

**PRÁCTICA RCRA SISTEMAS DIFUSOS**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DIFUSO PARA LA INTERPRETACIÓN DE  
GASOMETRÍAS ARTERIALES**

**AUTORES**

**Arce Ale, Eva María**

**Fernández Pérez, Pablo**

**Ojea Gonçalves, Adrián**



## Índice

1. Resumen .....	4
2. Introducción .....	4
2.1. Conjuntos Difusos .....	4
2.2. Gases Arteriales .....	5
3. Materiales y métodos .....	6
4. Resultados .....	12
5. Discusión .....	17
6. Conclusiones .....	18
7. Bibliografía .....	18

## **1. Resumen**

En esta práctica, llevaremos a cabo el diseño de un sistema difuso mediante el uso de la herramienta "Fuzzy Logic Designer Tool Set" de Matlab, con el propósito de clasificar e interpretar los valores de pH arterial,  $\text{PCO}_2$  arterial y la concentración de bicarbonatos en la sangre arterial.

A lo largo de la memoria, se presentarán las bases teóricas en las que se sustenta nuestro trabajo, se describirá la herramienta utilizada y se expondrán los resultados obtenidos a partir de diferentes valores de los tres elementos previamente mencionados.

Posteriormente, se proporcionarán ejemplos del funcionamiento del sistema, con distintos valores para las variables de entrada y mostrando los resultados, para una comprensión más completa del funcionamiento del sistema.

Finalmente, se llevará a cabo una discusión de los resultados obtenidos, se presentará una conclusión y se incluirá la bibliografía pertinente para el correcto respaldo de nuestro trabajo.

## **2. Introducción**

La gasometría arterial es una prueba diagnóstica invasiva que sirve para valorar la función pulmonar. Gracias a ella, es posible valorar el equilibrio ácido-base, la ventilación pulmonar y la oxigenación arterial, que se miden a través de las siguientes variables:  $\text{PaCO}_2$ , pH sanguíneo y  $\text{HCO}_3$ .

### **2.1. Conjuntos Difusos**

Los conjuntos difusos son una herramienta matemática que permite modelar situaciones en las que la pertenencia de un elemento a un conjunto no es clara o precisa. En un conjunto difuso cada elemento tiene una pertenencia de 0 a 1. Los conjuntos difusos son ampliamente utilizados en la teoría de control, la inteligencia artificial, la toma de decisiones y otras áreas donde la incertidumbre es un factor clave. Al utilizar conjuntos difusos, se puede representar de manera más realista y flexible la complejidad de muchos sistemas en los que los límites entre las categorías son borrosos o no están claramente definidos.

## 2.2. Gases Arteriales

Los gases arteriales son una medida de los niveles de oxígeno y dióxido de carbono en la sangre arterial, así como del pH y otros parámetros importantes para la función pulmonar y la salud cardiovascular.

El pH sanguíneo se mantiene dentro de un rango estrecho y normalmente se sitúa entre 7,35 y 7,45. Cuando el pH sanguíneo se desvía de este rango, se producen desequilibrios ácido-base que pueden ser causados por problemas respiratorios o metabólicos. Los desequilibrios ácido-base se pueden clasificar en cuatro tipos principales: acidosis respiratoria, alcalosis respiratoria, acidosis metabólica y alcalosis metabólica.

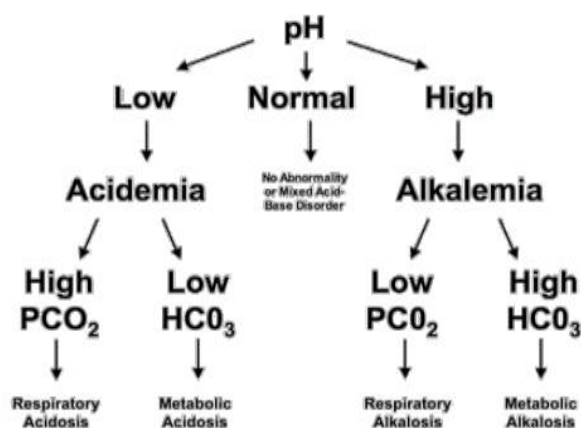


Fig. 1: Esquema sobre la relación entre las variables.

La acidosis respiratoria se produce cuando hay un aumento en los niveles de dióxido de carbono en la sangre debido a una insuficiencia respiratoria. Se manifiesta en los gases arteriales como una disminución del pH y un aumento de la presión parcial de dióxido de carbono (PaCO<sub>2</sub>).

Por otro lado, la alcalosis respiratoria se produce cuando hay una disminución en los niveles de dióxido de carbono en la sangre debido a una hiperventilación. Se manifiesta en los gases arteriales como un aumento del pH y una disminución de la PaCO<sub>2</sub>.

La acidosis metabólica se produce cuando hay una acumulación de ácido en el cuerpo o una pérdida de bicarbonato, lo que disminuye el pH. Se manifiesta en los gases arteriales como una disminución del pH y de la concentración de bicarbonato (HCO<sub>3</sub>).

Por último, la alcalosis metabólica se produce cuando hay una pérdida de ácido en el cuerpo o un exceso de bicarbonato, lo que aumenta el pH. Se manifiesta en los gases arteriales como un aumento del pH y de la concentración de bicarbonato (HCO<sub>3</sub>).

	pH	PaCO <sub>2</sub>	HCO <sub>3</sub>
Respiratory Acidosis	↓	↑	↑
Respiratory Alkalosis	↑	↓	↓
Metabolic Acidosis	↓	↓	↓
Metabolic Alkalosis	↑	↑	↑

Fig. 2: Tabla resumen.

