



MÁSTER EN RECURSOS TERRITORIALES Y ESTRATEGIAS DE ORDENACIÓN

CURSO 2016-2017

MORFOLOGÍA URBANA Y CALIDAD DEL AIRE: UN CASO APLICADO EN VITORIA-GASTEIZ

URBAN MORPHOLOGY AND AIR QUALITY: A CASE STUDY APPLIED TO VITORIA-GASTEIZ

Autor: Mikel Barrena Herrán

Directora:

Cecilia Ribalaygua Batalla

Departamento de Geografía, Urbanismo y Ordenación del Territorio

RESUMEN

El objetivo del trabajo es la implementación y desarrollo de herramientas de análisis que permitan priorizar zonas de descontaminación, para su posterior uso en el diseño urbano. La creciente preocupación por reducir la contaminación atmosférica provocada por el tráfico rodado en los entornos urbanos pretende ser resuelta mediante la incorporación de elementos propios de la naturaleza en las ciudades. Por medio de un estudio de indicadores de sostenibilidad se propone una herramienta que permita definir las zonas donde el potencial de descontaminación de un sistema de filtro natural sea mayor. El interés de Vitoria como ámbito de análisis responde al importante desarrollo de infraestructura verde urbana realizado y su legado como capitalidad verde.

Palabras clave: morfología urbana, SIG, infraestructura verde, sostenibilidad

ABSTRACT

The purpose of this academic work is the implementation and development of an analytical tool for prioritizing decontamination areas, in order to use it in urban design. The rising concern about reducing the atmospheric pollution of urban environment caused by vehicular traffic expects to be solved by nature-based solutions for cities. Through a study of sustainability indexes a tool that allows to define the optimal place for a natural filter to be installed is proposed. The city of Vitoria-Gasteiz is chosen due to its large Green infrastructure investment and the European Green Capital Award it received.

Key words: urban morphology, GIS, green infrastructure, sustainability

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN: ALCANCE Y OBJETIVOS DEL TRABAJO	1
1.1	Objetivos	2
2	MARCO CONCEPTUAL	3
2.1	Morfología urbana	3
2.2	Calidad del aire	4
2.3	Experiencias previas	7
3	METODOLOGÍA.....	11
4	IDENTIFICACIÓN DE INDICADORES.....	14
4.1	Selección de indicadores.....	14
4.1.1	Cañón urbano.....	15
4.1.2	Carga de tráfico	16
4.1.3	Compacidad.....	17
4.1.4	Factor eólico	17
4.1.5	Huella edificada.....	18
4.1.6	Impermeabilidad.....	20
4.2	Priorización.....	22
4.2.1	Densidad de población.....	22
4.2.2	Vulnerabilidad	23
4.3	Homogeneización de los indicadores.....	23
5	APLICACIÓN AL CASO DE VITORIA-GASTEIZ	24
5.1	Emplazamiento	24
5.2	Cálculo de indicadores mediante SIG.....	26
5.2.1	Aplicación de la metodología al caso de estudio.....	26
5.2.2	Asignación de valor dentro de la malla	31
5.2.3	Análisis estadístico de los indicadores	32
5.3	Cálculo del índice de concentración	35
5.3.1	Resultados.....	36
5.3.2	Priorización de ubicaciones	42
6	CONCLUSIONES.....	44
7	BIBLIOGRAFÍA	45
8	ANEXO CARTOGRÁFICO	48

1 INTRODUCCIÓN: ALCANCE Y OBJETIVOS DEL TRABAJO

El presente Trabajo de Fin de Máster se enmarca en la línea temática relativa a la aplicación de nuevas tendencias de intervención en los espacios urbanos propuesta en el Máster en Recursos Territoriales y Estrategias de Ordenación.

El trabajo forma parte de un proyecto más amplio cuyo objeto es el desarrollo de un sistema de filtro natural adaptable a elementos viarios o de mobiliario urbano para mejorar la calidad del aire. Como parte del proyecto y con el fin de identificar las ubicaciones más adecuadas para la solución, se plantea el diseño y aplicación de una metodología multicriterio basada en indicadores que permitan, mediante Sistemas de Información Geográfica, identificar aquellas zonas de una ciudad que sufren mayor concentración de contaminantes derivados del tráfico. A su vez, definidas éstas se priorizan aquellas que afecten a mayor número de población vulnerable.

La calidad ambiental es un reto aún pendiente en el ámbito local, tal y como se indica en la Estrategia Territorial Europea (ETE): “la mayoría de las ciudades han adoptado medidas contra los problemas ambientales como el ruido, la contaminación atmosférica y del agua, el tráfico, la acumulación de residuos y el excesivo consumo de agua. Sin embargo, en numerosas zonas urbanas sigue siendo necesario mejorar la calidad ambiental” (Comité de Desarrollo Territorial, 1999:71).

Los elementos que componen el paisaje urbano tienen una gran inercia, siendo ésta considerada como su vida útil. Materiales de construcción y estructuras permiten horizontes de durabilidad para los edificios superiores al medio siglo, mientras que los modelos urbanísticos establecidos perduran en el territorio condicionando los nuevos desarrollos. Es por ello que desde el planeamiento urbano, en su vertiente del estudio de la ciudad, se han de introducir medidas de mitigación y adaptación al cambio climático de la ciudad existente para permitir integrar con eficacia los factores ambientales, económicos y sociales, que son la base de la sostenibilidad.

1.1 OBJETIVOS

El objetivo final del trabajo es reducir la contaminación atmosférica generada por el tráfico rodado en las ciudades, mediante un sistema que emplea musgos como filtros vegetales, mejorando así la calidad del aire en el entorno urbano, lo que repercute de forma directa en la calidad de vida de la ciudadanía.

El punto de partida es el estudio y selección de los factores que afectan a la dispersión de los contaminantes en el medio urbano construido, principalmente a través de la morfología urbana, el volumen de tráfico, las condiciones meteorológicas y consideraciones sociales.

La identificación de dichos factores físicos y su implementación como indicadores, con la consecuente sistematización de los mismos, permite caracterizar de forma cuantitativa las zonas de mayor riesgo para definir la ubicación óptima del filtro vegetal.

Para ello, por medio de los Sistemas de Información Geográfica, se diseña una herramienta para la obtención de los datos necesarios para abordar las figuras y estrategias de planificación urbana, que culminan en la elaboración de un índice que muestra la relación entre la calidad del aire y la morfología urbana.

El desarrollo mediante indicadores permite validar la idoneidad de una zona concreta dentro de un medio relativamente homogéneo como es el tejido urbano. Esta escala macroscópica facilita la labor, al obviar las complejas variaciones que se presentan a nivel de calle, aun así, la heterogeneidad tipológica de cada elemento es respetada, ya que sus características son tenidas en cuenta para el cálculo, lo cual permite una comparación equitativa entre los distintos distritos.

Por tanto, la aplicación de las actuaciones mencionadas en un lugar concreto, Vitoria-Gasteiz, supone la materialización de un caso práctico, resuelto con exposición cartográfica de los indicadores y una propuesta de ubicación en base a los mismos.

2 MARCO CONCEPTUAL

Resulta preciso analizar los aspectos fundamentales que intervienen en el estudio del tema objeto del trabajo con sus especiales características. Son tres los temas que sustentan el desarrollo del mismo: la morfología urbana, la calidad del aire y las experiencias previas.

2.1 MORFOLOGÍA URBANA

Con el fin de analizar la situación actual de las ciudades en materia de adaptación al cambio climático conviene realizar un repaso de las actuaciones urbanísticas desde la Revolución Industrial en torno a la relación del medio construido y cuestiones ambientales.

El proceso de migración de la población a las ciudades, y los cambios en los usos del suelo inducidos como consecuencia de la urbanización extensiva en estos lugares, propicia que la estructura social y territorial se complejice.

La aparición de la ciudad industrial trae consigo el cambio de la configuración urbana por medio de ensanches, proyectos de reforma interior e infraestructuras urbanas que tratan de dar respuesta al gran crecimiento demográfico y los nuevos usos en las zonas industriales suburbanas. Destacan actuaciones como la creación de sistemas de parques a escala local y metropolitana, la ampliación de la red viaria y el desarrollo mallado con criterios higienistas.

La imbricación entre el alojamiento y el transporte es nítida en la Ciudad Lineal, dónde un eje ferroviario y el contacto con la naturaleza son las componentes principales de un modelo de vivienda aislada con huerto, lo que la hace de algún modo precedente de las colonias jardín surgidas en torno a las estaciones de ferrocarril en la cercanía de ciudades. La ciudad jardín es inconexa con la trama urbana del núcleo principal, ya que articula el campo con el nuevo sistema industrial.

Como propuesta antagónica se presentan los preceptos del Movimiento Moderno: zonificación, medido formalismo y la casa entendida como máquina para habitar. Un funcionalismo inspirado en los avances tecnológicos para la transformación urbana, con un aumento de la escala a través de la planificación, donde el vehículo motorizado se abriese paso entre torres residenciales por grandes autovías. La erradicación de las calles como espacio público da lugar al parque, a modo

de tapiz verde urbano. La introducción de un racionalismo científico en el diseño urbanístico se ve, en cierta manera, desvirtuado por la creciente necesidad de construcción *ex novo*.

La ciudad contemporánea es por tanto un collage histórico, cuestionado por una sociedad postmoderna. La densidad y complejidad de usos, con una visión ecologista del entorno urbano y un enfoque holístico conforman el nuevo urbanismo.

El modelo de ciudad dispersa, tiende a hacer las distancias más grandes y fomenta el uso del vehículo particular, con las connotaciones ambientales que conlleva. Adicionalmente, se diluye la ciudad cultural y deshumaniza el espacio público.

El uso masivo de los vehículos de combustión interna constituye la principal fuente de contaminación del aire en las ciudades, siendo las concentraciones similares a las producidas en las zonas industriales. Esto no es debido a una cantidad de emisiones pareja, sino a otros atributos referentes a la configuración urbana y la barrera que suponen para la dispersión de los contaminantes, es decir, las condiciones fisonómicas del medio, tanto naturales como antrópicas, influyen en el microclima urbano directa o indirectamente.

Por tanto, los descriptores geométricos del tejido urbano son variables que determinan el comportamiento de los contaminantes a escala de ciudad.

2.2 CALIDAD DEL AIRE

El aumento de la población, la industrialización y el acceso generalizado a los medios de transporte individualizados causan el incremento de la emisión de gases contaminantes. Adicionalmente, la tasa por habitante sigue aumentando como consecuencia del avance experimentado en los países en vías de desarrollo.

Un dato a destacar es que en los países desarrollados las tasas presentan una tendencia decreciente, pero en los países en vías de desarrollo se invierte la pendiente. Además, en estos últimos se da la circunstancia de que es allí donde la población crece a un mayor ritmo.

Es conocido que desde los años setenta del pasado siglo XX la huella ecológica¹ de la Tierra superó por primera vez en la historia su propia superficie, y su demanda se ha duplicado de forma insostenible desde entonces. Por su parte, la huella de carbono, como indicador que cuantifica las emisiones de gases de efecto invernadero, muestra el impacto que generan las actividades humanas en el calentamiento global y se apunta al tráfico rodado, las plantas energéticas y la industria como responsables del aumento del riesgo ambiental para la salud. Lo que hace necesario el compromiso de reducir el consumo y la contaminación derivados del funcionamiento de ciudades y edificios.

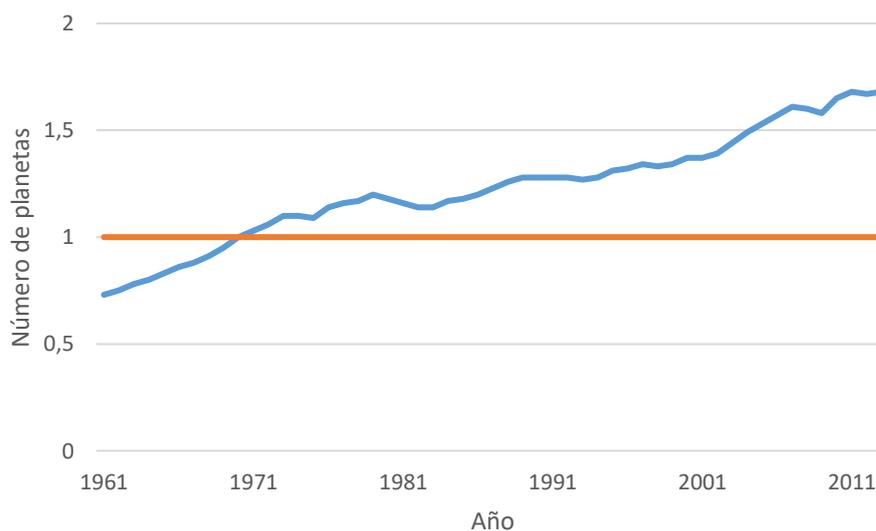


Figura 2.1. Evolución del consumo y biocapacidad de la Tierra. Fuente: Global Footprint Network. Elaboración propia

Pero son los vehículos de combustión interna la principal fuente emisora a nivel urbano. Desde la segunda mitad del siglo XX el desarrollo del transporte ha quedado pautado por el automóvil privado, con la consecuente incidencia en el diseño de las redes viarias y el urbanismo, causando la progresiva invasión de las ciudades por parte de sus infraestructuras específicas. Ya en 1963 es redactado un informe (Buchanan, 1973) sobre la congestión de vehículos en las ciudades, que plantea la preocupación por el incremento del uso del automóvil en la sociedad moderna y la afección del tráfico a la calidad de vida en las grandes urbes.

Los factores que determinan la contaminación ambiental del aire se dividen en etapas sucesivas e interrelacionadas; emisión, transporte (transformación, dilución y dispersión) y deposición.

¹ Área de territorio productivo o ecosistema acuático necesario para producir los recursos utilizados y para asimilar los residuos producidos por una población definida con un nivel de vida específico, donde sea que se encuentre esta área.

El origen principal en el ámbito urbano de los contaminantes es consecuencia de los procesos de combustión de vehículos motorizados, y los principales indicadores que miden dicha contaminación son los óxidos de nitrógeno y el ozono. Durante la transmisión, estos gases se dispersan y diluyen en función de los elementos urbanos que los circundan.

El análisis de la calidad del aire relaciona las emisiones producidas por el flujo vehicular con el nivel de habitabilidad a un cierto grado de inmisión² de los gases contaminantes. Tal y como ponen de manifiesto estudios sobre contaminación atmosférica y salud, existen amplios sectores de la población que se encuentran expuestos a numerosos contaminantes comunes, que han sido razón de ser de diversas medidas y legislación específica a distintos niveles. A continuación se describen los principales instrumentos articulados a lo largo de las últimas décadas.

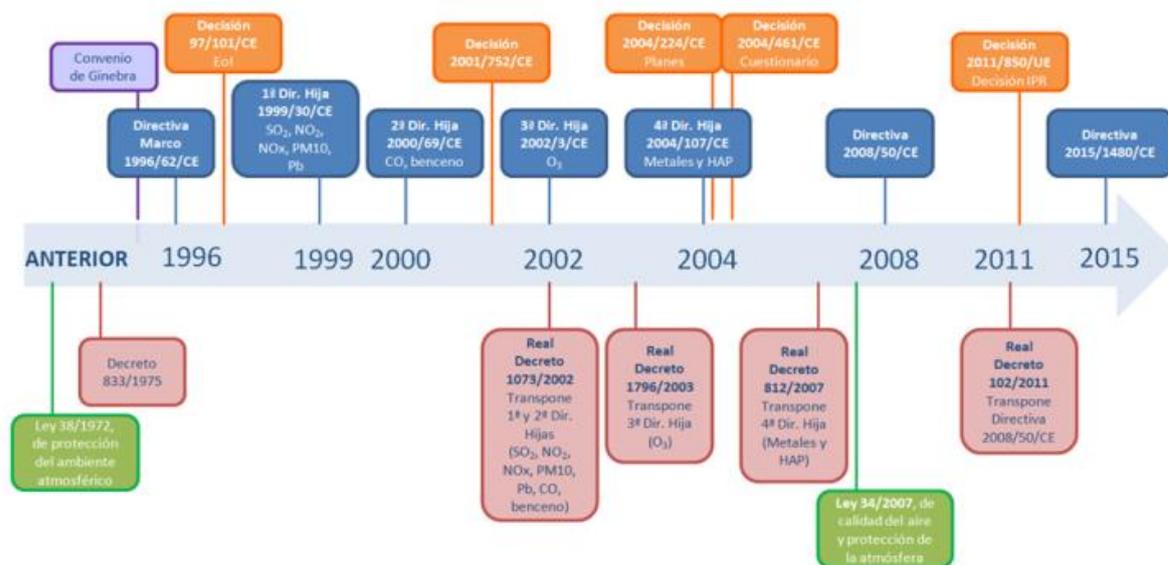


Figura 2.2. Cronograma de normativa sobre calidad del aire. Fuente: MAPAMA

La UE ha fijado límites vinculantes y no vinculantes para determinados contaminantes dispersados en la atmósfera que pueden tener un efecto perjudicial para la salud humana y los ecosistemas. El origen de la normativa actual proviene de la Directiva Marco³, que adopta un planteamiento general desarrollado a través de varias disposiciones. En ella se fijan unos objetivos y se asume la armonización de criterios y métodos de evaluación.

