

# Modelado de un sistema de inferencia difusa aplicado al monitoreo de emisiones contaminantes de tráfico de flotillas de repartición de productos

Melina Ramos Sánchez

Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Apizaco,  
Departamento de Estudios de Posgrado e Investigación,  
México

melina.rschz@gmail.com

**Resumen.** La contaminación en el aire fue responsable de aproximadamente 4,2 millones de muertes en todo el mundo en 2016, siendo las emisiones de los vehículos de carretera la principal fuente de contaminación atmosférica en las zonas urbanas [1]. En los últimos años, la calidad del aire a nivel mundial ha decaído de manera exponencial afectando la salud humana y el medio ambiente. En este contexto, la redacción del presente artículo tiene como objetivo modelar un sistema de inferencia difusa aplicado al monitoreo de emisiones contaminantes de tráfico de flotillas de repartición de productos, para apoyar a la toma de decisiones sobre la operación de los vehículos, ayudando así, a potenciar el ahorro de combustible y la reducción de emisiones contaminantes. El monitoreo particular de emisiones de gases contaminantes de cada vehículo permitirá la reducción de estos gases y al mismo tiempo se apoyará a garantizar el derecho a un medio ambiente sano para la sociedad reduciendo costos ambientales.

**Palabras clave:** Lógica difusa, emisiones contaminantes, tráfico de flotillas, monitoreo.

## Modeling of a Fuzzy Inference System Applied to the Monitoring and Control of Polluting Emissions From Product Distribution Fleets

**Abstract.** Air pollution was responsible for approximately 4.2 million deaths worldwide in 2016, with emissions from road vehicles the main source of air pollution in urban areas [1]. In recent years, air quality worldwide has declined exponentially, affecting human health and the environment. In this context, the writing of this article aims to model a fuzzy inference system applied to the monitoring of polluting emissions from the traffic of product distribution fleets, to support decision-making on the operation of vehicles, thus helping, to promote fuel savings and the reduction of polluting emissions. The particular monitoring of pollutant gas emissions of each vehicle will allow the reduction of these gases and at the same time it will support to guarantee the right to a healthy environment for society reducing environmental costs.

**Keywords:** Fuzzy logic, polluting emissions, fleet traffic, monitoring.

## 1. Introducción

Los vehículos propulsados por motores de combustión contribuyen significativamente a la contaminación del aire relacionada con el tráfico, esto incluye una amplia variedad de productos químicos tóxicos, que incluyen carbón negro (BC), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre y material particulado (PM). Esta contaminación se ha relacionado con múltiples resultados adversos para la salud humana que incluyen enfermedades respiratorias y cardiovasculares [2].

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la contaminación del aire exterior es responsable de aproximadamente 4,2 millones de muertes en todo el mundo. La cardiopatía isquémica y los accidentes cerebrovasculares (58%), la enfermedad pulmonar obstructiva crónica y las infecciones agudas de las vías respiratorias inferiores (18%) y el cáncer de pulmón (6%) son las principales causas de muerte prematura (OMS, 2018) [3].

Por lo general las emisiones de una sola unidad, de cualquiera de estos vehículos motorizados son muy bajas comparadas con las emisiones de una chimenea industrial. Sin embargo, debido a la cantidad de vehículos en circulación, en muchas ciudades representan la fuente principal de contaminación. Siendo así la circulación de flotillas de vehículos de reparto de productos una de las principales causas de la contaminación ambiental, ya que se define como la actividad diaria más “contaminante” que se realiza comúnmente [4].

De esta manera es necesario implementar nuevas técnicas y desarrollos tecnológicos que contribuyan a mitigar los problemas antes planteados, es por ello que surgió el modelado de un sistema de inferencia difusa, para a través de datos generales obtenidos de un dispositivo OBD II (On board diagnostic) conectado a los vehículos, conocer el grado de afectación que tienen en el medio ambiente los gases contaminantes que estos emiten.

En las siguientes secciones se desarrolla paso a paso el modelado del sistema difuso para llegar al objetivo, en la sección 2, se describen los actuales trabajos relacionados al tema de control y monitoreo de vehículos con inferencia difusa, también se analizaron artículos enfocados a la aplicación de técnicas difusas como solución a los problemas de contaminación en el aire y finalmente estudios realizados sobre el exceso de emisiones contaminantes en el aire proveniente de vehículos y transporte carretero.

