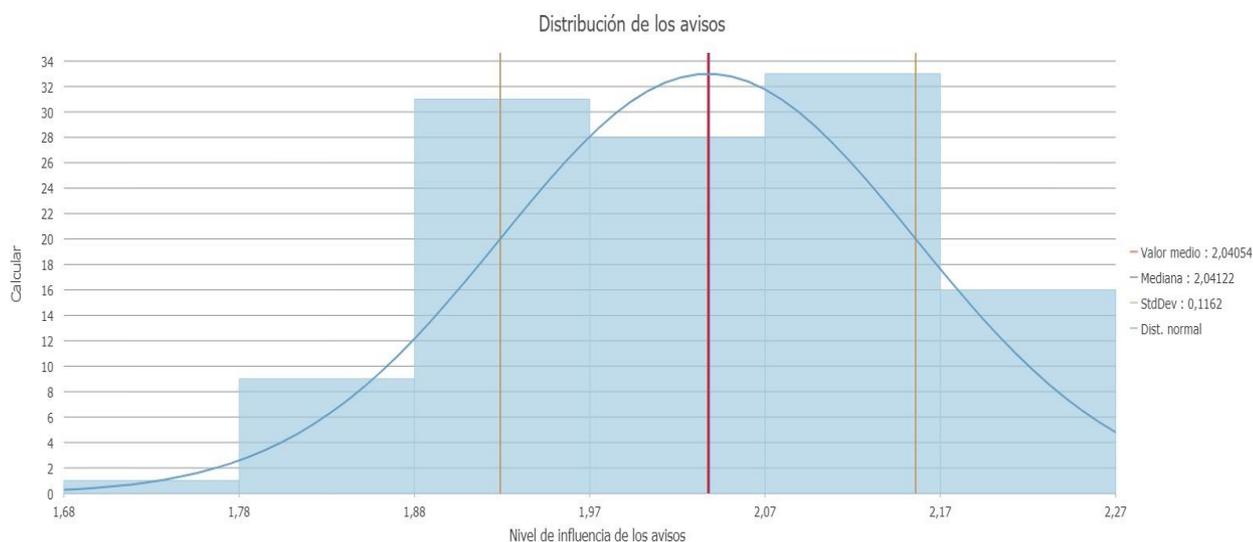


Figura 21: Histograma de frecuencias de los avisos definitivos respecto al valor final ponderado de riesgo. Elaboración propia.

##### 3.1.2. Análisis de tendencias

Se puede observar en el siguiente mapa la tendencia geográfica de los avisos, el cual muestra según indican los colores (el blanco representa una mayor tendencia hasta el verde que es el de menor) una direccionalidad sureste-noroeste. Por lo tanto, el análisis de tendencias indica que las zonas de proliferación de rata negra con mayor índice de vulnerabilidad tienden a encontrarse en las áreas del noroeste. Esto se puede explicar por la existencia de espacios verdes como el monte de El Pardo, pero también por la cercanía a la sierra, que influye en el aumento de la humedad atmosférica y posibles corrientes de agua en estas áreas respecto a otras de la ciudad.

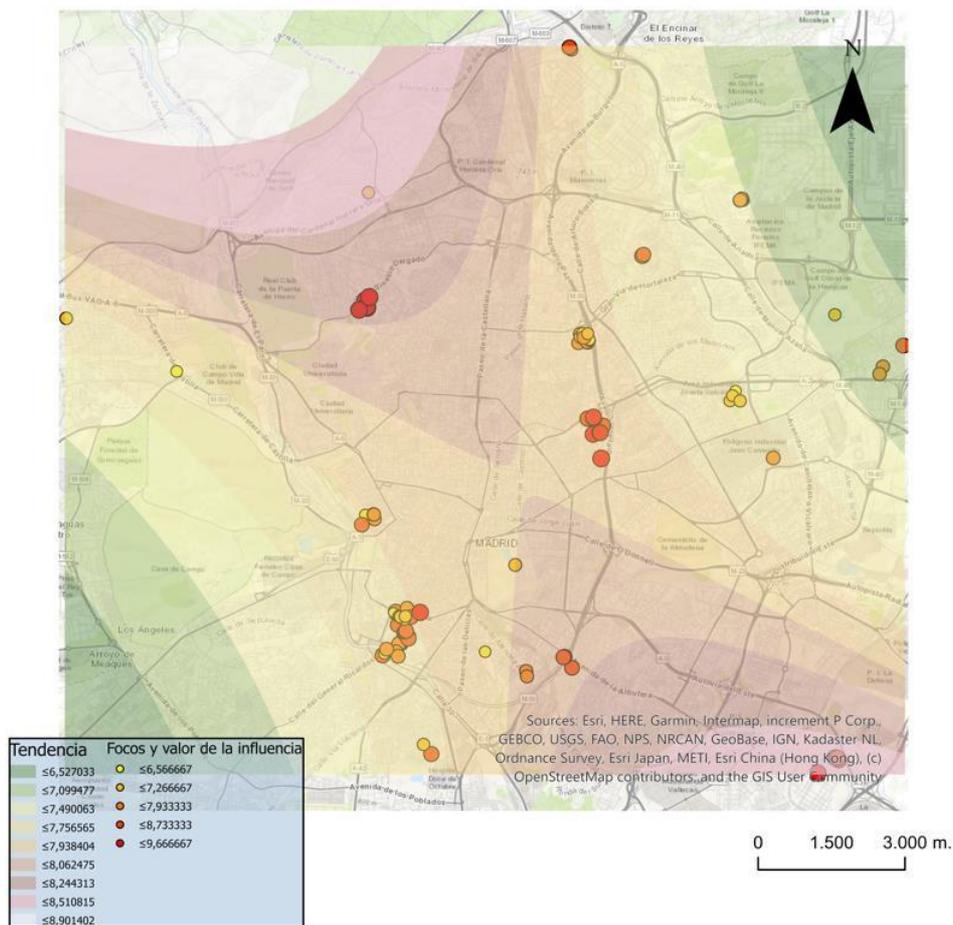


Figura 22: Análisis de tendencia espacial de los avisos definitivos respecto al valor final ponderado de riesgo. Elaboración propia.

### 3.2. Cálculo del semivariograma empírico y teórico.

Para obtener los semivariogramas, es necesario ajustar el modelo según los datos conocidos y la realidad en la que se está. Se ha escogido realizar el Kriging Ordinario, aplicando una transformación de tipo logarítmico (siguiendo el histograma de frecuencias) y una tendencia de segundo orden, que es la equivalente a una parábola (respecto a lo mostrado en el análisis de tendencias).

El ajuste de las tendencias del Kriging responde a la minimización del error estándar en la predicción. Para ello, se ha seleccionado la función Kernel exponencial, lo cual suaviza las líneas de la superficie a la par que disminuye el valor del error; además, se ha escogido una sectorización en 4 partes con un ángulo de 45º en el *krigeado* de los valores conocidos (ver figura 23).

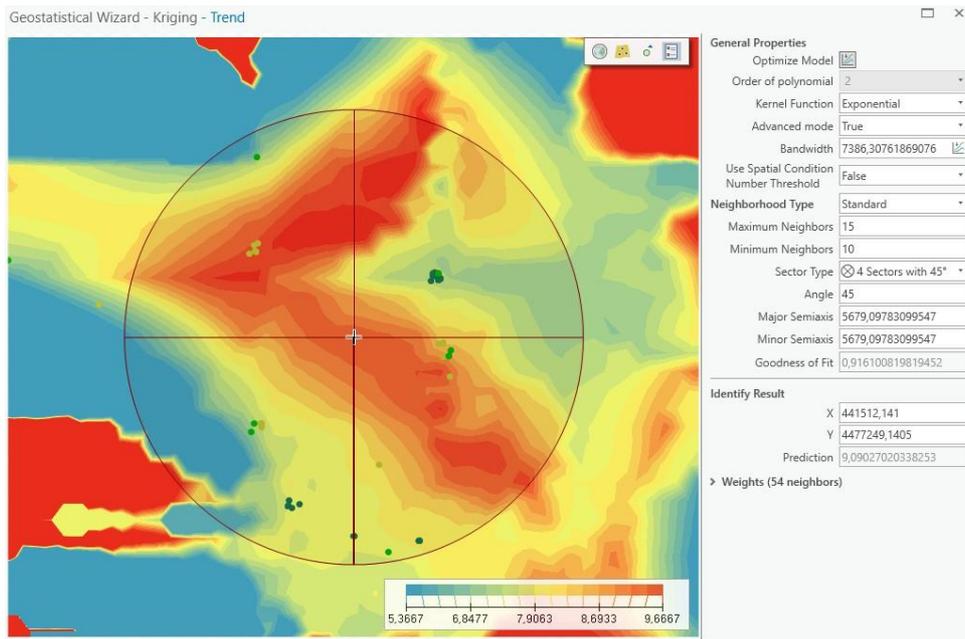


Figura 23: Ajuste del modelo Kriging. Elaboración propia.

El semivariograma resultante (ver figura 24) muestra los puntos medios representados con cruces; los datos desechados, que son los de color rojo; y la línea que el modelo predice. La medición se ha realizado en forma de óvalo con direccionalidad norte-sur, ligeramente inclinada hacia el este. El mapa del semivariograma muestra que el modelo predice que los avisos tenderán a una direccionalidad este-oeste, es decir, las zonas del norte perderán vulnerabilidad y se potenciará en el este y el oeste del municipio. El nugget se encuentra por debajo de la meseta y el error estándar de predicción se encuentra en 0.53, por lo que se puede considerar que el modelo teórico es válido.