² La emisión es la cantidad de contaminantes directamente vertidos por el foco emisor a la atmósfera; mientras que la inmisión es el resultado del transporte, mezcla y dispersión de los mismos al que están expuestos los seres vivos y los materiales.

³ Directiva 96/62/CE del Consejo, de 27 de septiembre de 1996, sobre evaluación y gestión de la calidad del Aire Ambiente.

La *Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de mayo de 2008, relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa* sustituye a la anteriormente mencionada e introduce regulaciones para nuevos contaminantes, así como nuevos requisitos en cuanto a la evaluación y los objetivos de calidad del aire.

Adicionalmente, las denominadas normas Euro, determinan una limitación progresivamente más estricta sobre las emisiones de los vehículos ligeros de nueva homologación.

La norma de referencia en lo relativo a la calidad del aire en España es el Real Decreto 102/2011, que resulta de la trasposición de la Directiva 2008/50/CE. En él se establecen los límites para los principales contaminantes presentes en el aire ambiente y se regula la gestión de la calidad del aire. Del Anexo 1 se extraen los valores para la protección de la salud humana de los principales contaminantes presentes en las aglomeraciones urbanas derivados del uso del vehículo motorizado.

Tabla 2.1. Valores de calidad del aire para los contaminantes. Fuente: MAPAMA. Elaboración propia

	Valor límite horario/diario	Valor límite anual
NO ₂	200 µg/m ³ (horario), no más de 18 anualidades	40 µg/m ³
PM10	50 µg/m ³ (diario), no más de 35 anualidades	40 µg/m ³
PM2,5	-	25 µg/m ³
CO	10 mg/m ³ (diario)	-
OZONO	120 µg/m ³ (diario), no más de 25 anualidades	-

2.3 EXPERIENCIAS PREVIAS

La importancia del consumo energético urbano y su elevado impacto obliga a tomar medidas en este ámbito, ya que esta problemática es un aspecto que afecta a la sociedad en su conjunto y desde las ciudades se tiene una capacidad ejecutiva y de impacto en las dinámicas y decisiones sociales, políticas y económicas.

La estrategia de investigación e innovación de la Unión Europea tiene entre sus temas relativos al medio ambiente las soluciones basadas en la naturaleza. Busca crear un marco de referencia europeo de ciudades sostenibles para abordar la regeneración urbana inclusiva, la adaptación al cambio climático y la gestión del agua en las ciudades (Comisión Europea, 2015).



Figura 2.3. Despiece de un bosque vertical. Fuente: Boeri Studio

Mediante infraestructuras verdes urbanas estratégicamente ubicadas puede obtenerse un importante efecto en la reducción de los contaminantes atmosféricos, siendo mayor su incidencia cuanto más cerca se encuentren del foco emisor, donde las concentraciones de los contaminantes son mayores. Debido a esto, la vegetación en los márgenes de las carreteras es una de las estrategias que se plantean para la reducción de la contaminación en zonas con tráfico.



Figura 2.4. Sistema de drenaje urbano sostenible en Can Cortada. Fuente: BAGURSA

Estas actuaciones son ya una realidad en muchas ciudades, a pesar de ser una práctica poco habitual. Por ejemplo, las envolventes vegetales, tanto en fachadas como en cubiertas, que no solo mejoran la calidad medioambiental, sino que tienen un impacto positivo en el confort y el consumo energético del edificio. Otras propuestas innovadoras basadas en los ecosistemas naturales, como los sistemas urbanos de drenaje sostenible o la restauración fluvial se alinean con el principio de respeto a la biodiversidad. Todas ellas computan para la transición hacia la sostenibilidad y resiliencia de la ciudad contemporánea. Estas experiencias han sido ya puestas en práctica en Milán (Figura 2.3), Barcelona (Figura 2.4) o la cuenca del Rin (Figura 2.5).

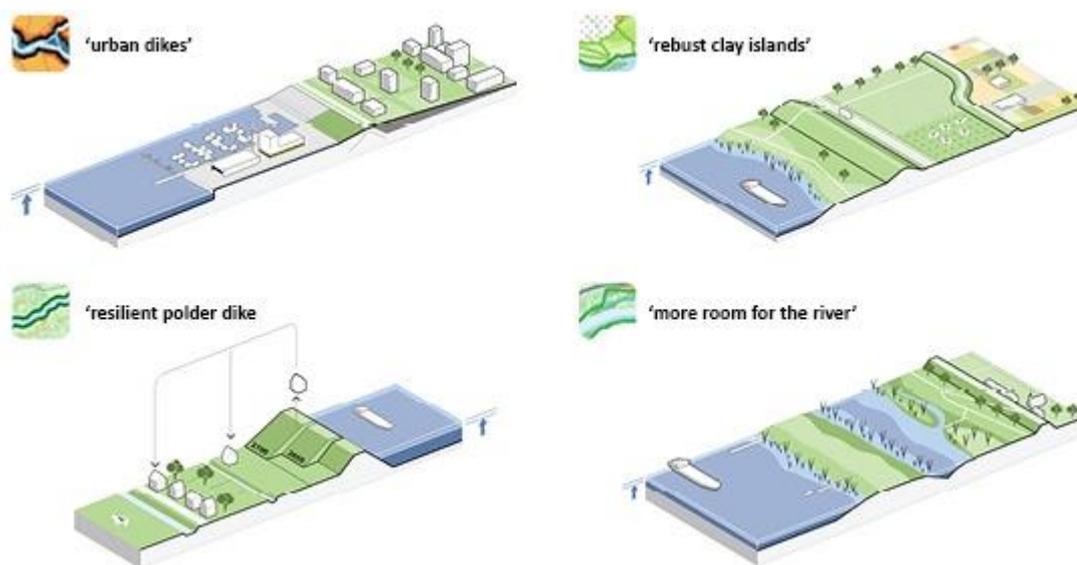


Figura 2.5. Actuaciones propuestas en el programa “Room for the River” para el delta del Rin en la región de Rijnmond-Drechtsteden. Fuente: DE URBANISTEN

Es la caracterización de la calidad del aire en el medio urbano un tema discutido por numerosos autores en publicaciones científicas, desde diferentes perspectivas: en función de factores morfológicos (Edussuriya et al., 2011 y 2014; Edussuriya y Chan, 2015), aproximaciones a través de la meteorología (Cuhadaroglu y Demirci, 1997) o el análisis de concentración de contaminantes (Mayer, 1999; Gong et al., 2015), entre otras.

Por otro lado, la aparición de una guía sistematizada que permite evaluar la sostenibilidad urbanística mediante indicadores, de forma que este concepto pueda ser cuantificado, es una revolución dentro de este campo. La posibilidad de establecer unos valores concretos a propuestas o actuaciones dentro de la ciudad, por medio de esta herramienta analítica, facilita a los municipios su adaptación a los requerimientos actuales de una ciudad sostenible. Este es el caso de la Guía metodológica para los sistemas de auditoría, certificación o acreditación de la calidad y sostenibilidad en el medio urbano (Rueda, 2012).

Existen también estrategias de planificación urbana que favorecen la salud y la equidad, ya que la modificación del medio urbano supone una oportunidad para promover parámetros de salud en el diseño de la ciudad (Udalsarea, 2014).

3 METODOLOGÍA

La metodología seguida para la detección de las ubicaciones idóneas ha consistido, tal y como se puede ver en el gráfico de la Figura 3.1, en 4 pasos principales, que se describen con más detalle a continuación.



Figura 3.1. Proceso metodológico. Elaboración propia.

El interés de los indicadores reside en su carácter cuantitativo dentro del ámbito del urbanismo sostenible, de forma que se establece una relación entre unos valores mensurables y criterios cualitativos. El sistema de indicadores se alinea con el modelo de ciudad compacta, diversa, cohesiva socialmente y sostenible ambientalmente. Para la determinación de estos parámetros se establecen diferentes ámbitos de caracterización de los factores que confluyen en el medio urbano en relación con el cambio climático.

▪ IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE INDICADORES

Para este primer paso se parte de una revisión del estado del arte en indicadores urbanos y de contaminación, que da como resultado una preselección de 15 indicadores. Esta primera selección de indicadores se contrasta en un taller con expertos de diferentes disciplinas (Arquitectura, Urbanismo, Ingeniería Ambiental e Industrial, Física y Sociología), y finalmente se contrasta con las fuentes (cartográficas y estadísticas) disponibles para su cálculo.

Dicho proceso concluye en una selección de 6 indicadores. Añadido a estos, en la fase final de toma de decisiones se incorporan variables de ámbito más social con criterio experto.

▪ CÁLCULO Y ANÁLISIS DE LOS INDICADORES MEDIANTE SIG

Con el fin de definir una unidad estándar para el cálculo de los indicadores seleccionados, se genera una malla de celdas iguales en formato vectorial que sirva como unidad de trabajo. Se establece una celda de geometría cuadrada de 200 m de lado, buscando así una medida lo suficientemente grande como para que se establezca la medición de los diferentes indicadores, pero lo suficientemente pequeña para garantizar un análisis detallado de la ciudad.

Como siguiente paso se procede al cálculo de cada uno de los indicadores mediante SIG, lo que conlleva diferentes operaciones de geoprocesado con el software Quantum GIS para su obtención y asignación al formato de malla definido.

Por último, una vez calculados los indicadores se someten a un análisis estadístico univariado (a través de estadísticos descriptivos) y bivariado (mediante un análisis de correlaciones) utilizando el programa XLSTAT. Como resultado de este estudio se concluye que existen correlaciones significativas entre los indicadores seleccionados y en muchos de los casos correlaciones medias (0,3 – 0,6) y altas (0,6 – 0,85).

▪ CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CONCENTRACIÓN DE CONTAMINACIÓN URBANA

Para definir el peso de cada indicador sobre el índice de concentración de contaminación urbana, se elabora una encuesta basada en el método de *budget allocation*⁴ que se realiza a 10 expertos de diferentes disciplinas (Ingeniería Ambiental e Industrial, Arquitectura, Urbanismo y Biología). De los diferentes pesos obtenidos se extrae el valor medio para cada indicador, que es lo que se aplica como peso del mismo.

Con el fin de extraer el valor del índice final, se estandarizan los indicadores siguiendo el método más difundido, que es el de la unidad tipificada (*z-score*) y re-escalan de 0 a 1. Y por último, se calcula el índice a partir de la siguiente fórmula:

$$(Tráfico * 0,3977) + (Huella * 0,0605) + (Compacidad * 0,1) + (Cañón * 0,1636) + (Eólico * 0,1682) + (Impermeabilidad * 0,11).$$

▪ PRIORIZACIÓN DE UBICACIONES

El resultado del índice obtenido se representa mediante SIG, a partir de una clasificación de 5 intervalos definidos según el método de *jenks*, permitiendo así identificar las celdas de análisis en las que la implementación de medidas podría mejorar en mayor medida el entorno urbano frente a los contaminantes generados por el tráfico.

⁴ Metodología para producir indicadores en base a preguntas dirigidas mediante encuesta a los expertos, que deben distribuir un total de 100 puntos entre los indicadores de forma que los pesos sean calculados como promedio de las respuestas.

Sin embargo, dado que el número de celdas seleccionadas es superior a 50, y que no es posible intervenir en todas ellas, se hace necesario añadir un criterio de priorización. Para esto se seleccionan aquellas zonas donde los equipamientos dan servicio a colectivos más vulnerables (población infantil, mayor, enferma, etc.), seleccionando para ello equipamientos docentes, asistenciales y sanitarios. Por lo tanto se realiza una superposición de resultados y se seleccionan como localizaciones prioritarias para la implementación de medidas las celdas donde se concentra mayor contaminación y que además centralizan mayor número de equipamientos de las categorías seleccionadas.

4 IDENTIFICACIÓN DE INDICADORES

Como resultado del proceso de identificación de indicadores se ha obtenido un conjunto de seis, de los cuales se describen los parámetros que mejor identifican sus cualidades; y pasando después a la definición de un método de priorización.

4.1 SELECCIÓN DE INDICADORES

Se revisan a continuación las características fundamentales de los factores principales que se consideran claves y que presentan una relación con el nivel de polución presente a nivel de calle. Se trata de los factores de cañón urbano, factor eólico, huella edificada, compacidad, impermeabilidad y carga de tráfico.

Tabla 4.1. Indicadores seleccionados. Fuente: Elaboración propia

Indicador	Descripción	Forma de cálculo
CAÑÓN URBANO	Relación entre la disposición de los edificios adyacentes al viario y su altura, que influye en el comportamiento del flujo del aire y la dispersión de los contaminantes.	Altura de los edificios/Anchura de la calle
FACTOR EÓLICO	Tramos del viario perpendiculares a la dirección predominante del viento, que propician el estancamiento de los contaminantes.	Orientación de las calles respecto a la dirección predominante del viento
HUELLA	Superficie construida en planta.	Superficie edificada en suelo urbano
COMPACIDAD	Volumetría de los edificios, que obstruyen el flujo natural del viento e incrementan la masa térmica del tejido urbano.	Superficie en planta de los edificios*Altura de los edificios
IMPERMEABILIDAD	Inverso de la “permeabilidad”, que permite conocer los espacios que carecen de funciones naturales y favorecen el efecto isla de calor, y que además impiden el ciclo natural del agua y un adecuado confort térmico, entre otros.	100 - (% de superficie respetuosa con el ciclo hidrológico)
CARGA DE TRÁFICO	Intensidad media diaria de vehículos motorizados en cada tramo de vía, siendo los mismos los principales focos de contaminación en el medio urbano.	Número de vehículos motorizados/ Sección de calzada

Se describen a continuación las principales características y relación con los niveles de contaminación de cada uno de ellos.

4.1.1 Cañón urbano

La capa límite urbana es una superficie que se encuentra entre la cubierta de los edificios y la atmosfera libre. Las emisiones que se producen en el medio urbano quedan retenidas por debajo de esta capa, siendo transportadas y difundidas a través de la atmósfera. El aire existente bajo esta capa queda expuesta a una variada tipología de tejidos que derivan en condiciones microclimáticas particulares. El principal descriptor geométrico que define las características de esta capa es el cañón urbano.

El cañón urbano encierra el volumen de aire delimitado por la superficie vertical de la envolvente de los edificios y la superficie horizontal de la calle entre fachadas enfrentadas, impidiendo la dispersión lateral de los contaminantes. También existen flujos inestables en el interior del cañón, debido a las variaciones térmicas por soleamiento, edificios y vehículos. La concentración de contaminantes es el resultado del balance entre las emisiones de los vehículos y la transferencia de contaminantes entre el cañón y la capa límite urbana.

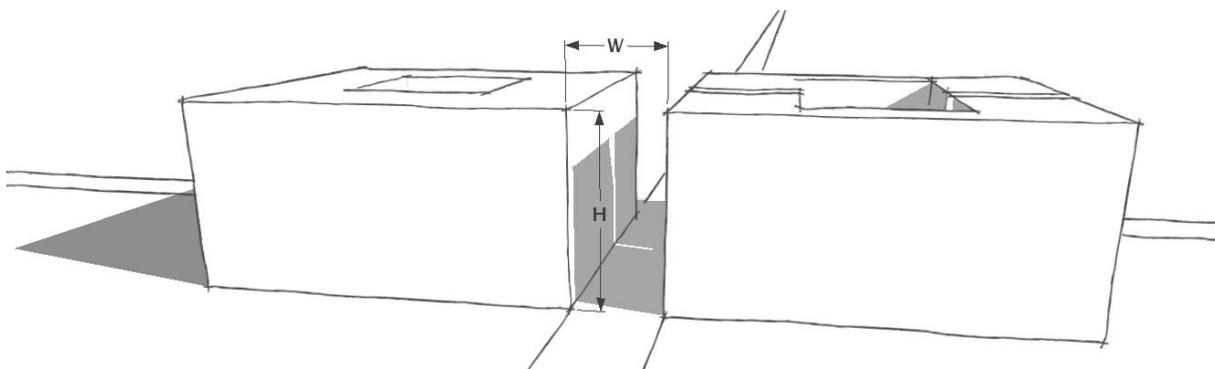


Figura 4.1. Descripción geométrica del cañón urbano. Fuente: Elaboración propia

Una forma simplificada de parametrizar y determinar cuantitativamente el cañón es la relación altura/anchura (H/W).

Esta modelización del fenómeno permite analizar la dispersión de los contaminantes desde varias disciplinas: dinámica de fluidos, expresiones empíricas o simulaciones numéricas.

4.1.2 Carga de tráfico

La demanda del transporte en las arterias principales de las ciudades produce, bajo ciertas circunstancias, una congestión del tráfico que provoca la reducción de la capacidad de las carreteras urbanas. Este volumen de tráfico genera un aumento tanto de la contaminación en el aire como del uso de combustibles.