En la sección 3 se describe de manera detallada la metodología aplicada para lograr la propuesta de solución planteada, en la sección 4 se mencionan los resultados obtenidos con el modelado del sistema difuso y finalmente en la sección 5 se muestran las conclusiones y posibles trabajos futuros de la investigación.

## 2. Trabajos relacionados

En relación al tema de inferencia difusa aplicado al control y monitoreo de vehículos, existen diversas propuestas de solución. En [5] utilizando el método de inferencia difusa de Mandani que hace uso de las reglas Si X Entonces Y, si predicado entonces conclusión, se desarrolla un algoritmo de inferencia difuso para controlar la velocidad y detectar los obstáculos que se presentan en el camino y así evitar que el automóvil

choque cuando el conductor sufre cualquier alteración en su cuerpo. Así mismo, en [6] se presenta un sistema basado en un modelo lingüístico de decisión desarrollado utilizando sistemas inteligentes (lógica difusa) que obtiene una evaluación de la eficiencia en la conducción, tomando como patrón el comportamiento de los conductores en la realización de una conducción eficiente o no eficiente.

También, en [7] se presenta una aplicación de un sistema de inferencia difusa basado en una red adaptable (ANFIS) para diagnosticar previamente problemas incipientes de la red subyacente en el vehículo que posiblemente podrían causar más fallas.

En otro contexto, se analizaron algunos trabajos referentes al tema de inferencia difusa como solución a los problemas de gases contaminantes y niveles de contaminación en el aire. En [8] la investigación presenta un sistema de monitoreo y control sobre el índice de calidad del aire interior del medio ambiente basado en un controlador de lógica difusa para identificar y clasificar expresado en cuatro categorías: excelente, bueno, malo y peor.

Por otro lado, en [9] se describe un estudio utilizando datos disponibles de contaminantes clave para predecir su estado futuro mediante modelos de series de tiempo analizados con un sistema de inferencia neuro difuso adaptativo. De esta manera, en [10] con el fin de mejorar la precisión de la predicción en tiempo real de la concentración de contaminantes del aire, el artículo propone una máquina de aprendizaje extremo ponderada neuro difusa autoadaptativa basada en un método combinado de predicción de la concentración de contaminantes atmosféricos.

Para concluir esta sección, se describe el análisis de algunas propuestas de solución, enfocadas a la problemática del exceso de emisiones contaminantes en el aire proveniente de vehículos y transporte carretero. En [11] el documento presenta tasas de emisión de gases de efecto invernadero que ayudan a pronosticar y modelar las emisiones de estos gases en vehículos ligeros.

De otra manera, en [12] se obtuvieron resultados netos sobre la teoría de que las emisiones de tráfico aumentan a causa de la aceleración y desaceleración de los vehículos, esta hipótesis se comprobó con base en un modelo de emisión instantánea integrado con un modelo de simulación de tráfico microscópico. Los resultados muestran que la gestión activa de la velocidad no tiene un impacto significativo en las emisiones contaminantes.

Con este enfoque en [13] se realizó una revisión sistemática de las principales variables de tráfico utilizadas en la modelización de emisiones y calidad del aire. Los datos meteorológicos también influyen en los resultados. Las conclusiones de esta investigación mostraron que la lista de variables de tráfico clave propuesta apunta al flujo por tipo de vehículo como la variable más importante.

### **3. Preliminares**

En los últimos años la inteligencia artificial se ha empleado en problemas cada vez más complejos, los sistemas difusos se han posicionado como una de las herramientas más útiles para modelar este tipo de problemas [15].

### 3.1. OBD II

La fuente de la información para este análisis proviene del dispositivo OBD II (On Board Diagnostics) el cual es un sistema de diagnóstico vehicular, incorporado al vehículo que tiene la función de controlar y monitorear al motor [14]. Conectado a una flotilla de autos tipo Van, con modelos del 2010 al 2020, con características estándar, realizando el análisis de 20 camionetas componentes de la flotilla.

### 3.2. Lógica difusa

El concepto de Lógica difusa fue expuesto por Lofti A. Zadeh, profesor de la Universidad de California en Berkeley, en 1965 en el artículo “Fuzzy sets”, quien inconforme con los conjuntos clásicos lo presentó como una forma de procesar información permitiendo pertenencias parciales a los conjuntos [16].

Las personas son capaces de tomar decisiones basadas en información imprecisa. Los conjuntos difusos proveen una herramienta para representar esta información, y poder así también construir un sistema de ayuda para la toma de decisiones.

