

CONAMA 2022

CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

Análisis del efecto de la calidad ambiental en el precio de las viviendas en la ciudad de Madrid



ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA CALIDAD AMBIENTAL EN EL PRECIO DE LAS VIVIENDAS EN LA CIUDAD DE MADRID

Autor Principal: Patricia Arrogante Funes (Universidad Rey Juan Carlos)

Otros autores: Adrián García Bruzón (Universidad Rey Juan Carlos), Andrea Merchán Fernández (Universidad Rey Juan Carlos).

ÍNDICE

1. Título
2. Resumen
3. Introducción
4. Metodología
5. Resultados y discusión
6. Conclusiones
7. Bibliografía

ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA CALIDAD AMBIENTAL EN EL PRECIO DE LAS VIVIENDAS EN LA CIUDAD DE MADRID

Palabras Clave: Precio de viviendas, Aspectos ambientales, Modelo machine learning, Calidad de vida, Ciudades

RESUMEN

Las grandes urbes concentran un alto número de anomalías ambientales debido a la gran carga de residuos y niveles de contaminación que producen. Los ciudadanos de estos núcleos urbanos se preocupan cada vez más por los aspectos ambientales, pues afectan directamente a su salud y su bienestar.

En esta comunicación se describe las variables ambientales más significativas que pueden afectar al precio de la vivienda, pudiendo resultar muy útil en los análisis futuros de coste-beneficio en proyectos destinados a la descontaminación ambiental. Logrando establecer conexiones entre el precio de la vivienda y criterios medioambientales. A partir de este estudio los bienes ambientales se pueden enajenar en el mercado ya que se ha comprobado que tienen un precio y se posibilita establecer valores económicos a los criterios de calidad y cantidad de recursos ambientales.

Este estudio puede proporcionar referencias para la planificación urbana y la gestión de riesgos en Madrid, así como para el proceso de toma de decisiones del público objetivo para compras residenciales. Se ha comprobado que los aspectos ambientales están incorporados en el precio de los inmuebles, pues los consumidores están dispuestos a pagar un precio mayor por una vivienda situadas en zonas medioambientalmente más sanas, sin contaminación acústica, con bajos niveles de polución y cercanas a zonas verdes.

INTRODUCCIÓN

Aproximadamente la mitad de la población del mundo reside en zonas urbanas. Según el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas, en 1950 un 6% de la población mundial vivía en grandes ciudades, en 2016 este porcentaje ya superaba el 54%, y la previsión es que en 2050 se alcance el 66% (Naciones Unidas, 2022).

El 71% de la población mundial considera que el cambio climático será un problema tan grave como lo es hoy la crisis del Covid-19 (Querol, 2018). Con la definición de salud de la Organización Mundial de la Salud, se trata no solo de evitar la enfermedad, sino de asegurar una calidad de vida adecuada a la población. En el informe anual de la OMS de 2002, sobre la salud de los europeos, se destaca el aumento en los últimos 20 años de los riesgos para la salud que ocasiona el medioambiente y los estilos de vida. Vivir en un entorno contaminado o que soporta otro tipo de problema medioambiental es el tercer problema en importancia en afectar a la media de hogares europeos (un 16,7% lo padece). Los más perjudicados son los italianos (24,3%) y luego los españoles (19,6%), los menos son los daneses (7,2%) (Iglesias García, 2003).

ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA CALIDAD AMBIENTAL EN EL PRECIO DE LAS VIVIENDAS EN LA CIUDAD DE MADRID

Tras el estado de alarma sanitario acaecido en 2020, donde para muchos la vivienda se ha convertido en el único espacio vital, los compradores de vivienda valoran más que nunca la existencia de zonas exteriores en el entorno inmediato de la vivienda, lejos de la contaminación, los residuos y los ruidos, así como la presencia de zonas verdes y de recreación en los alrededores donde poder evadirse del exceso de horas que se pasan en el hogar. Para el 62% de los españoles es importante que el plan de recuperación económica post-Covid-19 incluya acciones respetuosas con el cambio climático. El 51% de los españoles mejorará su consciencia climática tras esta pandemia (IPSOS, 2020).

Conforme las áreas urbanas crezcan más, será más importante desarrollar programas de planificación urbana y en estas planificaciones entran los criterios verdes como la limitación de zonas verdes y de espacios libres protegidos, la conservación ambiental, la definición de los parámetros de calidad ambiental o el señalamiento de las áreas donde están ubicadas instalaciones consideradas de alta peligrosidad ambiental.

El crecimiento de las ciudades acarrea una serie de amenazas (National Geographic, 2010):

- El crecimiento intensivo de las ciudades puede generar más pobreza e impedir que los gobiernos locales ofrezcan servicios a todas las personas.
- El consumo concentrado de energía aumenta la contaminación del aire, con un notable impacto en la salud humana.
- Las emisiones de los automóviles producen elevados niveles de plomo en el aire urbano.
- Grandes volúmenes de residuos no recogidos suponen múltiples riesgos para la salud.
- El desarrollo urbano puede magnificar el riesgo de desastres medioambientales, como las inundaciones súbitas.
- La contaminación y las barreras físicas que impiden el crecimiento de las raíces fomentan la pérdida de masa forestal urbana.
- La fauna se ve perjudicada por sustancias tóxicas, vehículos y la pérdida del hábitat y las fuentes de alimentos.

La sociedad está cambiando y con ella cambia su entorno, tal vez antes a la hora de estipular el precio de una vivienda lo principal era su ubicación, el número de la planta o las dotaciones con las que contaba el edificio. Pero hay otros factores que también valorizan o desvirtúan el precio de las viviendas. Este proyecto se enmarca en la ciudad de Madrid, que cuenta con un total de 3.334.730 habitantes y una extensión de 604,3 km². Madrid se caracteriza por ser una de las ciudades europeas con mayores niveles de contaminación (INE, 2020). En este trabajo de investigación se van a evaluar diversos criterios ambientales que pueden afectar a la vida en las ciudades y por tanto al precio de la vivienda. A continuación, se exponen las variables a analizar:

Contaminación atmosférica: Acudiendo al inventario municipal de emisiones de la provincia de Madrid, se observa como la evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero desde 1990 ha bajado casi 2000 kilotoneladas equivalentes de CO₂.

ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA CALIDAD AMBIENTAL EN EL PRECIO DE LAS VIVIENDAS EN LA CIUDAD DE MADRID

Contaminación acústica: Una de las claves a la hora de elegir donde vivir es la localización y con ella va incluida el nivel de ruido. No es lo mismo vivir debajo de un bar, al lado de un estadio deportivo, un hospital etc. que junto a un parque. Cualquier actividad humana acarrea normalmente un nivel de ruido. En España, el 30,6% de las casas tiene problemas de ruidos (Iglesias García, 2003). En las grandes ciudades, como en Madrid, debido al gran número de actividades que se desarrollan, el ruido es un elemento presente que influye significativamente en el bienestar, sobre todo en casos de estrés o insomnio. El ruido en su mayoría está asociado al tráfico rodado, ya sea por las bocinas de los coches en los atascos, los camiones de basura, la carga y descarga de mercancías, los frenazos o acelerones. En Madrid en algunos tramos se superan los valores de contaminación acústica considerados aceptables por la OMS (65dB por el día y 55 dB por la noche) (Ayto. Madrid, 2016).

Olores y focos de contaminación puntuales: Es otro de los puntos que más preocupan a los ciudadanos. Las grandes zonas de residuos como son los vertederos o las depuradoras son un inconveniente para los ciudadanos residentes en zonas cercanas a estas infraestructuras, por ello a la hora de escoger una vivienda, son un punto importante de rechazo. Vivir cerca de estos lugares supone un riesgo tanto para el medioambiente como para la salud. La ciudad de Madrid cuenta con 7 EDARES (Estaciones de Depuración de Agua Residual) que son un gran foco de contaminación por el almacenamiento de gas metano. Asimismo, la Comunidad de Madrid cuenta con 4 vertederos: el de Alcalá de Henares, que da servicio a los municipios integrados en la Mancomunidad del Este; el de Pinto (Mancomunidad del Sur), Colmenar Viejo (Mancomunidad del Noroeste) y Valdemingómez (Madrid capital, Rivas-Vaciamadrid y Arganda del Rey). Todos estos puntos emiten metales pesados, dioxinas, furanos y otros compuestos tóxicos que afectan al aire y al agua (CAM, 2015).

Residuos peligrosos: En las grandes capitales hay muchísimos tipos de deshechos y entre ellos está el almacenamiento de residuos peligrosos. En estos tipos de almacenamientos se puede encontrar de todo tipo de restos: de tintorerías, chapas, pinturas, aceites, productos químicos. A la hora de elegir una ubicación para vivir, estos puntos de contaminación también afectan.

Zonas verdes: Las numerosas crisis y situaciones, que llevamos viviendo en los últimos años, nos hacen pensar de diferente modo. Queremos estar en grandes ciudades por todas las ventajas que conlleva vivir en ellas, pero cada vez estamos más conectados con la naturaleza. Por ello las zonas verdes, jardines, parques, etc. son criterios imprescindibles a la hora de elegir un determinado sitio. Según la OMS, las zonas verdes ayudan a conservar un ambiente saludable y prevenir enfermedades provocadas por la contaminación atmosférica. Son espacios que ayudan a contrarrestar los efectos negativos de la contaminación y ayudan a los ciudadanos a tener un contacto cercano con la naturaleza.

Certificados energéticos: De la definición anterior nacen los certificados energéticos. Los certificados energéticos son documentos que incluyen una calificación de la eficiencia energética y del consumo de un edificio, informan sobre el consumo energético y la huella de carbono de los inmuebles.

Desde 2013, según el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, es de obligado cumplimiento tener el certificado de eficiencia energética para vender o alquilar un inmueble. Es responsabilidad del propietario de la vivienda poseer dicho certificado. Con este documento, se consigue una etiqueta energética que indica las calificaciones de emisiones y consumo de la vivienda en una escala de colores de la A a la G, de más a menos eficiente. Estos

ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA CALIDAD AMBIENTAL EN EL PRECIO DE LAS VIVIENDAS EN LA CIUDAD DE MADRID

certificados ayudan a cumplir con los criterios de sostenibilidad, pues el objetivo es que las viviendas en España tengan un consumo de energía casi nulo (Ampervillas, 2016).