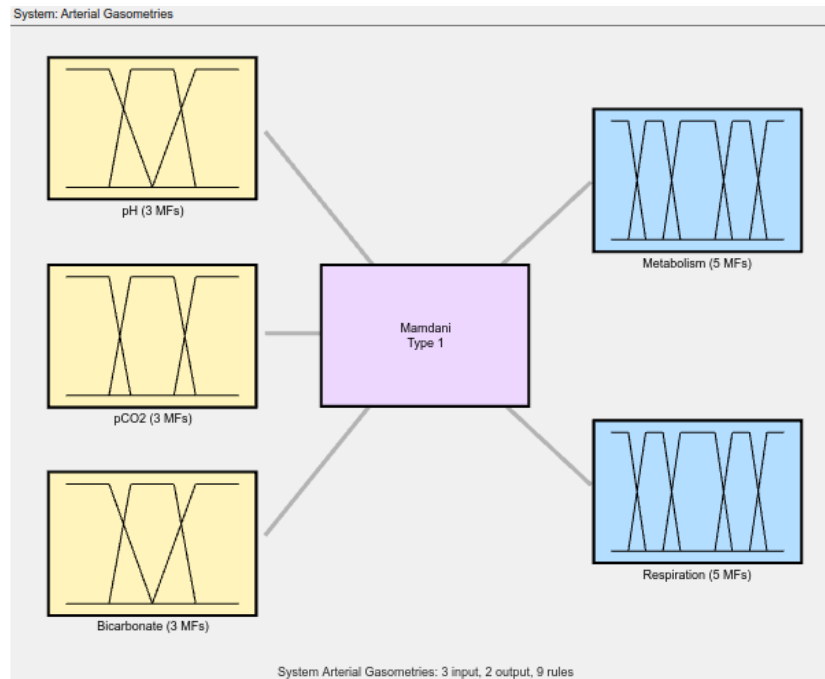
### 3. Materiales y métodos

"Fuzzy Logic Toolbox" de Matlab es una poderosa herramienta para analizar, diseñar y simular sistemas de lógica difusa. En esta práctica, la utilizaremos para diseñar un sistema difuso capaz de interpretar los valores de pH arterial, PCO<sub>2</sub> arterial y bicarbonatos en la sangre arterial y así establecer un diagnóstico en situaciones de emergencia.

El método de la lógica difusa se utiliza en la inteligencia artificial y la toma de decisiones para modelar el razonamiento humano en situaciones complejas y ambiguas. En lugar de utilizar valores discretos para la entrada y salida, la lógica difusa utiliza conjuntos difusos para modelar la incertidumbre y la ambigüedad. Los conjuntos difusos, como hemos visto antes, son conjuntos matemáticos que permiten asignar un grado de pertenencia a un elemento dado, en lugar de un valor binario (0 o 1).

El sistema difuso que diseñaremos en esta práctica constará de tres etapas: la primera etapa consistirá en la creación de conjuntos difusos para las entradas y salidas del sistema. La segunda etapa será la definición de reglas difusas que modelen el razonamiento humano en la interpretación de los resultados de la gasometría arterial. Por último, la tercera etapa será la aplicación del sistema difuso para establecer un diagnóstico.

Para crear los conjuntos difusos, utilizaremos funciones de membresía difusas que nos permiten asignar un grado de pertenencia a un valor dado en un rango continuo. Para la definición de reglas difusas, utilizaremos operadores lógicos como "and" y "or" para modelar el razonamiento humano.



**Fig. 3: Arquitectura.**

Establecemos tres variables de entrada para nuestro sistema: pH, PCO<sub>2</sub> y HCO<sub>3</sub>. En cuanto a los rangos de los valores de las tres entradas del sistema de lógica difusa, estos se han establecido de forma simétrica con respecto a los valores normales de cada parámetro en la sangre humana. Para cada entrada se han definido tres rangos: "bajo", "normal" y "alto". El rango "normal" se ha tomado como referencia a partir de los valores normales de cada parámetro en la sangre humana, mientras que los rangos "bajo" y "alto" se han definido de forma simétrica con respecto al rango "normal", para cubrir los valores por debajo y por encima de los valores normales. Es importante destacar que estos valores de los rangos no deben considerarse como límites estrictos para la clasificación de los valores, ya que las variaciones en los valores de cada parámetro pueden ser naturales en el cuerpo humano y no necesariamente indicar una condición patológica. Por lo tanto, estos rangos se utilizan como referencia para la clasificación de los valores de cada parámetro con el fin de detectar y diagnosticar posibles condiciones patológicas en una persona.

En primer lugar, en la definición de las funciones de grado de pertenencia para el pH arterial, los rangos de valores que hemos utilizado son "bajo" ([7.2 7.2 7.3 7.4]), "normal" ([7.3 7.35 7.45 7.5]) y "alto" ([7.4 7.5 7.6 7.6]).

