

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

SISTEMA EXPERTO MEDIANTE LÓGICA DIFUSA PARA PREDECIR EL ORDEN DE ACTUACIÓN EN LAS ZONAS ACÚSTICAMENTE SATURADAS

PACS: 43.50.Sr Ruido comunitario, zonificación acústica, leyes y legislación.

David Bienvenido-Huertas¹; Juan José Moyano¹; Javier Bermúdez²; Ricardo Hernández Molina³

¹ Departamento de Expresión Gráfica e Ingeniería en la Edificación, Universidad de Sevilla; Avda. Reina Mercedes S/N; Sevilla; España

² Departamento de Máquinas y Motores Térmicos, Universidad de Cádiz; Avda. República Saharaui S/N; Puerto Real (Cádiz); España

³ Laboratorio de Ingeniería Acústica, Universidad de Cádiz; Avda. República Saharaui S/N; Puerto Real (Cádiz); España

E.mail: jbienvenido@us.es

Palabras Clave: Zona Acústicamente Saturada, lógica difusa, orden de actuación

ABSTRACT

The Saturated Acoustic Zones (SAZ) are one of the urban control tools that the town has to protect themselves from the acoustic pollution, although its correct implementation and maintenance could mean an additional cost due to the experimental campaigns required to be carried out according to the Decree 6/2012. The present study suggests an expert system based on diffuse logic, which allows to estimate the adequate order of action in the experimental campaigns to assess their records updating with the aim of optimizing the process. The proposed model is applied to the SAZ, both considered and pending, in the city of Cadiz.

RESUMEN

Las Zonas Acústicamente Saturadas (ZAS) constituyen uno de los instrumentos de control urbanístico que disponen los municipios para protegerse de la contaminación acústica, aunque su correcta implantación y mantenimiento puede suponer un sobrecoste debido a las campañas experimentales que son necesarias de realizar según el Decreto 6/2012. Este estudio plantea un sistema experto mediante lógica difusa que permita estimar el orden de actuación adecuado en las campañas experimentales para valorar la actualización de sus expedientes, con el objeto de optimizar el proceso. El modelo propuesto se aplica sobre las ZAS, tanto declaradas como pendientes, de la ciudad de Cádiz.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

INTRODUCCIÓN

Desde la época clásica, la lógica aristotélica ha permitido el avance científico en diferentes ramas del conocimiento. Sin embargo, este avance ha presentado limitaciones en algunos momentos ante problemas complejos, sobre todo ante la intervención de diversos factores que admiten diversas valoraciones y utilizando datos de diferentes magnitudes [1]. En este sentido, el razonamiento humano difiere de la estricta lógica clásica. El personal técnico encargado de la toma de decisiones sobre una determinada cuestión puede dictaminar diferentes acciones ante una misma situación.

De acuerdo con esto, las actuaciones urbanísticas por parte de la administración local resulta un tema complejo, sobre todo ante las limitaciones presupuestarias. La utilización adecuada de estos fondos económicos resulta fundamental para el adecuado desarrollo de la ciudad y para garantizar unas condiciones de habitabilidad idóneas a sus ciudadanos. En el campo de la contaminación acústica, una de los instrumentos de control con una mayor influencia sobre el funcionamiento de actividades son las Zonas Acústicamente Saturadas (en adelante ZAS). Según el Decreto 6/2012, se considera como ZAS aquellas zonas de un municipio en las que existan numerosas actividades destinadas al uso de establecimientos públicos y los niveles de ruido ambiental producidos por la adición de las múltiples actividades existentes y por las de las personas que las utilizan sobrepasen los objetivos de calidad acústica correspondientes al área de sensibilidad acústica a la que pertenecen [2]. Esta declaración, implica, por parte de la administración local, la adopción de restricciones tanto al otorgamiento, modificación o ampliación de nuevas licencias de apertura, como al régimen de horarios de las actividades, siendo revisable en el tiempo establecido en su declaración. En este sentido, una de las actuaciones fundamentales a la hora de revisar su declaración son las campañas de medición para la evaluación de los niveles sonoros ambientales, variando el número de mediciones y su duración en función del diseño de la campaña experimental. Así pues, los costes asociados a la realización de estas campañas pueden limitar la realización de las revisiones de los expedientes de declaración de las ZAS y obligar a posponer su revisión. Por este motivo, resulta fundamental determinar un orden de prioridad en municipios con más de una ZAS pendiente de revisión. Sin embargo, los criterios para determinar dicho orden dependen de múltiples factores, tales como la población afectada o el número de denuncias, y pueden dificultar la toma de una decisión.