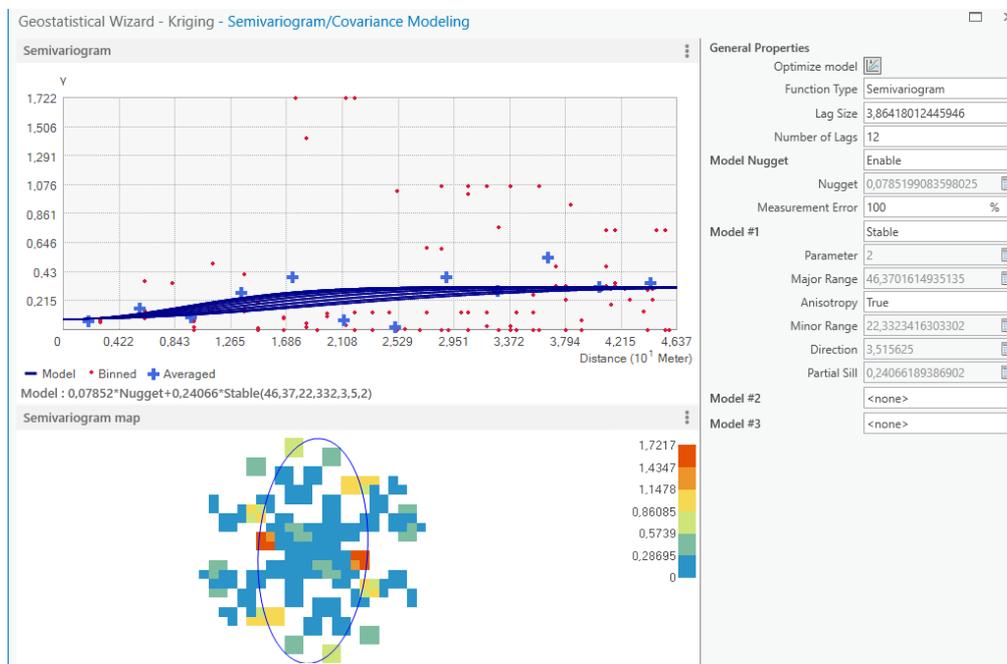


Figura 24: Semivariograma ajustado. Elaboración propia.

### 3.3. Modelización de la predicción: cálculo de Kriging.

El modelo generado a partir de la interpolación a través de Kriging predice el aumento de la vulnerabilidad de infestación de rata negra en los distritos céntricos de Salamanca, Chamartín y Tetuán; y los distritos periféricos de Puente de Vallecas, Fuencarral-El Pardo y Barajas. Además, pronostica una fuerte incidencia en el espacio verde Casa de Campo. Este nuevo patrón de movimiento puede deberse a una tendencia a la dispersión hacia las afueras de la ciudad, posiblemente incentivado por la existencia de vías de circulación de gran envergadura, que suelen estar mimetizados con el ambiente urbano a través de la plantación de hileras de árboles a cada lado, lo cual posibilita el movimiento de la rata.

Hay que tener en cuenta que los resultados están muy condicionados por los datos con los que se ha trabajado, pues son pocos y muchas veces concentrados en el espacio, por lo que la nube de puntos es especialmente pequeña. No obstante, el objetivo es mostrar una herramienta que se pueda ir mejorando y perfilando, sobre todo con un mayor número de avistamientos.

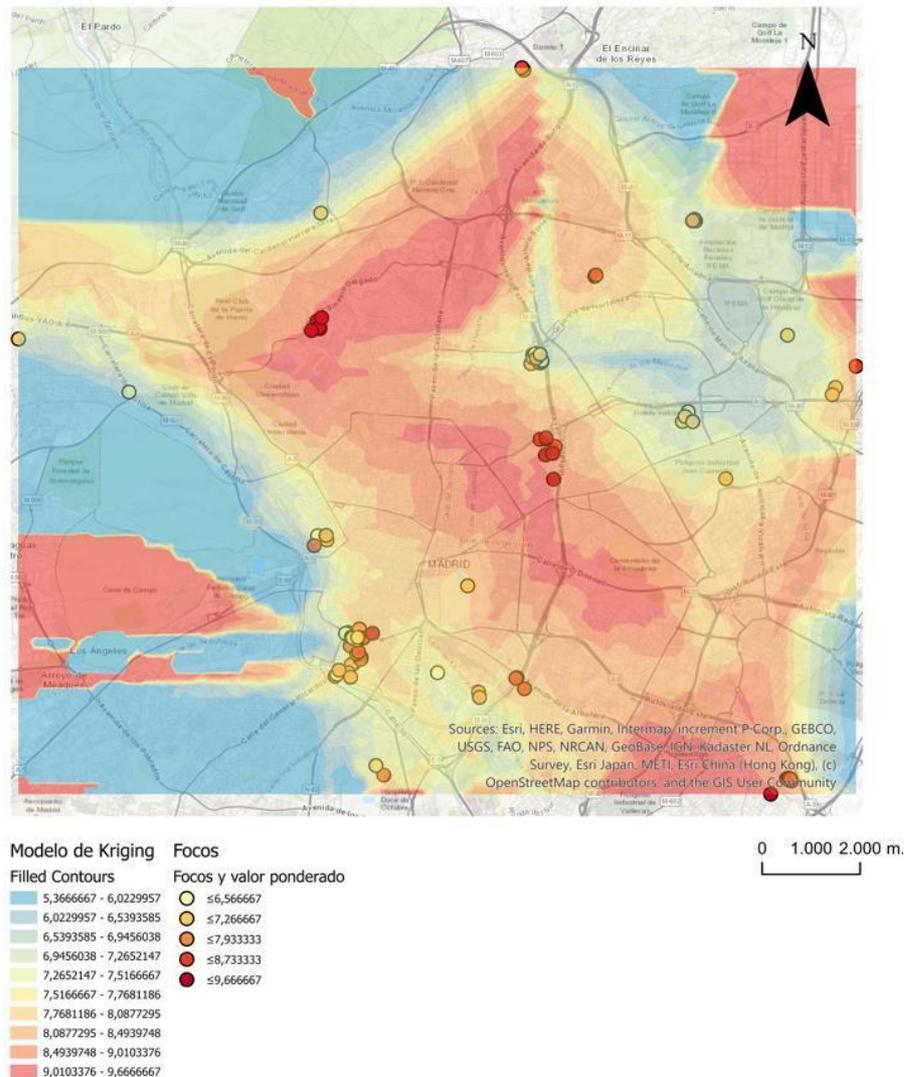


Figura 25: Modelo de interpolación de Kriging. Puntos actuales y previsión de zonas vulnerables. Elaboración propia.

### 3.4. Identificación de errores.

La identificación de errores del modelo se realiza a través de *Cross validation*, una herramienta asociada a Kriging que muestra la línea de regresión entre los valores medidos y los de la predicción. Se observa que hay cierta tendencia en la subestimación de los valores de los datos conocidos, especialmente en los inferiores, pues la línea de referencia (gris) está por debajo de la línea de regresión (azul). No obstante, en los valores conocidos más superiores, se da el fenómeno contrario, una sobreestimación de éstos.

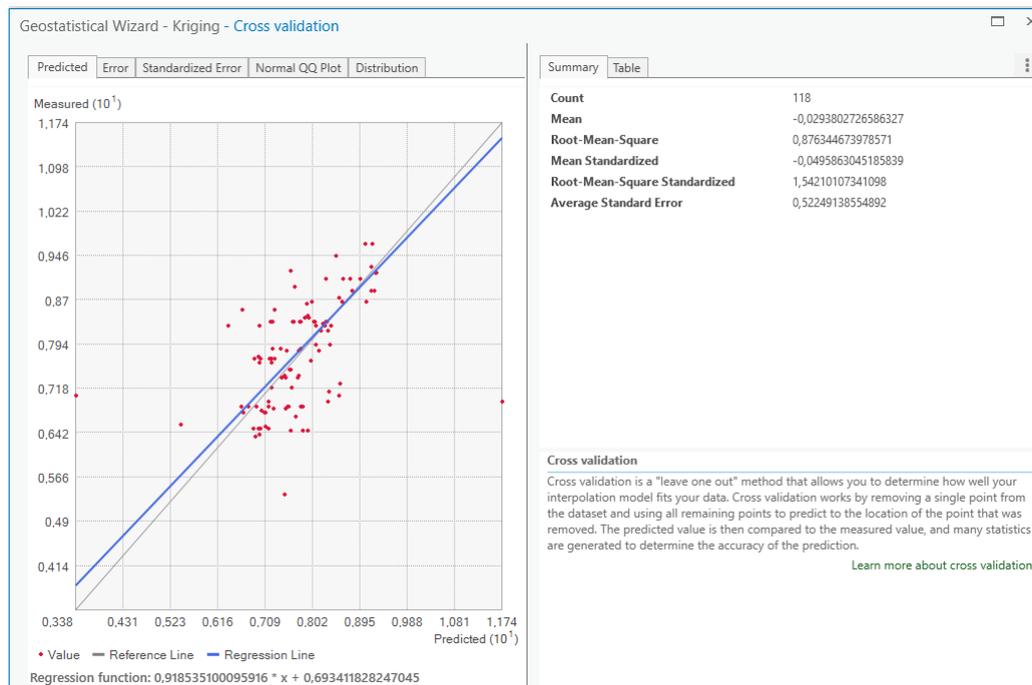


Figura 26: Cross validation del modelo Kriging. Elaboración propia.

## CONCLUSIONES, LIMITACIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

El objetivo principal del trabajo es mostrar una herramienta de predicción de plagas en los entornos urbanos, que pueda adaptarse a diferentes vectores de plagas y a otras ciudades. El resultado del trabajo ha sido un conjunto de mapas que muestran la distribución espacial de la rata negra en la ciudad de Madrid en la actualidad, considerando tanto su localización como los factores de riesgo asociados a cada uno de los registros. Además, se ha creado un mapa con la técnica de *krigeado*, que representa las posibles áreas futuras afectadas por la plaga haciendo una predicción de los datos desconocidos.

El modelo muestra una tendencia a la dispersión y periferización de los focos de rata negra, pues aunque en la actualidad se mantiene una concentración de los datos en dos zonas concretas de la ciudad (centro-sur y noreste), empieza a cobrar una importancia relevante zonas más periféricas, esencialmente vinculadas a las principales vías de tránsito y a las zonas verdes más extensas.

Para obtener el modelo, ha sido necesario cumplir los objetivos secundarios y transversales propuestos. La consulta tanto de bibliografía especializada como a expertos ha sido esencial para poder definir los rasgos físicos y conductuales de la plaga a estudiar, los factores de riesgo asociados a su proliferación y una breve comparativa con otra plaga semejante para justificar la necesidad de estudiarlas por separado (en este caso, la plaga principal es la rata negra y el vector semejante la rata de alcantarilla). Además, se ha tenido que recurrir a otro tipo de bibliografía, especializada en geoestadística y metodologías de predicción, para poder confeccionar el modelo SIG en el que se va a trabajar.