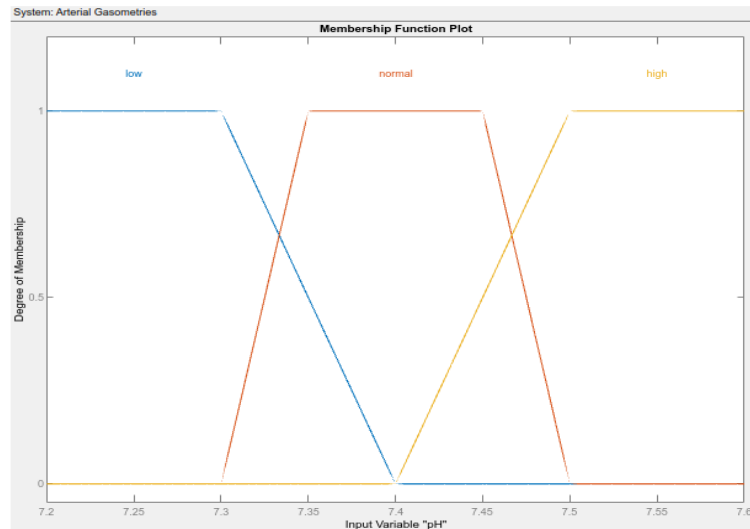


Fig. 4: Rangos pH.

En el caso del  $\text{PCO}_2$ , los rangos de valores que hemos utilizado son "bajo" [20 20 30 35]), "normal" [30 35 45 50]) y "alto" ([45 50 60 60]).

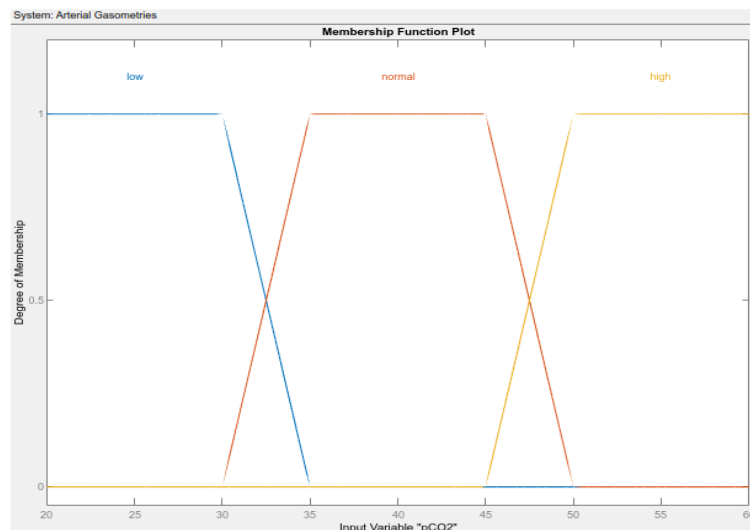
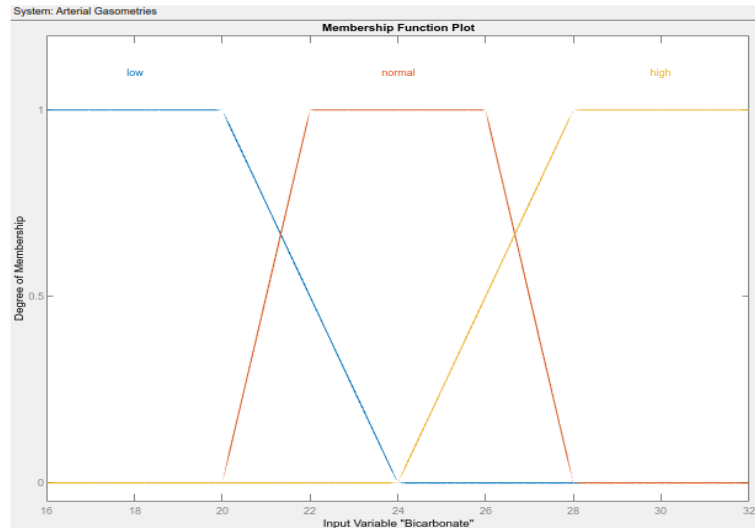


Fig. 5: Rangos  $\text{PCO}_2$ .



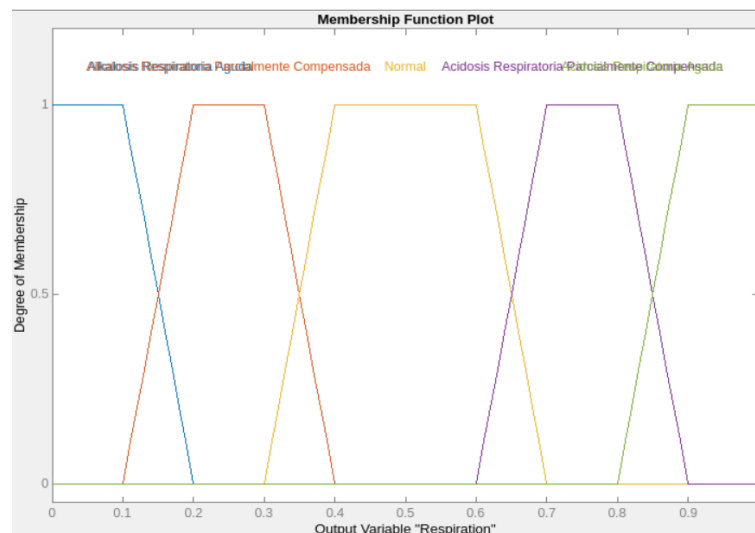
Por último, para el  $\text{HCO}_3$ , los rangos de valores que hemos utilizado son "bajo" ([16 16 20 24]), "normal" ([20 22 26 28]) y "alto" ([24 28 32 32]).