Es por este motivo por el que en el presente trabajo se ha optado por la aplicación de la lógica difusa. La teoría de conjuntos difusos fue introducida en 1965 por Lofti A. Zadeh y consiste en una tipología de lógica multivaluada que permite representar matemáticamente la incertidumbre y la vaguedad, proporcionando herramientas, formales para su tratamiento [3], es decir, se trata de un tipo de lógica basado en la teoría de conjuntos y que trata de copiar el método de razonamiento que usualmente utilizan los humanos en su vida diaria [4]. Según dicha teoría, las variables existentes en el universo no tienen una dualidad blanco-negro, sino que existe un amplio espectro de grises que da respuesta a la pertenencia de diferentes etapas o posibilidades. Así pues, la lógica difusa permite tratar información imprecisa en términos de conjuntos borrosos, tales como superficie media o baja población. Estos conjuntos borrosos se combinan entre sí mediante reglas para definir acciones. Por tanto, los sistemas expertos basados en lógica difusa combinan una serie de variables de entrada y, mediante una serie de reglas, permite predecir un valor de salida.

Es importante destacar que el concepto de lógica difusa es diferente al de probabilidad, aunque estén relacionados en cierto modo. La probabilidad representa información sobre la frecuencia de ocurrencia relativa de un evento bien definido sobre el total de eventos posibles, mientras que

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

el grado de pertenencia difuso representa las similitudes de un evento con respecto a otro evento, donde las propiedades de esos eventos no están definidas de forma precisa [3].

En la literatura científica existe una amplia variedad de estudios de aplicación de la lógica difusa ante cuestiones acústicas, entre los que se pueden destacar los siguientes: (i) Aguilera de Maya desarrolló un modelo de predicción de ruido urbano basado en lógica difusa [5]; (ii) un estudio similar fue realizado por Caponetto et al. [6] en el que desarrollaron un modelo de predicción de contaminación acústica utilizando un sistema mixto de lógica difusa y algoritmo genético; (iii) Beritelli et al. [7] desarrollaron un modelo difuso de clasificación de ruido de fondo; (iv) una red neuronal difusa para la caracterización de la contaminación acústica en el tráfico urbano y estimar el número de vehículos fue desarrollada por Fortuna et al. [8]; y (v) Zaheeruddin y Jain [9] generaron un sistema experto mediante lógica difusa para analizar los efectos de la contaminación acústica ambiental en la interferencia del habla. A pesar de la amplia variedad de aplicaciones de la lógica difusa en el campo de la acústica ambiental, no existen estudios en los que se analice su posibilidad de utilización como herramienta de apoyo a los instrumentos de control urbanístico ambiental y menos aún relacionado con las ZAS. Así pues, este trabajo pretende asentar las bases para la utilización de sistemas expertos difusos y analizarlos ante casos reales de estudio.

METODOLOGÍA

A efectos de este estudio, en primer lugar, se ha considerado para el desarrollo del modelo definir las variables de entrada que permitieran determinar la prioridad de revisión de las ZAS. Una vez concretado el objetivo anterior, se planteó el diseño de un sistema experto mediante lógica difusa de clasificación de los órdenes de actuación en las ZAS en un software especializado. Posteriormente, se recopilaron datos reales de 6 casos de estudio para valorar la clasificación realizada por el sistema.