Existen elementos que determinan la incidencia de dicha contaminación. El caso particular de los vehículos diésel manifiesta que, a pesar de que la emisión de CO₂ es menor respecto a un vehículo de gasolina equivalente, no así lo es la de los contaminantes locales, sobre todo NO_x. Es por ello que, a pesar de su mayor eficiencia energética, se está produciendo la limitación de circulación de vehículos diésel en determinadas ciudades.

Es importante que las políticas energéticas no generen una problemática a medio plazo, como ha ocurrido al fomentar los vehículos diésel en Europa, ahora causa del incremento de las emisiones contaminantes locales, para posteriormente fijar valores de reducción muy importantes en partículas y óxidos de nitrógeno que afectan en gran medida a dichos vehículos diésel.

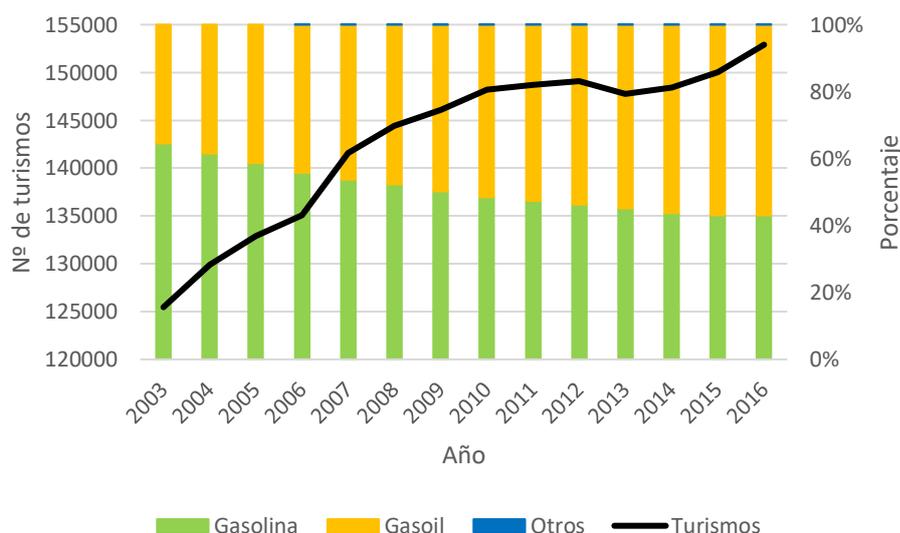


Figura 4.2. Evolución del parque de turismos y el reparto modal de los vehículos en la provincia de Álava.
Fuente: DGT. Elaboración propia

Los modos de movilidad no motorizados, como las bicicletas o el tránsito peatonal, representan un paso hacia las ciudades saludables, disminuyendo la contaminación atmosférica y acústica, reduciendo la congestión viaria y proporcionando un espacio público de calidad en el centro urbano.

Además, los sistemas de transporte público proveen una cobertura poblacional amplia, garantizando la intermodalidad por medio de aparcamientos disuasorios, la correlación de frecuencias entre los distintos modos y la introducción de un modelo tarifario integrado.

4.1.3 Compacidad

La organización física general configura el trazado urbano. Diversos estudios ya mencionados demuestran que tanto la morfología del terreno como las características de lo construido son de gran influencia en la concentración de contaminantes. Las áreas urbanas tienden a ser bastante compactas, aunque pueden presentarse urbanizaciones exentas o edificaciones dispersas que han de ser ponderadas, así como densidades y alturas diversas. Los espacios libres actúan como reservas de aire que mejoran las condiciones microclimáticas. Por otro lado, las calles actúan como canales que dirigen los flujos de viento que transportan los contaminantes.

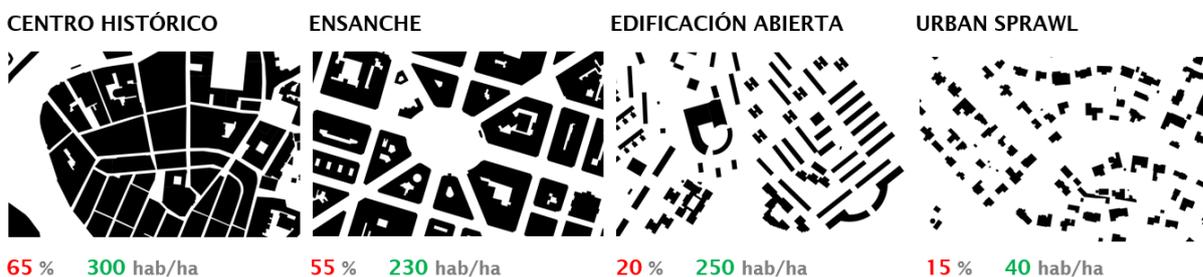


Figura 4.3. Ocupación del suelo y densidad poblacional de distintos modelos urbanísticos a la misma escala.

Fuente: GeoEuskadi. Elaboración propia

El análisis de los valores de la Figura 4.3 permite caracterizar la forma de las distintas partes de una ciudad, comparando sus diferencias. La densidad y la ocupación del suelo indican aspectos esenciales como la intensidad y la concentración de actividades del modelo urbano.

4.1.4 Factor eólico

Generalmente la rugosidad urbana, es decir, la cantidad, disposición y dimensiones de los edificios, define el comportamiento aerodinámico de las ciudades. El incremento de este parámetro causa la ralentización de los flujos de aire en superficie, que es además una de las causas del fenómeno de la isla de calor.

La orientación de las alineaciones de calle corredor respecto a la dirección del viento determina el comportamiento del mismo. Cuando los flujos son canalizados a través de cauces paralelos a su dirección los contaminantes tienden a dispersarse con mayor facilidad, mientras que cuando el viento actúa en dirección ortogonal a los edificios se generan vórtices a sotavento que tienden a concentrar los contaminantes.

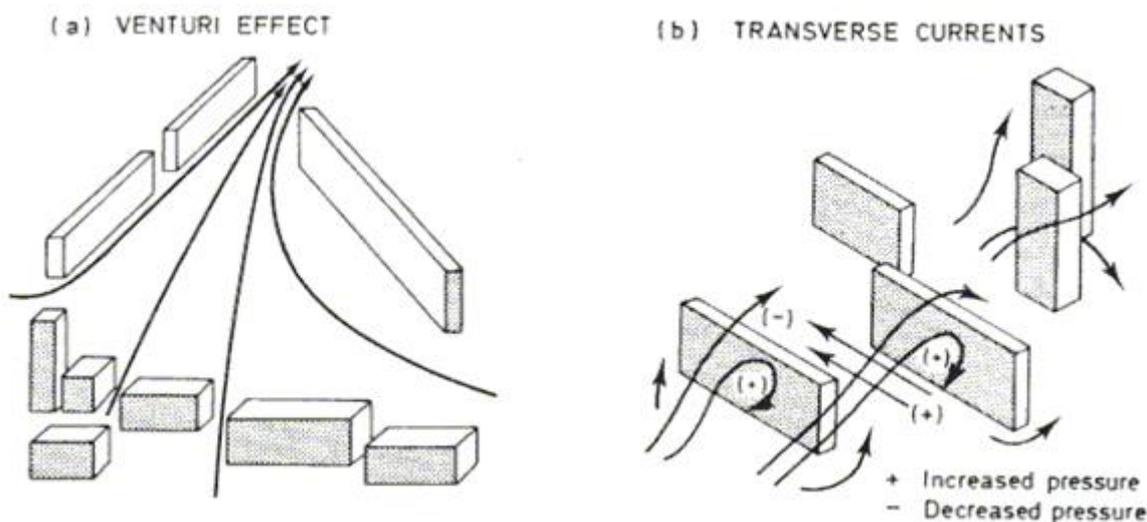


Figura 4.4. Líneas de flujo del viento en el entramado urbano. Fuente: Thurow, 1983

4.1.5 Huella edificada

La dispersión urbana plantea problemas de incremento del uso de recursos por vivienda y una mayor dependencia del transporte. Por otro lado, un modelo de ciudad compacta se caracteriza por la proximidad entre los usos y funciones urbanas, de forma que la sostenibilidad es garantizada por la correcta distribución de densidades edificatorias y un porcentaje de espacios verdes de calidad.

En el norte de España el poblamiento disperso se da más frecuentemente en el ámbito rural, influenciado por variables sociales y, en gran medida, orográficas, mientras que la concentración de población urbana se da en ciudades de tamaño medio.

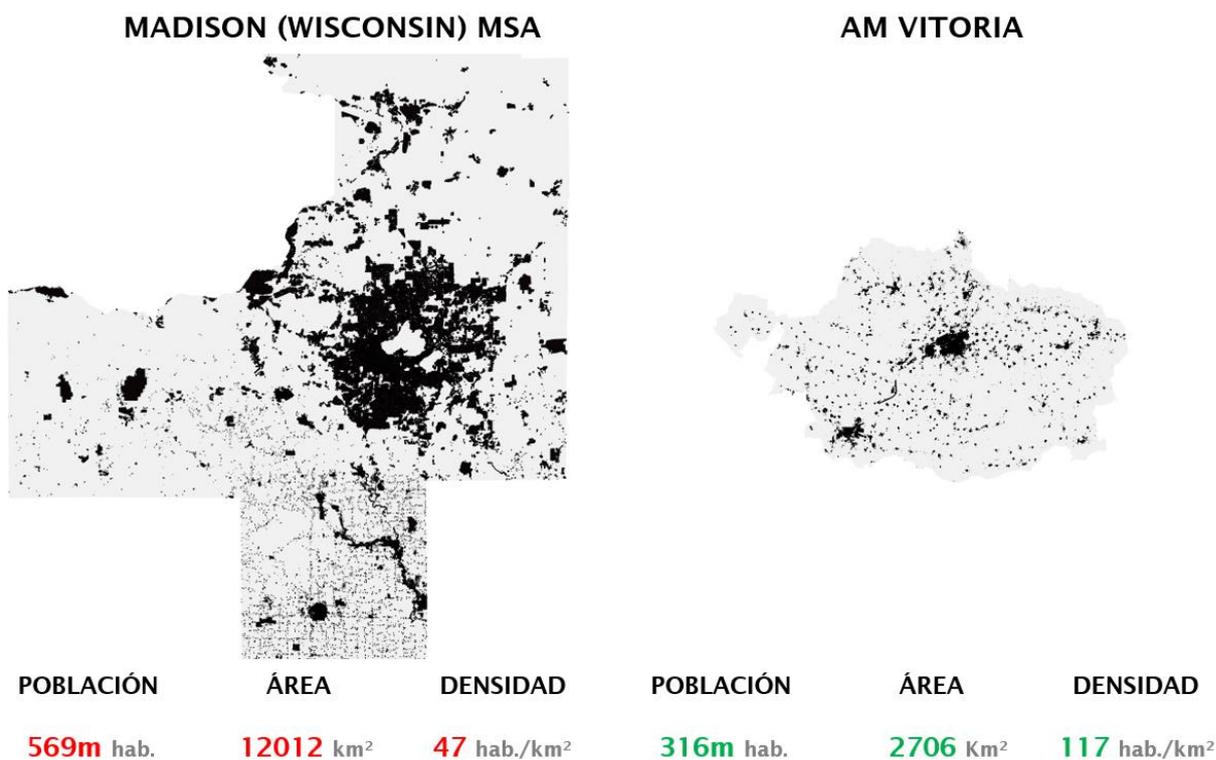


Figura 4.5. Extensión metropolitana de Madison y Vitoria-Gasteiz. Fuente: OpenStreetMap, INE y Census 2010. Elaboración propia

En la Figura 4.5 se muestran áreas metropolitanas de dos contextos diferenciados, estadounidense versus europeo, cuya ciudad central tiene una dimensión demográfica similar, entorno al cuarto de millón de habitantes.

El área estadística metropolitana (MSA por sus siglas en inglés) de Madison está integrado por 4 condados (Columbia, Dane, Green y Iowa) y una decena de ciudades, mientras que el Área Metropolitana de Vitoria está configurada por el Área Funcional de Álava Central⁵, incluyendo adicionalmente los enclaves burgaleses y Miranda de Ebro.

La extensión metropolitana y la distribución espacial de la vivienda en el territorio son reveladoras. Por un lado, se aprecia la urbanización y artificialización del territorio y por otro, las dinámicas espaciales derivadas de los corredores e infraestructuras. El uso extensivo del suelo residencial y la proliferación de ciudades satélite en el caso americano, frente a la ciudad vasca densa y el poblamiento rural disperso.

⁵ La escala territorial intermedia queda delimitada en las Directrices de Ordenación Territorial del País Vasco, donde se determinan los municipios que se integran en el área funcional y se insta a la redacción del Plan Territorial Parcial del Área Funcional de Álava Central.

4.1.6 Impermeabilidad

Un entorno ambiental caracterizado por la presencia de espacios verdes y azules de proximidad reduce desigualdades entre clases sociales en lo que se refiere a la afección de enfermedades y mejora la percepción subjetiva sobre calidad de vida de la ciudad.

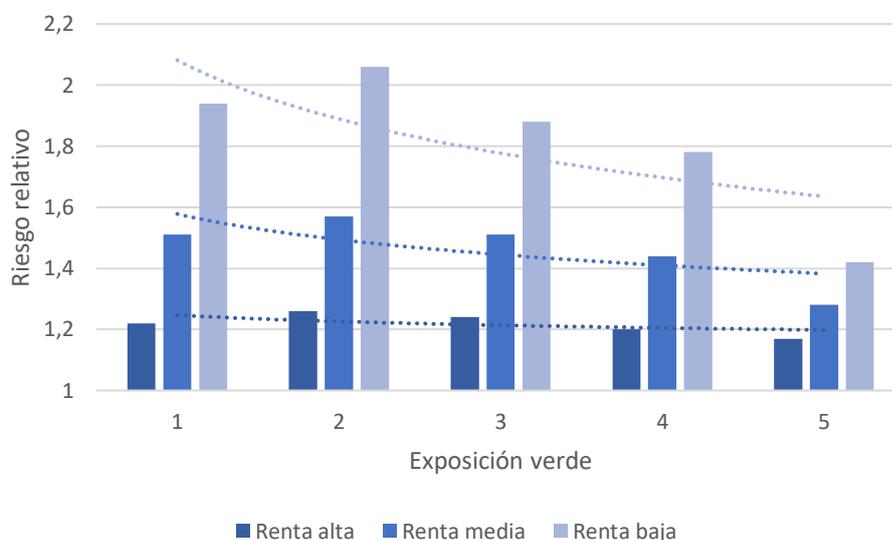


Figura 4.6. Tasa de mortalidad en función del nivel de ingresos y acceso da zonas verdes. Fuente: Mitchell y Popham, 2008. Elaboración propia

Hay evidencias que asocian un mejor acceso a espacios verdes con una mejora en términos de salud, cuantitativamente sostenido con datos demográficos y de morbilidad. Por ejemplo, los patrones más regulares de cortisol, vinculado a patologías mentales y el estrés, tiene una relación con la proximidad a entornos verdes (Thompson et al., 2012).

La presión ejercida por los núcleos urbanos sobre los servicios ambientales que proporcionan los ecosistemas que lo circundan es inadecuada, no solo frente a la biodiversidad, sino a un recurso natural dentro de la planificación urbana sostenible. Los cambios de uso del suelo tienden a fragmentar y disminuir los servicios ecosistémicos, así como debilitar el intrínseco valor de conservación.