**Fig. 6: Rangos  $\text{HCO}_3$ .**

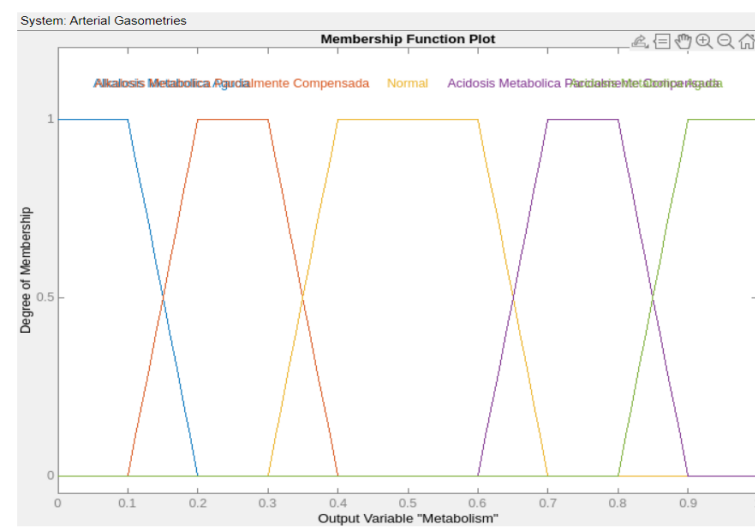
Para las variables de salida, hemos definido dos situaciones: la situación respiratoria y la situación metabólica. Para cada situación, hemos dividido en 5 posibles casos, tomando valores en el rango entre 0 y 1, utilizando funciones trapezoidales.

En el caso de la situación respiratoria, los cinco casos son los siguientes: Alcalosis Respiratoria Aguda ([0 0 0.1 0.2]), Alcalosis Respiratoria Parcialmente Compensada ([0.1 0.2 0.3 0.4]), Normal ([0.3 0.4 0.6 0.7]), Acidosis Respiratoria Parcialmente Compensada ([0.6 0.7 0.8 0.9]) y Acidosis Respiratoria Aguda ([0.8 0.9 1 1]).



**Fig. 7: Rangos situación respiratoria.**

En el caso de la situación metabólica, los cinco casos son: Alcalosis Metabólica Aguda ([0 0 0.1 0.2]), Alcalosis Metabólica Parcialmente Compensada ([0.1 0.2 0.3 0.4]), Normal ([0.3 0.4 0.6 0.7]), Acidosis Metabólica Parcialmente Compensada ([0.6 0.7 0.8 0.9]) y Acidosis Metabólica Aguda ([0.8 0.9 1 1]).



**Fig. 8: Rangos situación metabólica.**

Por otro lado, las reglas que hemos añadido han sido las siguientes:

1. Si pH es alto y  $\text{PCO}_2$  es bajo y Bicarbonato es bajo entonces Respiración es Alcalosis Respiratoria Parcialmente Compensada.
2. Si pH es bajo y  $\text{PCO}_2$  es bajo y Bicarbonato es bajo entonces Metabolismo es Acidosis Metabólica Parcialmente Compensada.
3. Si pH es bajo y  $\text{PCO}_2$  es normal y Bicarbonato es bajo entonces Metabolismo es Acidosis Metabólica Aguda.
4. Si pH es alto y  $\text{PCO}_2$  es bajo y Bicarbonato es normal entonces Respiración es Alcalosis Respiratoria Aguda.
5. Si pH es normal y  $\text{PCO}_2$  es normal y Bicarbonato es normal entonces Metabolismo es Normal, Respiración es Normal.
6. Si pH es bajo y  $\text{PCO}_2$  es alto y Bicarbonato es normal entonces Respiración es Acidosis Respiratoria Aguda.
7. Si pH es alto y  $\text{PCO}_2$  es normal y Bicarbonato es alto entonces Metabolismo es Alcalosis Metabólica Aguda.
8. Si pH es bajo y  $\text{PCO}_2$  es alto y Bicarbonato es alto entonces Respiración es Acidosis Respiratoria Parcialmente Compensada.
9. Si pH es alto y  $\text{PCO}_2$  es alto and Bicarbonato es alto entonces Metabolismo es Alcalosis Metabólica Parcialmente Compensada.

Una vez que hayamos definido los conjuntos y las reglas difusas, podremos aplicar el sistema difuso para establecer un diagnóstico basado en los valores de entrada de la gasometría arterial. El sistema nos dará como resultado un valor difuso que indicará la probabilidad de que un paciente tenga una determinada enfermedad.

En resumen, la herramienta "Fuzzy Logic Toolbox" de Matlab nos permite diseñar un sistema difuso para interpretar los resultados de la gasometría arterial y establecer un diagnóstico en situaciones de emergencia. Utilizaremos reglas y conjuntos difusos para modelar la incertidumbre y la ambigüedad en la interpretación de los resultados.

## 4. Resultados

A continuación, se expondrán varios ejemplos probados anotando tanto el resultado esperado (el obtenido con la calculadora de GSA) como el resultado obtenido por nuestro sistema.

- 1º Caso de uso

PH=7.4	PCO <sub>2</sub> = 40	HCO <sub>3</sub> = 24
--------	-----------------------	-----------------------

- Diagnóstico calculadora: GSA normales
- Diagnóstico del Sistema:
  - Respiración: 0.5
  - Metabolismo: 0.5