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio seleccionada para este trabajo fue el municipio de Cádiz. Desde el punto de vista acústico, se trata de una ciudad consolidada debido a que la propia geografía impide su ampliación urbanística [10]. Se trata de una ciudad con un marcado interés por el control y gestión del ruido, el cual se ha reflejado en hechos tales como la redacción de una ordenanza en el año 1997, la declaración de una serie de ZAS o la elaboración del Mapa Estratégico de Ruido [11]. Se trata de una ciudad con un gran predominio de suelo residencial, sobre otros tipos de usos como el industrial o el de uso recreativo [12].

DESCRIPCIÓN DE LOS CASOS DE ESTUDIO

El municipio de Cádiz cuenta actualmente con tres ZAS declaradas (ver Figura 1) y otras 3 pendientes de declaración (ver Figura 2). Las ZAS se encuentran ubicadas en zonas representativas del ocio nocturno, como el barrio de El Pópulo, la Calle Manuel Rancés o la calle General Muñoz Arenilla, afectando a 5 de los 10 distritos en los que se divide la ciudad. Además, presentan características propias a nivel de distribución urbana, tipo de actividades, superficie y población, que permiten dotar de casos de estudio con marcadas diferentes a la investigación.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre



(a)

(b)

Figura 1. ZAS declaradas en el municipio de Cádiz: (a) ZAS 1 y ZAS 2, y (b) ZAS 3.



(a)

(b)

(c)

Figura 2. ZAS pendientes de declaración en el municipio de Cádiz: (a) ZAS PEND 1, (b) ZAS PEND 2, y (c) ZAS PEND 3.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIAACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

DISEÑO DEL MODELO EXPERTO

Un sistema difuso consta de cuatro fases: borrosificador, bases de reglas difusas, inferencia y desborrosificador. En la Figura 3 se representa la estructura del sistema experto diseñado el cual se describe a continuación.

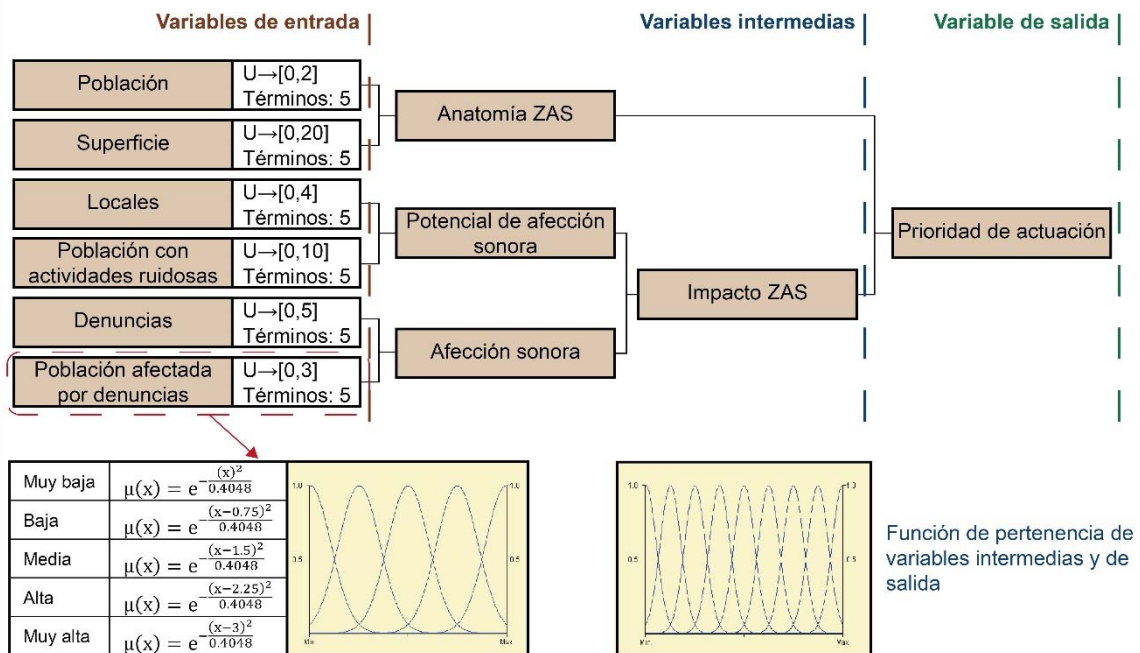


Figura 3. Estructura del sistema experto diseñado.