Una vez resuelta la búsqueda de información y confeccionado el modelo base, éste se pone a prueba para cumplir los objetivos relativos a su uso, como es la visualización y tratamiento de los datos y su análisis a través de la creación de cartografía. Además, mediante el SIG se puede validar el modelo propuesto y detectar los posibles errores que puede presentar. En este proceso es importante describir e interpretar los resultados que el modelo va arrojando para realizar las adaptaciones y ajustes necesarios, la cual es la parte más humana del trabajo.

No obstante, en este caso se ha contado con una base de datos muy pequeña y, en un inicio, con información escasa. Por ello, es importante tener en cuenta que los resultados están muy condicionados tanto por el pequeño número de registros como por los datos obtenidos de manera manual. Sin embargo, el objetivo es probar una herramienta con capacidad de mejorar y perfilar, sobre todo empleando bases de datos más grandes tanto en registros como en información específica.

Se puede concluir que el modelo propuesto responde a los objetivos del trabajo de manera satisfactoria, pues además de demostrar la validez del método, se ha contribuido a aumentar el conocimiento sobre las características de la ciudad que explican la distribución espacial de la rata negra en ella.

Como toda investigación, este trabajo se ha enfrentado a algunas limitaciones y dificultades que en algunas ocasiones han podido ser sorteadas, pero en otras no ha habido más opción que aceptarlas y considerarlas parte del proceso.

La limitación fundamental ha sido la falta de registros de avisos previos a 2019, pues eso ha implicado obtener un número de datos menor al recomendado. La inexistencia de transparencia de los datos para personas ajenas al departamento de Control de Vectores habría imposibilitado la obtención de ellos y, por ende, la incapacidad total de abordar esta temática.

La segunda limitación más importante es la inexistencia de investigaciones que trataran los factores de riesgo de proliferación de la rata negra de manera profunda, es decir, delimitando y cuantificando la importancia de los mismos. Esta parte ha sido la que más esfuerzos ha requerido, ya que esta información ha tenido que crearse de forma íntegra.

Otra de las limitaciones que ha tenido este trabajo ha sido la falta de bibliografía especializada, tanto en rata negra como en el uso de los sistemas de información geográfica en el control de plagas en español, lo cual ha supuesto un esfuerzo extra al tener que recurrir a artículos de investigación en la literatura internacional.

Igualmente, este trabajo pretende arrojar conocimiento para potenciar otras líneas de investigación, especialmente en dos direcciones: por una parte, se ha querido profundizar en la caracterización y estudio de la rata negra como plaga urbana; y por otra, se ha propuesto una metodología alternativa de análisis de control de vectores, el cual no sólo contempla la realidad actual, sino que sea capaz de detectar su posible evolución. Por ello, este trabajo puede servir de referencia a futuros y futuras investigadoras que quieran ampliar el conocimiento en gestión de plagas.

Respecto al estudio del movimiento de la rata negra en la ciudad, sería interesante estudiar la conectividad de los espacios y los elementos antrópicos y vegetales que son aprovechados por el vector para moverse de unas zonas a otras. En este caso, se podría hacer uso de sensores LIDAR que detecten la cobertura vegetal de un espacio verde o de una vía concreta, el cual es un factor que puede ser muy relevante en la proliferación de rata negra.



## BIBLIOGRAFÍA

Alberti, M. (2005). The effects of Urban Patterns on Ecosystem Function. *International Regional Science Review*. 2005;28(2): pp. 168-192.

Aplin, K. P., Chesser, T., & Have, J. T. (2003). Evolutionary biology of the genus *Rattus*: profile of an archetypal rodent pest. *Acia monograph series*, 96, pp. 487-498.

Banks, P. B., and Hughes, N. K. (2012). A review of the evidence for potential impacts of black rats (*Rattus rattus*) on wildlife and humans in Australia. *Wildlife Research* 39, pp. 78–88.

Banks, P., Smith, H. (2015). The ecological impacts of commensal species: black rats, *Rattus rattus*, at the urban–bushland interface Peter B. *Wildlife Research*, 2015, 42, pp. 86–97.

Bar-Massada, A., Radeloff, V. C., and Stewart, S. I. (2014). Biotic and abiotic effects of human settlements in the wildland-urban interface. *Bioscience* 64, pp. 429–437.

Barnett, S. A., & Spencer, M. M. (1951). Feeding, social behaviour and interspecific competition in wild rats. *Behaviour*, pp. 229-242.

Battersby, S., Parsons, R., Webster, J. P. (2002) Urban rat infestation and the risk to public health. *J Environ Health Res* 1(2): pp. 4–12.

Bautista, C. (2011). *Proceso de la investigación cualitativa: Epistemología, metodología y aplicaciones*. Manual Moderno.

Blackburn, T, Pyšek, P., Bacher, S., Carlton, J., Duncan, R.P., Jarošík, V., Wilson, J., Richardson, D. (2011). A proposed unified framework for biological invasions. *Trends in Ecology & Evolution*, Volume 26, Issue 7, pp. 333-339.

Blitzer, E. J., Dormann, C. F., Holzschuh, A., Klein, A. M., Rand, T. A., & Tschardtke, T. (2012). Spillover of functionally important organisms between managed and natural habitats. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 146(1), pp. 34-43.

Bonnefoy, X., Kanpen, H., Sweeney, K. (2008). Public Health Significance of Urban Pests. World Health Organization Regional Office for Europe. Copenhagen, Denmark.

Boonstra, R. (2013). Reality as the leading cause of stress: rethinking the impact of chronic stress in nature. *Functional Ecology*, 27(1), pp. 11-23.

Bustillo, E. y Rodríguez, P. (2015). Los sistemas de información geográfica y las ciudades inteligentes. *Revista POLÍGONOS*, num. 27, pp. 257-270.

Brouat, C., Chevallier, H., Meusnier, S., Noblecourt, T. (2004). Specialization and habitat: Spatial and environmental effects on abundance and genetic diversity of forest generalist and specialist Carabus species. *Molecular Ecology* 13(7):1815-26.

Brouat, C., Rahelinirina, S., Loiseau, A., Rahalison, L., Rajerison, M., Laffly, D., & Duplantier, J. M. (2013). Plague circulation and population genetics of the reservoir *Rattus rattus*: the influence of topographic relief on the distribution of the disease within the Madagascan focus. *PLoS neglected tropical diseases*, 7(6).

Brownstein, J. S., Holford, T. R., & Fish, D. (2003). A climate-based model predicts the spatial distribution of the Lyme disease vector *Ixodes scapularis* in the United States. *Environmental health perspectives*, 111(9), pp. 1152-1157.

Brunton, C. F. A. (1995). Neophobia and its effect on the macrostructure and micro-structure of feeding in wild brown rats (*Rattus norvegicus*). *J Zool (Lond)* 235: pp. 223–236.

Byers, J. E. (2002). Impact of non-indigenous species on natives enhanced by anthropogenic alteration of selection regimes. *Oikos* 97, pp. 449–458.

Byers, K. A., Lee, M. J., Patrick, D. M. and Himsforth, C. G. (2019). Rats About Town: A Systematic Review of Rat Movement in Urban Ecosystems. *Front. Ecol. Evol.* 7:13.

Byers, K. A., Booker, T. R., Combs, M., Himsforth, C. G., Munshi-South, J., Patrick, D. M., & Whitlock, M. C. (2021). Using genetic relatedness to understand heterogeneous distributions of urban rat-associated pathogens. *Evolutionary applications*, 14(1), pp. 198-209.

Cagnacci, F., Boitani, L., Powell, R. A., & Boyce, M. S. (2010). Animal ecology meets GPS-based radiotelemetry: a perfect storm of opportunities and challenges. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*; 365(1550):2157-62.

Capizzi, D., Bertolino, S., and Mortelliti, A. (2014). Rating the rat: global patterns and research priorities in impacts and management of rodent pests. *Mammal Review* 44, pp. 148–162.

Caro, A. (2012). *Modelización Geoestadística para la predicción de actividad de 137Cs en el suelo* (Doctoral dissertation, Tesis Doctoral. Ed. Universidad Autónoma de Madrid).

Catford, J. A., Jansson, R., & Nilsson, C. (2009). Reducing redundancy in invasion ecology by integrating hypotheses into a single theoretical framework. *Diversity and distributions*, 15(1), pp. 22-40.

Cavia, R., Cueto, G. R., Suárez, O. V. (2009) Changes in rodent communities according to the landscape structure in an urban ecosystem. *Landsc Urban Plan* 90: pp. 11–19.

Childs, J. E., McLafferty, S. L., Sadek, R., Miller, G. L., Khan, A. S., DuPree, E. R., Advani, R., Glass, G. E. (1998). Epidemiology of rodent bites and prediction of rat infestation in New York City. *Am J Epidemiol* 148: pp. 78–87.

Clapperton, B. K. (2006). *A review of the current knowledge of rodent behaviour in relation to control devices* (Vol. 263). Science & Technical Pub., Department of Conservation.

Clark, D. B., Feddersen, F., & Guza, R. T. (2010). Cross-shore surfzone tracer dispersion in an alongshore current. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 115(C10).

Clinton, J. M. (1969). Rats in urban America. *Public Health Reports*, 84(1), 1.

Combs, M., Byers, K. A., Gherzi, B. M., Blum, M. J., Caccone, A., Costa, F., et al. (2018a). Urban rat races: spatial population genomics of brown rats (*Rattus norvegicus*) compared across multiple cities. *Proc. R. Soc. B*. 285:20180245.

Combs, M., Puckett, E. E., Richardson, J., Mims, D., Munshi-South, J. (2018). Spatial population genomics of the brown rat (*Rattus norvegicus*) in New York City. *Mol Ecol* 27: pp.83–98.

Colvin, B. A., Swift, T. B., and Fothergill, F. E. (1998). Control of Norway rats in sewer and utility systems using pulsed baiting methods, in *Proceedings of the Eighteenth Vertebrate Pest Conference* (Davis, CA), pp. 247–253.

Colvin, B. A., and Jackson, W. B. (1999). Urban rodent control programs for the 21st century, in *Ecologically-Based Rodent Management*, eds G. R. Singleton, H. Liers, and Z. Zhang (Canberra, ACT: Australian Centre for International Agricultural Research), pp. 243–257.

Costa, F., Hagan, J. E., Calcagno, J., Kane, M., Torgerson, P., Martinez-Silveira, M. S., & Ko, A. I. (2015). Global morbidity and mortality of leptospirosis: a systematic review. *PLoS neglected tropical diseases*, 9(9).