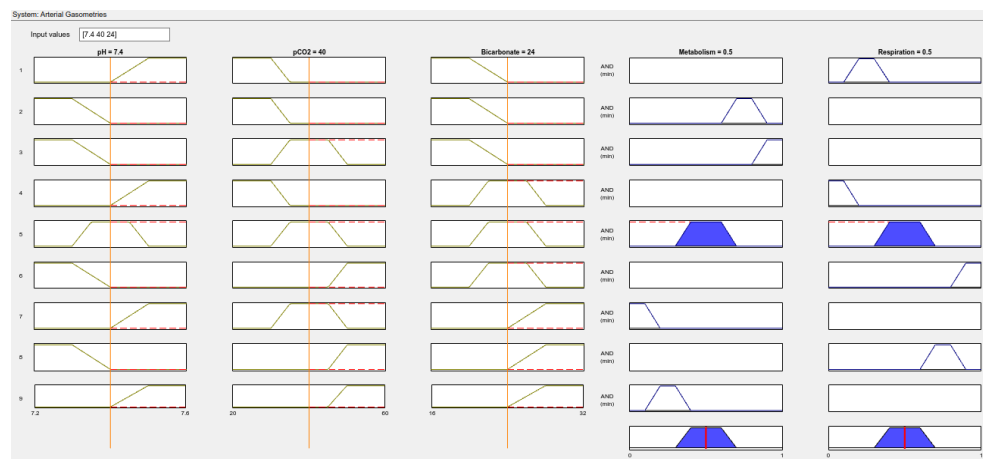


Fig. 9: Salida del sistema para el primer caso de uso

- 2º Caso de uso

PH=7.5	PCO <sub>2</sub> = 40	HCO <sub>3</sub> = 27
--------	-----------------------	-----------------------

- Diagnóstico calculadora: Alcalosis metabólica Aguda
- Diagnóstico del Sistema:
  - Respiración: 0.5
  - Metabolismo: 0.0801

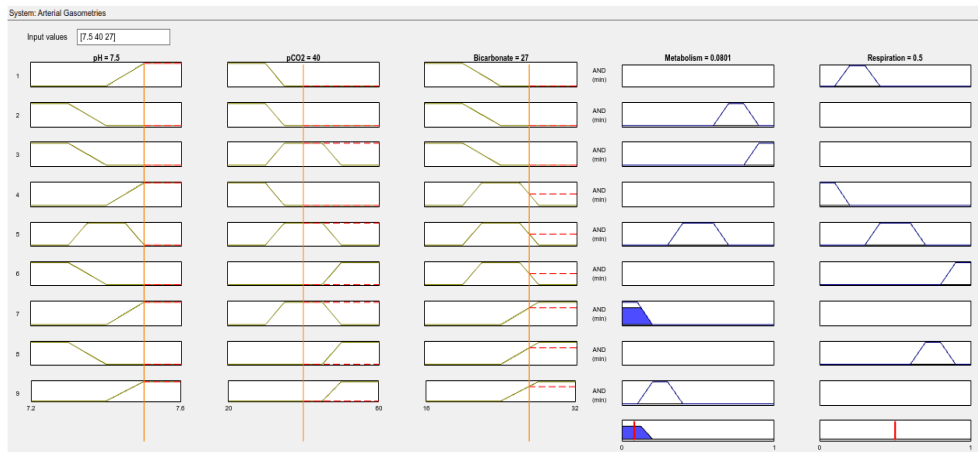


Fig. 10: Salida del sistema para el segundo caso de uso.

- 3º Caso de uso

PH=7.5	PCO <sub>2</sub> = 50	HCO <sub>3</sub> = 30
--------	-----------------------	-----------------------

- Diagnóstico calculadora: Alcalosis metabólica parcialmente compensada
- Diagnóstico del Sistema:
  - Respiración: 0.5
  - Metabolismo: 0.25

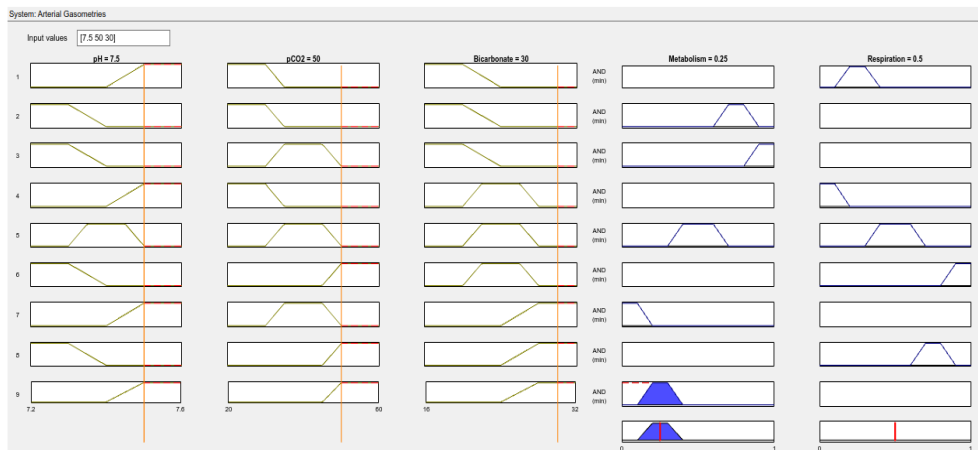


Fig. 11: Salida del sistema para el tercer caso de uso.