### 3.3. Sistemas difusos

Un sistema basado en reglas difusas (SBRD) está compuesto por:

- Base de conocimientos
- Base de reglas
- Base de predicados
- Base de datos
- Motor de inferencia
- Ejecuta las reglas de inferencia para llegar a una conclusión.

En este tipo de sistemas se debe tener entradas y salidas de acuerdo a los predicados y reglas de inferencia usados [6]. Un sistema de inferencia difusa define una correspondencia no lineal entre una o varias variables de entrada y una variable de salida; esto proporciona una base desde la cual pueden tomarse decisiones o definir patrones.

### 3.4. Método mamdani

El método de Mamdani es el más usado en aplicaciones, basado en la siguiente regla:

If  $x_1$  is A and  $x_2$  is B  
then  $u_1$  is D

donde  $x_1$  y  $x_2$  son las variables de entrada: estado del convertidor catalítico, rendimiento del sensor de oxígeno, nivel de aceite y rendimiento de gasolina, A y B son funciones de pertenencia de entrada en este caso referidas al estado de las variables (excelente, constante, ineficaz, insuficiente, suficiente, excesivo),  $u_1$  es el monitoreo final de las emisiones contaminantes (nivel de contaminación), D es la función de pertenencia de la salida. En este trabajo de investigación se emplea la función de

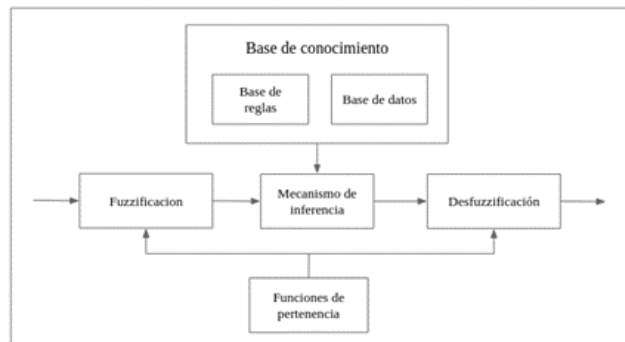


Fig. 1. Modelo del sistema de inferencia difusa [Elaboración propia].

pertenencia triangular por su facilidad computacional, y AND como operador lógico difuso.

La primera parte de la sentencia “IF x1 is A AND x2 is B” es el antecedente y la restante es el consecuente. Un ejemplo es IF estado del convertidor catalítico is ineficaz and rendimiento del sensor de oxigenos is pobre THEN nivel de contaminación is excesivo.

El método de Mamdani utiliza un conjunto de reglas difusas “SI-ENTONCES” (IF-THEN). Toma como entrada los valores de la fuzzificación y se aplican a los antecedentes de las reglas difusas. Si una regla tiene múltiples antecedentes, se utiliza el operador AND u OR para obtener un único número que represente el resultado de la evaluación. Este número se aplica al consecuente [15].

En un sistema difuso tipo Mamdani se distinguen las siguientes partes:

### Fuzzificador

La entrada del sistema de lógica difusa tipo Mamdani, es un valor numérico proveniente de un dispositivo OBD II, como se mencionó antes, para que este valor pueda ser procesado por el sistema difuso se necesita convertir en un "lenguaje" que el mecanismo de inferencia pueda procesar.

Esta es la función del fuzzificador, que toma los valores numéricos provenientes del exterior y los convierte en valores difusos que pueden ser procesados por el mecanismo de inferencia [16].

### Base de reglas difusas

La base de reglas es la manera que tiene el sistema difuso de guardar el conocimiento lingüístico que le permite resolver el problema para el cual ha sido diseñado [17]. Estas reglas son del tipo IF-THEN. En la figura 1 se muestra el modelo del sistema de inferencia difusa con el que se trabaja esta investigación.

### Mecanismo de inferencia

Una vez teniendo los resultados de la función de pertenencia arrojados por el fuzzificador, los mismos deben ser procesados para generar una salida difusa. La tarea