Según evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la calificación energética en un edificio de viviendas situado en Madrid, la obtención de la mejor calificación energética A o B a la peor E, implica un aumento de la inversión del 6,28% (51,38 €/m²). Asimismo, el consumo de energía es de 30,5 kWh/m² año para la calificación B y de 67 kWh/m² año para la E (García-Navarro, González-Díaz y Valdivieso, 2014).

Repasando estos criterios verdes se puede concretar que todos los aspectos de la vida en las ciudades dependen de múltiples factores. La OCU valora la calidad de vida en su conjunto, con 10 criterios: movilidad, seguridad ciudadana, servicios de salud, servicios educativos, oferta cultural, deportiva y de ocio, contaminación y medio ambiente, mercado laboral, coste de la vida, mercado inmobiliario y limpieza urbana (OCU, 2021).

Esta investigación describe cada una de estas variables ambientales que afectan al precio de la vivienda, con la aplicación de un algoritmo de *Machine Learning*, concretamente *Random Forest*, en el que se predice y estudia el comportamiento de los aspectos ambientales anteriormente enunciados en el precio de la vivienda de la ciudad de Madrid.

Por tanto, se observará si el valor de la vivienda puede verse afectado debido a factores como los ruidos, la contaminación. Pero, además, se verá si el valor de la vivienda puede incrementar debido a aspectos positivos como cercanía a zonas verdes, dotación de certificados energéticos etc.

Con este estudio se posibilita establecer valores económicos a los criterios de calidad y cantidad de recursos ambientales. Dar a conocer cuáles son las variables ambientales que están presentes a la hora de establecer el precio de un inmueble y como estas influyen favorable o desfavorablemente en el valor final del mismo y si estas se encuentran realmente implícitas en el mismo.

METODOLOGÍA

ZONA DE ESTUDIO

Este proyecto se enmarca en la ciudad de Madrid, que cuenta con un total de 3.334.730 habitantes y una extensión de 604,3 km². (INE, 2020). Madrid es la capital de España. Madrid se divide en 21 distritos, los cuales conforman un total de 131 barrios. La Figura 1 nos muestra el mapa de distribución espacial de los registros del presente trabajo.

ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA CALIDAD AMBIENTAL EN EL PRECIO DE LAS VIVIENDAS EN LA CIUDAD DE MADRID

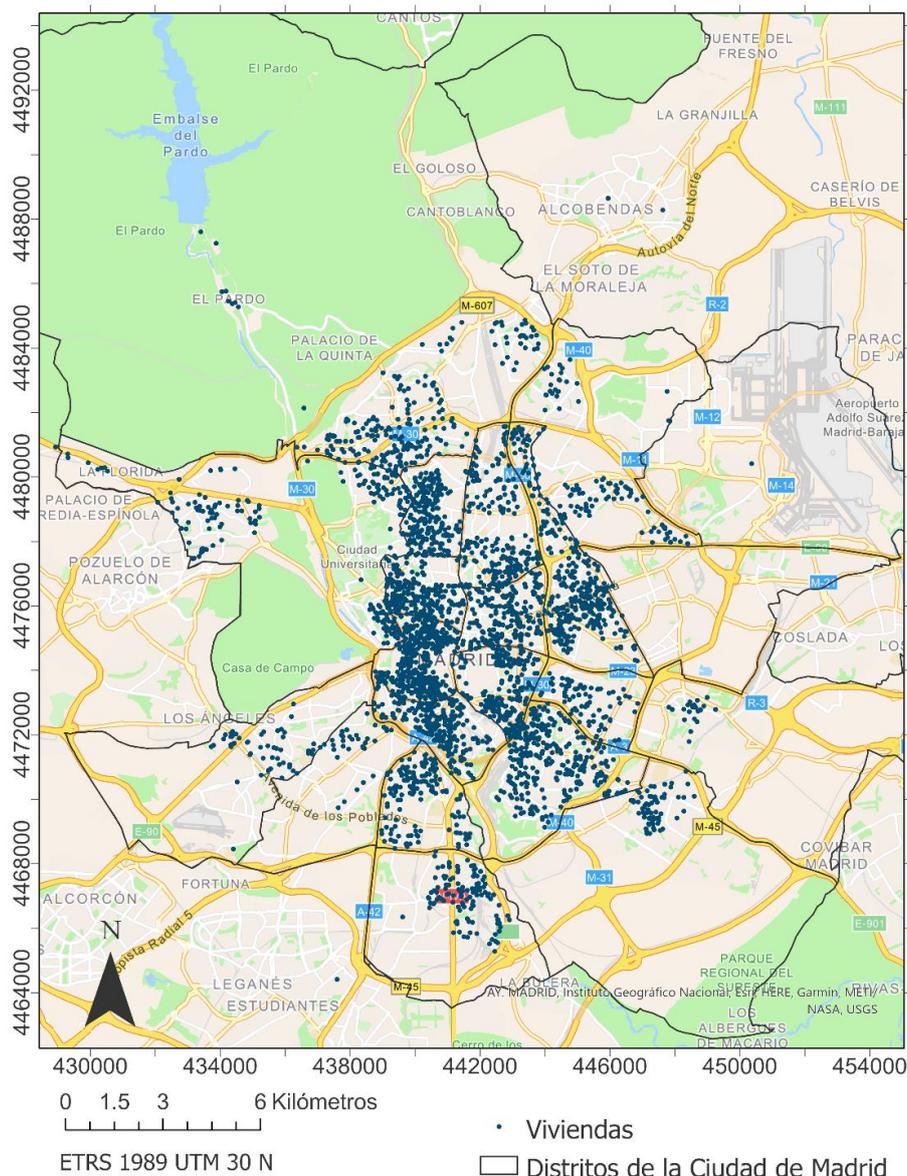


Figura 1. Mapa de la distribución espacial de los registros

MATERIALES

Los datos que se van a analizar en este proyecto han sido obtenidos desde *Kaggle*, una plataforma de datos online enfocada en proveer información para proyectos de Data Science, que cuenta con numerosos dominios estadísticos y datos científicos (*Kaggle, s.f.*).

Los datos obtenidos contienen reseñas de listados de populares portales inmobiliarios de Madrid con las principales características de superficie, número de baños, habitaciones, pisos etc.

Para el estudio de los aspectos ambientales a estas informaciones se le han aplicado datos nuevos basados en aspectos medioambientales:

ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA CALIDAD AMBIENTAL EN EL PRECIO DE LAS VIVIENDAS EN LA CIUDAD DE MADRID

- Mapa Estratégico del Ruido. Índice de ruido Ld. obtenido gratuitamente del Geoportal del Ayuntamiento de Madrid. Elaborado por el Área de Desarrollo Urbano, en el Departamento de Cartografía. El Mapa Estratégico de Ruido (MER) de Madrid refleja los niveles de ruido provocados por el tráfico correspondiente a la situación de la ciudad.
- Puntos de interés obtenidos gratuitamente del Centro Regional de Información Cartográfica de la Comunidad de Madrid y de El Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid.
 - Medio ambiente: vertederos, depuradoras, residuos peligrosos
 - Servicios Culturales, Recreativos y Personales: Parques y Jardines
- Datos sobre contaminación en Madrid de septiembre 2018 a septiembre de 2019 obtenidos del satélite Sentinel-5P de Copernicus (The European Space Agency, 2018):
 - NO₂
 - O₃
 - HCHO
 - SO₂
 - CO

PROCESADO DE DATOS

Las variables previamente explicadas han sido utilizadas y manejadas mediante el software informático ArcGIS, ArcMap 10.8. Una tecnología de referencia en los sistemas de información geográfica (SIG). Utilizada para el análisis y procesamiento de datos espaciales, manejo y tratamiento de información geográfica (Alonso Sarriá, *s.f.*). La tabla 1 muestra un resumen del conjunto de variables tenidas en cuenta en este estudio.

En el caso de estudio ha sido utilizado para procesar los datos iniciales, organizando toda la información espacial, re proyectando y homogeneizando la escala para cruzar e intersecar las distintas capas obteniendo un único conjunto de datos con toda la información necesaria para analizar los aspectos ambientales en el precio de las viviendas de Madrid.

El conjunto de datos obtenido cuenta con 28 variables (ver tabla 3), de las cuales una de ellas se corresponde con la identificación espacial de cada registro (id), otra se corresponde con la variable dependiente (precio) y los 26 restantes con las variables independientes consideradas a priori para clasificar.

Tabla 1. Resumen de las variables del conjunto.

ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA CALIDAD AMBIENTAL EN EL PRECIO DE LAS VIVIENDAS EN LA CIUDAD DE MADRID

Variable	Significado	Fuente
Precio	Precio de la vivienda	Kaggle
Tipo	Tipología de casa	
Barrio	Barrio	
m2	Superficie en m2	
Habitaciones	Número de habitaciones	
Baños	Número de baños	
N_pisos	Número de pisos	
Planta	Planta en la que se encuentra	
Reforma	Si está reformado	
Nuevo	Si es de nueva construcción	
Ascensor	Si tiene ascensor	
Jardín	Si tiene jardín	
Exterior	Si es exterior	
Piscina	Si tiene piscina	
Terraza	Si tiene terraza	
Parking	Si tiene aparcamiento	
Cert_Ener	Si tiene certificado y el tipo que es	
Ruidos	Índice de ruido día-tarde-noche	Geoportal del Ayuntamiento de Madrid
Dist_Peligrosos	Distancia a residuos peligrosos	Centro Regional de Información Cartográfica de la Comunidad de Madrid y de El Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid
Dist_Depuradora	Distancia a depuradoras	
Dist_Vertedero	Distancia a vertederos	
Dist_Parques	Distancia a parques y zonas verdes	
CO	Contaminación de monóxido de carbono	Satélite Sentinel-5P de Copernicus
HCHO	Contaminación de formaldehidos	
NO ₂	Contaminación de dióxido de nitrógeno	

ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA CALIDAD AMBIENTAL EN EL PRECIO DE LAS VIVIENDAS EN LA CIUDAD DE MADRID

O ₃	Contaminación de ozono	
SO ₂	Contaminación dióxido de azufre	

A partir del trabajo realizado por la Universidad Complutense (Precioviviendas, *s.f.*), sobre el precio en la vivienda en Madrid, y desarrollando una regresión en función del precio de la vivienda, se ha categorizado la variable dependiente en tres grupos, los cuales tienen una representación similar en el total del stock inmobiliario de Madrid, entre el 32 y 38% del total por cada grupo.