El borrosificador (fuzzifier) establece una relación entre los valores de las variables de entrada y los conjuntos borrosos. Para elaborar el conjunto difuso propuesto en el presente trabajo, en primer lugar, se estableció la estructura en la que se definen las diferentes variables. Teniendo en cuenta que el objetivo final perseguido es poder hacer una clasificación del orden de actuación, se definieron una serie de variables relacionadas con las características propias de la ZAS ("Población" y "Superficie") y otras relacionadas con su estado actual ("Locales", "Población con actividades ruidosas en su edificio", "Denuncias" y "Población afectada por denuncias"). Es conveniente destacar, que las variables asociadas a actividades ("Locales" y "Población con actividades ruidosas en su edificio") son de actividades potencialmente ruidosas, tales como bares, restaurantes, discotecas o pubs. Con respecto a las variables de denuncias ("Denuncias" y "Población afectada por denuncias") sólo se consideran las denuncias debidas a ruido generadas por las actividades potencialmente ruidosas.

Las variables intermedias se crean con el objetivo de agrupar las variables de entrada mediante diferentes reglas de inferencia para cada caso determinado. Todas estas variables intermedias desembocan en la variable de salida, que determinará la valoración final del sistema. Para obtener el valor de la variable de salida se utilizó el método desborrosificador por centro de área.

Es importante destacar que todas las variables tienen tanto un universo de discurso (U) como unos términos lingüísticos diferentes en función de la variable. Las funciones de pertenencia definidas para este trabajo eran de tipo π , ya que permiten un margen de tolerancia alrededor del valor que se toma como característico del término lingüístico del conjunto borroso. Tanto los términos lingüísticos de las variables, las funciones de pertenencia y las reglas de inferencia son reflejados en la Figura 3.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

Para el desarrollo del modelo se ha utilizado la herramienta computacional de software libre XFuzzy 3.5, la cual se ha obtenido a través del Instituto de Microelectrónica de Sevilla (IMSE-CNM) [13]. Es importante destacar que dicha herramienta es un entorno de desarrollo para sistemas de inferencia basados en la lógica difusa, que combina un conjunto de herramientas que facilitan las distintas etapas del proceso, desde su descripción inicial hasta la implementación final, siendo una de sus principales características la flexibilidad a la hora de desarrollar sistemas complejos, permitiendo definir las diferentes funciones del conjunto difuso [4].

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En primer lugar, se realizó un estudio de las características propias que presentaba cada ZAS. Para ello, se utilizaron los datos de población del Mapa de Ruido de Cádiz para determinar el número de habitantes existente en cada una de las ZAS. Posteriormente, se realizó una recopilación documental tanto de las licencias de las actividades potencialmente ruidosas con las que cuentan cada una de las ZAS, así como el número de denuncias existentes por ruido, siendo estos datos facilitados por el Ayuntamiento de Cádiz. Con el cruce de los datos se pudo obtener el número de habitantes con actividades potencialmente ruidosas en su edificio y con denuncias, desarrollando el conjunto de datos de la Tabla 1. Tal y como se puede observar, el estado actual que presentaban las diferentes ZAS era muy diferente, existiendo áreas con un número muy bajo de denuncias, como la ZAS 1 y áreas con un número elevado de locales como la ZAS PEND 3. La incorporación de la población permitió determinar como aquellas zonas que presentaban un número intermedio de denuncias, como las ZAS 2 y la ZAS PEND 1, el número de personas afectadas por las mismas era bajo.

Tabla 1. Recopilación de valores para las variables consideradas en el sistema experto.