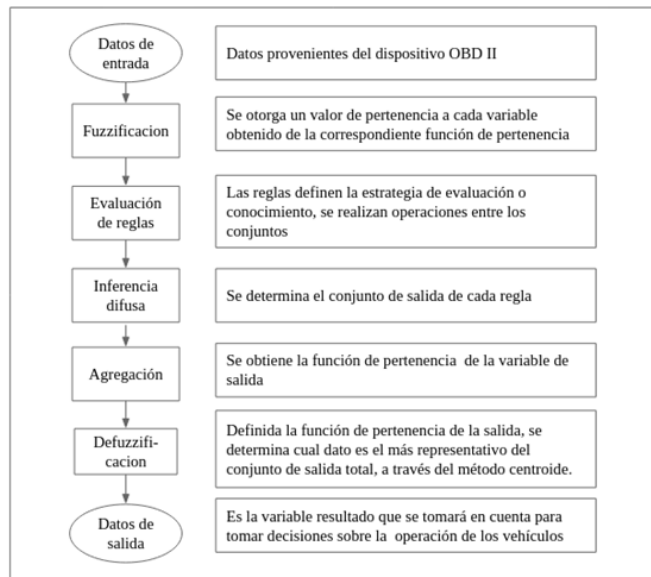


Fig. 2. Diagrama de flujo del proceso de inferencia [Elaboración propia].

del sistema de inferencia es tomar los niveles de pertenencia y apoyado en la base de reglas generar la salida del sistema difuso [18].

#### 4. Metodología

La implementación del modelo, se ha elaborado mediante un motor de inferencia difuso implementado a tal efecto en el lenguaje de programación Python, utilizando la biblioteca Inferfuzzy dedicada a implementar Sistemas de Inferencia Difusa, en conjunto con desarrollos en el software GNU Octave, un lenguaje de programación matemático de licencia libre.

Para la realización de esta investigación se consultaron diversas fuentes, inicialmente para seleccionar las variables de importancia en la emisión de gases contaminantes después, la base de datos fue obtenida de la bibliografía del libro "CO2 Catcher: A Platform for Monitoring of Vehicular Pollution in Smart Cities" escrito por J. Oliveira en el 2017, de la editorial IEEE First Summer School on Smart Cities (S3C), los cuales son datos de prueba provenientes de un dispositivo OBD II.

A continuación, en la figura 2 se muestra el algoritmo en forma de diagrama de flujo que describe cada paso realizado para la implementación del modelo.

##### 4.1. Variables lingüísticas de entrada

En la tabla 1 se describen las variables lingüísticas de entrada para el sistema de inferencia difusa, el valor asignado y la función de pertenencia correspondiente a cada una.

**Tabla 1.** Descripción de variables lingüísticas de entrada.

Variable	Valor	Función de pertenencia
Estado del convertidor catalítico (edoCC)	{excelente, constante, ineficaz}	<p>{<input type="checkbox"/> excelente, <input type="checkbox"/> constante, <input type="checkbox"/> ineficaz}</p>
Rendimiento del sensor de oxígeno (renSO)	{pobre, ideal, rico}	<p>{<input type="checkbox"/> pobre, <input type="checkbox"/> ideal, <input type="checkbox"/> rico}</p>
Nivel de aceite (nivelAceite)	{insuficiente, suficiente, excesivo}	<p>{<input type="checkbox"/> insuficiente, <input type="checkbox"/> suficiente, <input type="checkbox"/> excesivo}</p>
Rendimiento de gasolina (renGas)	{bajo, deseable, alto}	<p>{<input type="checkbox"/> bajo, <input type="checkbox"/> deseable, <input type="checkbox"/> alto}</p>

Con ayuda del dispositivo OBD II el cual mediante un escáner detecta los códigos que marcan fallas en los distintos sensores que tiene el vehículo podremos conocer el estado del convertidor catalítico, el rendimiento del sensor de oxígeno, el nivel de aceite con el que cuenta el vehículo y el rendimiento de gasolina que tiene, ya que, si alguno de estos elementos se encuentra en mal estado o en falla, las emisiones del vehículo se alteran [19]. A continuación, se describe la importancia de las variables antes descritas.

### Estado del convertidor catalítico

Actualmente los vehículos de combustión interna vienen equipados con un elemento llamado convertidor catalítico, el cual es uno de los componentes más importantes para el control de las emisiones de gases contaminantes resultantes de la combustión producida por los motores.

Su principal función es transformar los gases contaminantes resultantes de la quema de combustible en otros gases más amigables con el medio ambiente [20].

**Tabla 2.** Descripción de la variable lingüística de salida.

Variable	Valor	Función de pertenencia
Nivel de contaminación (nivelContaminacion)	{bajo, medio, excesivo}	<div style="text-align: center;"> <p>{□ bajo, □ medio, □ excesivo}</p> </div>

El convertidor catalítico utiliza elementos químicos como el platino y rodio para disminuir las emisiones de NOx, el estado del catalizador del vehículo, se evalúa en una escala de 0 a 100, como excelente, constante o ineficaz.