Se ha observado que el conjunto de datos resultante está algo desbalanceado para su variable a explicar, teniendo más muestra en las casas caras que en las otras categorías. Esto nos da a entender que nuestra muestra podría estar sesgada, o que en el mercado inmobiliario existe una oferta más amplia de casas de precio elevado que no se corresponde con la demanda general de inmuebles, lo que hace que se vendan menos.

TRATAMIENTO DE DATOS

En el conjunto de datos obtenido, no todos los campos están completos en todas las categorías, por lo que se ha hecho un tratamiento de los datos faltantes y la codificación de las variables categóricas.

Se ha observado como en muchos casos existen valores faltantes, por lo que usamos varias técnicas para imputar estos datos, en función de las características de las variables.

- Eliminación de registros: Para la variable de los metros cuadrados construidos (m_2) y los cinco registros en los que no tenemos información de la contaminación, se van a eliminar esos registros, al suponer menos del 1% de la muestra no vamos a tener problemas estadísticos con la representatividad de la muestra. Estos registros suponen el 0.15% de la muestra.
- Imputación media, moda: Para las variables del número de baños (Baños) y número de piso (Planta), se han imputado con el valor medio. Con respecto al tipo de vivienda (Tipo) se ha imputado el más repetido, al ser categórica, o lo que en estadística se denomina moda. Para el tipo de casa que es categórico, se ha buscado la moda, el valor más repetido, y se ha imputado este valor a los datos faltantes.
- Imputación booleana: En cuanto a las variables booleanas o sea que son (Verdadero o Falso) vamos a imputar los valores faltantes con False, entre ellas encontramos variables como si es nueva la vivienda (Nuevo) si tiene ascensor (Ascensor) jardín (Jardín) si es exterior (Exterior), tiene piscina (Piscina) o terraza (Terraza).
- Imputación: Con respecto al número de pisos vamos a imputar con 1 cuando falte, al suponer que no se pone cuando no hay más de un piso. Es decir, para el caso de los pisos, se han cuantificado varias categorías que no eran numéricas.
- Imputación KNN: Imputaremos por vecinos próximos (KNN), o sea por registros próximos, las variables que dependen de la distancia, al tener una relación espacial entre los valores de estas variables.

ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA CALIDAD AMBIENTAL EN EL PRECIO DE LAS VIVIENDAS EN LA CIUDAD DE MADRID

Tras este proceso se ha visto como no se ha perdido casi ningún registro y se han reducido los valores faltantes a 0. De los 5109 registros iniciales, se han conservado 5101 registros, es decir, 5101 viviendas por cada una de las categorías en los conjuntos de datos de entrenamiento test y validación.

TRATAMIENTO DE LAS VARIABLES CATEGÓRICAS

El conjunto de datos contiene las siguientes variables categóricas:

- Tipo
- Barrio
- m₂
- Habitaciones
- Baños
- N_pisos
- Cert-Ener
- Ruido
- Reformado
- Nuevo
- Ascensor
- jardín
- Exterior
- Piscina
- Terraza
- Aparcamiento

En este trabajo se han aplicado varias técnicas de codificación para intentar capturar el máximo posible de información de las variables categóricas que tenemos. En primer lugar, para Cert_Ener se ha realizado una codificación ordinal, debido a que esta variable está ordenada, siendo 0 aquellas casas que no tienen certificado, y generando un gradiente de mejor a peor para las certificaciones de A a D.

ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA CALIDAD AMBIENTAL EN EL PRECIO DE LAS VIVIENDAS EN LA CIUDAD DE MADRID

En segundo lugar, se ha realizado una codificación basada en el objetivo (*target_encoder*) para conocer qué relación probabilística existe entre nuestras categorías de precios y las variables Tipo y Barrio. Este codificador lleva a cabo una codificación bayesiana.

En tercer lugar, para el resto de las variables, binómicas, se han realizado codificaciones one-hot o dummies que nos ha generado una nueva variable por cada categoría que tenemos dentro de cada variable a la que se lo apliquemos, como estas variables son binómicas se han generado un total de 8 nuevas variables dummies.

DIVISIÓN DEL DATASET PARA LA FASE DE MODELADO

Se ha dividido el dataset en tres partes, para ello en primer lugar se ha alterado el orden del dataset al tener una relación especial entre los distintos registros, que puede generar sesgos al entrenar.

En segundo lugar, se ha dividido el dataset en *train-test* (90%) y *validation* (10%). En tercer lugar, se ha dividido el *train-test* en la parte de entrenamiento (80%) y test (20%).

Train: Viviendas Baratas: 727, Viviendas Intermedias: 1387, Viviendas Caras: 1558.

Test: Viviendas Baratas: 189, Viviendas Intermedias: 353, Viviendas Caras: 376.

Validation: Viviendas Baratas: 100, Viviendas Intermedias:194, Viviendas Caras: 217.

DESARROLLO DEL MODELO

Se ha utilizado una regresión *Random Forest*, que es un método ensamblador, está formado un grupo de modelos predictivos que se utiliza para reducir la dimensionalidad. Se utilizan para lograr mayor precisión y estabilidad en el modelo.

El *Random Forest* es además uno de los métodos que mejor funcionan. Un estudio determinó que el método de *Random Forest* tiene mejores resultados para este tipo de investigaciones que otros estudios. Además, tiene un 14,89% de predicción promedio error menor que el modelo lineal y 14% menor que el modelo log-lineal (Teang y Lu, 2021).

Las ventajas de utilizar *Random Forest* son:

- Existen muy pocas suposiciones y por lo tanto la preparación de los datos es mínima.
- Puede manejar hasta miles de variables de entrada e identificar las más significativas. Método de reducción de dimensionalidad.
- Una de las salidas del modelo es la importancia de variables.
- Incorpora métodos efectivos para estimar valores faltantes.
- Es posible usarlo como método no supervisado (clustering) y detección de outliers (Orellana Alvear, 2018).

ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA CALIDAD AMBIENTAL EN EL PRECIO DE LAS VIVIENDAS EN LA CIUDAD DE MADRID

El Machine Learning es particularmente aplicable en patrones de datos complicados (Kee Yuan Ngiam y Ing Wei Khor, 2019). Estos procedimientos operan por construcción de un modelo a partir de entradas de ejemplo para hacer predicciones o elecciones basadas en datos en lugar de seguir firmes instrucciones del programa estático (Rogers y Girolami, 2016). Ha habido amplias aplicaciones de diferentes aprendizajes automáticos. Modelos utilizados en otros campos, como ingeniería informática, medicina y negocios (Singh, Bhatia y Sangwan, 2007). También se han desarrollado varios modelos de Machine Learning en el sector inmobiliario, vital para estudiar los precios de la vivienda (Jamil *et al.*, 2020). Pues una de las ventajas de los algoritmos de este método es la capacidad de analizar diversos tipos de datos (por ejemplo, datos demográficos, hallazgos de laboratorio, datos de imágenes y notas de texto libre de los médicos) e incorporarlos en las predicciones de riesgo de enfermedad, diagnóstico, pronóstico y tratamientos adecuados. Las técnicas de *Machine Learning* son cada vez más notorias en la evaluación masiva en el mundo reciente, requiere más cuidado para comprender las fortalezas y debilidades de estas técnicas para llevarlas a cabo mejor a la hora de tasar el valor de la propiedad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

ANÁLISIS UNIVARIANTE UNIVARIANTE

Este análisis es muy interesante para ver patrones entre las variables explicativas y la variable a explicar. Es un análisis muy útil para la realización posterior de los otros análisis. Este tipo de gráficas se utilizan para encontrar y representar características de las propias variables. La Figura 2 nos muestra los gráficos de distribución de las variables estudiadas en este trabajo.