- 4º Caso de uso

PH=7.5	PCO <sub>2</sub> = 30	HCO <sub>3</sub> = 25
--------	-----------------------	-----------------------

- Diagnóstico calculadora: Alcalosis respiratoria Aguda
- Diagnóstico del Sistema:
  - Respiración: 0.0752
  - Metabolismo: 0.5

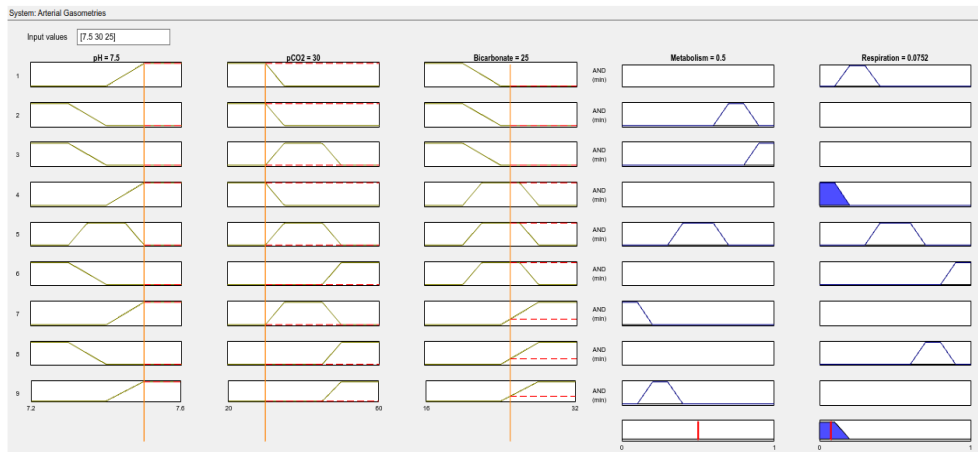


Fig. 12: Salida del sistema para el cuarto caso de uso.

- 5º Caso de uso

PH=7.5	PCO <sub>2</sub> = 30	HCO <sub>3</sub> = 21.5
--------	-----------------------	-------------------------

- Diagnóstico calculadora: Alcalosis respiratoria parcialmente compensada
- Diagnóstico del Sistema:
  - Respiración: 0.174
  - Metabolismo: 0.5

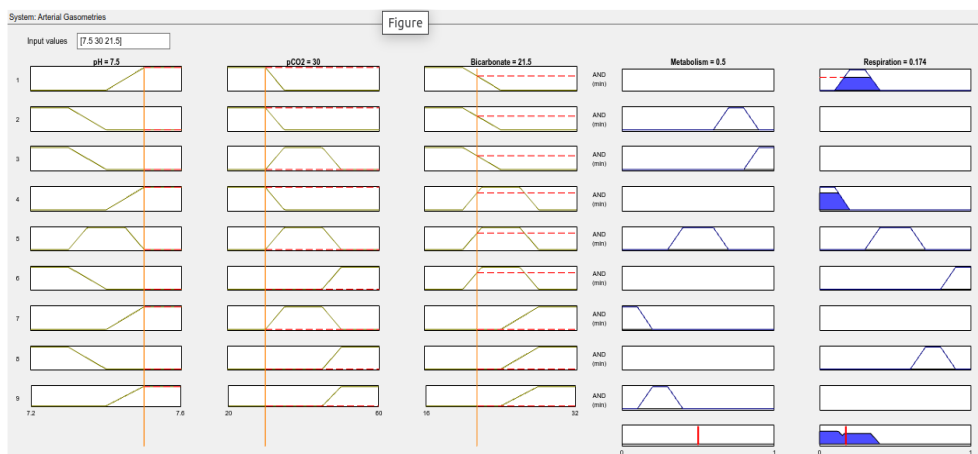


Fig. 13: Salida del sistema para el quinto caso de uso.

- 6º Caso de uso

PH=7.3	PCO <sub>2</sub> = 38	HCO <sub>3</sub> = 21
--------	-----------------------	-----------------------

- Diagnóstico calculadora: Acidosis metabólica Aguda
- Diagnóstico del Sistema:
  - Respiración: 0.5
  - Metabolismo: 0.92

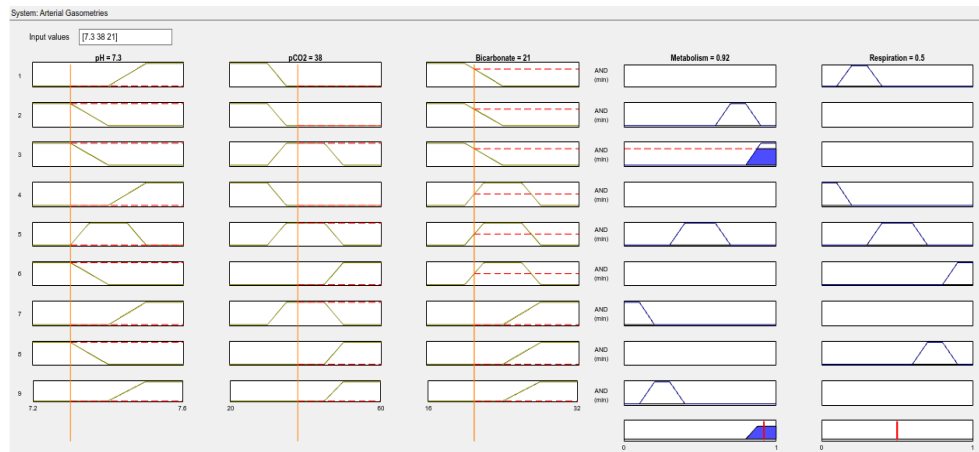


Fig. 14: Salida del sistema para el sexto caso de uso.