### Rendimiento del sensor de oxígeno

Todos los autos producidos después de 1980, cuentan con un sensor de oxígeno. Éste forma parte del sistema de control de emisiones. La meta del sensor es ayudar al motor a funcionar lo más eficiente posible, al igual que producir la menor cantidad de emisiones permisibles.

Un motor quema combustible en la presencia de oxígeno si la proporción tanto de aire como de gasolina es equitativa la mezcla es ideal, para la quema total, se necesitan de 14.7 partículas de aire por 1 de combustible.

La computadora del motor vigila esta mezcla para determinar si es ideal, rica o pobre (entrada de mayor o menor cantidad de partículas de oxígeno por partícula de combustible) [21].

Cuando el sensor de oxígeno falla, la computadora del vehículo ya no puede detectar el rango de aire/combustible, por lo que termina adivinando cuál es. Con esto el auto se desempeña pobremente, las emisiones de gases contaminantes son excesivas y el uso de combustible es más de lo que requiere.

Los estados de evaluación de esta variable corresponden a pobre, ideal o rico, tomando como se mencionó antes, una entrada ideal de 14.7:1 partículas, en otro caso si se cuenta con una entrada de aire menor en la combinación, entonces se tiene un excedente de combustible esto sería una mezcla rica. Finalmente, si se tiene más aire y menos combustible, entonces se tiene un exceso de oxígeno, lo que es una mezcla pobre.

### Nivel de aceite

La principal función del aceite en los motores es fungir como lubricante. Generalmente se espera que disminuyan la fricción, el desgaste y el calor en los componentes de la maquinaria.

Uno de los aspectos más importantes de un lubricante es su capacidad para influir en las emisiones que contaminan el ambiente [22].

**Tabla 3.** Muestra de la base de reglas difusas.

Num.	Antecedente	Consecuente
R1	IF edoCC is excelente AND renSO is pobre	THEN nivelContaminacion is medio
R2	IF edoCC is excelente AND renSO is normal	THEN nivelContaminacion is bajo
R3	IF edoCC is ineficaz AND renSO is rico	THEN nivelContaminacion is excesivo
R4	IF edoCC is constante AND nivelAceite is insuficiente	THEN nivelContaminacion is medio
R5	IF edoCC is constante AND nivelAceite is suficiente	THEN nivelContaminacion is bajo
R6	IF edoCC is constante AND nivelAceite is excesivo	THEN nivelContaminacion is medio
R7	IF edoCC is ineficaz AND renGas is bajo	THEN nivelContaminacion is excesivo
R8	IF edoCC is ineficaz AND renGas is deseable	THEN nivelContaminacion is medio
R9	IF edoCC is ineficaz AND renGas is alto	THEN nivelContaminacion is medio
R7	IF edoCC is excelente AND nivelAceite is insuficiente	THEN nivelContaminacion is medio
R8	IF edoCC is excelente AND nivelAceite es suficiente	THEN nivelContaminacion is bajo
R9	IF edoCC is excelente AND nivelAceite es excesivo	THEN nivelContaminacion is medio
R10	IF edoCC is excelente AND renSO is rico	THEN nivelContaminacion is medio

Cuando el nivel de aceite es el adecuado para el motor, puede ayudar a reducir algunos de los contaminantes dañinos que se arrojan al medio ambiente y al mismo tiempo cubrir con las necesidades que la máquina requiere. Insuficiente, suficiente y excesivo son las etiquetas lingüísticas para esta variable en una escala de 0 a 100, siendo el 100 un nivel de aceite excesivo.

### Rendimiento de gasolina

En todos los casos las emisiones de CO2 son directamente proporcionales al consumo de combustible [23]. Sabiendo esto y tomando en cuenta que los vehículos tipo Van, componentes de una flotilla dedicada a la repartición de productos, son la muestra para esta investigación y consumen gasolina y no otro tipo de combustible, el rendimiento deseable es de 9.4 km por litro, evaluando un rendimiento menor como bajo y un rendimiento mayor como alto.