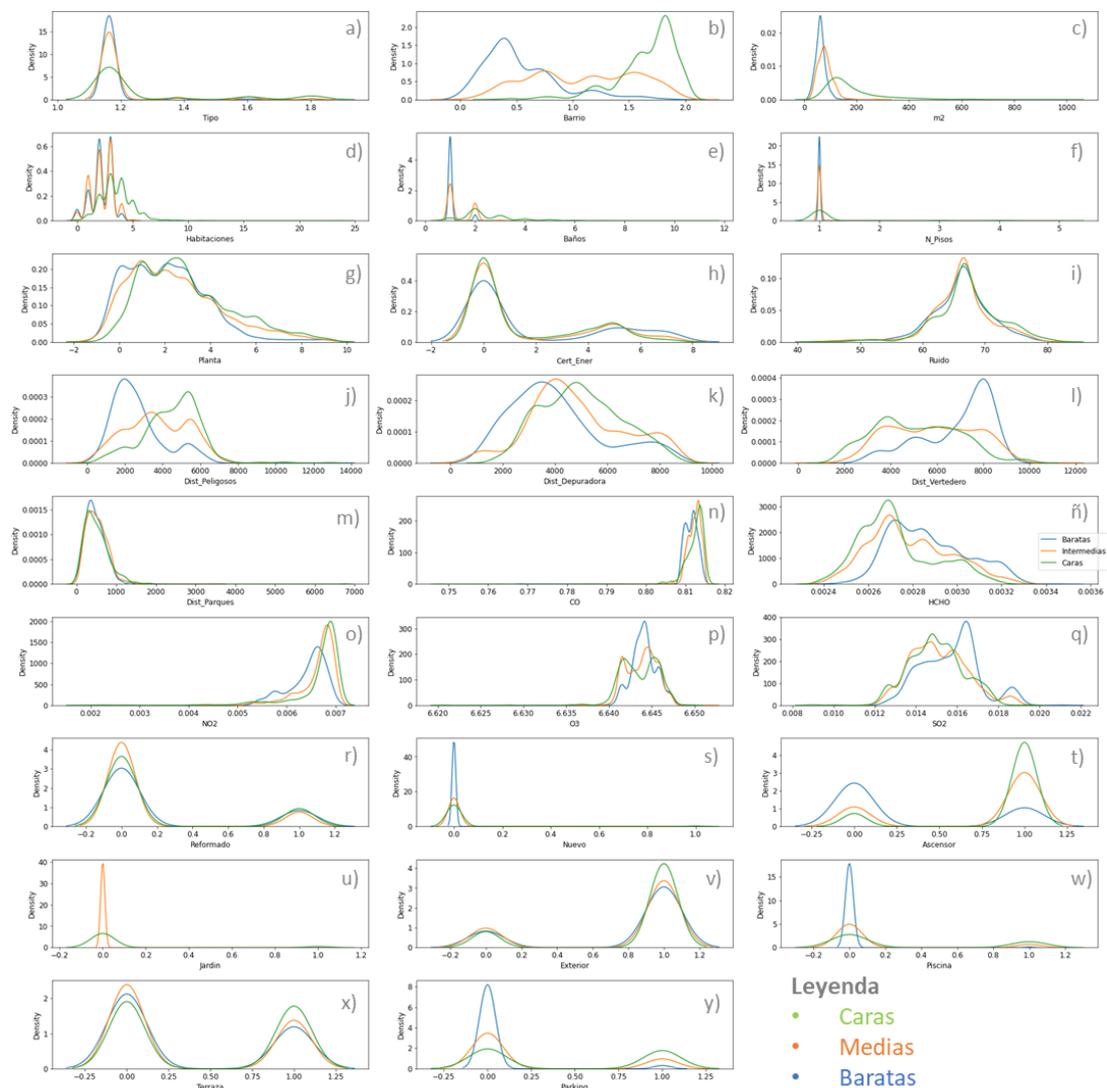


Figura 2. Distribución de las variables: (a) tipo, (b) barrio, (c) superficie, (d) nº habitaciones, (e) nº baños, (f) nº pisos, (g) nº planta, (h) certificación energética, (i) ruido, (j) distancia a residuos peligroso, (k) distancia a depuradora, (l) distancia a vertederos, (m) distancia a parques, (n) concentración CO, (ñ) concentración HCHO, (o) concentración NO₂, (p) concentración O₃, (q) concentración SO₂, (r) reformado, (s) nueva obra, (t) ascensor, (u) jardín, (v) exterior, (w) piscina, (x) terraza, (y) garaje.

ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA CALIDAD AMBIENTAL EN EL PRECIO DE LAS VIVIENDAS EN LA CIUDAD DE MADRID

En este análisis univariante, se han clasificado los precios de las viviendas en tres categorías: (baratas, medias y caras) y se ha representado su tendencia según las 26 variables categóricas previamente seleccionadas. De esta manera se ha podido observar cómo se comportan las distintas variables independientes según el precio de la vivienda.

Se observa como algunas variables presentan tendencias concretas. Según la variable barrio (Figura 2 (b)), se aprecia como las viviendas más caras tienen una distribución más grande. Al igual pasa con las variables de número de habitaciones, baños, pisos, m² y tipo (Figura 2 gráficos a, c, d y f), que fluctúan el precio dependiendo de sus características.

Esta tendencia es lógica, ya que las casas más caras tendrán mayores prestaciones y servicios, serán más céntricas, tendrán mayor número de habitaciones, baños, serán más grandes, mejor calidad en la construcción etc. Para Cesar Escobar, arquitecto de formación y actual director del Departamento de Control de Tinsa: “Hay tres grandes factores que son los que más afectan al precio de una vivienda: la zona, lo que más afecta al valor, la tipología (unifamiliar, ático, bajo con jardín, un piso tipo) y luego decidir entre vivienda nueva o usada” (Martínez, 2016).

En el caso de la variación del ruido (Figura 2 (i)) la distribución es similar entre todas las variables, apenas hay diferencia entre el tipo de viviendas. Esto se debe a que, en las ciudades de las dimensiones como Madrid, el ruido es parte de la vida. La mayoría del ruido producido en una ciudad proviene del tráfico rodado y circulación de vehículos, un porcentaje importante proviene de obras y construcciones industriales, pero son ruidos puntuales. Otro porcentaje importante de ruidos proviene de bares, locales musicales y otros tipos de actividades que se generalizan en la mayoría de los barrios de la ciudad de Madrid (carga, descargas, cercanías a hospitales etc.). Según un estudio llevado por el Departamento de Geografía de la Universidad Autónoma de Madrid sobre el ruido ambiental de la ciudad, se verifica que los distritos centrales incumplen la normativa sobre la contaminación acústica en su totalidad, y los periféricos soportan más abundancia de ruidos en las zonas de sosiego y prevalece el ambiente ruidoso en el resto de las zonas (Moreno Jiménez y Martínez, 2005).

Esto pone de manifiesto que la ciudad de Madrid no descansa y que la mayoría de los barrios son ruidosos (Ferraioli y Ballart, 2022). Caben destacar los datos obtenidos por Plácido Perera responsable de la Unidad de Niveles Sonoros del Ayuntamiento de Madrid, que apunta a que más del 50% de las denuncias en temas ambientales que recibe el Ayuntamiento vienen causados por la contaminación acústica (Morano, *et al.* 2021). Lo que muestra que la sensibilidad es cada vez más acusada, es decir, la mayoría de la población padece problemas con el ruido y eso evidencia que no haya diferenciación entre viviendas caras o baratas (Ferraioli y Ballart, 2022). Otros estudios apuntan que el mercado inmobiliario ha sido sensible al factor ruido y los precios residenciales pueden verse fuertemente influenciados por una alta tasa de contaminación acústica (Perera, *s.f.*).

En la variación de la concentración de HCHO (Figura 2(ñ)), se ve como existe menos distribución en las casas caras, al contrario que con la concentración de SO₂ que refleja como las viviendas baratas tienen más concentración. Los formaldehídos (HCHO), provienen de la deshidrogenación del alcohol metílico en la fabricación de plásticos, se encuentran en multitud de productos diarios como cosméticos, medicamentos, suavizantes, limpiadores, pegamentos (ATSDR, *s.f.*). Por tanto, este tipo de contaminantes está en todos los hogares, por ello, se distribuye de la forma en la que se ve en el gráfico. Sin embargo, los SO₂ en las grandes urbes provienen principalmente de la combustión para calefacción residencial, comercial y los motores de los vehículos. Se origina por la combustión de carburantes con cierto contenido de

ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA CALIDAD AMBIENTAL EN EL PRECIO DE LAS VIVIENDAS EN LA CIUDAD DE MADRID

azufre y minerales ricos en sulfatos. En un estudio realizado en Yakarta (Anshory Yusuf y Resosudarmo, 2009), se determinó que cada $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de SO_2 tiene un impacto negativo en el precio de las viviendas, de hasta 28 dólares menos por $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Establecieron que, aunque las viviendas fueran caras y estuvieran en buenos distritos, la influencia de los contaminantes bajaba el precio de estas porque existe una preocupación, cada vez mayor, por el bienestar y salud (Conservation Strategy Fund, 2015).

Sin embargo, hay otros estudios que confirman que en Madrid hay mayor contaminación sobre las zonas habitadas por población de estatus económico más alto, pues este tipo de contaminantes se encuentran en una mancha interior, que tradicionalmente ha tenido alta densidad de tráfico, afectando a los distritos de Chamberí, Chamartín y Salamanca, barrios con población de estatus económico alto (Moreno Jiménez y Cañada Torrecilla, 2007).

En la variación de la concentración de NO_2 (Figura 2(o)), se observa cómo hay más distribución en las casas caras. Según los datos de CoHispania (CoHispania, *s.f.*), el distrito de la capital con mejor calidad de aire el pasado 2018 ha sido El Pardo y su precio duplica la media española (1.581,29 euros por metro cuadrado). La zona del Retiro completa las zonas menos contaminadas de Madrid, siendo su precio muy superior al resto de zonas de la capital, llegando casi a los 5.500 euros por metro cuadrado.

Una influencia muy clara sobre el precio de la vivienda se ve en la variable que estudia la distancia a los vertederos (Figura 2 (l)). Las viviendas cercanas a estos puntos soportan numerosos problemas (Díaz Muñoz, Rodríguez Durán y Salado García, 1999).

En los barrios cercanos a los vertederos de Madrid, existen numerosas quejas de los vecinos por la problemática de vivir cercanos a ellos. Priman los problemas de salud y de calidad de vida individual por encima de los problemas medioambientales que la existencia de estas infraestructuras.

Los precios de las viviendas cercanas a estos puntos han bajado considerablemente hasta el punto de que estos barrios se publicitan como las últimas reservas de viviendas asequibles. En un artículo del periódico el Mundo (Martín, 2015), se evidencia que algunas de las viviendas de estas zonas se venden ahora al 30% de su coste inicial e incluso en ocasiones su precio se ha visto reducido a la mitad. Por tanto, la distancia a vertederos sí que es un factor que afecta considerablemente al precio de las viviendas.

En cuanto a las viviendas nuevas (Figura 2 (s)), hay más densidad de viviendas baratas, por lo tanto, las edificaciones nuevas suelen tener precios más bajos, y son las más demandadas. Esto se evidencia en un informe realizado a finales de 2020 en el cual se manifiesta la concentración de nueva edificación en el distrito de Vicálvaro, seguido de Tetuán, Hortaleza y Villaverde. La periferia de la capital acapara el 71% de los proyectos (Madrid es noticia, 2020). Por el contrario, la enorme escasez del suelo en el centro de Madrid hace que el precio de estas se halla incrementado en 10,5 puntos y que las viviendas que superan el medio millón de euros supongan el 37,1% de la oferta inmobiliaria. A priori, es en el centro de la capital donde las viviendas, que son más caras, presentan los valores de las variables positivas más elevados, es decir, con mejores condiciones respecto a las otras viviendas, con más superficie, más número de baños, tienen piscina, terraza etc. (Cotizalia, 2021).