- 7º Caso de uso

PH=7.3	PCO <sub>2</sub> = 48	HCO <sub>3</sub> = 24
--------	-----------------------	-----------------------

- Diagnóstico calculadora: Acidosis respiratoria Aguda
- Diagnóstico del Sistema:
  - Respiración: 0.917
  - Metabolismo: 0.5

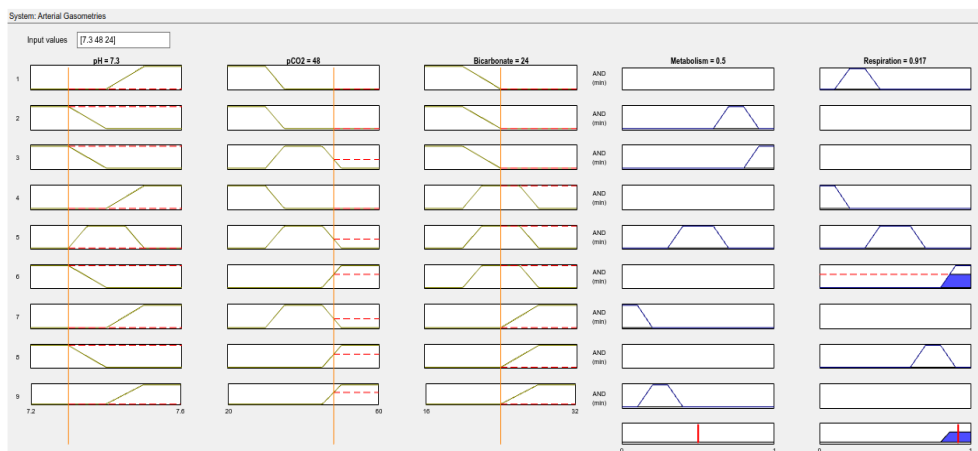


Fig. 15: Salida del sistema para el séptimo caso de uso.

- 8º Caso de uso

PH=7.3	PCO <sub>2</sub> = 50	HCO <sub>3</sub> = 30
--------	-----------------------	-----------------------

- Diagnóstico calculadora: Acidosis respiratoria parcialmente compensada
- Diagnóstico del Sistema:
  - Respiración: 0.75
  - Metabolismo: 0.5

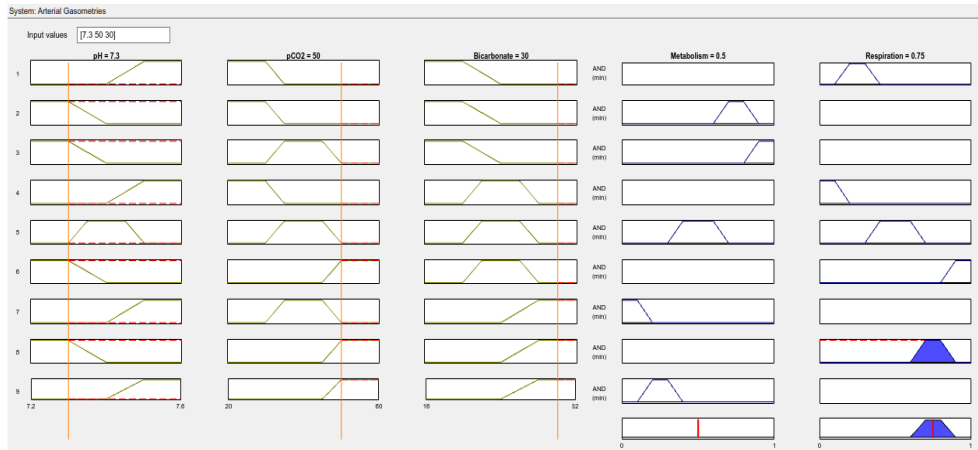


Fig. 16: Salida del sistema para el octavo caso de uso.

- 9º Caso de uso

PH=7.3	PCO <sub>2</sub> = 30	HCO <sub>3</sub> = 18
--------	-----------------------	-----------------------

- Diagnóstico calculadora: Acidosis metabólica parcialmente compensada
- Diagnóstico del Sistema:
  - Respiración: 0.5
  - Metabolismo: 0.75

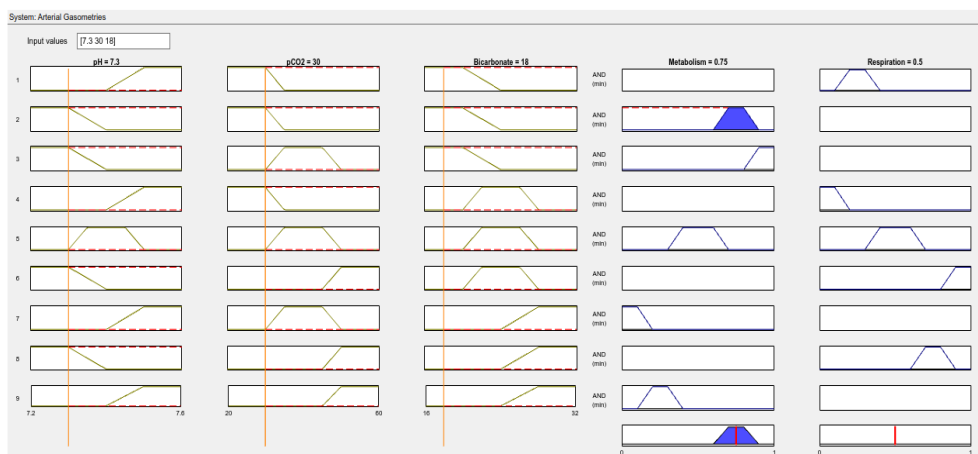


Fig. 17: Salida del sistema para el noveno caso de uso.