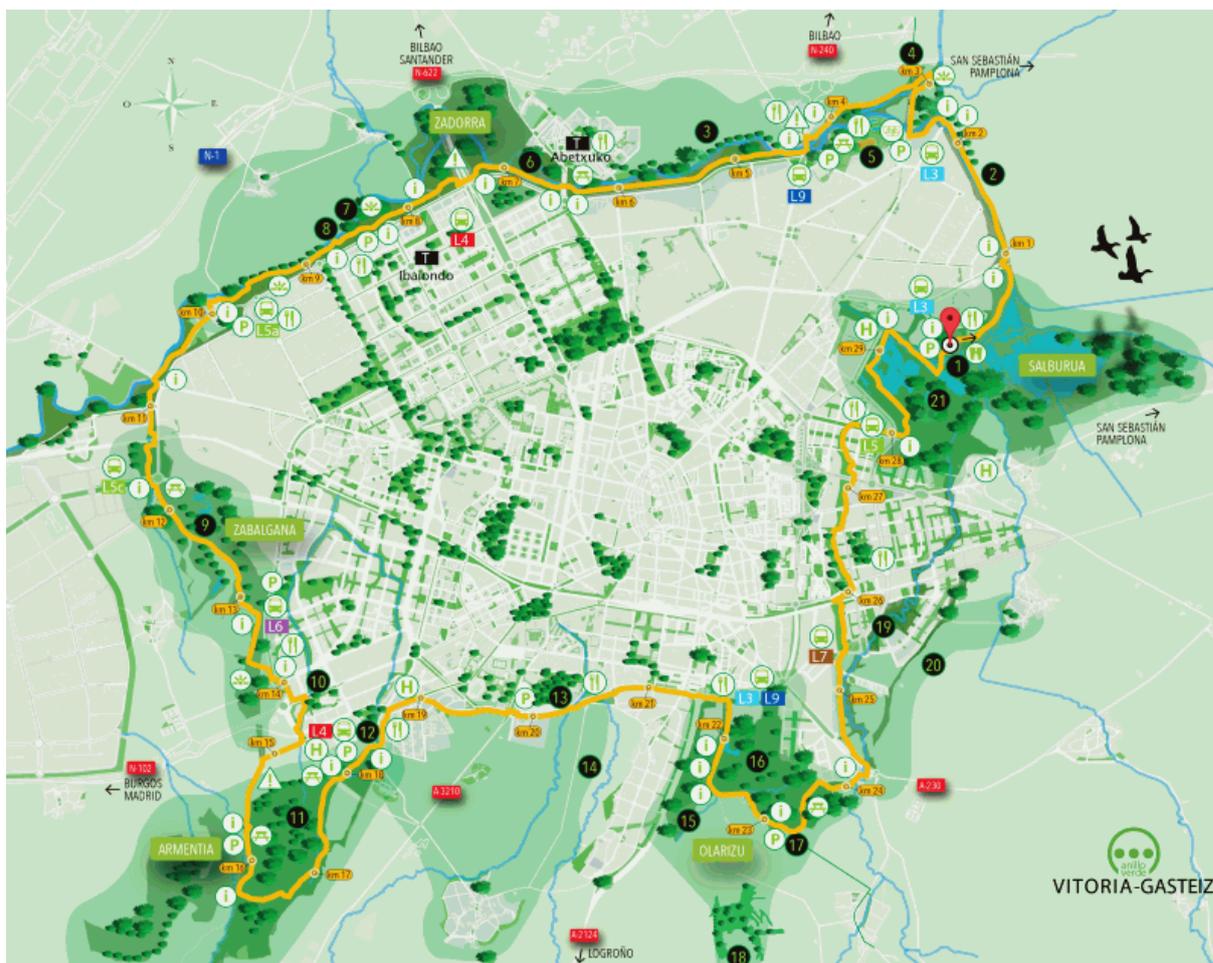


Figura 4.7. Anillo verde y entorno periurbano de Vitoria-Gasteiz. Fuente: CEA

La vegetación en la ciudad, como espacio abierto, no solamente esponja la trama y supone una mejora de la percepción ambiental y paisajística, sino que tiene una notable afeción sobre los intercambios de calor y flujos de aire, y actúa como sumidero de contaminantes. Así mismo, las superficies azules, con los diferentes ecosistemas y recursos de agua, complementan estas funciones y aportan otro tipo de actividades.

Por su parte, un suelo urbano mineralizado, compacto e impermeable provoca un efecto de sellado, que demora la infiltración de la lluvia por esas superficies naturales, que son las que permiten disminuir el volumen de escorrentía superficial, y previenen el riesgo de inundaciones.

4.2 PRIORIZACIÓN

Los factores mencionados son considerados para la parametrización y posterior toma de decisiones de localización. Con el fin de abarcar otro tipo de variables, de ámbito más social, se complementan los indicadores que determinan el índice de concentración diseñado con dos adicionales que, aun quedando fuera de la parametrización numérica, se contemplan en la fase final de toma de decisiones.

4.2.1 Densidad de población

Más allá de las implicaciones sobre el consumo energético, doméstico y de movilidad, que tiene la distribución poblacional en el territorio, dentro de la ciudad compacta son los residentes los principales afectados por la concentración de contaminantes.



Figura 4.8. Imagen satelital nocturna del norte de la península ibérica. Fuente: NASA

La representación de la densidad de población a una escala de detalle permite observar la heterogeneidad dentro del término municipal, de forma que se puedan plantear las relaciones entre la actividad humana y el medio ambiente.

4.2.2 Vulnerabilidad

Las alteraciones proyectadas por modelos climáticos podrían afectar a la salud pública, cuyos efectos directos e indirectos causarían un mayor riesgo en los estratos vulnerables de la sociedad, que según la Organización Mundial de la Salud se trataría de población infantil, mayor o con alguna enfermedad subyacente, entre otros.

La respuesta ante la exposición a determinados factores de riesgo derivados del cambio climático tiene una componente social, ya que las propias capacidades económicas y culturales de la población son un factor importante. Es necesario caracterizar la exposición a los contaminantes, pero lo es también tomar en consideración la composición social y su capacidad de adaptación ante el impacto medioambiental, para estimar las zonas de atención prioritaria.

4.3 HOMOGENEIZACIÓN DE LOS INDICADORES

Para integrar datos demográficos con parámetros morfológicos y medioambientales es necesario utilizar un sistema de unidades geográficas de referencia común, y para ello el marco más idóneo es una malla cuadrículada regular.

La dimensión espacial escogida del tejido urbano determina la eficacia del análisis de las mediciones: una escala amplia arroja resultados imprecisos. Para que el estudio de la concentración de contaminantes sea estricto, ha de tenerse en cuenta un ámbito de campo cercano-intermedio respecto a las fuentes emisoras. Las procedentes de entornos lejanos tienen un impacto ínfimo debido a la compacidad edificada que encuentran en su camino.

Este sistema zonal se adapta de forma eficaz a los SIG, ya que en cada celda o unidad se almacenan los descriptores morfológicos, demográficos y ambientales, y según la superposición de las mismas se extrae un índice que conjuga todos los parámetros.

5 APLICACIÓN AL CASO DE VITORIA-GASTEIZ

5.1 EMPLAZAMIENTO

El municipio de Vitoria-Gasteiz es la capital de la Comunidad Autónoma del País Vasco, ocupa una superficie de 276 km², con una población censada de 244.634 habitantes. Enclavada en un cruce de caminos entre la Meseta Central y Europa, es un importante punto estratégico con un valioso patrimonio monumental.



Figura 5.1. Mapa de localización de Vitoria-Gasteiz. Fuente: Gobierno Vasco

El núcleo urbano de Vitoria-Gasteiz se inserta en una amplia llanura central cultivada entorno a la curva de nivel 550, enmarcada por sierras y cotas, donde se localiza una serie de infraestructuras asociadas al carácter de una urbe europea moderna.

Del modelo radiocéntrico heredado, la ciudad sigue un proceso de transformación urbanística hacia una trama en retícula según un eje paralelo al E-O, en sintonía estructural con la Llanada Alavesa.

5.2 CÁLCULO DE INDICADORES MEDIANTE SIG

5.2.1 Aplicación de la metodología al caso de estudio

5.2.1.1 Cañón urbano

Para el cálculo del cañón urbano se ha seguido el siguiente proceso:

- 1- Se parte de la capa de usos del suelo (SIAM/PLANEAMIENTO_Y_USOSDELSUELO/USOS_DEL_SUELO/usuarios_urbanos14), que recoge los siguientes usos: acera, embalse o río, calzada, camino, carril bici, carril bus, cultivo, edificio, espacio deportivo, espacio peatonal, ferrocarril, fuente, huerta, isleta, jardín, paseo, patio, pavimento, plataforma, seto o arbusto, solar, tranvía, zona 30 y zona verde.
- 2- Se realiza una selección espacial de los polígonos que conforman el cauce del cañón (calzada, acera, carril-bus...), que a su vez están vinculados con los ejes del viario (SIAM/MOVILIDAD/VEHICULOS_MOTORIZADOS/ejecalle15).
- 3- Se debe simplificar el viario, asignando un único eje por tramo de objeto espacial significativo. Es decir, una calzada de doble sentido de circulación debe estar definido por un único eje, se deben eliminar las duplicidades.
- 4- Se realiza un *buffer* del viario simplificado, con una anchura suficiente que abarque los polígonos mencionados.
- 5- Mediante la intersección de esta última capa generada y los polígonos que conforman el cañón, resulta una nueva capa con su forma coincidente al cauce y la asociación de la longitud de los tramos de eje.

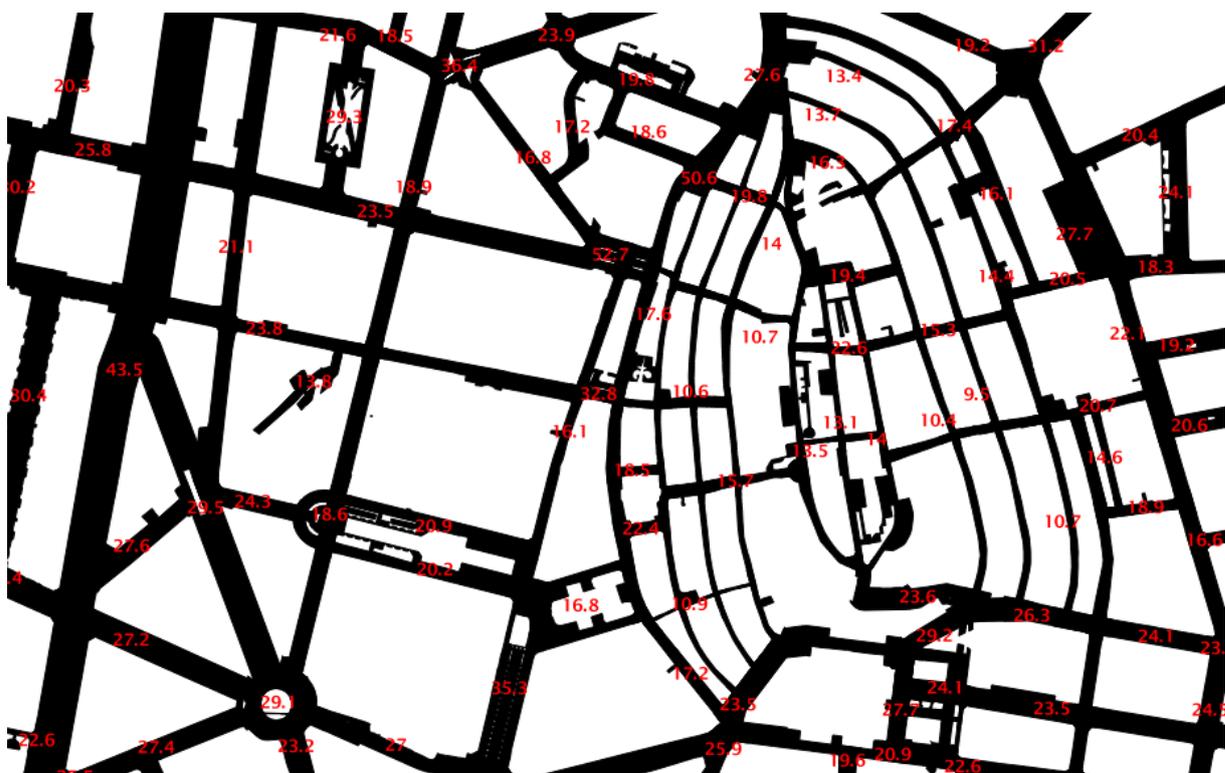


Figura 5.3. Ancho resultante (m). Fuente: SIAM. Elaboración propia

- 6- Asumiendo la simplificación de que cada tramo resultante es considerado un cuadrilátero, del que se conocen área y longitud de uno de sus lados, se obtiene directamente el ancho estimado.

5.2.1.2 Carga de tráfico

Para el cálculo de la carga de tráfico se ha seguido el siguiente proceso:

- 1- Se parte de la capa del viario con los registros de los aforadores de tráfico asociados (SIAM/MOVILIDAD/VEHICULOS_MOTORIZADOS/ejecalle03aforos), que recoge los datos de intensidad media diaria de vehículos, medidos por la estación de aforo correspondiente, que atraviesan una determinada sección, así como el número de carriles o el porcentaje de vehículos pesados.
- 2- Se debe simplificar el viario, de tal manera que se mantengan los tramos que representen la circulación de vehículos únicos por eje de circulación.



Figura 5.4. Estaciones de aforo. Fuente: SIAM. Elaboración propia

- 3- Se disuelven los tramos que corresponden a una misma medición de aforador, configurando una red de segmentos con la intensidad de tráfico como atributo principal.

5.2.1.3 Compacidad

Para el cálculo de la compacidad se ha seguido el siguiente proceso:

- 1- Descarga de la información gráfica catastral del municipio de Vitoria-Gasteiz.
- 2- Se parte de la capa que contiene la información relativa a la altura de las edificaciones (059_CatastroAlava/division_altura).
- 3- En dicho *shapefile* existe una columna denominada “DivAlt” que describe la altura de los edificios mediante una combinación de números romanos, códigos y signos; típicamente:

$[n^{\circ} \text{ de plantas bajo rasante} + n^{\circ} \text{ plantas en superficie} + \text{otros}]$

- 4- En ausencia de un *script* funcional que transforme dicha entidad en un número natural correspondiente al número de plantas, se realiza un tratamiento de los datos en Excel eliminando los caracteres innecesarios y transformando los números romanos en naturales.
- 5- La altura de los edificios resulta de una operación directa, asumiendo una distancia entre forjados estandarizada de 3 metros.
- 6- Se realiza el cálculo de la superficie ocupada en planta de cada entidad espacial.
- 7- Se dispone de los parámetros que definen la volumetría de un edificio, multiplicando la superficie en planta por la altura.

5.2.1.4 Factor eólico

Para el cálculo del factor eólico se ha seguido el siguiente proceso:

- 1- Para conocer las direcciones predominantes del viento en el municipio se toma la rosa de los vientos disponible. A partir de las mismas, se considera un rango angular adicional de 22,5° a cada lado.

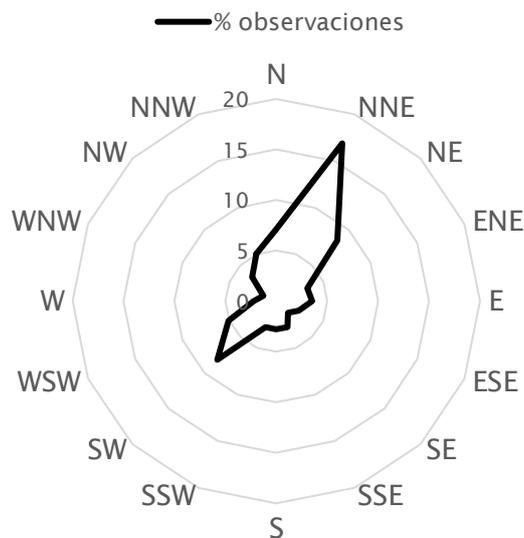


Figura 5.5. Rosa de los vientos para el periodo anual completo de 2011. Fuente: Departamento de Medio Ambiente y Espacio Público

- 2- Se parte de la capa del viario más actualizada (SIAM/MOVILIDAD/VEHICULOS_MOTORIZADOS/ejecalle15).
- 3- Tratamiento de la capa a través de la superposición del viario sobre una ortofoto, para proceder a la criba de objetos espaciales que quedarían excluidos de la posible solución final (glorietas, viales particulares, trazados de polígonos industriales, etc...).
- 4- Se realiza un cálculo del ángulo correspondiente a los tramos de calle resultantes sobre dicha capa, mediante una función que considera las coordenadas de los puntos extremos de los objetos espaciales.
- 5- Mediante una selección espacial de las líneas cuyos atributos no están incluidos en el rango angular del viento predominante, se extrae el viario propenso a acumular contaminantes.



Figura 5.6. Huella edificada y viales perpendiculares a las direcciones predominantes del viento. Fuente: SIAM. Elaboración propia

5.2.1.5 Huella edificada

Para el cálculo de la huella edificada se ha seguido el siguiente proceso:

- 1- Descarga de la información gráfica catastral del municipio de Vitoria-Gasteiz.
- 2- Se parte de la capa que contiene las edificaciones consolidadas (059_CatastroAlava/division_altura).
- 3- Se realiza el cálculo del área de las entidades espaciales.

5.2.1.6 Impermeabilidad

Para el cálculo de la impermeabilidad se ha seguido el siguiente proceso:

- 1- Se parte de la capa de usos del suelo (SIAM/PLANEAMIENTO_Y_USOSDELSUELO/USOS_DEL_SUELO/usuarios_urbanos14).
- 2- Se realiza una selección de los objetos espaciales que representan el suelo permeable en el tejido urbano (zonas verdes, jardines, cultivos, huertas, solares, embalses...)

5.2.2 Asignación de valor dentro de la malla

El sistema de referencia, con un paso de malla de 200 metros en X e Y, es el marco común. La intersección de la malla con las capas preliminares correspondientes a cada uno de los indicadores, explicadas en los subapartados anteriores, establece una correspondencia entre el valor numérico del indicador y la malla espacial. Por lo que mediante el uso de *Estadísticas por categorías* y posterior *Unión* de dichos valores, se obtiene la malla resultante, en algunos casos con cálculos adicionales.

Tabla 5.1. Asignación de valores de los indicadores a la malla de referencia. Fuente: Elaboración propia

Indicador	Estadísticas por categorías	Observaciones
CAÑÓN URBANO	<p>Altura promedio de los edificios resultantes</p> <p>Anchura promedio de los tramos resultantes</p>	<p>Promedio (X) calculado como:</p> $X = \frac{\sum (x_i \cdot a_i)}{A}$ <p>siendo x_i el valor de altura o anchura, respectivamente, de cada elemento correspondiente a una misma celda, y a_i el área de cada uno de ellos, mientras que A es el área total de dichos elementos.</p>
FACTOR EÓLICO	Σ de los tramos de calle resultantes	
HUELLA	Σ de las superficies resultantes	
COMPACIDAD	Σ de los volúmenes resultantes	
IMPERMEABILIDAD	Σ del inverso de las superficies resultantes	
CARGA DE TRÁFICO	Σ del número de vehículos de los tramos resultantes	Los datos utilizados datan de 2003, con las implicaciones que ello tiene: cambios experimentados en el viario, nuevos modos de transporte y hábitos de movilidad urbana.