Gracias al análisis univariante se han podido discutir y reflexionar como las variables medioambientales siguen tendencias diferentes con relación a las tres categorías (baratas,

ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA CALIDAD AMBIENTAL EN EL PRECIO DE LAS VIVIENDAS EN LA CIUDAD DE MADRID

medias y caras) de precio de las viviendas. Y cómo las variables ambientales pueden influir favorable o desfavorablemente en la toma de decisión de los usuarios a la hora de tomar decisiones sobre la compra de su vivienda.

Por ejemplo, las viviendas más baratas son más numerosas en las áreas cercanas a depuradoras, vertederos o infraestructuras que contienen residuos peligrosos. Sufren los ruidos y la contaminación atmosférica en igual medida que el resto de las viviendas y su proximidad a los parques es muy similar. Las viviendas más económicas reúnen menos requisitos a la hora de obtener certificados energéticos positivos.

ANÁLISIS MULTIVARIANTE MULTIVARIANTE

En este apartado se analizan las variables enfrentadas por pares, según tipo de variable independiente y se realizará un análisis de correlación. La Figura 3 presenta el gráfico de correlación entre las variables numéricas que se han tenido en cuenta en el presente trabajo. La tabla 1, muestra la descripción junto con el nombre de la variable que se presenta en esta Figura 3.

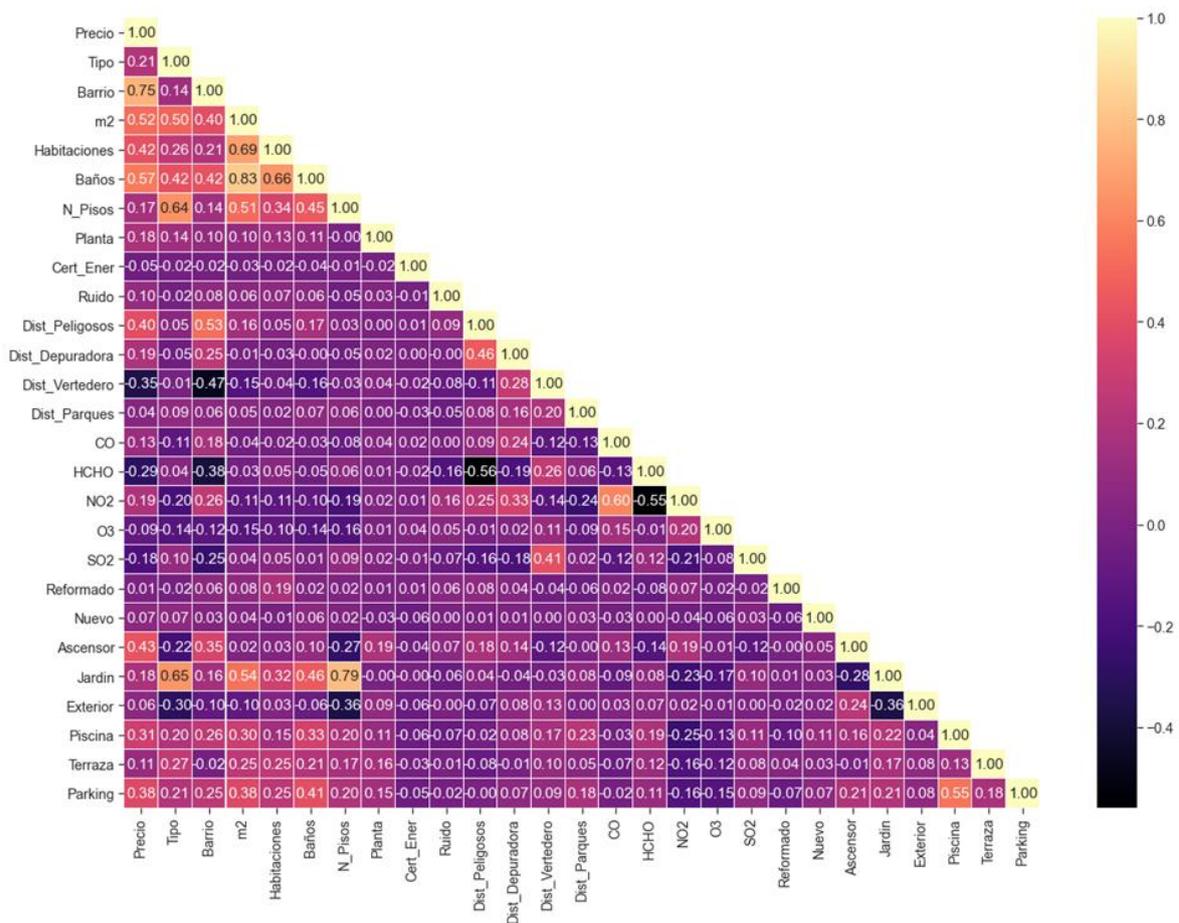


Figura 3. Correlación entre variables

ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA CALIDAD AMBIENTAL EN EL PRECIO DE LAS VIVIENDAS EN LA CIUDAD DE MADRID

Este análisis por pares es muy interesante a la hora de conocer las variables explicativas antes de entrar en la fase de modelos. Lo primero a tener en cuenta es la relación entre las variables explicativas y la variable a explicar. En este caso se observa como existe una gran correlación positiva entre el precio y el barrio (0.75). Como es lógico una de las partes más importantes que afectan al precio de las viviendas es su ubicación. Siguiendo esta línea, el número de habitaciones y baños también tienen una gran correlación con el precio. (0.42 y 0.57).

Como se ha mencionado con anterioridad la ubicación es el factor más importante y el que más afecta al precio de la vivienda, pues de la ubicación nacen las ventajas y los problemas de una vivienda. Si los consumidores están dispuestos a pagar más por un espacio libre de contaminación acústica, de emisiones de gases, cercano a zonas verdes etc., entonces habrá que tener en cuenta estas variables a la hora de determinar el precio de los inmuebles.

Respecto a los criterios verdes, se manifiesta la correlación existente entre las zonas con residuos peligrosos (0.40). También vemos alguna correlación entre alguno de los contaminantes, como NO₂, HCHO y CO.

Se puede observar que hay variables que presentan una correlación inversa, es decir, el aumento de una conlleva la disminución de la otra y viceversa. Este tipo de correlación se ve entre zonas verdes y contaminantes atmosféricos. Pues es evidente que, al existir zonas verdes, las emisiones se reducen. Según un estudio realizado por la Universidad de Sevilla la vegetación presente en la ciudad puede llegar a absorber el 80% de las emisiones (Figuerola *et al*, 2007). La pérdida de la cubierta vegetal en los ecosistemas urbanos reduce la capacidad de la naturaleza para proporcionar servicios ecosistémicos de reducción de la calidad del aire, reducción de contaminación del aire y regulación del clima (De Carvalho y Szlafsztein, 2019).

Según los medidores del Ayuntamiento de Madrid (Madrid es noticia, 2020) los barrios con mejor calidad del aire en Madrid son: El Pardo, Casa de Campo, Juan Carlos I, Tres Olivos y El Parque de El Retiro, barrios que coinciden con las zonas de verdes más significativas de la ciudad. Además, estos barrios coinciden según se ha mencionado ya, en con barrios con precios de las viviendas altas (CoHispania, *s.f.*).

Por otro lado, entre las variables explicativas existe equivalencia entre las características de los inmuebles, como tipo de vivienda, número de habitaciones, metros cuadrados, si tiene ascensor, piscina, jardín, parking etc. y el precio de las mismas. Estas variables pueden considerarse clásicas a la hora de tasar una vivienda y son las consideradas en primer lugar por los consumidores.

MÉTRICAS DE EVALUACIÓN DEL RESULTADO

La Figura 4 muestra el resultado de la matriz de confusión o método de evaluación del rendimiento del modelo *Random Forest* que hemos aplicado con variable a explicar precio de la vivienda. En el eje de ordenadas se muestran las etiquetas de la variable precio de la vivienda reales y por su parte en el eje de abscisas se representan las etiquetas de la variable precio de la vivienda predichas, el color hace referencia al tanto por uno en el acierto, siendo mayor y más oscuro cuanto mejor es ese rendimiento.

ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA CALIDAD AMBIENTAL EN EL PRECIO DE LAS VIVIENDAS EN LA CIUDAD DE MADRID

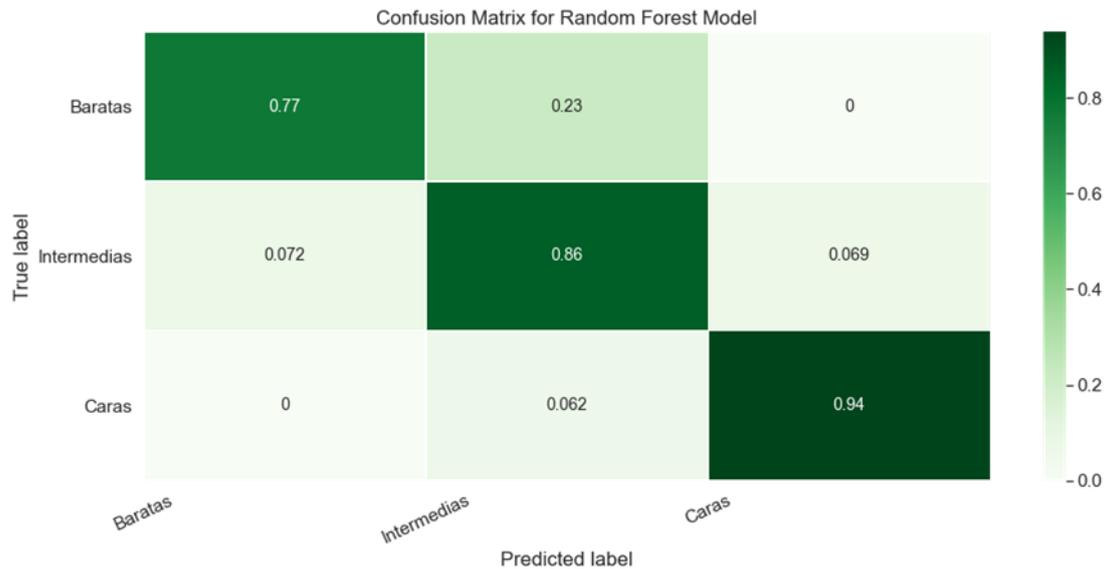


Figura 4. Evaluación del rendimiento (eje de ordenadas: etiquetas de la variable precio de la vivienda reales, eje de abscisas: etiquetas de la variable precio de la vivienda predichas, intensidad del color verde: a mayor intensidad mayor tanto por uno en el acierto).