ZAS	Características propias de la ZAS		Estado actual de la ZAS			
	Superficie [m²]	Población total	Número de locales	Número de denuncias	Población afectada por denuncias	Población con actividades ruidosas
ZAS 1	437,98	175	8	1	22	121
ZAS 2	10.800,00	422	20	12	46	161
ZAS 3	3.653,42	1111	25	20	319	1.109
ZAS PEND 1	2.050,33	465	15	14	61	89
ZAS PEND 2	18.973,37	1500	37	9	114	1.012
ZAS PEND 3	6.999,73	1708	34	45	278	305

Para clasificar el orden de actuación en las campañas sonométricas de revisión de los expedientes de las ZAS, se utilizaron los datos obtenidos en el modelo desarrollado (ver Figura 4). En la Tabla 2 se representa el orden de actuación en cada una de ellas.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

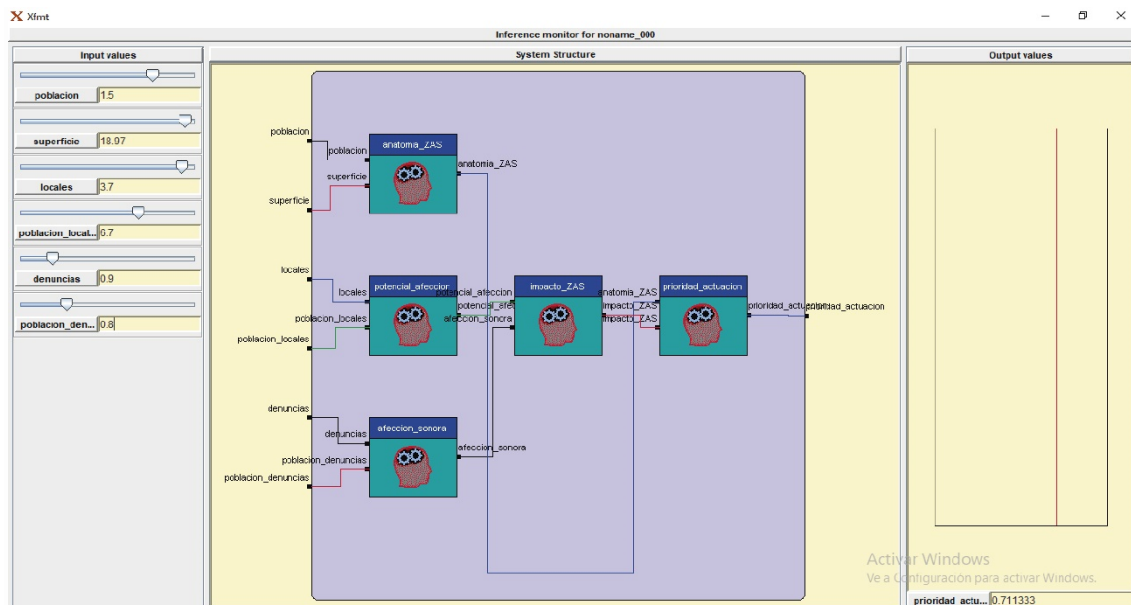


Figura 4. Ejemplo de simulación de la ZAS PEND 2.

Tabla 2. Valor de salida y orden de actuación generado por el sistema experto.

ZAS	Valor de salida	Orden de actuación
ZAS 1	0,4059	6
ZAS 2	0,5166	4
ZAS 3	0,6789	3
ZAS PEND 1	0,4407	5
ZAS PEND 2	0,7113	1
ZAS PEND 3	0,6795	2

Tal y como se puede observar, la prioridad de actuación dada por el sistema permitió obtener respuestas adecuadas, ya que en las ZAS 1 y 2 con un bajo impacto de afección sonora, la prioridad de actuación sobre las mismas fue clasificada como baja, mientras que en aquellas con un mayor impacto, como las ZAS PEND 2 y 3, la prioridad fue elevada.