5.2.3 Análisis estadístico de los indicadores

Por último, una vez calculados los indicadores, se someten a un análisis estadístico univariado (a través de estadísticos descriptivos) y bivariado (mediante un análisis de correlaciones) utilizando el programa XLSTAT.

A continuación se presentan los estadísticos descriptivos de todas las variables y más adelante la matriz de correlaciones:

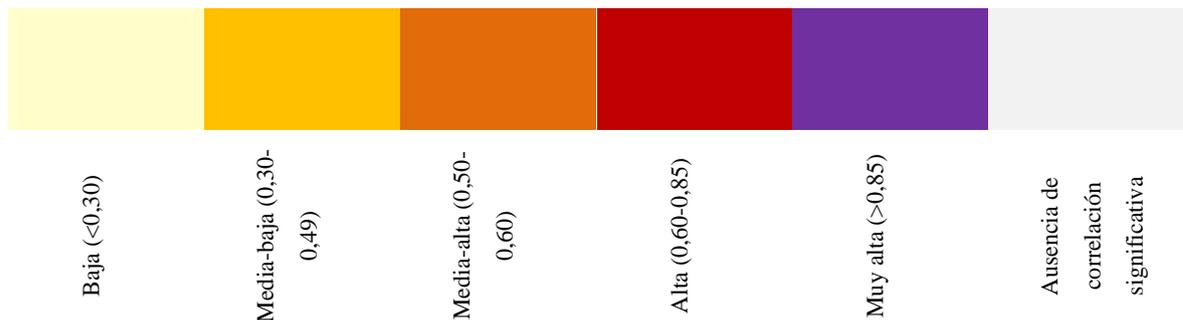
Tabla 5.2. Estadísticos descriptivos

Variable	Observaciones	Obs. con datos perdidos	Obs. sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
TRÁFICO	1581	0	1581	0,000	92961,000	4843,457	11004,075
PERMEABILIDAD	1581	0	1581	0,000	100,000	36,411	34,168
HUELLA	1581	0	1581	0,000	88,107	13,393	17,773
COMPACIDAD	1581	0	1581	0,000	10,701	1,015	1,557
DENSIDAD	1581	0	1581	0,000	49750,000	3803,763	8303,371
CAÑÓN	1581	0	1581	0,000	1,389	0,190	0,251
EÓLICO	1581	0	1581	0,000	612,160	48,312	104,288
AIRE (NOx)	1581	0	1581	0,000	168,869	6,550	20,440
AIRE(PM10)	1581	0	1581	0,000	38,003	1,179	4,377

Tabla 5.3. Matriz de correlaciones (Pearson)

Variables	TRÁFICO	PERMEABILIDAD	HUELLA	COMPACIDAD	DENSIDAD	CAÑÓN	EÓLICO	AIRE (NOx)	AIRE(PM10)
TRÁFICO	1	-0,146	0,336	0,552	0,499	0,404	0,504	0,089	0,027
PERMEABILIDAD	-0,146	1	-0,389	-0,326	-0,220	-0,041	-0,137	-0,156	-0,106
HUELLA	0,336	-0,389	1	0,726	0,404	0,296	0,310	0,425	0,307
COMPACIDAD	0,552	-0,326	0,726	1	0,872	0,660	0,636	0,203	0,072
DENSIDAD	0,499	-0,220	0,404	0,872	1	0,685	0,631	0,042	-0,060
CAÑÓN	0,404	-0,041	0,296	0,660	0,685	1	0,569	0,037	-0,030
EÓLICO	0,504	-0,137	0,310	0,636	0,631	0,569	1	0,027	-0,063
AIRE (NOx)	0,089	-0,156	0,425	0,203	0,042	0,037	0,027	1	0,423
AIRE(PM10)	0,027	-0,106	0,307	0,072	-0,060	-0,030	-0,063	0,423	1

Los valores en negrita son diferentes de 0 con un nivel de significación alfa=0,05



Las correlaciones más altas son:

- Densidad con compacidad (0,87)
- Huella con compacidad (0,72)
- Compacidad con cañón (0,66)
- Compacidad con eólico (0,63)
- Cañón con densidad (0,68)
- Eólico con densidad (0,63)
- Cañón con eólico (0,56)
- Tráfico con compacidad (0,55)
- Tráfico con eólico (0,50)

Las de aire no parecen presentar correlaciones altas. Como resultado de este estudio se concluye que existen correlaciones significativas entre los indicadores seleccionados y en muchos de los casos correlaciones medias (0,3 – 0,6) y altas (0,6-0,85).

5.3 CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CONCENTRACIÓN

Cada uno de los indicadores recibe una ponderación sobre el índice de concentración en función de los resultados obtenidos en la encuesta.

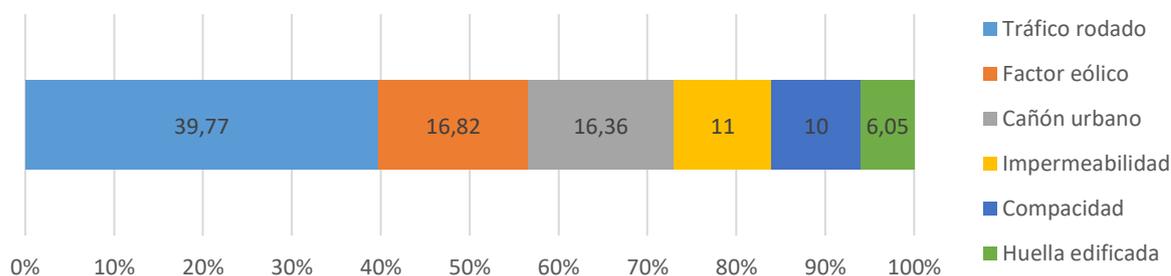


Figura 5.7. Peso relativo de cada indicador dentro del índice. Fuente: Elaboración propia

De la aplicación de estos porcentajes sobre la malla de referencia surge el mapa de concentración.

5.3.1 Resultados

A continuación se presentan las mallas correspondientes a los indicadores considerados, así como algunas consideraciones particulares.

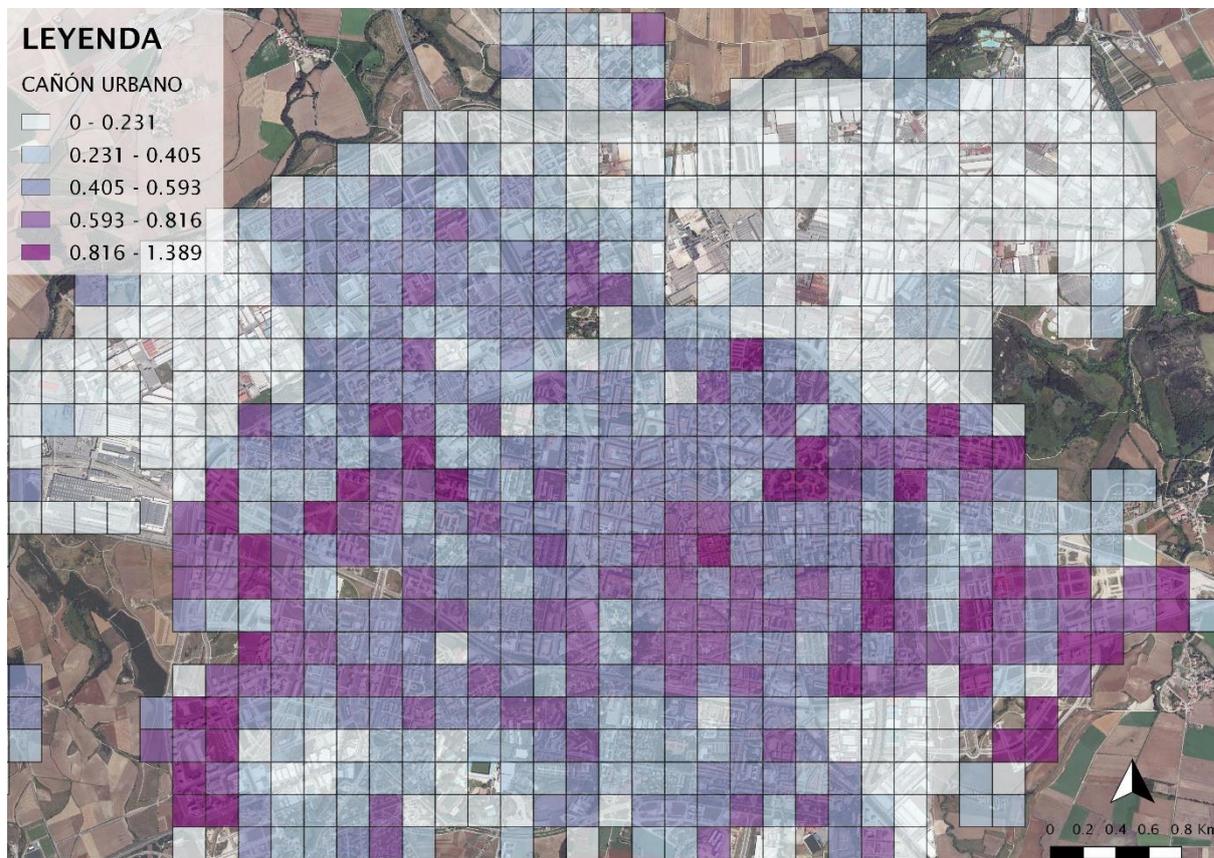


Figura 5.8. Cañón urbano (m/m). Fuente: Catastro de Álava, SIAM y PNOA. Elaboración propia

La representación en celdas del cañón urbano evidencia una deficiencia, ya que los valores máximos se localizan predominantemente en zonas de nuevo desarrollo con edificación abierta en altura y amplias avenidas que desvirtúan el cálculo explicado en la metodología, al no tener una compacidad y huella suficientemente cerrada como para considerar el efecto canalizador de la calle corredor.

A pesar de ello, se pueden apreciar ciertos ámbitos que muestran este fenómeno de forma relativamente fidedigna ya que corresponden a zonas de ciudad compacta, con diferente grado de encañonamiento.

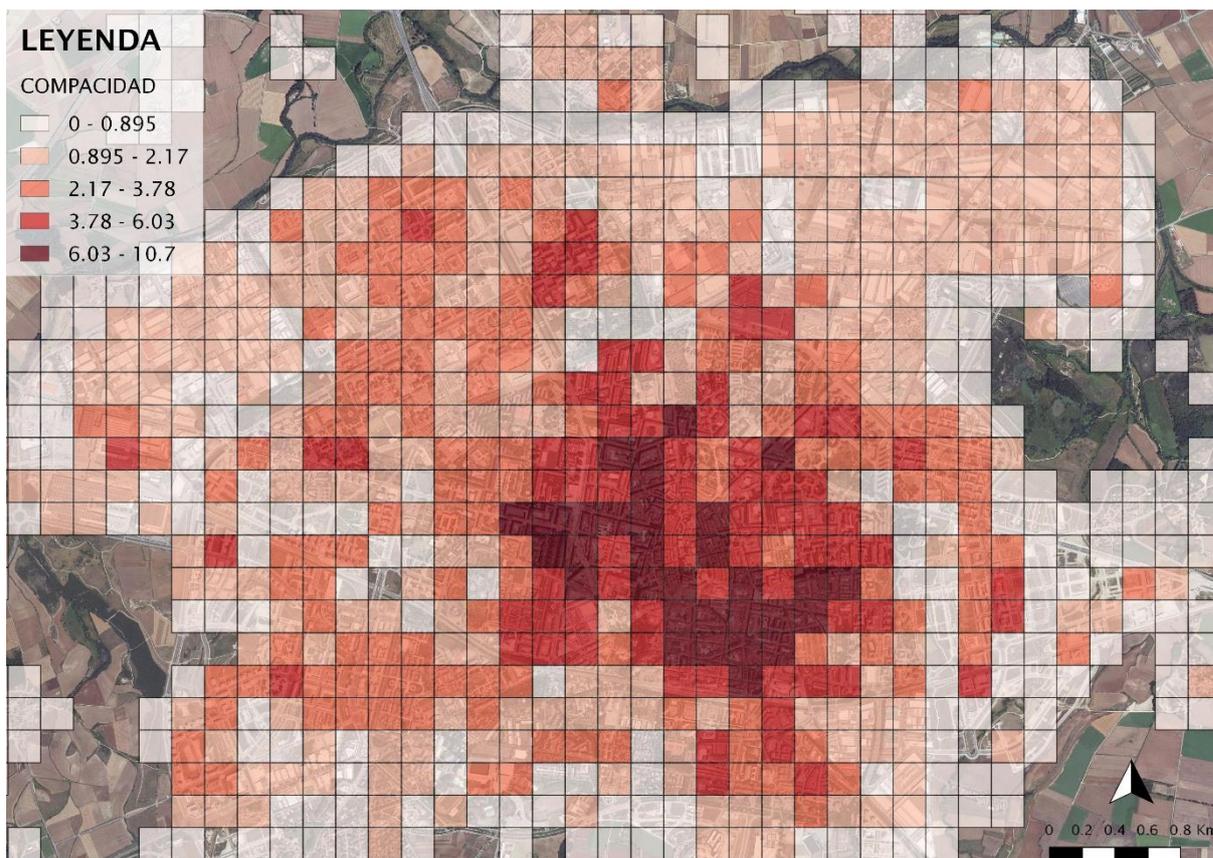


Figura 5.9. Compacidad (m^3/m^2). Fuente: Catastro de Álava y PNOA. Elaboración propia

En el caso del análisis de la compacidad se aprecia una clara dualidad entre centro y periferia en lo que se refiere a volumetría general de las edificaciones. La zona central, el casco histórico y ensanche, se ajusta a los parámetros de ciudad compacta con valores bastante altos. En cambio, los nuevos desarrollos urbanísticos en los bordes están caracterizados por valores mucho más atenuados, debido a la tipología constructiva predominante, esto es, bloques de vivienda independientes rodeados por amplios espacios abiertos.

Existen algunas excepciones, debido a torres residenciales que incrementan el volumen edificado con una ocupación en superficie reducida. Adicionalmente, se pueden intuir algunas discontinuidades causadas por la presencia de infraestructuras de distinto tipo: ferroviarias, tráfico rodado o verdes.

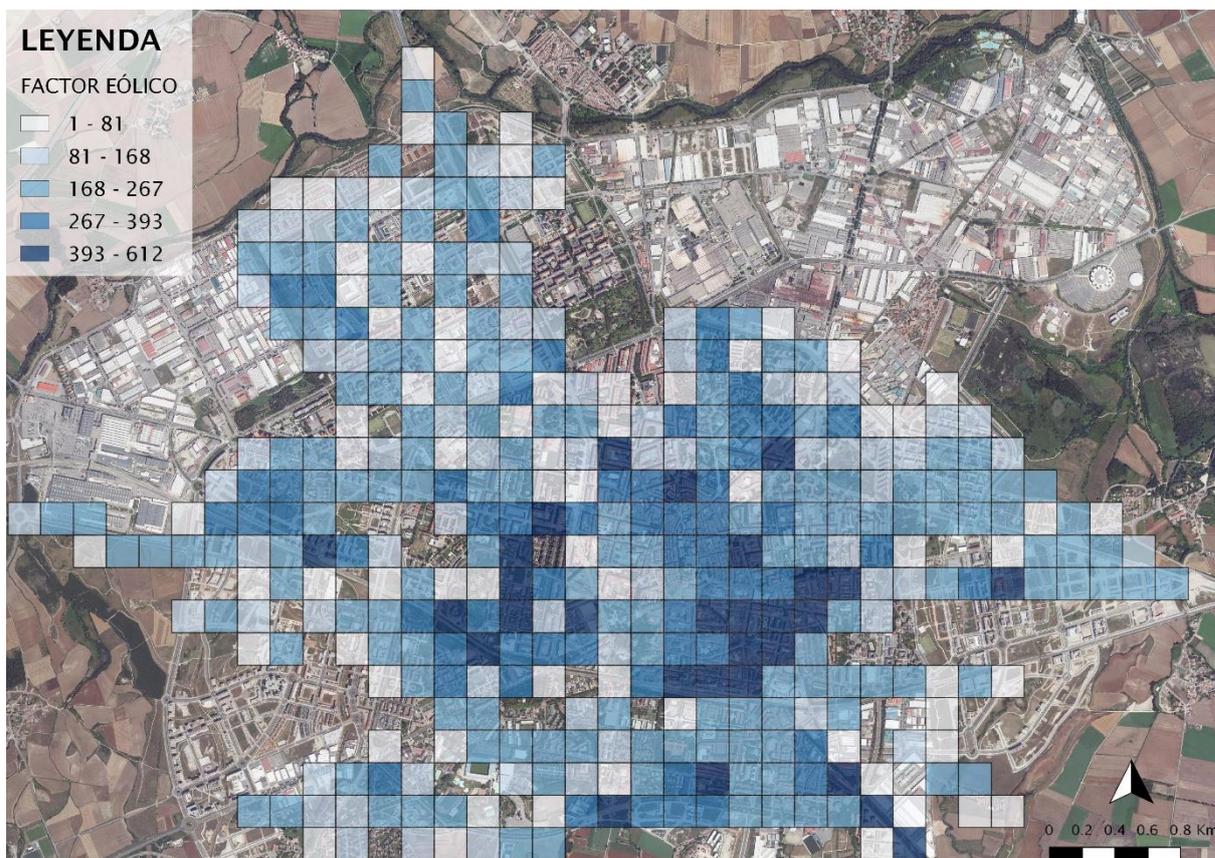


Figura 5.10. Factor eólico (m). Fuente: SIAM y PNOA. Elaboración propia

La mayor concentración de tramos de calle que provocan el estancamiento de los contaminantes está bastante ligada a la zona centro y su entorno más próximo, donde la mayor compacidad y un alto ratio de número de calles por celda causan esta circunstancia.