### 4.2. Variable lingüística de salida

La variable lingüística de salida es quien nos dará el resultado que estamos esperando conocer para poder tomar decisiones exitosas referentes a la disminución de emisiones contaminantes del automóvil, para esto finalmente se requiere el nivel de

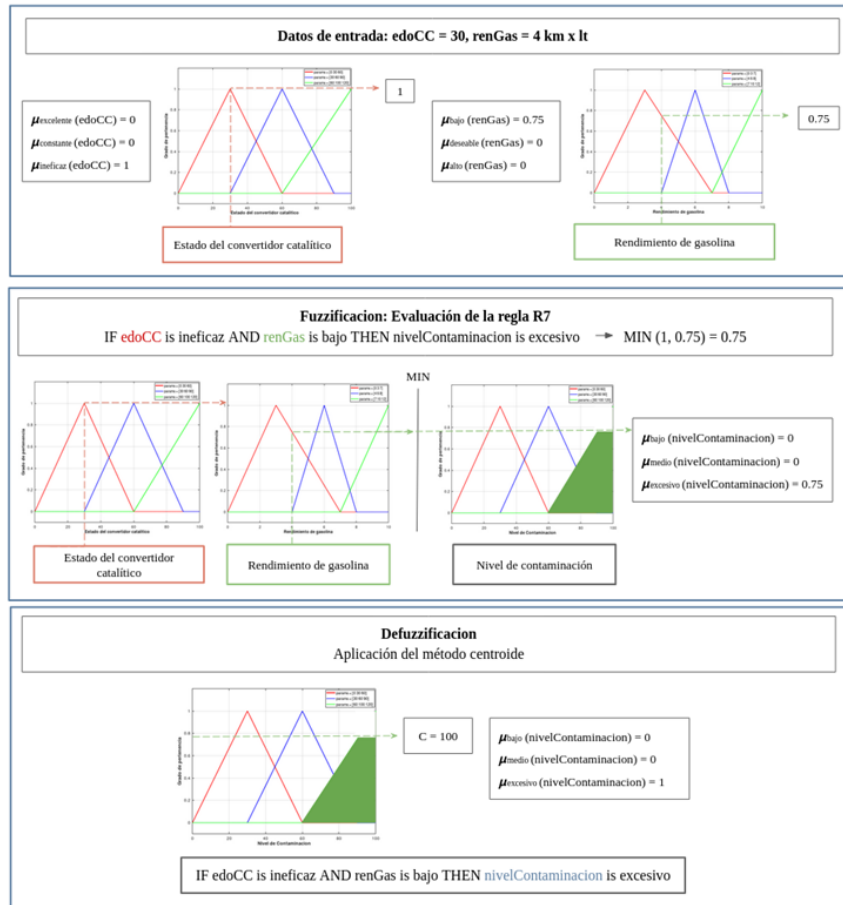


Fig. 3. Proceso de evaluación para la regla R7 [Elaboración propia].

contaminación que se está presentando evaluado con los valores lingüísticos, bajo, medio y excesivo, como se describe en la tabla 2.

### 4.3. Base de reglas difusas

En la tabla 3, se describen parte de las reglas difusas generadas para alimentar el sistema de inferencia difusa, este proceso se realizó con todas las combinaciones posibles entre variables, obteniendo inicialmente 84 reglas difusas distintas.

### 4.4. Inferencia difusa

En la figura 3 se muestra de manera gráfica el proceso para generar la salida del sistema difuso basado en la regla 7 (R7) descrita en la tabla 3. Tomando como indicios los siguientes valores para las variables involucradas: edoCC = 30 y renGas = 4km x lt.