Creel, R. H. (1915). The migratory habits of rats: with special reference to the spread of plague. *Public Health Reports (1896-1970)*, pp. 1679-1685.

Daniels, T. (1999). *When city and country collide: Managing growth in the metropolitan fringe*. Island Press.

Daszak, P., Cunningham, A. A., & Hyatt, A. D. (2000). Emerging infectious diseases of wildlife--threats to biodiversity and human health. *science*, 287(5452), pp. 443-449.

Delgado Viñas, Carmen (2016). Pensar las ciudades desde la Geografía, en Vera, J. Fernando; Olcina, Jorge; Hernández, María (eds.). Paisaje, cultura territorial y vivencia de la Geografía. Libro homenaje al profesor Alfredo Morales Gil. San Vicente del Raspeig: Publicaciones de la Universidad de Alicante, 2016, pp. 481-506.

Diggle, P. J. (2006). Spatio-temporal point processes, partial likelihood, foot and mouth disease. *Statistical Methods for Medical Research*; 15(4): pp. 325-336.

Davis, D. E., Emlen, J. T., and Stokes, A. W. (1948). Studies on home range in the brown rat. *J. Mammal.* 29, pp. 207–225.

Davis, D. E., Emlen, J. T., Stokes, A. W. (1948). Studies on home range in the brown rat. *J Mammal* 29: pp. 207–225.

Davis, D. E. (1953) The characteristics of rat populations. *Q Rev Biol* 28: pp. 373–401.

Dixon, D., Alison, R., Bach, U., Colman, K., Foley, G. L., Harleman, J. H. & Yoshida, M. (2014). Nonproliferative and proliferative lesions of the rat and mouse female reproductive system. *Journal of toxicologic pathology*, 27(3-4 Suppl), 1S.

Diuk-Wasser, M. A., Brown, H. E., Andreadis, T. G., & Fish, D. (2006). Modeling the spatial distribution of mosquito vectors for West Nile virus in Connecticut, USA. *Vector-Borne & Zoonotic Diseases*, 6(3), pp. 283-295.

Easterbrook, J. D., Shields, T., Klein, S. L., & Glass, G. E. (2005). Norway rat population in Baltimore, Maryland, 2004. *Vector-Borne & Zoonotic Diseases*, 5(3), pp. 296-299.

Efford, M. G., Dawson, D. K., Robbins, C. (2004) DENSITY: software for analysing capture–recapture data from passive detector arrays. *Anim Biodivers Conserv* 27: pp. 217–228.

Elnaiem, D. E. A., Schorscher, J., Bendall, A., Obsomer, V., Osman, M. E., Mekkawi, A. M., ... & Thomson, M. C. (2003). Risk mapping of visceral leishmaniasis: the role of local variation in rainfall and altitude on the presence and incidence of kala-azar in eastern Sudan. *The American journal of tropical medicine and hygiene*, 68(1), pp. 10-17.

Emlen, J., Stokes, A., Davis, D. (1949). Methods for estimating populations of brown rats in urban habitats. *Ecology* 30: pp. 430–442.

Fardell, L. L., Pavey, C. R., & Dickman, C. R. (2020). Fear and stressing in predator–prey ecology: considering the twin stressors of predators and people on mammals. *PeerJ*, 8, e9104.

Feng, A. Y. T., and Himsworth, C. G. (2014). The secret life of the city rat: a review of the ecology of urban Norway and black rats (*Rattus norvegicus* and *Rattus rattus*). *Urban Ecosystems* 17, pp. 149–162.

Fernández Güell, J. M. (2015). Ciudades inteligentes: la mitificación de las nuevas tecnologías como respuesta a los retos de las ciudades contemporáneas. *Economía industrial*, (395), pp. 17-28.

Flórez, A. & Correa, J. (2015). Una propuesta metodológica para elicitar el vector de parámetros  $\pi$  de la distribución Multinomial. *Comunicaciones en Estadística* 8, pp. 81–97.

Franssen F, Swart A, van Knapen F, van der Giessen J (2016). Helminth parasites in black rats (*Rattus rattus*) and brown rats (*Rattus norvegicus*) from different environments in the Netherlands. *Infect Ecol Epidemiol* 6.

Frantz, S. C., & Comings, J. P. (1976). Evaluation of urban rodent infestations-an approach in Nepal. In *Proceedings of the Vertebrate Pest Conference* (Vol. 7, No. 7).

Fusi Aizpurúa, J. P. (1989). *España, autonomías*. Espasa Calpe.

Gaertner, M., Wilson, J. R., Cadotte, M. W., MacIvor, J. S., Zenni, R. D., & Richardson, D. M. (2017). Non-native species in urban environments: patterns, processes, impacts and challenges. García Ballesteros, A. –coord.– (1995): La ciudad, objeto de estudio pluridisciplinar. Oikos-Tau, Barcelona.

Gardner-Santana L. C., Norris D. E., Fornadel C. M., Hinson E. R, Klein S. L., Glass G. E. (2009). Commensal ecology, urban landscapes, and their influence on the genetic characteristics of city-dwelling Norway rats (*Rattus norvegicus*). *Mol Ecol* 18: pp. 2766–2778.

Glass, G. E., Childs, J. E., Korch, G. W., & LeDuc, J. W. (1988). Association of intraspecific wounding with hantaviral infection in wild rats (*Rattus norvegicus*). *Epidemiology & Infection*, 101(2), pp. 459-472.

Glass GE, Gardner-Santana LC, Holt RD, Chen J, Shields TM, Roy M, Schachterle S, Klein SL (2009) Trophic garnishes: cat-rat interactions in an urban environment. *PLoS One* 4:e5794.

Glass, G. E., Klein, S. L., Norris, D. E., & Gardner, L. C. (2016). Multiple paternity in urban Norway rats: extended ranging for mates. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, 16(5), pp. 342-348.

Grimm, N.B, S.H. Faeth, C.L. Redman, J. Wu, X. Bai, J. Briggs and N.E. Golubiewski. (2008): Global change and the ecology of cities. *Science* 319(5864): pp.756-760.

Guillot, G., Leblois, R., Coulon, A., & Frantz, A. C. (2009). Statistical methods in spatial genetics. *Molecular Ecology*, 18(23), pp. 4734-4756.

Hahs, A.K., McDonnell, M.J. (2007). Composition of the plant community in remnant patches of grassy woodland along an urban–rural gradient in Melbourne, Australia. *Urban Ecosyst* 10, pp. 355–377.

Harris, R. J., & Reed, J. M. (2002, January). Behavioral barriers to non-migratory movements of birds. In *Annales Zoologici Fennici* (pp. 275-290). Finnish Zoological and Botanical Publishing Board.

Hassell, J. M., Begon, M., Ward, M. J., & Fèvre, E. M. (2017). Urbanization and disease emergence: dynamics at the wildlife–livestock–human interface. *Trends in ecology & evolution*, 32(1), pp. 55-67.

Hengl, T. (2009). A practical guide to geostatistical mapping. University of Amsterdam (book).

Hill, N.J., Carbery, K. A., Deane, E. M. (2007). Human–Possum Conflict in Urban Sydney, Australia: Public Perceptions and Implications for Species Management. *Human Dimensions of Wildlife*, 12:2, pp. 101-113.

Himsworth C. G., Parsons K. L., Jardine C., Patrick D. M. (2013b). Rats, cities, people, and pathogens: a systematic review and narrative synthesis of literature regarding the ecology of rat-associated zoonoses in urban centers. *Vector Borne Zoonotic Dis* 13: pp. 349–359.

Himsworth C. G., Feng A. Y. T., Parsons K., Kerr T., Patrick D. M. (2012). Using experiential knowledge to understand urban rat ecology: A survey of Canadian pest control professionals. *Urban Ecosystems*.

Himsworth, C. G., Parsons, K. L., Feng, A. Y. T., Kerr, T., Jardine, C. M., and Patrick, D. M. (2014a). A mixed methods approach to exploring the relationship between Norway rat (*Rattus norvegicus*) abundance and features of the urban environment in an inner-city neighborhood of Vancouver, Canada.

Hulme-Beaman, A., Dobney, K., Cucchi, T., Searle, J. (2016). An Ecological and Evolutionary Framework for Commensalism in Anthropogenic Environments. *Trends in Ecology & Evolution*.

Inglis, I. R., Shepherd, D. S., Smith, P., Haynes, P. J., Bull, D. S., Cowan, D. P., & Whitehead, D. (1996). Foraging behaviour of wild rats (*Rattus norvegicus*) towards new foods and bait containers. *Applied Animal Behaviour Science*, 47(3-4), pp. 175-190.

Knol A. B., Slottje P., Van der Sluijs J. P., Lebrecht E. (2010). The use of expert elicitation in environmental health impact assessment: a seven step procedure. *Environmental Health*; 9: p. 19.

Langton, J. (2007). Rat: How the World's Most Notorious Rodent Clawed Its Way to the Top. *Macmillan*.

Lee, J. E., & Chown, S. L. (2009). Breaching the dispersal barrier to invasion: quantification and management. *Ecological Applications*, 19(7), pp. 1944-1959.

Lockwood, J. L., Cassey, P., and Blackburn, T. M. (2005). The role of propagule pressure in explaining species invasions. *Trends in Ecology & Evolution* 20, pp. 223–228.

Macdonald, D. W., Mathews, F., Berdoy, M. (1999). The behaviour and ecology of *Rattus norvegicus*: from opportunism to kamikaze tendencies. *Acian Monogr* 59: pp. 49–80.

Mangombi, J. B., Brouat, C., Loiseau, A., Banga, O., Leroy, E. M., Bourgarel, M., & Duplantier, J. M. (2016). Urban population genetics of the invasive black rats in Franceville, Gabon. *Journal of Zoology*, 299(3), pp. 183-190.

Margulis, H. L. (1977). Rat fields, neighborhood sanitation, and rat complaints in Newark, New Jersey. *Geographical Review*, 67(2), pp. 221-231.

Marsh, R. E. (1994). Roof rats. The handbook: prevention and control of wildlife damage. Paper 6.

Masi, E., Pino, F. A., Maria das Graças, S. S., Genehr, L., Albuquerque, J. O. M., Bancher, A. M., & Alves, J. C. M. (2010). Socioeconomic and environmental risk factors for urban rodent infestation in Sao Paulo, Brazil. *Journal of Pest Science*, 83(3), pp. 231-241.