En lo relativo al factor eólico, derivado del modelo radiocéntrico, las orientaciones no alineadas con los vientos predominantes, mostrados en la Figura 5.5, también tienden a presentar tonalidades oscuras, como es el caso del sureste y el oeste, que se corresponden con dos amplias avenidas que desembocan en la estación de ferrocarril.

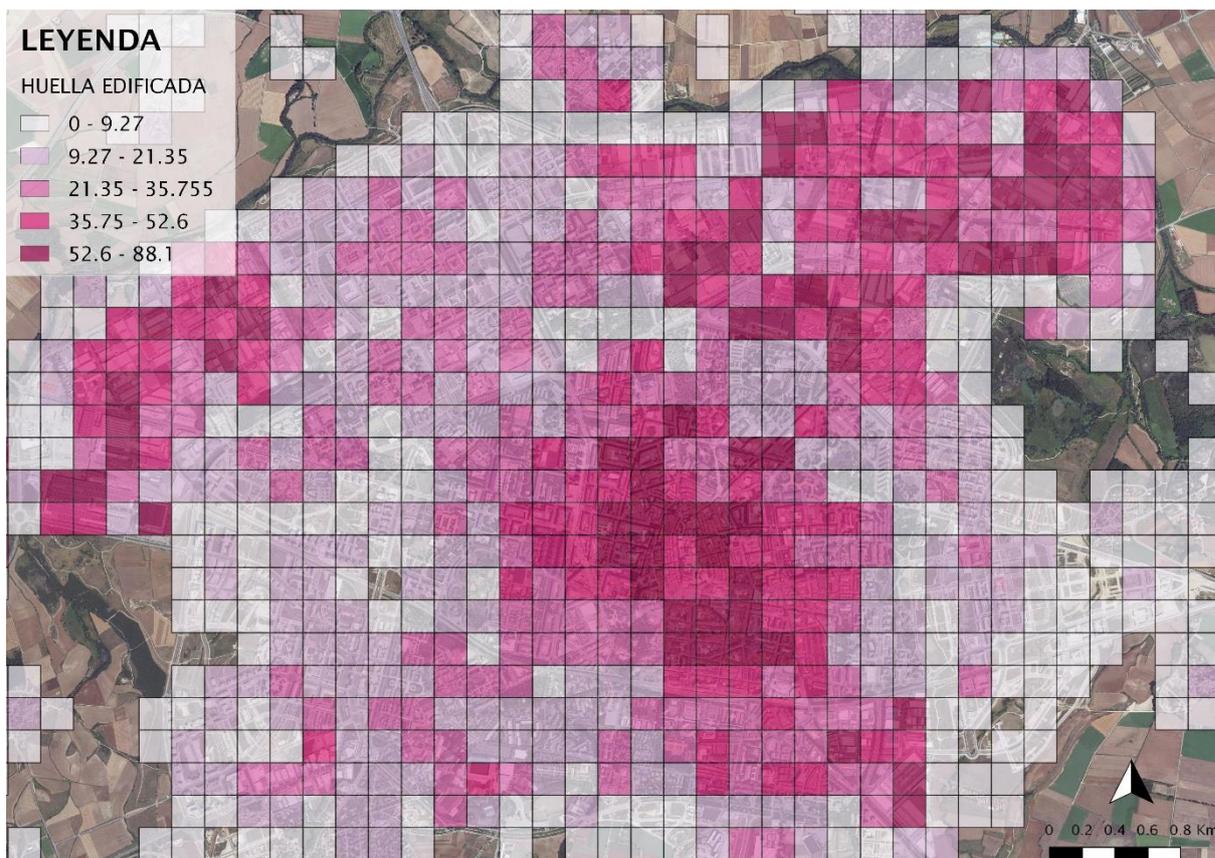


Figura 5.11. Huella edificada (%). Fuente: Catastro de Álava y PNOA. Elaboración propia

El porcentaje de ocupación del suelo por la edificación es muy elevado en el entorno del Casco Viejo y se va diluyendo en sus alrededores, donde las calles van aumentando su sección y aparecen espacios públicos que provocan el esponjamiento de la trama urbana.

Las zonas de nuevo desarrollo presentan una huella mucho más atenuada, ya que la tendencia son las edificaciones exentas con amplios bulevares y parques periurbanos, donde se plantean intervenciones para redensificar estos barrios.

Por su parte, sendos espacios industriales al oeste y noreste, donde también se insertan las grandes estructuras comerciales, presentan unos porcentajes elevados de ocupación del suelo, que además obligan a reservar una traza, casi a modo de cortafuegos, con el espacio residencial colindante que se puede apreciar en la siguiente figura.

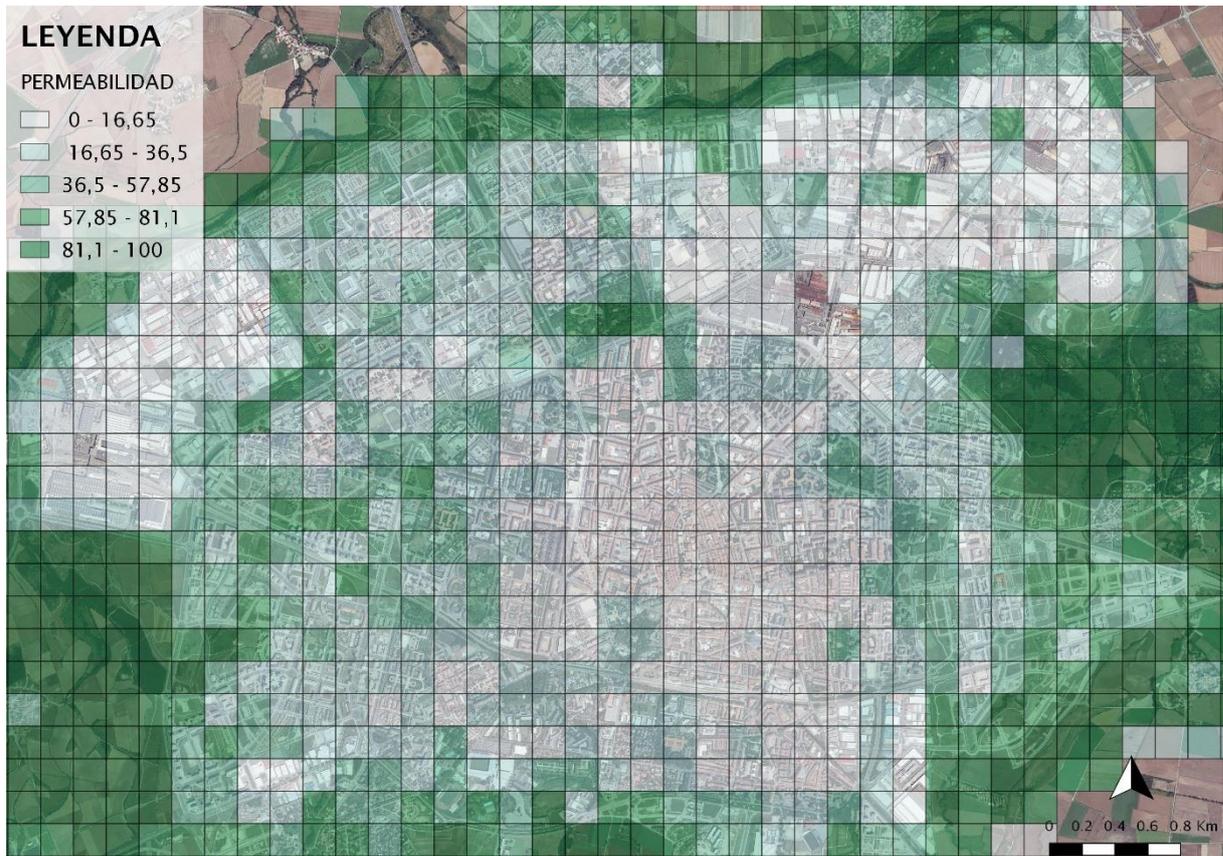


Figura 5.12. Permeabilidad (%). Fuente: SIAM y PNOA. Elaboración propia

Los porcentajes más elevados se concentran en la periferia, configurando el denominado anillo verde, un conjunto de parques periurbanos y diversos enclaves de alto valor ecológico y paisajístico que articulan un continuo natural alrededor de la ciudad.

A partir de esta mancha anular verde, en muchas zonas se insertan a modo de cuña en la ciudad otros espacios vegetales o hídricos de escala urbana, espontáneos o artificiales, en forma de parques, jardines, huertas, láminas de agua, etc. En general, la gradación es descendente hacia el centro, por lo que se puede definir la permeabilidad como un indicador centrífugo.

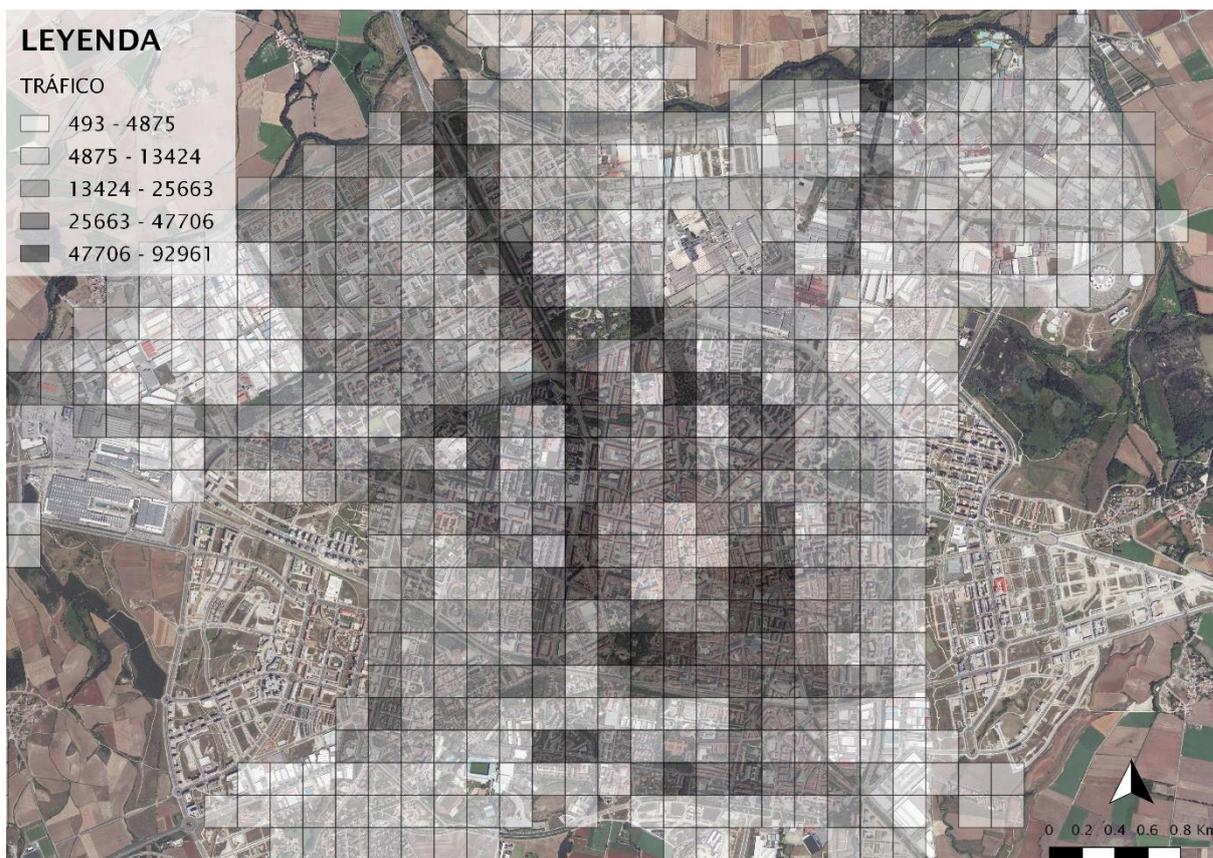


Figura 5.13. Tráfico (nº vehículos). Fuente: SIAM y PNOA. Elaboración propia

El estudio de tráfico revela un primer anillo urbano que circunvala el centro de la ciudad, la continuidad del mismo es evidente, aunque presenta una intensa concentración en las zonas sur y sureste.

La intensidad más severa se corresponde con los viales de acceso principales desde el noroeste (N-622) y noreste (N-240), que enlazan con la autovía de circunvalación A-1 encargada de distribuir los flujos de paso y entrada.

Los alrededores de los polígonos industriales también muestran una presencia vehicular notable en los bordes de la ciudad.

Los datos de tráfico, debido a su antigüedad, no registran la cantidad de vehículos que atraviesan por zonas de nueva urbanización (Salburua y Zabalgana), nuevas variantes y desdoblamientos, en especial el Bulevar sur, y cambios debidos a nuevos modos de transporte, como la red tranviaria.

5.3.2 Priorización de ubicaciones

El riesgo ambiental caracterizado por el índice diseñado responde a criterios arquitectónicos, urbanísticos o formales, que finalmente es representado por un número. Pero sobre esta realidad física se superpone una realidad social. Desde este enfoque se introduce un factor determinante en la toma de decisión final: la vulnerabilidad.

La presión de la contaminación tiene una mayor afección sobre poblaciones residentes en las proximidades de las áreas de emisión, lo que puede representarse mediante la densidad de población, contribuyendo a mejorar la calidad de vida de más personas en ese entorno.

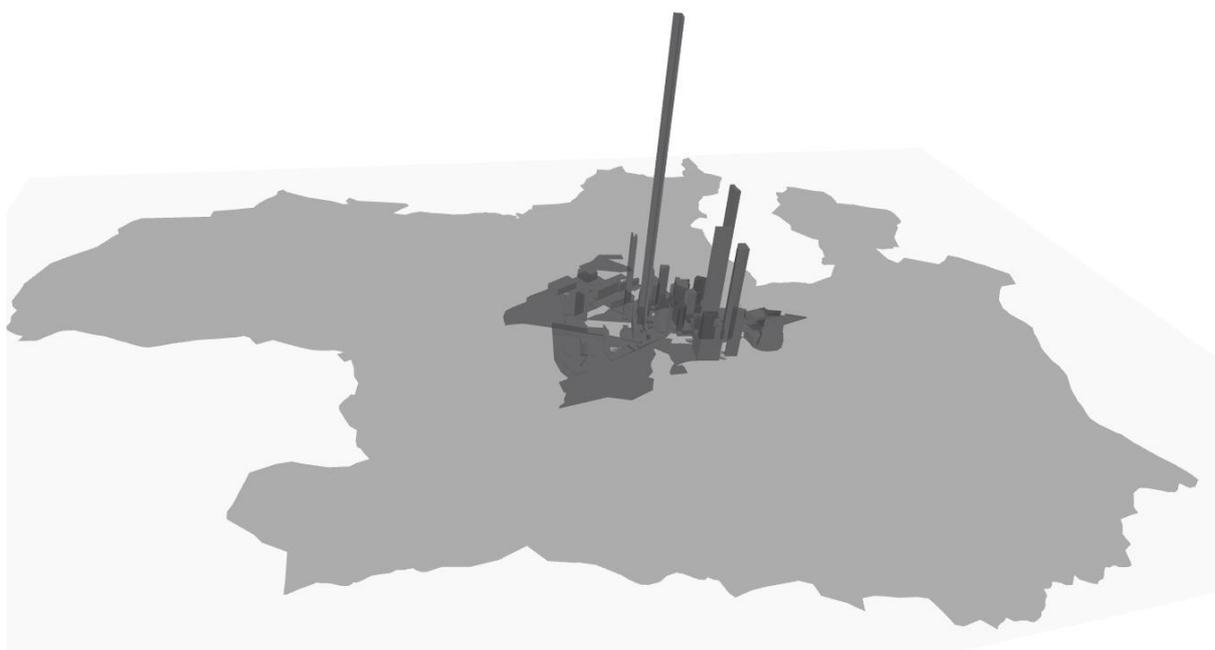


Figura 5.14. Representación tridimensional de la densidad poblacional de Vitoria-Gasteiz según secciones censales. Fuente: GeoEuskadi. Elaboración propia

Sin embargo, bajo un planteamiento de plasmar la mayor presión sufrida por grupos poblacionales más vulnerables por encima del propio asentamiento en sí mismo, se opta por tomar esa vía de priorización.