- 10º Caso de uso

PH=7.2	PCO <sub>2</sub> = 36	HCO <sub>3</sub> = 20
--------	-----------------------	-----------------------

- Diagnóstico calculadora: Acidosis metabólica Aguda
- Diagnóstico del Sistema:
  - Respiración: 0.5
  - Metabolismo: 0.925

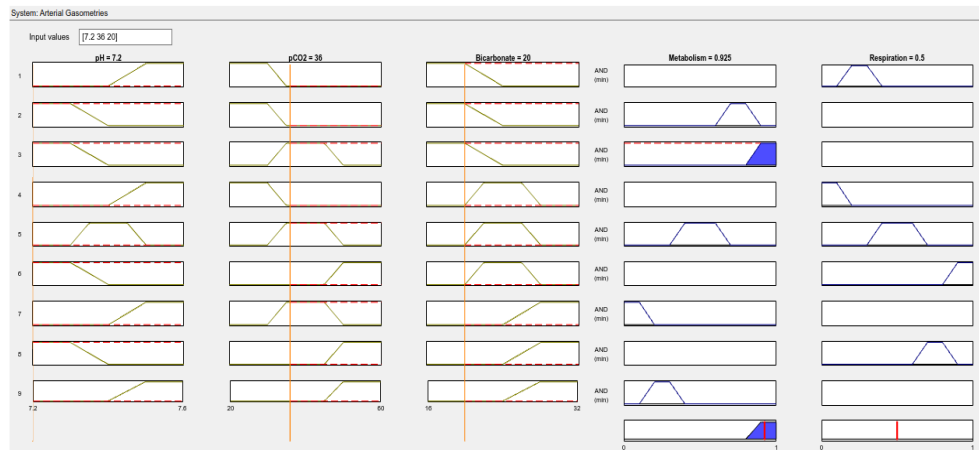


Fig. 18: Salida del sistema para el décimo caso de uso.

## 5. Discusión

Los resultados obtenidos a partir de los casos de uso presentados son muy interesantes, ya que nos permiten evaluar la efectividad del sistema experto basado en lógica difusa en el diagnóstico de trastornos ácido-base. Se puede apreciar que en la mayoría de los casos el sistema fue capaz de proporcionar un diagnóstico muy similar al diagnóstico real, lo que sugiere que el sistema es capaz de identificar de manera eficaz los desequilibrios en el pH y sugerir un diagnóstico acertado.

Sin embargo, En algunos casos, como el número 5, se observan valores intermedios que se sitúan entre dos posibles diagnósticos, lo que indica que el sistema no es completamente preciso en su clasificación. No obstante, el sistema sigue siendo funcional y útil en la toma de decisiones, ya que estos valores intermedios siempre se inclinan hacia uno de los dos diagnósticos posibles, permitiendo la elección de un diagnóstico en particular.

En general, estos resultados indican que la lógica difusa puede ser una herramienta efectiva para la identificación de trastornos ácido-base. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la identificación precisa de estos desequilibrios sigue siendo un desafío y que es necesario seguir trabajando en la mejora de los sistemas de diagnóstico automatizados para asegurar una identificación más precisa y confiable de estos trastornos.

## 6. Conclusiones

En conclusión, se puede afirmar que el diseño y la implementación de sistemas difusos para la interpretación de gasometrías arteriales es una herramienta valiosa para mejorar la precisión y eficiencia en el diagnóstico y tratamiento de pacientes con trastornos respiratorios y metabólicos. Los sistemas expertos basados en lógica difusa permiten modelar el conocimiento de los expertos médicos y transformarlo en un conjunto de reglas que pueden ser procesadas por el sistema para obtener diagnósticos precisos y en tiempo real.

Sin embargo, es importante señalar que, aunque nuestro sistema inteligente ha demostrado ser útil y eficaz en la clasificación de los trastornos metabólicos y respiratorios, aún está en un estado temprano y necesita ser refinado y mejorado. El sistema debe ser validado con una muestra más amplia de datos y probablemente se deben agregar más variables relevantes al modelo para aumentar la precisión y mejorar su capacidad de detección de patologías en una situación real.

Por otro lado, este estudio nos ha permitido observar las ventajas de la lógica difusa. A partir de un conjunto reducido de parámetros de entrada y salida y algunas reglas, hemos sido capaces de diseñar un sistema inteligente que utiliza la lógica difusa para procesar información compleja de manera eficiente y proporcionar diagnósticos precisos y relevantes para los pacientes. En comparación con otros métodos tradicionales, el uso de la lógica difusa ha demostrado ser una herramienta valiosa en el campo de la medicina, permitiendo la creación de sistemas de diagnóstico más precisos y eficientes que pueden ayudar a los profesionales de la salud a tomar decisiones críticas en situaciones de emergencia.

## 7. Bibliografía

1. Castro D, Patil SM, Keenaghan M. Arterial Blood Gas. [Updated 2022 Sep 12]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023 Jan-. Disponible en: [https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK536919/#:~:text=pH%20\(7.35%2D7.45\)](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK536919/#:~:text=pH%20(7.35%2D7.45))
2. Hadjiliadis D., Harron PF. Gasometría arterial. [online] MedlinePlus. Recuperado: 03/08/2022. Disponible en: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/003855.htm>
3. GSA interpretación. [Internet]. Disponible en: <https://www.rccc.eu/calculadoras/GSA.html>
4. Elena Bello en “Lógica Difusa o Fuzzy Logic: Qué es y cómo funciona” para IEEBS Business School. Disponible en: <https://www.iebschool.com/blog/fuzzy-logic-que-es-big-data/#:~:text=La%20conocida%20como%20Fuzzy%20Logic,un%20mayor%20n%C3%BAmero%20de%20seguidores>

5. Guerra Artal, C. (2018). Lógica Difusa y Sistemas de Control. España, Las Palmas: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Disponible en:  
<https://cayetanoguerra.github.io/ia/logicadifusa/Logica%20difusa%20y%20sistemas%20de%20control.pdf>