McDonnell, M. J., and Hahs, A. K. (2008). The use of gradient analysis studies in advancing our understanding of the ecology of urbanizing landscapes: current status and future directions. *Landscape Ecology* 23, pp. 1143–1155.

McGuire, B., Pizzuto, T., Bemis, W. E., & Getz, L. L. (2006). General ecology of a rural population of Norway rats (*Rattus norvegicus*) based on intensive live trapping. *The American midland naturalist*, 155(1), pp. 221-236.

Meerburg, B. G., Singleton, G. R., and Kijlstra, A. (2009). Rodentborne diseases and their risks for public health. *Critical Reviews in Microbiology* 35, pp. 221–270.

Mills, A. (2010). Implications of wide-area geographic diversity for short-term variability of solar power. *IEEE Power & Energy Society General Meeting* in Detroit, Michigan.

Miyashita, T., Shinkai, A., Chida, T. (1998). The effects of forest fragmentation on web spider communities in urban areas. *Biological Conservation*, Volume 86, Issue 3, pp. 357-364.

Molina, C. A. (1998). Priego de Córdoba: Epidemias de peste y medicina barroca en el s. XVII. *Legajos: cuadernos de investigación archivística y gestión documental*, (1), pp. 19-26.

Moncayo, A. C., Edman, J. D., & Finn, J. T. (2000). Application of geographic information technology in determining risk of eastern equine encephalomyelitis virus transmission. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 16(1), pp. 28-35.

Moral García, F. (2004). Aplicación de la geoestadística en las ciencias ambientales. *Ecosistemas*, 13(1).

Moreira, Ruy (2017). Qué es la geografía. La Paz: Vicepresidencia del Estado Plurinacional de Bolivia/Centro de Investigaciones Sociales.

Moreno, J., Oltra, M. T., Falcó, J. V., Jiménez, R. (2007). El control de plagas en ambientes urbanos: criterios básicos para un diseño racional de los programas de control. *Revista Española de Salud Pública*, pp. 81.

Nagorsen, D. W. (2005). *The Mammals of British Columbia Volume 4: Rodents & lagomorphs of British Columbia*. Royal BC Museum Handbook. Royal BC Museum. *Victoria*.

Nowak, R. M., & Walker, E. P. (1999). *Walker's Mammals of the World* (Vol. 1). JHU press.

Parsons, M. H., Sarno R. J., Deutsch M. A. (2016). A detailed protocol to enable safe-handling, preemptive detection, and systematic surveillance of rat-vectored pathogens in the urban environment. *Front Public Health* 4(132).

Parsons, M. H., Banks, P. B., Deutsch, M. A., Corrigan, R. F., and MunshiSouth, J. (2017). Trends in urban rat ecology: a framework to define the prevailing knowledge gaps and incentives for academia, pest management professionals (PMPs) and public health agencies to participate. *J. Urban Ecol.* 3, pp. 1–8.

Parsons, M. H., Banks, P. B., Deutsch, M. A., Corrigan, R. F., Munshi-South, J. (2017). Trends in urban rat ecology: a framework to define the prevailing knowledge gaps and incentives for academia, pest management professionals (PMPs) and public health agencies to participate. *Journal of Urban Ecology* 3.

Patergnani, M., Mughini Gras, L., Poglayen, G., Gelli, A., Pasqualucci, F., Farina, M., and Stancampiano, L. (2010). Environmental influence on urban rodent bait consumption. *Journal of Pest Science* 83, pp. 347–359.

Pelz, H. J., Rost, S., Hünerberg, M., Fregin, A., Heiberg, A. C., Baert, K., and Müller, C. R. (2005). The genetic basis of resistance to anticoagulants in rodents. *Genetics* 170, pp. 1839–1847.

Perry, J. S. (1945). The Reproduction of the Wild Brown Rat (*Rattus norvegicus* Erxleben). In *Proceedings of the Zoological Society of London* (Vol. 115, No. Pts I & II, pp. 19-46).

Perry, R. D., & Fetherston, J. D. (1997). *Yersinia pestis*--etiologic agent of plague. *Clinical microbiology reviews*, 10(1), pp. 35-66.

Pollock, K. H. (1981). Capture–recapture models: a review of current methods, assumptions and experimental design. *Stud Avian Biol* 6: pp. 426–435.

Promkerd, P., Khoprasert, Y., Virathavone, P., Thoummabouth, M., Sirisak, O., & Jaekel, T. (2008). Factors explaining the abundance of rodents in the city of Luang Prabang, Lao PDR, as revealed by field and household surveys. *Integrative Zoology*, 3(1), pp. 11-20.

- Puckett, E. E., Park, J., Combs, M., Blum, M. J., Bryant, J. E., Caccone, A., & Munshi-South, J. (2016). Global population divergence and admixture of the brown rat (*Rattus norvegicus*). *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 283(1841).
- Radeloff, V. C., Hammer, R. B., & Stewart, S. I. (2005). Rural and suburban sprawl in the US Midwest from 1940 to 2000 and its relation to forest fragmentation. *Conservation biology*, 19(3), pp. 793-805.
- Ripley, B. D. (1977). Modelling spatial patterns. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B* 30: pp. 172-192.
- Ries, L., Fletcher, R. J. Jr, Battin, J., and Sisk, T. D. (2004). Ecological responses to habitat edges: mechanisms, models, and variability Impacts of commensal black rats explained. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics* 35, pp. 491–522.
- Rodríguez-Posada, M. E. (2019). Cave use by the Broad-footed Climbing Rat *Rhipidomys latimanus* (Tomes, 1860) in Santander, Colombia. *Mammalogy Notes*, 5(1-2), pp. 26-28.
- Roshier, D. A., Doerr, V. A., & Doerr, E. D. (2008). Animal movement in dynamic landscapes: interaction between behavioural strategies and resource distributions. *Oecologia*, 156(2), pp. 465-477.
- Ruiz Sánchez, Francisco Javier (2019). Sistemas de información ambiental (bases de datos georreferenciadas y aplicaciones SIG): herramientas para la gestión y control de plagas de importancia en salud pública. Mapas de riesgo potencial. *Revista de Salud Ambiental*, 19, pp. 8-63.
- Russell, J. C., McMorland, A. J., & MacKay, J. W. (2010). Exploratory behaviour of colonizing rats in novel environments. *Animal Behaviour*, 79(1), pp. 159-164.
- Russell, J. C., and Ruffino, L. (2012). The influence of spatio-temporal resource fluctuations on insular rat population dynamics. *Proceedings. Biological Sciences*, 279, pp. 767–774.
- Sabel, C. (2006). Kernel Density Estimation as a Spatial-Temporal Data Mining Tool: Exploring Road Traffic Accident Trends, GISRUK 2006, University of Nottingham.
- Sacchi, R., Gentilli, A., Pilon, N., Bernini, F. (2008). GIS-modelling the distribution of *Rattus norvegicus* in urban areas using non toxic attractive baits. *Hystrix It J Mammal* 19: pp. 13–22.
- Salo, P., Korpimäki, E., Banks, P., Nordström, M., Dickman, C. (2007). Predators are more dangerous than native predators to prey populations. *Proc. R. Soc. B*.274, pp. 1237–1243.
- Saul, A. M. (2013). Aliens replacing natives: are black rats effective substitutes for extinct native mammalian pollinators? Honours Thesis, The University of Sydney.

Silverman, B. W. (1986). *Density Estimation for Statistics and Data Analysis*. New York: Chapman and Hall.

Singleton G. R., Leirs, H., Hinds, L. A., Zhang, Z. (1999). Ecologically based management of rodent pests—Re-evaluating our approach to an old problem. In: Singleton GR, Leirs H, Hinds LA, Zhang Z (eds) *Ecologically based management of rodent pests*. ACIAR, Canberra, pp. 17–31.

Stragier, C., Piry, S., Loiseau, A., Kane, M., Sow, A., Niang, Y & Berthier, K. (2019). Impact of historical and current features of the cityscape on the genetic structure of the house mouse (*Mus musculus domesticus*) in Dakar (Senegal, West Africa). *bioRxiv*.

Tamayo Uría, Ibon (2013). *Análisis espacio-temporal de plagas urbanas*. (Tesis doctoral). Universidad de Alcalá de Henares, Alcalá de Henares.

Tamayo Uría, I., Cámara, J. M., Escobar, F. J. (2013). Identificación y cartografiado de factores de riesgo en la proliferación de rata de alcantarilla (*Rattus norvegicus*) en medio urbano. *Rev salud ambient*. 2013;13(2): pp. 148-157.

Tamayo-Uria, I., Mateu, J., & Diggle, P. J. (2014). Modelling of the spatio-temporal distribution of rat sightings in an urban environment. *Spatial Statistics*, 9, pp. 192-206.

Tamayo-Uria, I., Mateu, J., Escobar, F., & Mughini-Gras, L. (2014). Risk factors and spatial distribution of urban rat infestations. *Journal of Pest Science*, 87(1), pp. 107-115.

Takahashi, L. K., Lore, R. K. (1980). Foraging and food hoarding of wild *Rattus norvegicus* in an urban environment. *Behav Neural Biol* 29: pp. 527–531.

Taylor, K. D. (1978). Range of movement and activity of common rats (*Rattus norvegicus*) on agricultural land. *Journal of Applied Ecology*, pp. 663-677.

Terán, M. de (1966): «La ciudad como forma de ocupación del suelo y de organización del espacio» en *Revista de Estudios de Administración Local*, num. 146, pp. 161-177.

Threlfall, C. G., Law, B. S., and Banks, P. B. (2012). Sensitivity of insectivorous bats to urbanization: implications for suburban conservation planning. *Biological Conservation* 146, pp. 41–52.

Towns, D. R., Atkinson, I. A., & Daugherty, C. H. (2006). Have the harmful effects of introduced rats on islands been exaggerated?. *Biological invasions*, 8(4), pp. 863-891.

Traweger, D., Travnitzky, R., Moser, C. (2006). Habitat preferences and distribution of the brown rat (*Rattus norvegicus* Berk.) in the city of Salzburg (Austria): implications for an urban rat management. *Journal of Pest Science*; pp. 79: pp. 113-125.

Traweger, D., and Slotta-Bachmayr, L. (2005). Introducing GIS-modelling into the management of a brown rat (*Rattus norvegicus* Berk.) (Mamm. Rodentia Muridae) population in an urban habitat. *J. Pest Sci.* 78, pp. 17–24.