Por tanto, se ha considerado la presencia de una serie de equipamientos de carácter público como indicadores de vulnerabilidad social, por su mayor correlación e identificación con población especialmente sensible a la contaminación. Es el caso de los siguientes grupos de equipamientos, que albergan en gran porcentaje a población infantil, de edad avanzada o enferma.

- Asistenciales
- Docentes
- Sanitarios

En la siguiente figura se presenta el resultado de la priorización realizada:

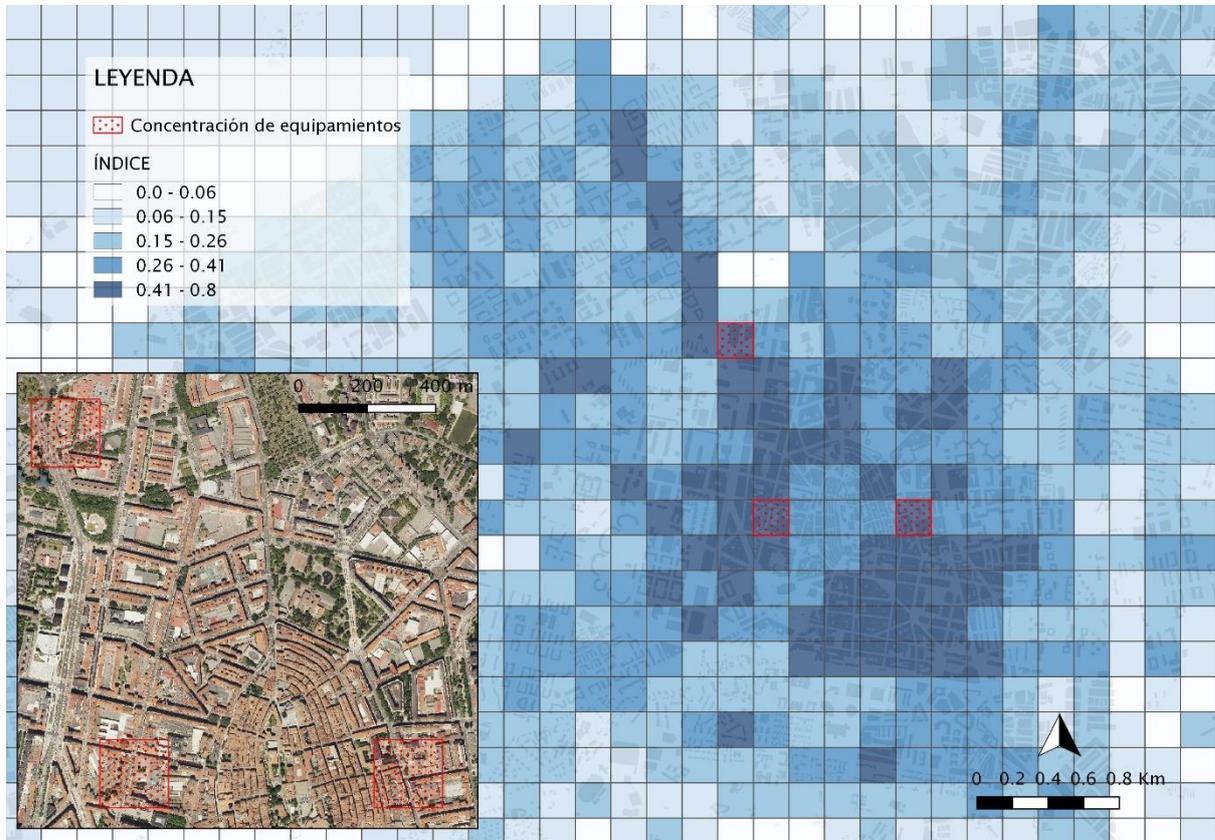


Figura 5.15. Localizaciones prioritarias para la ubicación de la solución. Fuente: Catastro de Álava, SIAM y PNOA. Elaboración propia

Se pueden observar tres zonas resultantes: la primera de ellas hacia al noroeste del Casco medieval y muy conectada con la vía principal de entrada a la ciudad y las otras dos a este y oeste del Casco, la del este cogiendo parte de la trama del mismo.

6 CONCLUSIONES

La amplia legislación sobre calidad del aire va encaminada a la progresiva reducción de contaminantes, responsables de una problemática ambiental consecuencia de las emisiones globales a la atmósfera. Las soluciones de adaptación al cambio climático, por su parte, son medidas singulares que mitigan los daños en el ámbito local a través del planeamiento urbano, en la edificación y en las infraestructuras.

El diseño de un sistema de indicadores, junto con la modelización mediante los Sistemas de Información Geográfica, permite visualizar la incidencia a escala urbana, y medir la sostenibilidad según criterios cuantitativos. Los distintos valores que toma el índice de concentración manifiestan la variedad de respuestas a las que dan lugar los diferentes espacios o modelos urbanos.

El resultado alcanzado mediante el análisis presentado permite identificar las zonas prioritarias para la ubicación de la solución para la mejora de la capacidad adaptativa de la ciudad frente a los contaminantes originados por el tráfico y, en consecuencia, de la calidad de vida de la población vulnerable. La decisión final de donde ubicar la solución podría depender además de otros criterios complementarios y la idoneidad de la zona para su implementación en cuanto a la viabilidad técnico-económica.

Esta aplicación, si bien ofrece un resultado interesante, presenta posibilidades de revisión en cuanto al diseño y consideración final de algunos de los indicadores empleados o de actualización de algunos de los datos empleados.

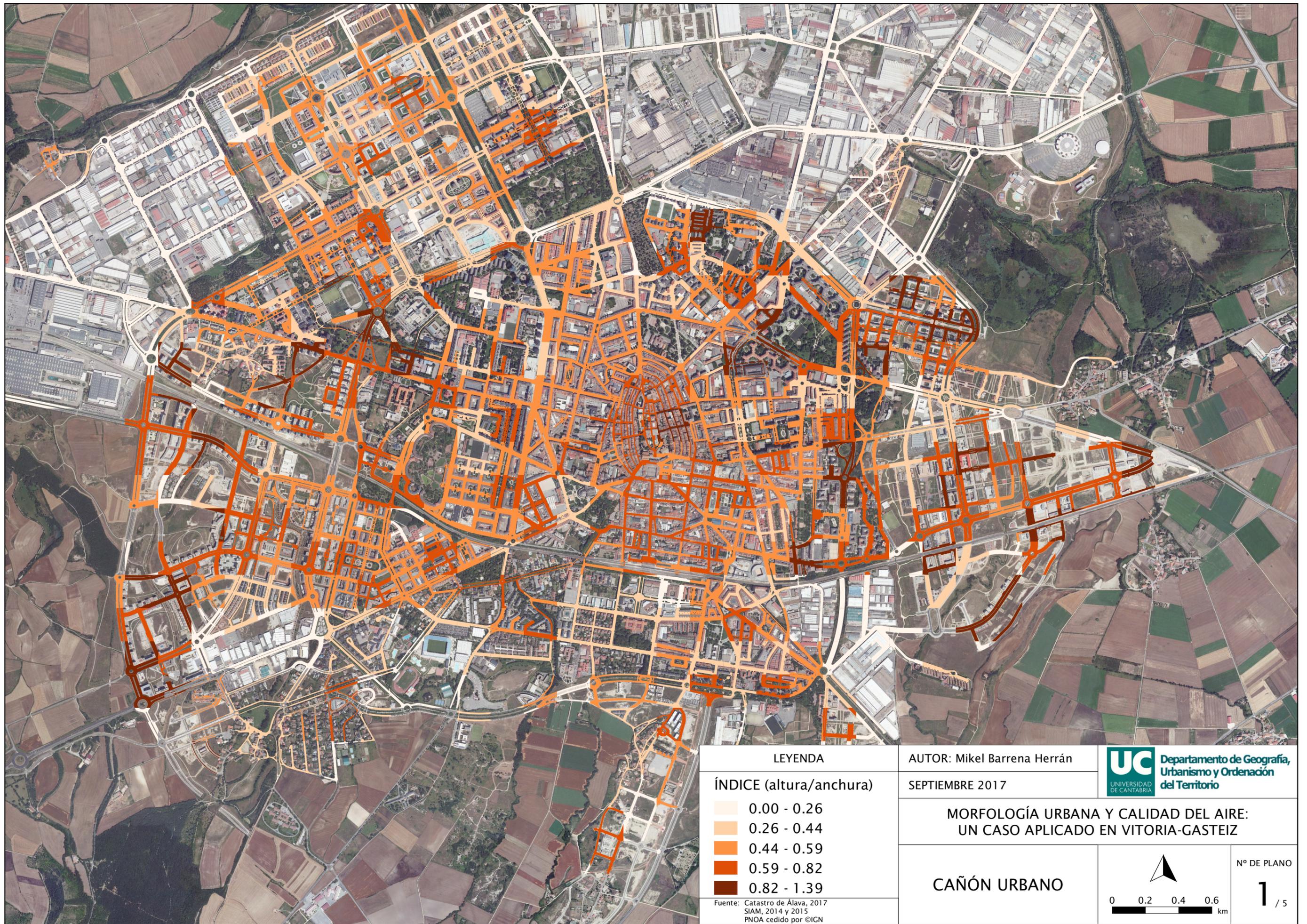
7 BIBLIOGRAFÍA

- BLANCO OLIVA, E. (2016). Vitoria-Gasteiz. En: *Otro punto de vista sobre el territorio*, 12 de diciembre de 2016. Consultado el 14 de junio de 2017 en: <https://eblancooliva.com/2016/12/12/vitoria-gasteiz/>
- BUCHANAN, C.D. (1973). *El tráfico en las ciudades*. Madrid: Tecnos.
- COMISIÓN EUROPEA (2015). *Towards an EU Research and Innovation policy agenda for Nature-Based Solutions & Re-Naturing Cities*. Luxemburgo: Oficina de Publicaciones de la Unión Europea
- COMITÉ DE DESARROLLO TERRITORIAL (1999). *Estrategia Territorial Europea. Hacia un desarrollo equilibrado y sostenible del territorio de la UE*. Potsdam: Comisión Europea.
- CUHADAROGLU, B. y DEMIRCI, E. (1997). Influence of some meteorological factors on air pollution in Trabzon city. *Energy and buildings*, Vol. 25, nº3, pp. 179 – 184.
- EDUSSURIYA, P.; CHAN, A. y Ye, A. (2011). Urban morphology and air quality in dense residential environments in Hong Kong. Part I: District-level analysis. *Atmospheric Environment*, Vol. 45, nº27, pp. 4789 – 4803.
- EDUSSURIYA, P.; CHAN, A. y MALVIN, A. (2014). Urban morphology and air quality in dense residential environments: correlations between morphological parameters and air pollution at street-level. *Journal of Engineering Science and Technology*, Vol. 9, nº 1, pp. 64 – 80.
- EDUSSURIYA, P. S. y CHAN, A. (2015). Analysis of urban morphological attributes and street level air pollution in high-density residential environments in Hong Kong. En: Crawford R.H. y Stephan A. (Eds.): *Living and Learning: 49th International Conference of the Architectural Science Association: Research for a Better Built Environment*, pp. 467 – 476.

- FARIÑA, J. (1990). *Clima, territorio y urbanismo*. Madrid: Escuela Técnica Superior de Arquitectura.
- FARIÑA, J. y NAREDO, J.M. (Dir.) (2010). *Libro Blanco de la sostenibilidad en el planeamiento urbanístico español*. Madrid: Centro de Publicaciones de la Secretaría General Técnica del Ministerio de Vivienda.
- GOBIERNO VASCO (1997). *Directrices de Ordenación Territorial de la Comunidad Autónoma del País Vasco*. Vitoria-Gasteiz: Servicio central de publicaciones.
- GOMEZ DELGADO, M. y BARREDO CANO J.I. (1996). *Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*. Madrid: RA-MA.
- GONG, J., et al. (2015). Characterization of air pollution index and its affecting factors in industrial urban areas in northeastern China. *Polish Journal of Environmental Studies*, Vol. 24, nº4, pp. 1579 – 1592.
- HERNÁNDEZ, A. (2013). *Manual de diseño bioclimático urbano. Recomendaciones para la elaboración de normativas urbanísticas*. Bragança: Instituto Politécnico.
- HOORNWEG, D. [Dir.] (2010). *Cities and climate change: An urgent agenda*. Washington: Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento.
- JIMÉNEZ, L.M. [Dir.] (20). *Calidad del aire en las ciudades españolas: clave de sostenibilidad urbana*. Alcalá de Henares: Universidad de Alcalá, Observatorio de la Sostenibilidad en España.
- KOOLHAAS, R. (2014). *Acerca de la ciudad. ¿Qué fue de del urbanismo? Grandeza, o el problema de la talla. La ciudad genérica. Espacio basura*. Barcelona: Gustavo Gili
- MAIGNANT, G. y DUTOZIA, J. (2011). Air pollution and urban morphology: A complex relation or how to optimize the pedestrian movement in town. En: Moldoveanu, A.M. (Ed.): *Advanced Topics in Environmental Health and Air Pollution Case Studies*, pp. 197 – 208.

- MAYER, H. (1999). Air pollution in cities. *Atmospheric environment*, Vol. 33, nº24, pp. 4029 – 4037.
- MITCHELL R y POPHAM F. (2008). Effect of exposure to natural environment on health inequalities: an observational population study. *Lancet*, Vol.372, nº9650, pp. 1655 – 1660
- Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire. Boletín Oficial del Estado, nº 25, de 29 de enero de 2011, pp. 9574 – 9626
- RUEDA, S. [Dir.] (2009). *Plan de indicadores de sostenibilidad urbana de Vitoria-Gasteiz*. Vitoria-Gasteiz: Departamento de Medio Ambiente del Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz. Disponible, en agosto de 2017, en: <http://www.vitoria-gasteiz.org/wb021/http/contenidosEstaticos/adjuntos/es/89/14/38914.pdf>
- RUEDA, S. (2012). *Guía metodológica para los sistemas de auditoría, certificación o acreditación de la calidad y sostenibilidad en el medio urbano*. Madrid: Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica del Ministerio de Fomento. Disponible, en agosto de 2017, en: http://www.bcnecologia.net/sites/default/files/modelo/documentacion/guia_metodologica_certificacion_sostenibilidad_0.pdf
- THUROW, C. (1983). *Improving street climate through urban design*. Chicago: American Planning Association
- THOMPSON, C.W., ROE, J., ASPINALL, P., MITCHELL, R., CLOW, A. y MILLER, D. (2012). More green space is linked to less stress in deprived communities: Evidence from salivary cortisol patterns. *Landscape and Urban Planning*, Vol.105, nº3, pp. 221 – 229.
- UDALSAREA 21 (2014). *Salud y desarrollo urbano sostenible. Guía práctica para el análisis del efecto en la salud de iniciativas locales de urbanismo*. Bilbao: Ihobe
- VEGARA, A. y DE LAS RIVAS, J.L. (2016). *La Inteligencia del territorio: supercities*. Madrid: Fundación Metrópoli.