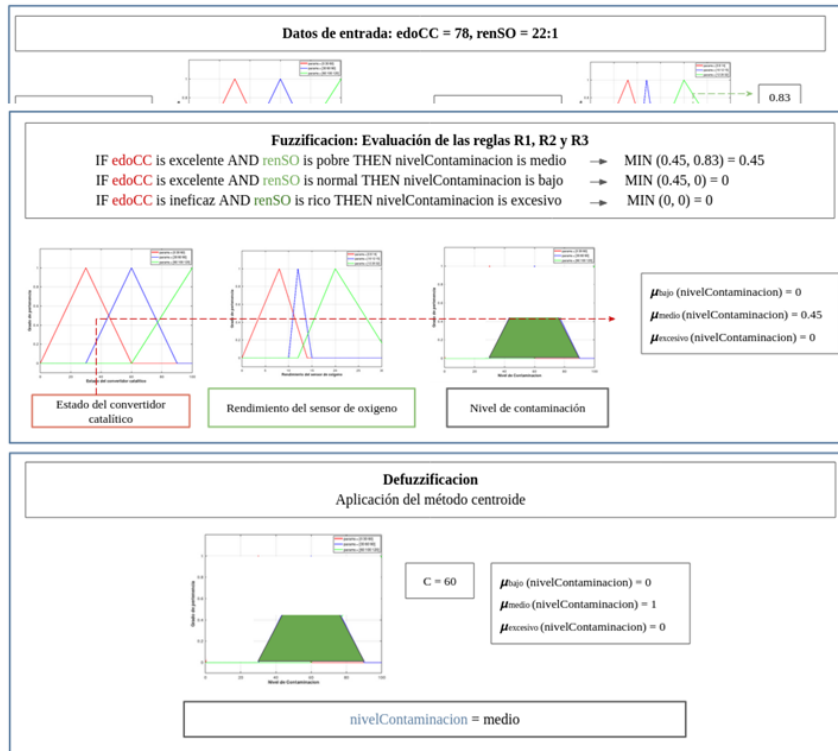


Fig. 4. Proceso de inferencia difusa con las reglas R1, R2 y R3 [Elaboración propia]

Con los predicados correctos la base de conocimiento infiere de manera exitosa el nivel de contaminación que un vehículo está arrojando, dando la pauta para la toma de decisiones beneficiosas respecto a la operación de los vehículos.

## 5. Experimentos y resultados

Para analizar detalladamente el comportamiento de las variables se realizó el proceso de inferencia difusa, con diferentes funciones de pertenencia además de la triangular, que fue el punto de partida de la investigación, tales como la función de pertenencia trapezoidal y gaussiana, todos los procesos tomando como base las reglas R1, R2 y R3 de la tabla 3 mostrada antes, obteniendo variaciones muy pequeñas, a continuación, se muestran los resultados gráficamente en la figura 4. utilizando función de pertenencia triangular.

Finalmente, los resultados obtenidos muestran que podemos conocer a partir de la aplicación de un sistema de inferencia difuso, información relevante para combatir los niveles de contaminación en el aire actuales, esto a través de las emisiones contaminantes del tráfico de vehículos, conociendo después de una evaluación el nivel de contaminación con el que trabajan.

## 6. Conclusiones y trabajo a futuro

Tras la finalización del trabajo planteado, se puede destacar que los objetivos establecidos inicialmente han sido cumplidos satisfactoriamente, ya que se ha conseguido crear un prototipo que evalúa con el modelado de un sistema de inferencia difusa el nivel de emisiones contaminantes que arroja un automóvil dedicado a la repartición de productos.

Todo ello ha sido posible, mediante la implementación de un modelo matemático basado en una técnica de inteligencia artificial, lógica difusa, que permite proporcionar información relevante para tomar decisiones desde la perspectiva de operación de los vehículos. Dicho modelo, hace uso de determinadas reglas que evitan la contradicción y repetición de las mismas.

Por otro lado, desde el punto de vista del trabajo futuro, uno de los objetivos más importantes que se pretende alcanzar a partir del modelo creado, consiste en refinar los resultados obtenidos mediante la aplicación de técnicas de inteligencia artificial y realizar la implementación con datos reales provenientes de una flotilla de vehículos trabajando en tiempo real, que permitan lograr un aumento en la eficacia del modelo y sus resultados, estudiando las posibles reglas sobrantes y generando un mayor rendimiento en la aplicación.