Vadell, M. V., Cavia, R., & Suarez, O. V. (2010). Abundance, age structure and reproductive patterns of *Rattus norvegicus* and *Mus musculus* in two areas of the city of Buenos Aires. *International Journal of Pest Management*, 56(4), pp. 327-336.

Vickery, W. L., Bider, J. R. (1981). The influence of weather on rodent activity. *Journal of Mammalogy*; 62: pp. 140-145.

Vitousek, P. M., D'Antonio, C. M., Loope, L. L., and Westbrooks, R. (1996). Biological invasions as global environmental change. *American Scientist* 84, pp. 468–478.

Weerakoon, M. (2011). *The movements of black rats across the urbanbushland interface: a study using rhodamine B* (Doctoral dissertation, MPhil Thesis, University of New South Wales, Sydney).

Whishaw, I. Q., & Whishaw, G. E. (1996). Conspecific aggression influences food carrying: studies on a wild population of *Rattus norvegicus*. *Aggressive Behavior: Official Journal of the International Society for Research on Aggression*, 22(1), pp. 47-66.

Wilson, D. E., & Reeder, D. M. (Eds.). (2005). *Mammal species of the world: a taxonomic and geographic reference* (Vol. 1). JHU Press.

Wright, S. (1943). Isolation by distance. *Genetics*, 28(2), p. 114.

Wundram, I., & Ruback, R. (1986). Urban rats: symbol symptom and symbiosis. *Human Organization*, 45(3), pp. 212-219.

Yahner, R. H. (2001). *Fascinating mammals*. University of Pittsburgh Press.

Yahner, R. H. (2012). Habitat selection. In *Wildlife Behavior and Conservation* (pp. 65-75). Springer, New York, NY.

Yáñez, J. M. C., & González, J. Á. T. (Eds.). (2005). *Sistemas de información medioambiental*. Netbiblo.

Ziporyn, T., & McClintock, M. K. (1991). Passing as an indicator of social dominance among female wild and domestic Norway rats. *Behaviour*, 118(1-2), pp. 26-41.

## ANEXO

Figura 1: Ley de Ordenación de la Edificación (LOE) y el Código Técnico de Edificación (CTE). Texto de Jurado, 2021.

### **Edificios posteriores a la LOE con menos de 10 años de antigüedad**

Son edificios que están todavía en periodo de **vigencia de la responsabilidad decenal** por parte de todos los agentes que intervinieron en su ejecución.

Aunque no en su totalidad, estos edificios cuentan aún con **garantías no vencidas** de fabricantes e instaladores sobre el funcionamiento de sus instalaciones y equipos.

Por ser posteriores a la Ley de Ordenación de la Edificación (Ley 38/1999), **cuentan con un Libro del Edificio** donde se incluyen unas Normas de Mantenimiento y un Calendario de Mantenimiento (aunque tengan que ser actualizadas si presentan discordancia con la realidad del edificio construido).

En su gran mayoría, seguirán estando **vigentes las normativas técnicas** que hubo que cumplir en la fecha de su construcción.

Sus soluciones constructivas en general, siguen teniendo vigencia y en caso de reparación o sustitución de sus elementos, en el mercado seguirán siendo comercializados **productos iguales** o al menos de la misma clase.

En caso de falta de conservación por ignorancia o desinterés, es más previsible por el corto tiempo transcurrido, la manifestación en estos edificios de lesiones constructivas con **efectos no graves**.

### **Edificios posteriores a la LOE con más de 10 años de antigüedad**

Son edificios en los que ya **ha vencido el periodo de responsabilidad decenal** por parte de todos los agentes que intervinieron en su ejecución.

Estos edificios **ya no cuentan con garantías** sobre el funcionamiento de sus instalaciones y equipos.

Por ser posteriores a la Ley de Ordenación de la Edificación (Ley 38/1999), cuentan con un **Libro del Edificio** donde se incluyen unas Normas de Mantenimiento y un Calendario de Mantenimiento (aunque tengan que ser actualizadas si presentan discordancia con la realidad del edificio construido).

Las normativas de obligada aplicación con la que en su día se levantaron en su gran mayoría han dejado de estar vigentes y **se han sustituido** por otras nuevas.

Sus soluciones constructivas han perdido vigencia y en caso de reparación o sustitución de elementos pueden **no seguir estando en el mercado** productos con las mismas propiedades o características.

En caso de falta de conservación por ignorancia o desinterés, es más previsible por el tiempo transcurrido, la manifestación de lesiones constructivas en un primer estadio con **evolución hacia efectos graves**.

### **Edificios anteriores a la LOE**

Son edificios en los al menos hace una década que **venció el periodo de responsabilidad decenal** por parte de todos los agentes que intervinieron en su ejecución.

Tampoco y por un tiempo de más de una década, **carecen de garantías** sobre el funcionamiento de sus instalaciones y equipos.

Por ser anteriores a la Ley de Ordenación de la Edificación (Ley 38/1999), **no cuentan** con un instrumento imprescindible para su conservación como es un Libro del Edificio que incluya unas Normas de Mantenimiento y un Calendario de Mantenimiento.

Todas las normativas de obligada aplicación con la que en su día se levantaron **han dejado de estar vigentes** y se han sustituido por otras nuevas.

Sus soluciones constructivas han quedado en gran medida obsoletas y en caso de reparación o sustitución de elementos hay que buscar en el mercado **productos alternativos**.

En caso de falta de conservación por ignorancia o desinterés, es más previsible por el largo tiempo transcurrido, la manifestación de lesiones constructivas susceptibles de **evolucionar hacia efectos graves**.

Por tanto, tal y como indica el experto, un edificio se clasifica según su antigüedad respecto a la LOE, determinando así su nivel de vulnerabilidad. Por ende, siguiendo su clasificación en tres tipos, se han estimado tres escalas de riesgo de proliferación de rata:

- Edificios posteriores a la LOE con menos de 10 años de antigüedad: riesgo bajo.
- Edificios posteriores a la LOE con más de 10 años de antigüedad: riesgo medio.
- Edificios anteriores a la LOE: riesgo alto.

Figura 2: Tabla de aparición de especies vegetales. Conteo, relación entre ellas y porcentajes.

ESPECIE	NOMBRE CIENTIFICO	TOTAL APARICIONES	AP_DOM1	%AP_DOM1	AP_DOM2	%AP_DOM2	AP_DOM3	%AP_DOM3	SUM_X	CEDERO DEL ATLAS	ALAIANTO	ALIGUSTRE DEL JAPON
1	CEDERO ATLASLORRON	10	1	2%	5	10%	4	10%	17%	CEDERO DEL ATLAS	ALAIANTO	ALIGUSTRE DEL JAPON
2	CEDERO ATLASLORRON	1	0	0%	1	2%	0	0%	1%	PALMERA	MORERA DE PAPEL	OLMO DE SIBERIA
3	ALAIANTO	20	7	13%	10	20%	3	8%	13%	OLMO DE SIBERIA	FALSA ACACIA	
4	ALIGUSTRE DEL JAPON	36	22	40%	10	20%	4	10%	23%	OLMO DE SIBERIA	ALIGUSTRE DEL JAPON	ALMEZ
5	OLMO DE SIBERIA	8	1	2%	5	10%	2	5%	8%	PLATANO AMERICANO	HEDERA	SAUCO
6	FALSA ACACIA	2	2	4%	0	0%	0	0%	1%	PINO PIÑONERO	ALIGUSTRE DEL JAPON	
7	PLATANO AMERICANO	10	2	4%	5	10%	3	8%	7%	ALIGUSTRE DEL JAPON	ALIGUSTRE DEL JAPON	
8	ALMEZ	22	13	24%	4	8%	5	13%	15%	ALIGUSTRE DEL JAPON	MORERA BLANCA	OLMO DE SIBERIA
9	PINO PIÑONERO	4	2	4%	2	4%	0	0%	3%	MORERA BLANCA	ACACIA DEL JAPON	CASTAÑO DE INDIAS
10	HEDERA	2	0	0%	0	0%	2	5%	2%	ACACIA DEL JAPON	PLATANO DE SOMBRA	
11	SAUCO	16	10	18%	3	6%	3	8%	11%	MORERA BLANCA	PINSAPO	ACACIA DEL JAPON
12	ACACIA DEL JAPON	6	4	7%	2	4%	0	0%	4%	PINO PIÑONERO	CIPRES	FRESNO
13	MORERA BLANCA	1	0	0%	1	2%	0	0%	1%	PINO PIÑONERO	CIRUELO PURPURA	ARCE
14	PINSAPO	1	1	2%	0	0%	0	0%	1%	OLMO DE SIBERIA	PINO PIÑONERO	ALMENDRO
15	PLATANO ORIENTAL	3	3	5%	0	0%	0	0%	2%	OLMO DE SIBERIA		
16	CATALPA	17	2	4%	5	10%	10	25%	13%	MORERA BLANCA		
17	CIRUELO ROJO Y PURPURA	11	3	5%	3	6%	5	13%	8%			
18	PLATANO DE SOMBRA	3	2	4%	1	2%	0	0%	2%			
19	MORERA DE PAPEL	3	2	4%	1	2%	0	0%	3%			
20	ARBOL DEL AMOR	4	1	2%	3	6%	0	0%	3%			
21	CINAMOMO	2	0	0%	1	2%	1	3%	1%			
22	ALAMO PLATEADO/ALAMO B	8	2	4%	5	10%	1	3%	5%			
23	CIPRES DE ARIZONA	8	0	0%	6	12%	2	5%	8%			
24	MATORRAL	3	0	0%	2	4%	1	3%	2%			
25	CASTAÑO DE INDIAS	6	4	7%	0	0%	2	5%	4%			
26	ACACIA DE CONSTANTINOPLA	2	0	0%	0	0%	2	5%	2%			
27	OLMO NO SIBERIA	5	1	2%	0	0%	4	10%	4%			
28	PERAL	4	2	4%	1	2%	1	3%	3%			
29	PALMERA DATILERA	4	2	4%	1	2%	1	3%	3%			
30	OLIVO	1	1	2%	0	0%	0	0%	1%			
31	ARCE NEGUNDO	2	0	0%	2	4%	0	0%	1%			
32	FALSO PLATANO	2	2	4%	0	0%	0	0%	1%			
33	MAGNOLIO	3	2	4%	1	2%	0	0%	2%			
34	ARCE CAMPESTRE	4	1	2%	2	4%	1	3%	3%			
35	PINO CARRASCO	3	2	4%	0	0%	1	3%	2%			
36	FRESNO	4	0	0%	1	2%	3	8%	3%			
37	LIQUIDAMBAR	3	0	0%	1	2%	2	5%	2%			
38	CEREZO	1	1	2%	0	0%	0	0%	1%			
39	ALMENDRO	2	0	0%	0	0%	2	5%	2%			
40	DRACENA	2	0	0%	0	0%	2	5%	2%			
41	LAUREL	2	0	0%	0	0%	2	5%	1%			
42	TOTAL APARICIONES	248	0	0%	2	4%	0	0%	1%	PINO PIÑONERO	CEDERO LLORON	

Figura 3: Esquema de la gestión de avisos de la UTCV (Tamayo, 2013).