En esta Figura 4 se comparan los valores reales frente a los predichos y se establece un rendimiento. Como se comprueba los valores predichos y los reales no tienen grandes diferencias. Siendo más preciso para identificar casas caras que baratas. Debido principalmente a que tenemos un conjunto de datos algo desbalanceado hacia las viviendas caras, lo que facilita al modelo la generalización de esta categoría en detrimento de las otras dos. Por otro lado, se observa que existe una confusión importante entre casas baratas e intermedias, lo que puede indicar que las clases desarrolladas, puede que tengan cierto sesgo en el rango superior de las casas baratas e inferior de las intermedias.

La Figura 5 refleja cómo está funcionando el modelo después de la matriz de confusión. Muestra el funcionamiento por categoría de la variable respuesta. El porcentaje de casos que el modelo ha acertado, en este caso acierta el 87% de las veces (Martínez Heras, 2020).

Tipo de Vivienda	Precisión	Sensibilidad	f1-score	Registros
Baratas	0.84	0.77	0.81	189
Intermedias	0.83	0.86	0.85	353
Caras	0.93	0.94	0.93	376
Exactitud		0.87		918

Figura 5. Tabla de evaluación del modelo

CARACTERÍSTICAS DEL MODELO

Con la Figura 6 se muestran las importancias de las variables para el modelo.:

ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA CALIDAD AMBIENTAL EN EL PRECIO DE LAS VIVIENDAS EN LA CIUDAD DE MADRID

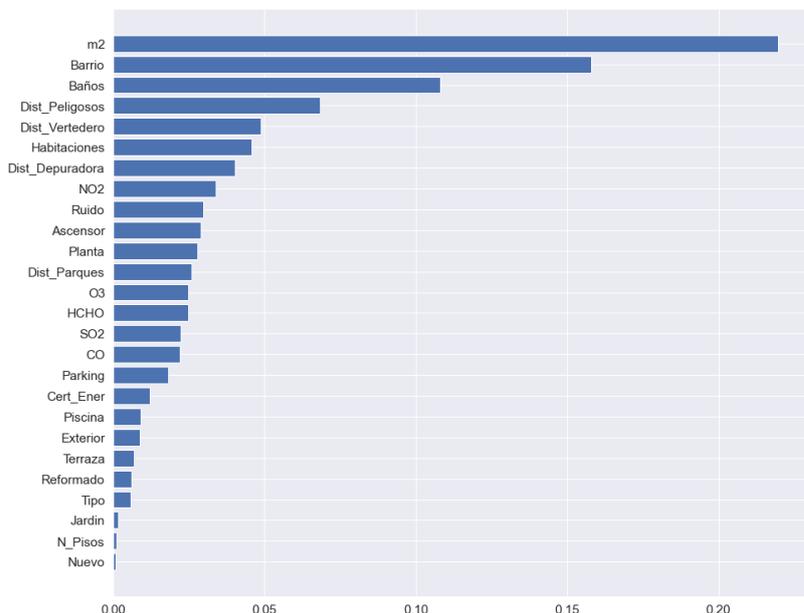


Figura 6. Importancia de las variables en el modelo *Random Forest*

Esta Figura 6 pone de manifiesto la importancia de las variables en el precio de las viviendas. La importancia es la obtenida con los datos de *test* para el bosque aleatorio entrenado antes para predecir el precio de la vivienda (Molnar, *s.f.*).

Este gráfico ratifica como algunas variables medioambientales tienen gran importancia en el precio de la vivienda como son las distancias a residuos peligrosos, depuradoras, vertederos, emisiones de NO₂, ruidos y distancias a zonas verdes. El criterio más importante sigue siendo la superficie en m², ya que cambia la probabilidad absoluta del precio de la vivienda predicha en promedio de 2,4 puntos porcentuales (0,024 en el eje x). Probablemente sean los factores anteriormente descritos los que más afectan al precio de la vivienda porque son los más evidentes: los olores que pueden causar los vertederos o las depuradoras son una característica que a la hora de escoger una casa no suele pasar desapercibido. Lo mismo pasa con la contaminación acústica. Tal vez a la hora de escoger una vivienda los sentidos sensitivos sean los que más marquen al comprador, pues como dijo August Macke: “Los sentidos son el puente entre lo incompresible y compresible” (Figuera Martínez, 2012). Sin embargo, siguen sin ser el factor determinante a la hora de la compra de un inmueble. En la Figura 7, se muestra la importancia por clases. Esta división da información de cómo está utilizando el modelo las variables para identificar una u otra categoría dentro de la variable a explicar. Se observa como a medida que disminuye la importancia disminuye la clase.

Comparando los resultados obtenidos con los recientes realizados relacionados, se puede determinar que la sociedad menosprecia el incremento de la contaminación y esto se ve reflejado en el precio de la vivienda. A pesar de este indicativo, según un estudio sobre la contaminación del aire y su efecto en el precio de la vivienda del área metropolitana de

ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA CALIDAD AMBIENTAL EN EL PRECIO DE LAS VIVIENDAS EN LA CIUDAD DE MADRID

Monterrey, un aumento en el porcentaje de contaminación atmosférica reduce el precio de la vivienda (Galán González, 2021).

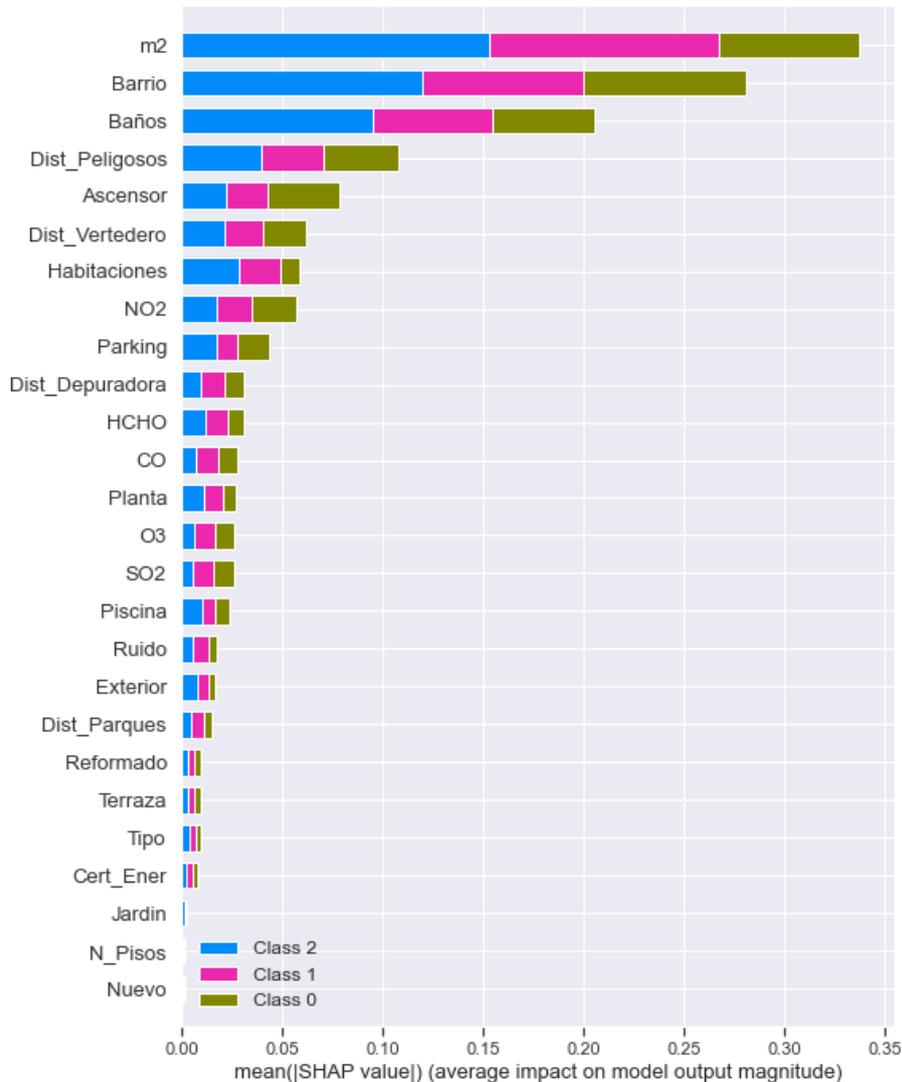


Figura 7. Importancia de la característica SHAP media como los valores absolutos de Shapley. Variables que afectan más al precio de la vivienda. Clase 0: Viviendas baratas, Clase 1: Viviendas intermedias, Clase 2: Viviendas caras.

Así mismo las ventajas ambientales también afectan al precio de la vivienda mejorándolo, como observamos con distancias a zonas verdes, a parques, la importancia aparece en las clases 2 y 1 de viviendas. Comportándose de igual manera en los numerosos factores positivos. Con que mayores ventajas, a más beneficios, mayor es el rango de viviendas caras.

Francisco Gómez Lopera afirma que existe una correlación entre las posibilidades de confort urbano y la existencia de zonas verdes (Gómez Lopera, 2005). También hay otros estudios que han encontrado relación positiva entre precios de viviendas y zonas con unas vistas más naturales o cercanas parques o zonas ajardinadas (Hui, Zhong y Yu, 2012).

ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA CALIDAD AMBIENTAL EN EL PRECIO DE LAS VIVIENDAS EN LA CIUDAD DE MADRID

Es evidente, que la cercanía de áreas verdes implica una revaloración de las viviendas, pues casi todas estas zonas están correlacionadas positivamente con una disminución de contaminantes atmosféricos. En el primer estudio, el incremento en el porcentaje de áreas verdes implica una revaloración de las viviendas, al igual que en el estudio empírico de Nanjing en China (Lei Shi, 2019), donde un aumento porcentual en la proporción de espacios verdes resultó en un aumento del 0,48% en el precio de la vivienda. Un análisis mediante el método de precios hedónicos de las viviendas, en Machala (Ecuador) (Zambrano-Monserrate, 2016), mostró como las viviendas cercanas a los parques tienen una mayor renta. Por lo tanto, en los hogares cuyas condiciones de vida son óptimas y beneficiosas para la salud, tienen un precio más elevado. Otro estudio en China también mostró cómo un aumento del 1 % en las concentraciones de contaminantes del aire condujo a una disminución del 0,495 % al 0,620 % en los precios de la vivienda, lo que valida el efecto moderador de la preocupación pública sobre los costos de bienestar de la contaminación del aire (Li, 2022). En este sentido nuestros resultados encajan con un creciente cuerpo de literatura que confirma que la contaminación del aire y otros factores ambientales adversos son perjudiciales no solo para la salud humana sino también para el desarrollo económico y el bienestar social de las ciudades [51-55].

VALIDACIÓN

En esta sección se muestran datos de evaluación del modelo, pero sacados a partir de la utilización del modelo entrenado previamente con el conjunto de datos de train_test pero esta vez con los datos que se habían reservado para validar. La Figura 8 nos muestra los resultados de esta nueva validación del modelo.

Tipo de Vivienda	Precisión	Sensibilidad	f1-score	Registros
Baratas	0.91	0.70	0.79	100
Intermedias	0.79	0.89	0.83	194
Caras	0.93	0.92	0.93	217
Exactitud		0.86		511

Figura 8. Tabla de evaluación del modelo

La Figura 8 y Figura 9 reflejan cómo está funcionando el modelo después de la matriz de confusión (*confusion matrix* en inglés). Muestra el funcionamiento por categoría de a variable a explicar. El porcentaje de casos que el modelo ha acertado, en este caso acierta el 86% de las veces. (De Carvalho y Szlafsztein, 2019). Por lo que podemos decir que la fiabilidad del modelo es bastante buena. Es decir, que mediante este último análisis se ha comprobado la efectividad del modelo para predecir precios de viviendas conociendo sus características.

ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA CALIDAD AMBIENTAL EN EL PRECIO DE LAS VIVIENDAS EN LA CIUDAD DE MADRID

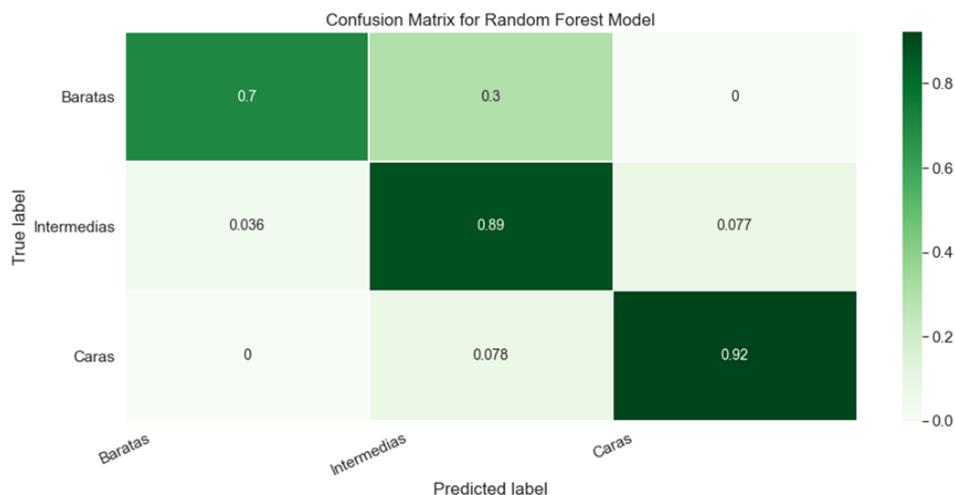


Figura 9. Evaluación del rendimiento

Además, es interesante remarcar que los resultados son muy similares a la evaluación mostrada en las Figuras 4 y 5 en las que se evaluaba el modelo realizado con los datos de *test*. Remarcar que en las Figuras 8 y 9 se evalúa el modelo realizado con los datos que se guardaron del dataset para validar y que son distintos a los de entreno (*train* en inglés) y *test*. Por lo que se puede afirmar que el modelo está generalizando bien, y no está sobre ajustando los resultados al conjunto de datos de entrenamiento y *test*. Como en el caso del anterior conjunto de datos (ver resultados Figuras 8 y 9), se observa cierta confusión entre las viviendas baratas e intermedias, lo que explica los peores resultados para estas dos categorías en comparación con los obtenidos para la categoría caras.

CONCLUSIONES

Este es el primer estudio que evalúa el impacto de diversos tipos de riesgos y ventajas ambientales totales en precio de la vivienda dentro de la ciudad de Madrid.

Los resultados muestran que cuanto mayores son los riesgos ambientales el precio de las viviendas es más bajo. Las diferentes asociaciones para diferentes los riesgos llevaron a una asociación invertida entre el precio de las viviendas y riesgo ambiental total. El valor de la pérdida de bienestar se debe medir por la disminución en el precio de las viviendas.

Así mismo las ventajas ambientales también afectan al precio de la vivienda mejorándolo. El valor de la mejora de bienestar se debe medir por el aumento en el precio de las viviendas.

Por tanto, las diferentes asociaciones para los diferentes factores ambientales llevaron a una asociación entre el precio de las viviendas y criterios verdes.

En conclusión: Las variables que constituyen el medio ambiente son sin duda esenciales para el equilibrio del precio en la venta de las viviendas, debido a que implica todas las peculiaridades, necesidades y deseos que los individuos que tienen a la hora de comprar un inmueble. Si los compradores están dispuestos a pagar más por un hogar sin ruidos, con bajos niveles de

ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA CALIDAD AMBIENTAL EN EL PRECIO DE LAS VIVIENDAS EN LA CIUDAD DE MADRID

polución, cercano a zonas verdes etc., entonces esa predilección tendrá que estar incorporada en el precio de ese tipo de inmuebles.

BIBLIOGRAFÍA

[1] NACIONES UNIDAS (2022). Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. [En línea]. Disponible en: <https://www.un.org/development/desa/es/>

[2] X. Querol, (2018). “La calidad del aire en las ciudades. Un reto mundial”. Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua, IDAEA-CSIC. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.fundacionnaturgy.org/wp-content/uploads/2018/06/calidad-del-aire-reto-mundial.pdf>

[3] R. Iglesias García, “Factores medioambientales, vivienda y salud”. Revista de Salud Ambiental, ISSN-e 1697-2791, Vol. 3, Nº 2, (Ejemplar dedicado a: “VII Congreso Nacional de Sanidad Ambiental. Los sistemas de información y la evaluación del riesgo”), pp. 111-114, 2003.

[4] IPSOS, 2020. “Estudio global de Ipsos para el Día de la Tierra”. . [Documento en línea]. Disponible en: https://www.ipsos.com/sites/default/files/ct/publication/documents/2020-04/infografia_dia_de_la_tierra_2020.pdf

[5] National Geographic, 2010. “Amenazas de la urbanización”. [En línea]. Disponible en: <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/amenazas-de-la-urbanizacion>.

[6] INE. “Revisión del Padrón Municipal”. Diciembre de 2020.

[7] Ayuntamiento de Madrid. Portal web de Calidad del Aire del Ayuntamiento de Madrid. [En línea]. Disponible en: <http://www.mambiente.munimadrid.es>

[8] Ayuntamiento de Madrid. Portal web de Energía y Cambio climático del Ayuntamiento de Madrid. [En línea]. Disponible en:

<https://www.madrid.es/portales/munimadrid/es/Inicio/El-Ayuntamiento/Medio-ambiente/Cambio-Climatico>

[9] Ayuntamiento de Madrid. Portal web del Ayuntamiento de Madrid de Medioambiente. [En línea]. Disponible en: <https://www.madrid.es/portales/munimadrid/es/Inicio/Medio-ambiente/Publicaciones/Mapa-Estrategico-de-Ruido-2016/>

[10] Comunidad de Madrid. Consejería del Medio Ambiente, Administración Local y Ordenación de Territorio. “Instalaciones de residuos”. [Documento en línea]. Disponible en:

https://www.comunidad.madrid/sites/default/files/doc/medio-ambiente/cma_mam_instalaciones_publicas_de_residuos_septiembre_2015_revisadosrcd_0.pdf

ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA CALIDAD AMBIENTAL EN EL PRECIO DE LAS VIVIENDAS EN LA CIUDAD DE MADRID