## Referencias

1. Harrison, R. M., Van, Vu T., Jafar, H. Shi, Z.: More mileage in reducing urban air pollution from road traffic. *ScienceDirect Environment International*, vol. 149 (2021) doi: 10.1016/j.envint.2020.106329
2. Hilpert, M., Johnson, M., Kioumourtzoglou, M., Domingo-Relloso, A., Peters, A., Mora, B., Hernández, D., Ross, J., Chillrud, S.: A new approach for inferring traffic-related air pollution: Use of radar-calibrated crowd-sourced traffic data. *ScienceDirect Environment International*, vol. 127, pp. 142–159 (2019) doi: 10.1016/j.envint.2019.03.026
3. Pinto, J. A., Kumar, P., Alonso, M. F., Lemker, W., Pedruzzi, R., Soares, F., Moreira, D. M., Toledo, T.: *Atmospheric pollution research*. Brazil, Elsevier B.V (2019)
4. Khreis, H.: *Traffic, air pollution, and health*. Barcelona: ISGlobal (2020)
5. Mejía, F. Arellano, A. Vallejo, G. Villa. E.: Control de velocidad de un automóvil empleando una técnica de inteligencia artificial. *Revista Infociencia*, vol. 10 (2016) doi: 10.24133/infociencia.v10i1.974
6. Villeta, M., Lahera, T., Merino, S., Zato, J. G., Naranjo, J. E., Jiménez, F.: Modelo para la conducción eficiente y sostenible basado en lógica borrosa. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*, vol. 9, no. 3 (2012) doi: 10.1016/j.riai.2012.05.009
7. Suwatthikul, J., McMurrin, R., Jones R. P.: In-vehicle network level fault diagnostics using fuzzy inference systems. *Applied Soft Computing*, vol. 11, no. 4, pp. 3709–3719 (2011) doi: 10.1016/j.asoc.2011.02.001
8. Dionova, B. W., Mohammed, M. N., Al-Zubaidi, S., Yusuf, E.: Environment indoor air quality assessment using fuzzy inference system. *ICT Express*, vol. 6, no. 3, pp. 185–194 (2019) doi: 10.1016/j.icte.2020.05.007
9. Zeinalnezhad, M., Chofreh, A. G., Goni, F. A., Kleme, J. J.: Air pollution prediction using semi-experimental regression model and adaptive neuro-fuzzy inference system. *Journal of Cleaner Production*, vol. 261 (2020) doi: 10.1016/j.jclepro.2020.121218

10. Li, Y., Jiang, P., She, Q., Lin, G.: Research on air pollutant concentration prediction method based on self-adaptive neuro-fuzzy weighted extreme learning machine. *Environmental Pollution*, vol. 241, pp. 1115–1127 (2018) doi: 10.1016/j.envpol.2018.05.072
11. Iankov, I., Taylor, M. A. P., Scrafton D.: Forecasting greenhouse gas emissions performance of the future Australian light vehicle traffic fleet. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 99, pp. 125–146 (2017) doi: 10.1016/j.tr.2017.03.011
12. Panis, L. I., Broekx, S., Liu R.: Modelling instantaneous traffic emission and the influence of traffic speed limits. *Science of The Total Environment*, vol. 371, vol. 1-2, pp. 270–285 (2006) doi: 10.1016/j.scitotenv.2006.08.017
13. Pinto, J. A., Kumar., P., Alonso., M., F. Andreão., W. L., Pedruzzi, R., Soares dos Santos., F., Martins-Moreira, D., Toledo de Almeida Albuquerque, T.: Traffic data in air quality modeling: A review of key variables, improvements in results, open problems and challenges in current research. *Atmospheric Pollution Research*, vol. 11, no. 3, pp. 454-468 (2020) doi: 10.1016/j.apr.2019.11.018
14. Oliveira J., Lemos, J., Vieira, E., Silva, I., Abrantes, I., Barros, D., Costa, D. G.: CO2 catcher a platform for monitoring of vehicular pollution in smart cities. *IEEE First Summer School on Smart Cities (S3C)*, Natal, pp. 37–42 (2017) doi: 10.1109/S3C.2017.8501380
15. Ross, T. J.: *Fuzzy logic engineering applications*. Tercera Edición, University of New Mexico, USA: Wiley (2010)
16. Zadeh, L. A.: Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility. *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 1, no. 1, pp. 3–28 (1978) doi: 10.1016/0165-0114(78)90029-5
17. Kaufmann, A., Gil-Aluja, J.: *Introducción de la teoría de los subconjuntos borrosos a la gestión de las empresas*, Editorial Milladoiro, España (1993) doi: 10.23857/fipca.ec.v6i1.348
18. Zimmermann, H. J.: *Fuzzy sets and its applications*. Publications Kluwer Nijhoff, Dordrecht, Southern Holland (1985)
19. CONUEE: *Comision nacional para el uso eficiente de la energía* (2005)
20. Auto avance. *Funcionamiento del Convertidor Catalítico* (2013) <https://www.autoavance.co/blog-tecnico-automotriz/174-funcionamiento-del-convertidor-catalitico/>
21. Blancarte, J.: *Auto cosmos ¿Cómo funciona el sensor de oxígeno en un auto?* (2013) <http://especiales.ve.autocosmos.com/tipsyconsejos/noticias/2013/02/09/como-funciona-el-sensor-de-oxigeno-en-un-auto>
22. Esquivel, P.: *Machinery Lubrication*. vol. 4 (2017)
23. Rocenro, A.: *Emisiones de CO2* (2009) <https://www.auto10.com/reportajes/emisiones-de-co2-que-contamina-mas-un-gasolina-o-un-diesel/588>