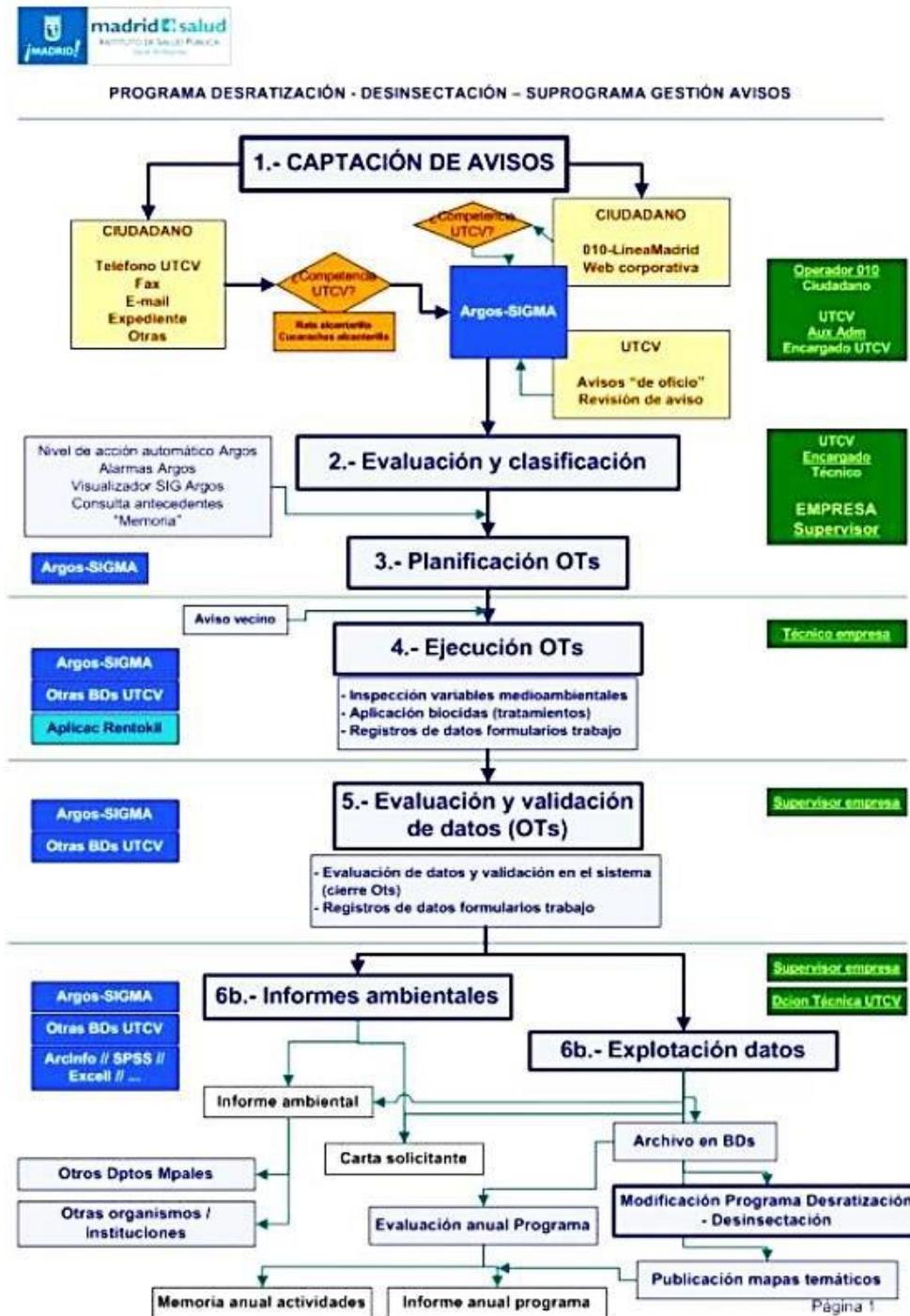


Figura 4: Tabla de las fuentes de datos de cada factor. Elaboración propia.

CATEGORÍA	FACTOR DE RIESGO	CÓMO SE HA OBTENIDO
MEDIO AMBIENTE	FUENTES DE AGUA	Datos abiertos Ayto. Madrid
	TAMAÑO DEL ESPACIO VERDE	Medición del terreno a través de visor Google Earth
	ESPECIE VEGETAL DOMINANTE	Análisis de especies a través de visor “Un alcorque, un árbol” del Ayto. de Madrid/trabajo de campo, y creación propia de tablas estadísticas (ver Anexo I, tabla x)
	DISTANCIA A ZONA VERDE	Medición del terreno a través de visor Google Earth
EDIFICACIÓN	CERCANÍA A FOCO DE ALIMENTACIÓN	Medición del terreno a través de visor Google Earth
	CONTENEDORES DE BASURA	Datos abiertos Ayto. Madrid
	USO DEL EDIFICIO	Consulta del catastro
	ANTIGÜEDAD DEL EDIFICIO	Consulta del catastro
SOCIOECONÓMICO	DENSIDAD DE POBLACIÓN	Consulta de INE: comparativa barrio y media municipal
	RENTA PER CÁPITA	Consulta de INE: comparativa barrio y media municipal

Figura 5: Base de datos definitiva. Elaboración propia.

- Parte verde: datos de los factores de riesgo.
- Parte naranja: valores finales.
- Parte azul: información geográfica\*

\* Se ha decidido ocultar información relativa a la ubicación exacta de los avisos por tratarse de información sensible.

R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD
3	3	3	1	1	1	RENTA	ESP_VEG_DOM	LOR_ESP_VEG_DV	FUENTES:AGUA	CONTENEDORES	VALOR_POND	VALOR_POND_BASE0
3	3	3	3	3	3	1	CEDRO	2	3	1	2,03	6,77
3	3	3	3	3	1	1	OLMO	3	1	2	2,72	9,07
3	3	3	3	3	2	2	ENCINA	1	3	1	2,56	8,53
3	3	3	1	3	3	2	PALMERA	3	3	3	2,66	8,87
3	3	3	3	2	2	2	TILO	2	1	3	2,59	8,63
3	3	3	1	2	1	1	PALMERA	3	3	1	2,06	6,87
3	3	2	3	2	3	2	SETO VALLADO	3	1	2	2,72	9,07
3	3	2	1	1	1	1	PIMO CARRASCO	3	3	1	2,06	6,87
3	3	2	3	1	1	1	ACACIA	3	3	1	2,36	7,87
3	3	2	3	3	3	2	SETO VALLADO	3	2	2	2,84	9,47
3	3	2	1	1	1	1	CEDRO	2	3	1	1,91	6,37
2	3	2	3	2	2	2	PIMO	3	1	3	2,5	8,33
2	3	2	3	2	2	2	PIMO	3	3	3	2,5	8,33
3	3	3	3	2	3	2	PIMO PIÑONERO	3	1	2	2,6	8,67
2	3	2	3	2	2	2	CATALPA	2	1	2	2,35	7,83
2	3	2	2	2	2	2	PIMO	3	1	3	2,5	8,33
1	3	2	3	2	2	3	PALMERA	2	2	2	2,32	7,73
1	3	3	3	2	2	2	CATALPA	2	1	2	2,35	7,83
1	3	3	3	2	2	2	CATALPA	2	2	2	2,35	7,83
1	3	3	3	2	2	2	CEDRO	2	1	2	2,09	6,97
3	3	3	1	1	1	1	ACACIA	3	3	1	1,94	6,47
1	3	2	3	1	1	1	ACACIA	3	3	3	1,96	6,53
3	3	1	2	2	1	1	ACACIA	3	3	3	2,21	7,37
3	3	1	3	2	1	1	ACACIA	3	3	2	2,36	7,87
3	3	1	3	2	1	1	ACACIA	3	3	2	2,36	7,87
2	3	3	3	2	2	2	ACACIA	3	3	1	2,36	7,87
2	3	3	3	2	2	2	PIMO	3	1	3	2,5	8,33
2	3	3	3	3	2	3	OLMO	3	1	3	2,66	8,87
2	3	3	3	3	2	3	CEDRO	2	1	2	2,75	9,17
2	3	3	3	3	1	3	OLMO	3	1	1	2,68	8,93
3	3	3	3	3	2	3	CEDRO	2	1	2	2,75	9,17
3	3	3	3	3	2	3	OLMO DE SIBERIA	3	1	2	2,9	9,67
2	3	2	3	2	2	2	OLMO	3	1	3	2,78	9,27
2	3	2	3	2	2	2	PIMO	3	1	3	2,5	8,33
2	3	2	3	2	2	2	PIMO	3	1	3	2,5	8,33
1	3	3	3	3	1	1	OLMO DE SIBERIA	3	1	3	2,48	8,27
3	3	2	1	1	1	1	PIMO CARRASCO	3	3	2	2,06	6,87
3	3	2	1	1	1	1	PIMO CARRASCO	3	3	2	2,06	6,87
1	3	3	3	2	2	2	PALMERA	3	1	2	2,22	7,4
3	3	3	3	3	3	2	PALMERA	3	1	1	2,66	8,87
3	3	3	1	2	2	1	ACACIA	3	2	1	2,31	7,7
3	3	3	1	2	2	1	MORERA-BLANCA	2	1	1	2,16	7,2
3	3	3	1	2	2	1	MORERA-BLANCA	2	1	2	2,04	6,8
2	3	3	3	1	2	2	ACACIA	3	1	3	2,5	8,33
3	3	3	1	2	2	1	ACACIA	3	2	1	2,31	7,7
3	3	3	1	2	2	1	MORERA-BLANCA	2	2	1	2,16	7,2
3	3	3	1	2	2	1	ASTAÑO DE INDIA	2	1	1	2,01	6,7
3	3	3	1	2	2	3	LMO, ACACIA, ARC	3	3	1	2,56	8,53
1	3	3	3	3	3	3	ARBOL DEL AMOR	2	3	3	2,49	8,3
1	2	2	3	1	1	1	PIMO PIÑONERO	3	1	3	1,92	6,4
3	3	3	1	2	2	1	ACACIA	3	2	1	2,31	7,7
1	3	3	3	2	2	3	ARBOL DEL AMOR	3	3	3	2,49	8,3
1	3	3	3	2	3	2	CEDRO	2	1	3	2,45	8,17
1	3	3	3	1	3	1	MORERA-DE PAPEI	2	1	3	2,05	6,83
2	3	3	1	3	2	2	PIMO	3	1	3	2,5	8,33
1	3	3	3	2	3	2	RUTALES: MISPERC	3	1	3	2,6	8,67
1	3	3	3	1	3	2	MORERA-DE PAPEI	2	2	2	2,05	6,83
1	3	3	3	3	1	1	PIMO PIÑONERO	3	1	2	2,48	8,27
1	3	2	3	3	3	2	PALMERA	3	1	2	2,6	8,67
1	3	1	3	1	3	1	MORERA-DE PAPEI	2	1	2	2,05	6,83
1	3	1	3	2	1	1	RUTALES: MISPERC	3	2	2	2,12	7,07
1	3	1	3	2	1	1	MISPERO	2	2	2	1,97	6,57
1	3	3	3	2	1	2	MORERA-BLANCA	2	2	1	2,25	7,5
1	3	3	3	3	3	2	PIMO PIÑONERO	3	2	2	2,72	9,07