- [11] Ampervillas, 2016. “Calificación de la Eficiencia Energética”. [En línea]. Disponible en: <http://ampervillas.com/blog/inmobiliaria/certificado-eficiencia-energetica.html>
- [12] J. García-Navarro, M.J. González-Díaz, M. Valdivieso. “Estudio Precost&e: evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la calificación energética en un edificio de viviendas situado en Madrid”. Universidad Politécnica de Madrid, 2014. [En línea]. Disponible en: <https://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/3482/3907>
- [13] OCU, 2021. “Calidad de vida en las ciudades españolas”. [En línea]. Disponible en: <https://www.ocu.org/consumo-familia/derechos-consumidor/informe/calidad-vida-urbana>
- [14] Kaggle. Mercado Inmobiliario de Madrid. [En línea]. Disponible en: <https://www.kaggle.com/mirbektoktogaraev/madrid-real-estate-market>
- [15] Ayuntamiento de Madrid. Geoportal. “Mapa Estratégico del Ruido. Índice de ruido Ld. [En línea]. Disponible en: https://geoportal.madrid.es/IDEAM_WBGEOPORTAL/dataset.iam?id=086cfdaa-c89a-11e9-99bc-ecb1d753f6e8
- [16] Comunidad de Madrid. Dirección General de Estadística. [En línea]. Disponible en: <https://www.madrid.org/nomecalles/DescargaBDTCorte.icm>
- [17] The European Space Agency, 2018. Datos de Sentinel-5P. [En línea]. Disponible en: https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Spain/Publicados_los_primeros_datos_de_Sentinel-5P
- [18] F. Alonso Sarriá. “Sistemas de Información Geográfica”. Temario. [Documento en línea]. Disponible en: <https://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario.pdf>
- [19] Precioviviendas. “Mapa de evolución de precios”. [En línea]. Disponible en: <https://www.precioviviendas.com/mapas-de-precios/seleccion-mapa>
- [20] K. Teang, y Y Lu. “Property Valuation by Machine Learning and Hedonic Pricing Models : A Case study on Swedish Residential Property (Dissertation)”. 2021. [En línea]. Disponible en: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-298307>
- [21] J. Orellana Alvear. “Arboles de decisión y Random Forest”. Noviembre 2018. [Documento en línea]. Disponible en: <https://bookdown.org/content/2031/>
- [22] Kee Yuan Ngiam, Ing Wei Khor. “Big data and machine learning algorithms for health-care delivery”, The Lancet Oncology, Volume 20, Issue 5, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470204519301494>
- [23] S. Rogers y M. Girolami. A First Course in Machine Learning, Edition CRC Press 2016

ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA CALIDAD AMBIENTAL EN EL PRECIO DE LAS VIVIENDAS EN LA CIUDAD DE MADRID

[24] Y. Singh, P. K. Bhatia y O. Sangwan,. “A review of studies on machine learning techniques”. International Journal of Computer Science and Security, 1, 2007. [Documento en línea]. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/41845861_A_REVIEW_OF_STUDIES_ON_MACHINE_LEARNING_TECHNIQUES

[25] S. Jamil, T. Mohd, S. Masrom y R. Ab. “Machine Learning Price Prediction on Green Building Prices2. IEEE Symposium on Industrial Electronics & Applications (ISIEA). 2020

[26] M. Martínez. “César Escobar, de Tinsa: La zona es el factor protagonista, es lo que condiciona todo”. Estar donde estés. Septiembre 2016. [En línea]. Disponible en:

<https://estardondeestes.com/movi/es/articulos/cesar-escobar-de-tinsa-la-zona-es-el-factor-protagonista-es-lo-que-condiciona-todo>

[27] A. Moreno Jiménez y P. Martínez Suárez. “El ruido ambiental urbano en Madrid. Caracterización y evaluación cuantitativa de la población potencialmente afectable”. Dpto. de geografía Universidad Autónoma de Madrid. Boletín de la A.G.E. Nº 40 p. 153-179, 2005. [Documento en línea]. Disponible en:

https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/670063/ruido_moreno_bage_2005.pdf?sequence=1&isA

[28] Ferraioli, F., y Ballart, X. (2022). Measuring performance concerning air and noise pollution: a comparison of Madrid’s official data and results from a citizen survey. Local Government Studies, 1-24.

[29] Morano, P., Tajani, F., Di Liddo, F., y Darò, M. (2021). Economic evaluation of the indoor environmental quality of buildings: The noise pollution effects on housing prices in the city of Bari (Italy). Buildings, 11(5), 213.

[30] P. Perera. “Contaminación acústica y política municipal”. Ayuntamiento de Madrid. [Documento en línea]. Disponible en:

<https://docplayer.es/17981724-Contaminacion-acustica-y-politica-municipal-placido-perera-ayuntamiento-de-madrid.html>

[31] ATSDR, Agencia para el Registro de Sustancias Tóxicas y Enfermedades. “Resúmenes de Salud Pública – Formaldehído”. [En línea]. Disponible en:

https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs111.html

[32] A. Anshory Yusuf y B. P. Resosudarmo. “¿Importa el aire limpio en las megaciudades de los países en desarrollo? Un análisis de precios hedónico del mercado inmobiliario de Yakarta, Indonesia”. Economía ecológica. Volumen 68, Nº 5 , pp. 1398-1407, marzo de 2009 . [Documento en línea]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921800908004412>

ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA CALIDAD AMBIENTAL EN EL PRECIO DE LAS VIVIENDAS EN LA CIUDAD DE MADRID

[33] Conservation Strategy Fund, 2015. "Valuation of Ecosystem Services: Hedonic Pricing Method" [Archivo de video]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=LkXVCQam5kw>

[34] A. Moreno Jiménez y R. Cañada Torrecilla. "Justicia ambiental y contaminación atmosférica por dióxido de azufre en Madrid: análisis espaciotemporal y valoración con sistemas de información geográfica". Dpto. de Geografía. Universidad Autónoma de Madrid. Boletín de la A.G.E. Nº 44 p. 301-324, 2007. [Documento en línea]. Disponible en:

https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/670058/justicia_moreno_bage_2007.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[35] CoHispania. "¿Cuánto vale la vivienda en las zonas de Madrid con mejor calidad del aire?" [En línea]. Disponible en: <https://www.cohispania.com/comunicacion/es/blog/cuanto-vale-comprarse-una-vivienda-en-las-zonas-de-madrid-con-mejor-calidad-de-aire>

[36] Á. Díaz Muñoz, A. Esther Rodríguez Durán y Ma. J. Salado García. "Opinión pública y problemas ambientales. El caso de las instalaciones para el tratamiento de residuos en la Comunidad de Madrid". Reis: Revista Española de Investigaciones Sociológicas. Nº 85, p. 251-275, enero-marzo 1999. [Documento en línea]. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/40184106>

[37] D. Martín. "PAU de Vallecas, el barrio abandonado por todos". El Mundo, 20 de septiembre de 2015. [En línea]. Disponible en:

<https://www.elmundo.es/madrid/2015/09/20/55fdcbe8ca47418d128b4589.html>

[38] "Construcción en tiempos de pandemia". Madrid es noticia, octubre 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.madridesnoticia.es/2020/10/construccion-madrid-2020-mejora/>

[39] Cotizalia. "Datos de Sociedad de Tasación". [En línea]. Disponible en: https://www.elconfidencial.com/vivienda/2021-05-26/vivienda-precio-stock-madrid-capital-sociedad-de-tasacion_3099564/

[40] C. Figueroa., E. Manuel, P. Luque, M. T. Redondo Gómez, S. Rubio Casal, A. Emilio, e I. Vecino Bueno. "La Vegetación Urbana Como Sumidero de Dióxido de Carbono". Agencia de la Energía de Sevilla, p. 148, 2007.

[41] De Carvalho, R. M., y Szlafsztein, C. F. (2019). Urban vegetation loss and ecosystem services: The influence on climate regulation and noise and air pollution. Environmental Pollution, 245, 844-852.

[42] J. Martínez Heras. "Precision, Recall, F1, Accuracy en clasificación". Inartificial.net. septiembre 2020 [En línea]. Disponible en:

https://www.iartificial.net/precision-recall-f1-accuracy-en-clasificacion/#Precision_Precision

[43] C. Molnar. "Interpretable Machine Learning". [Documento en línea]. Disponible en: <https://christophm.github.io/interpretable-ml-book/index.html>

[44] A. Figuera Martínez. "Der Almanach "Der Blaue Reiter"", 2012[En línea]. Disponible en:

ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA CALIDAD AMBIENTAL EN EL PRECIO DE LAS VIVIENDAS EN LA CIUDAD DE MADRID

<https://go.gale.com/ps/i.do?id=GALE%7CA354661997&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=22448276&p=IFME&sw=w&userGroupName=anon%7E79798295>

[45] J. R. Galán González, J. R. Martínez Herrera, J. C. Chapa Cantú, K. I. Ramírez Díaz y S. Hutchinson Tovar. "La contaminación del aire y su efecto en el precio de la vivienda del AMM". *Revista de economía*, marzo 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.revista.economia.uady.mx/index.php/reveco/article/view/173/151>

[46] F. Gómez Lopera. "Las zonas verdes como factor de calidad de vida en las ciudades". *Ciudad y Territorio, Estudios Territoriales*, XXXVII (144), Universidad de Arquitectura de Valencia, 2005. [Documento en línea]. Disponible en: <file:///C:/Users/Rosa/Downloads/75554-Texto%20del%20art%C3%ADculo-242031-1-10-20191108.pdf>

[47] Hui, E. C., Zhong, J. W., y Yu, K. H. (2012). The impact of landscape views and storey levels on property prices. *Landscape and urban planning*, 105(1-2), 86-93.

[48] Lei Shi. "Environmental risk and housing price: An empirical study of Nanjing", China. 2019. [Documento en línea]. Disponible en: <https://coek.info/pdf-environmental-risk-and-housing-price-an-empirical-study-of-nanjing-china-.html>

[49] M. A. Zambrano-Monserrate. "Formación de los precios de alquiler de viviendas en Machala (Ecuador): análisis mediante el método de precios hedónicos". *Cuadernos de Economía*, Volumen 39, Issue 109, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0210026615000631>

[50] Li, S., Hui, E. C., Wen, H., y Liu, H. (2022). Does public concern matter to the welfare cost of air pollution? Evidence from Chinese cities. *Cities*, 131, 103992.

[51] Almetwally, A. A., Bin-Jumah, M., y Allam, A. A. (2020). Ambient air pollution and its influence on human health and welfare: an overview. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(20), 24815-24830.

[52] Hao, Y., Wang, Y., Wu, Q., Sun, S., Wang, W., & Cui, M. (2020). What affects residents' participation in the circular economy for sustainable development? Evidence from China. *Sustainable Development*, 28(5), 1251-1268.

[53] Kelly, F. J., & Fussell, J. C. (2015). Air pollution and public health: emerging hazards and improved understanding of risk. *Environmental geochemistry and health*, 37(4), 631-649.

[54] Li, X., & Li, Y. (2022). The impact of perceived air pollution on labour supply: Evidence from China. *Journal of Environmental Management*, 306, 114455.

[55] Manisalidis, I., Stavropoulou, E., Stavropoulos, A., & Bezirtzoglou, E. (2020). Environmental and health impacts of air pollution: a review. *Frontiers in public health*, 14.