8 ANEXO CARTOGRÁFICO



LEYENDA	
ÍNDICE (altura/anchura)	
	0.00 - 0.26
	0.26 - 0.44
	0.44 - 0.59
	0.59 - 0.82
	0.82 - 1.39
Fuente: Catastro de Álava, 2017 SIAM, 2014 y 2015 PNOA cedido por ©IGN	

AUTOR: Mikel Barrena Herrán
SEPTIEMBRE 2017



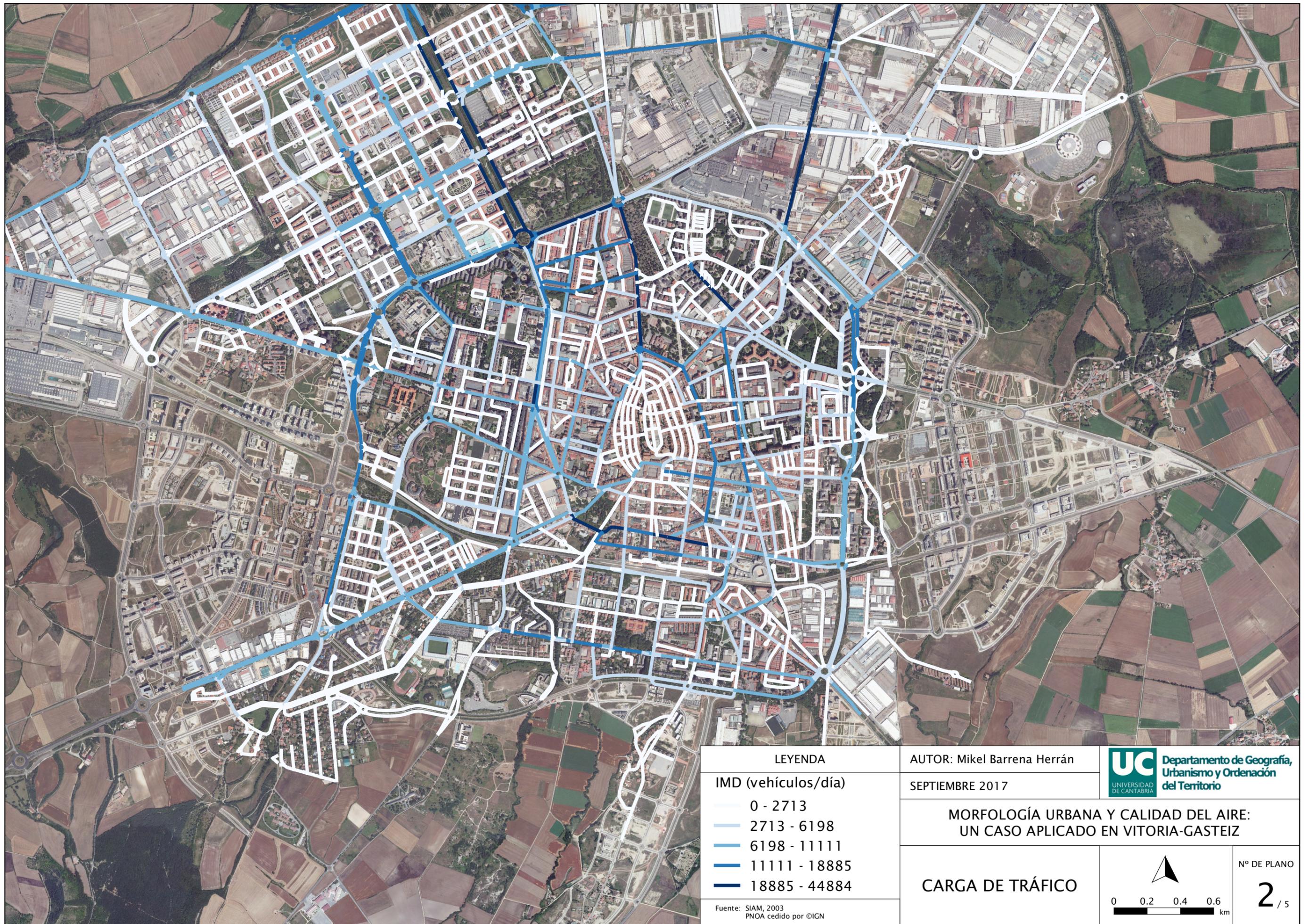
Departamento de Geografía,
Urbanismo y Ordenación
del Territorio

MORFOLOGÍA URBANA Y CALIDAD DEL AIRE:
UN CASO APLICADO EN VITORIA-GASTEIZ

CAÑÓN URBANO




Nº DE PLANO
1 / 5



LEYENDA	
IMD (vehículos/día)	
0 - 2713	
2713 - 6198	
6198 - 11111	
11111 - 18885	
18885 - 44884	

Fuente: SIAM, 2003
PNOA cedido por ©IGN

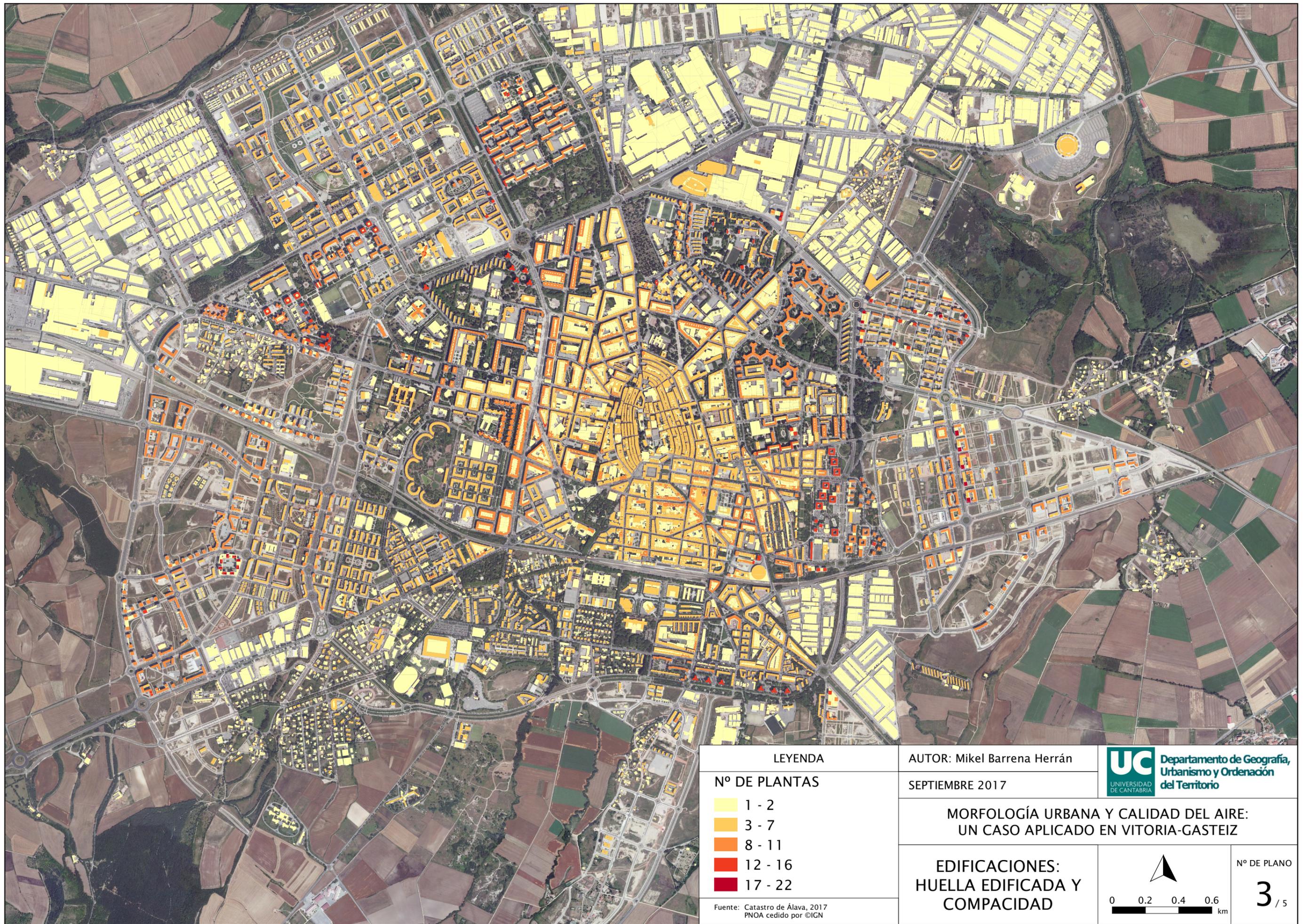
AUTOR: Mikel Barrena Herrán
SEPTIEMBRE 2017

UC Departamento de Geografía,
Urbanismo y Ordenación
del Territorio
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

MORFOLOGÍA URBANA Y CALIDAD DEL AIRE:
UN CASO APLICADO EN VITORIA-GASTEIZ

CARGA DE TRÁFICO

Nº DE PLANO
2 / 5



LEYENDA	
Nº DE PLANTAS	
	1 - 2
	3 - 7
	8 - 11
	12 - 16
	17 - 22

Fuente: Catastro de Álava, 2017
 PNOA cedido por ©IGN

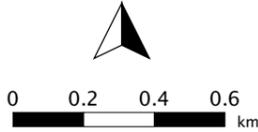
AUTOR: Mikel Barrena Herrán
 SEPTIEMBRE 2017



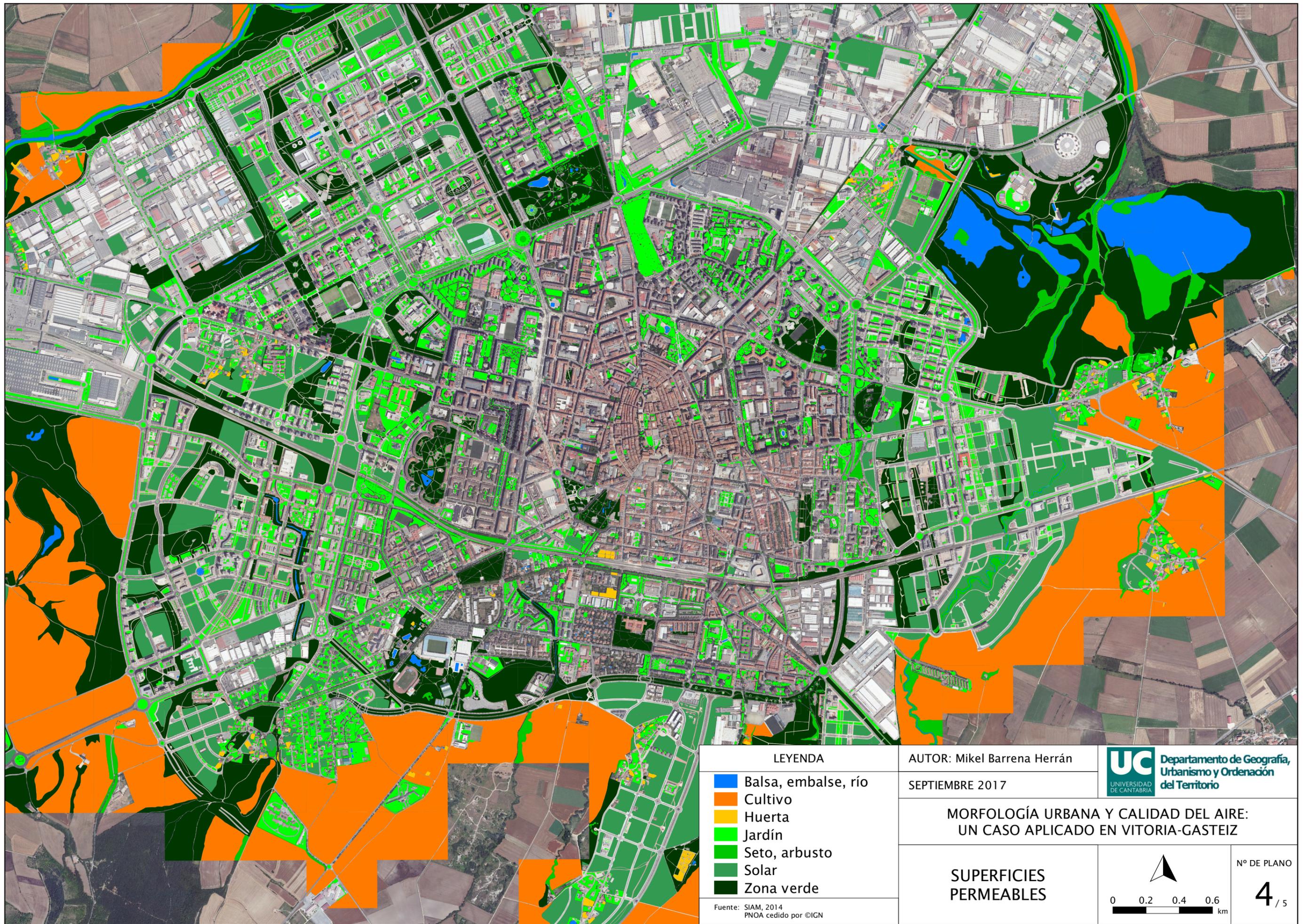
Departamento de Geografía,
 Urbanismo y Ordenación
 del Territorio

**MORFOLOGÍA URBANA Y CALIDAD DEL AIRE:
 UN CASO APLICADO EN VITORIA-GASTEIZ**

**EDIFICACIONES:
 HUELLA EDIFICADA Y
 COMPACIDAD**



Nº DE PLANO
3 / 5



LEYENDA	
	Balsa, embalse, río
	Cultivo
	Huerta
	Jardín
	Seto, arbusto
	Solar
	Zona verde

Fuente: SIAM, 2014
PNOA cedido por ©IGN

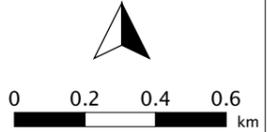
AUTOR: Mikel Barrena Herrán
SEPTIEMBRE 2017



UC
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA
Departamento de Geografía,
Urbanismo y Ordenación
del Territorio

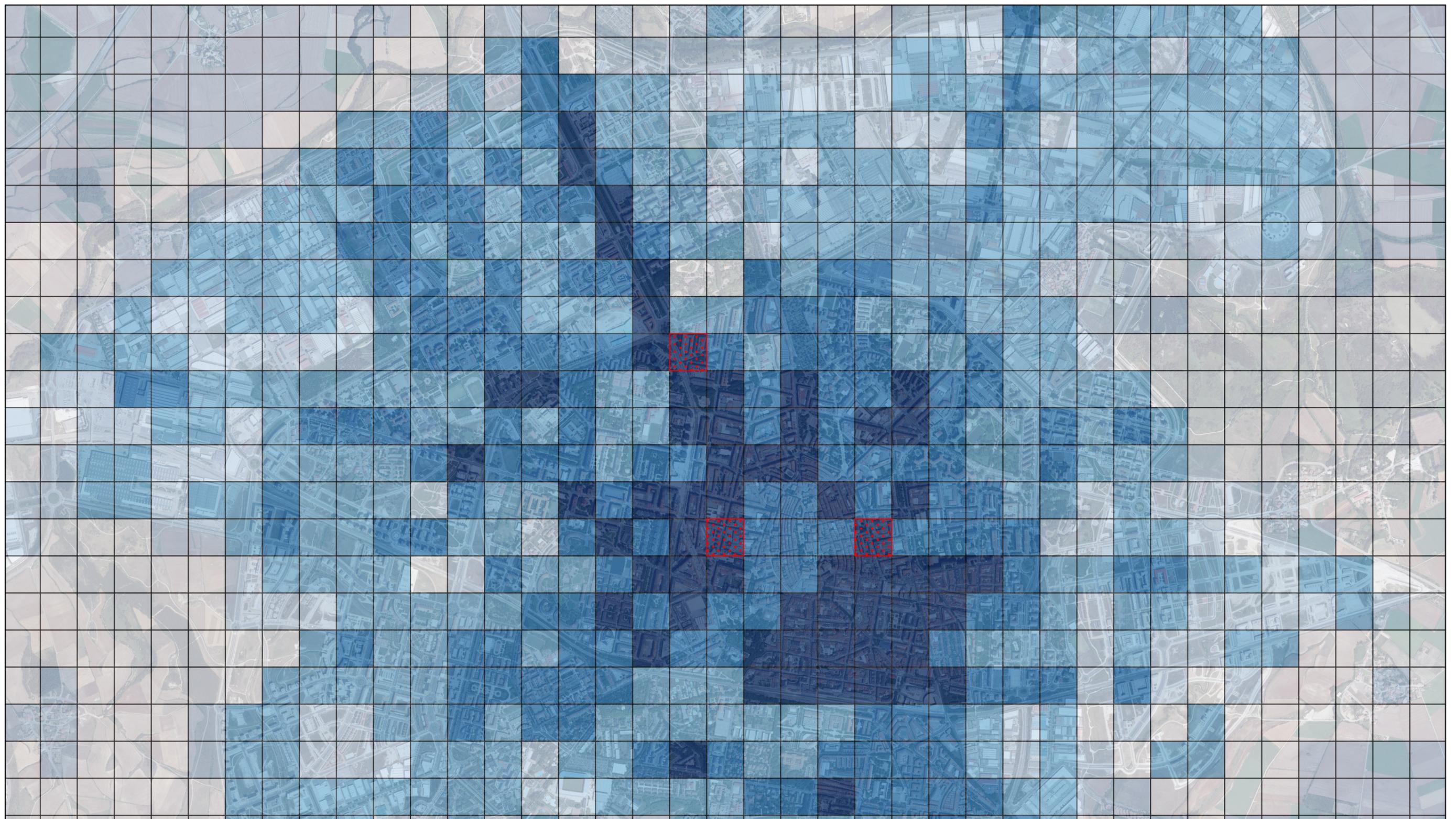
MORFOLOGÍA URBANA Y CALIDAD DEL AIRE:
UN CASO APLICADO EN VITORIA-GASTEIZ

**SUPERFICIES
PERMEABLES**



0 0.2 0.4 0.6 km

Nº DE PLANO
4 / 5



LEYENDA

ÍNDICE PONDERADO

- 0.00 - 0.06
- 0.06 - 0.15
- 0.15 - 0.26
- 0.26 - 0.41
- 0.41 - 0.8
- 4 ó 5 equipamientos

Fuente: SIAM
PNOA cedido por ©IGN

AUTOR: Mikel Barrena Herrán
SEPTIEMBRE 2017



**MORFOLOGÍA URBANA Y CALIDAD DEL AIRE:
UN CASO APLICADO EN VITORIA-GASTEIZ**

**MALLA DE RESULTADOS
SEGÚN PONDERACIÓN
DE INDICADORES
URBANOS**

Nº DE PLANO

5 / 5