CONCLUSIONES

El presente trabajo ha generado un sistema experto que permitió clasificar el orden de actuación en las campañas de medición sonométrica de las ZAS. Para ello se ha utilizado la lógica difusa ya que permite emular la lógica del razonamiento humano. El sistema desarrollado ha sido aplicado a las ZAS del municipio de Cádiz, permitiendo obtener el orden de actuación sobre cada una. A pesar de las bondades del sistema desarrollado algunas limitaciones están presentes. Para aplicar este modelo a otro municipio habría que realizar los ajustes oportunos en las funciones de pertenencia y en las reglas de inferencia, así como valorar la introducción de nuevas variables de entrada. Asimismo, la validación del valor de respuesta dado por el sistema con casos reales de organización de actuación de las ZAS permitiría dar mayor robustez a los resultados. Así pues, futuros pasos de esta investigación irán orientados a optimizar el modelo

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

con nuevos casos de estudio procedentes de otros municipios, así como a validar el valor de respuesta dado por el sistema.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J.M. Macías-Bernal, J.M. Calama-Rodríguez, M.J. Chávez-de Diego, Modelo de predicción de la vida útil de la edificación patrimonial a partir de la lógica difusa, *Inf. La Construcción*. 66 (2014) e006. doi:10.3989/ic.12.107.
- [2] Junta de Andalucía, Decreto 6/2012, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de Protección contra la Contaminación Acústica en Andalucía, y se modifica el Decreto 357/2010, de 3 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento para la Protección de la Calidad del Cielo Nocturno frente a la contaminación lumínica y el establecimiento de medidas de ahorro y eficiencia energética.(BOJA núm. 24, de 6 de febrero de 2012), 2012.
- [3] C. González Morcillo, *Lógica Difusa, una introducción práctica, Técnicas de Softcomputing*. (2011).
- [4] B. Martín del Río, A. Sanz Molina, *Redes neuronales y sistemas borrosos*, 2006.
- [5] J.L. Aguilera de Maya, *Método de predicción de ruido urbano basado en Teoría Fuzzy*, *Tec*. 1997, Vol. 12. (1997) 113–116.
- [6] R. Caponetto, M. Lavorgna, A. Martinez, L. Occhipinti, GAs for fuzzy modeling of noise pollution, in: *Knowledge-Based Intell. Electron. Syst. 1997. KES'97. Proceedings., 1997 First Int. Conf., 1997*: pp. 219–223.
- [7] F. Beritelli, S. Casale, G. Ruggeri, *New Results in Fuzzy Pattern Classification of Background Noise*, (2000) 1483–1486.
- [8] L. Fortuna, L. Occhipinti, C. Vinci, M.G. Xibilia, *Neuro-fuzzy model of urban traffic*, *Midwest Symp. Circuits Syst.* 1 (1994) 603–606.
- [9] Zaheeruddin, V.K. Jain, *An expert system for predicting the effects of speech interference due to noise pollution on humans using fuzzy approach*, *Expert Syst. Appl.* 35 (2008) 1978–1988. doi:10.1016/j.eswa.2007.08.104.
- [10] I. Giménez Anaya, R. Hernández Molina, F.J. Martínez Gómez, *Percepción sonora de la población infantil de primaria de la ciudad de Cádiz*, in: *Tec*. 2009, Vol. 5, 2009: pp. 1–8.
- [11] Á. García Loureda, *Memoria de las actuaciones realizadas por los servicios de medio ambiente de la diputación de Cádiz en materia de contaminación acústica en el período 2000-200*, in: *Tec*. 2009, Vol. 2, 2009: pp. 1–11.
- [12] R. Hernández Molina, T. Jiménez Pérez, *Zonificación y definición de áreas acústicas del término municipal de Cádiz*, in: *Tec*. 2009, Vol. 12, 2009: pp. 1–6.
- [13] Instituto de Microelectrónica de Sevilla (IMSE-CNM), *Fuzzy Logic Design Tools*, (2003).