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
ID	VECTOR	AÑO_COMF	MES_COMF	MES_NUM	BAR_NOM-AR_COD_SI	BAR_NOM-AR_COD_SI	DIS_NOM	DIS_COD	CP	VIAL_CATEG	VIAL_NOM	NDP	RAZ_SOC	OBSERV	COORD_X	COORD_Y
1	1	RATA NEGR	2018	ABRIL	4	IL SALVADOR	208	BLAS CAMILL	20	28027	CALLE					
2	2	RATA NEGR	2019	FEBRERO	2	WTA EUGEN	182	A DE VALLE	18	28031	CALLE					
3	3	RATA NEGR	2019	FEBRERO	2	ACACIAS	22	ARGANZUEL	2	28005	PASEO					
4	4	RATA NEGR	2019	ABRIL	4	QUINDALERA	44	SALAMANC	4	28028	CALLE					
5	5	RATA NEGR	2019	ABRIL	4	ACACIAS	22	ARGANZUEL	2	28005	CALLE					
6	6	RATA NEGR	2019	ABRIL	4	DORRALEDO	215	BARAJAS	21	28042	GLORIETA					
7	7	RATA NEGR	2019	ABRIL	4	QUINDALERA	44	SALAMANC	4	28028	AVENIDA					
8	8	RATA NEGR	2019	MAYO	5	SALVADOR	208	SAM BLAS	20	28027	CALLE					
9	9	RATA NEGR	2019	MAYO	5	SA DE CAMI	34	CLOA - ARA	3	28008	CALLE					
10	10	RATA NEGR	2019	JUNIO	6	QUINDALERA	44	SALAMANC	4	28028	AVENIDA					
11	11	RATA NEGR	2019	JUNIO	6	SA DE CAMI	34	CLOA - ARA	3	28008	CALLE					
12	12	RATA NEGR	2019	JULIO	7	SALVADOR	210	SAM BLAS	20	28027	CALLE					
13	13	RATA NEGR	2019	AGOSTO	8	ACACIAS	22	ARGANZUEL	2	28005	CALLE					
14	14	RATA NEGR	2019	AGOSTO	8	ACACIAS	41	ARGANZUEL	21	28005	CALLE					
15	15	RATA NEGR	2019	AGOSTO	8	QUINDALERA	45	SALAMANC	4	28028	AVENIDA					
16	16	RATA NEGR	2019	SEPTIEMBRE	9	ACACIAS	24	ARGANZUEL	4	28005	CALLE					
17	17	RATA NEGR	2019	SEPTIEMBRE	9	ACACIAS	44	ARGANZUEL	24	28005	CALLE					
18	18	RATA NEGR	2019	OCTUBRE	10	SIMANCAS	201	BLAS CAMILL	20	28037	CALLE					
19	19	RATA NEGR	2019	OCTUBRE	10	ACACIAS	23	ARGANZUEL	3	28005	CALLE					
20	20	RATA NEGR	2019	NOVIEMBRE	11	ACACIAS	22	ARGANZUEL	2	28005	CALLE					
21	21	RATA NEGR	2019	NOVIEMBRE	11	MIRASIERRA	87	ARRAEL F	8	28035	AVENIDA					
22	22	RATA NEGR	2019	NOVIEMBRE	11	COMILLAS	111	ARABANCHI	11	28019	PARRQUE					
23	23	RATA NEGR	2019	NOVIEMBRE	11	ACACIAS	40	ARGANZUEL	20	28005	CALLE					
24	24	RATA NEGR	2019	NOVIEMBRE	11	SA DE CAMI	36	CLOA - ARA	3	28008	CALLE					
25	25	RATA NEGR	2019	DICIEMBRE	12	ACACIAS	22	ARGANZUEL	2	28005	PARRQUE					
26	26	RATA NEGR	2019	DICIEMBRE	12	ACACIAS	33	ARGANZUEL	2	28005	PARRQUE					
27	27	RATA NEGR	2019	DICIEMBRE	12	ACACIAS	29	ARGANZUEL	19	28005	CALLE					
28	28	RATA NEGR	2019	DICIEMBRE	12	ALDEZARZ	35	MONCLOA	10	28033	CALLE					
29	29	RATA NEGR	2020	ENERO	1	ALDEZARZ	34	JCLOA ARAV	3	28033	CALLE					
30	30	RATA NEGR	2020	ENERO	1	WTA EUGEN	182	A DE VALLE	18	28031	CALLE					
31	31	RATA NEGR	2020	ENERO	1	ALDEZARZ	34	MONCLOA	3	28033	CALLE					
32	32	RATA NEGR	2020	ENERO	1	ALDEZARZ	34	MONCLOA	3	28033	CALLE					
33	33	RATA NEGR	2020	FEBRERO	2	ALDEZARZ	34	JCLOA ARAV	3	28033	CALLE					
34	34	RATA NEGR	2020	FEBRERO	2	ACACIAS	30	ARGANZUEL	10	28005	PARRQUE					
35	35	RATA NEGR	2020	FEBRERO	2	ACACIAS	45	ARGANZUEL	25	28005	CALLE					
36	36	RATA NEGR	2020	FEBRERO	2	WTA EUGEN	182	A DE VALLE	18	28031	CALLE					
37	37	RATA NEGR	2020	MARZO	3	SALVADOR	209	SAM BLAS	20	28027	CALLE					
38	38	RATA NEGR	2020	MARZO	3	SALVADOR	208	SAM BLAS	20	28027	CALLE					
39	39	RATA NEGR	2020	ABRIL	4	PANDAMER	54	CHAMARTIN	5	28016	CALLE					
40	40	RATA NEGR	2020	ABRIL	4	QUINDALERA	45	SALAMANC	4	28028	CALLE					
41	41	RATA NEGR	2020	ABRIL	4	PANDAMER	60	CHAMARTIN	5	28016	AVENIDA					
42	42	RATA NEGR	2020	ABRIL	4	PANDAMER	54	CHAMARTIN	5	28016	AVENIDA					
43	43	RATA NEGR	2020	ABRIL	4	PANDAMER	54	CHAMARTIN	5	28016	AVENIDA					
44	44	RATA NEGR	2020	MAYO	5	ACACIAS	29	ARGANZUEL	3	28005	CALLE					
45	45	RATA NEGR	2020	MAYO	5	PANDAMER	55	CHAMARTIN	5	28016	AVENIDA					
46	46	RATA NEGR	2020	MAYO	5	PANDAMER	54	CHAMARTIN	5	28016	AVENIDA					
47	47	RATA NEGR	2020	MAYO	5	PANDAMER	54	CHAMARTIN	5	28016	AVENIDA					
48	48	RATA NEGR	2020	JUNIO	6	PADOLONGI	127	USEPA	12	28026	CALLE					
49	49	RATA NEGR	2020	JUNIO	6	SAN DIEGO	132	JTE DE VALLI	13	28053	AVENIDA					
50	50	RATA NEGR	2020	JUNIO	6	ACACIAS	37	ARGANZUEL	17	28005	CALLE					
51	51	RATA NEGR	2020	JUNIO	6	PANDAMER	54	CHAMARTIN	5	28016	AVENIDA					
52	52	RATA NEGR	2020	JUNIO	6	SAN DIEGO	132	JTE DE VALLI	13	28053	CALLE					
53	53	RATA NEGR	2020	JULIO	7	INAR DEL RE	164	HORTALEZA	16	28033	AVENIDA					
54	54	RATA NEGR	2020	JULIO	7	ALDEFUENTI	166	HORTALEZA	16	28033	AVENIDA					
55	55	RATA NEGR	2020	JULIO	7	ACACIAS	42	ARGANZUEL	22	28005	CALLE					
56	56	RATA NEGR	2020	JULIO	7	INAR DEL RE	164	HORTALEZA	16	28033	CALLE					
57	57	RATA NEGR	2020	JULIO	7	ALDEFUENTI	166	HORTALEZA	16	28033	CALLE					
58	58	RATA NEGR	2020	JULIO	7	WTA EUGEN	182	A DE VALLE	18	28031	CALLE					
59	59	RATA NEGR	2020	JULIO	7	QUINDALERA	44	SALAMANC	4	28028	AVENIDA					
60	60	RATA NEGR	2020	JULIO	7	ALDEFUENTI	166	HORTALEZA	16	28033	CALLE					
61	61	RATA NEGR	2020	AGOSTO	8	ARAYACA	37	JCLOA ARAV	3	28023	CALLE					
62	62	RATA NEGR	2020	AGOSTO	8	ARAYACA	37	JCLOA ARAV	3	28023	CALLE					
63	63	RATA NEGR	2020	AGOSTO	8	VEDA DE OS	211	BARAJAS	21	28042	CALLE					
64	64	RATA NEGR	2020	AGOSTO	8	QUINDALERA	44	SALAMANC	4	28028	AVENIDA					

