
SISTEMA DIFUSO PARA LA INTERPRETACIÓN DE GASOMETRÍAS ARTERIALES

**[2cm] Nicolás Martínez González - n.gonzalezm
Juan Ignacio Muñiz Gómez - j.muniz**

**Representación do Coñecemento e Razoamento Automático
Universidade da Coruña
Curso 2020-2021**

Índice

1. Resumen	3
2. Introducción	4
2.1. Conjuntos difusos	4
2.2. Gasometrías arteriales	6
3. Material y métodos	8
3.1. Fuzzy Logic Toolbox MATLAB	8
3.2. Arquitectura del sistema	9
3.3. Clasificación	12
3.3.1. Variables de entrada	12
3.3.2. Variables de salida	16
3.3.3. Reglas del sistema	21
4. Implementación	22
5. Ejemplos y resultados	25
6. Discusión y conclusiones	28

Índice de figuras

1.	Esquema del sistema dentro de la herramienta Fuzzy Logic Design.	8
2.	Esquema de dominio general.	9
3.	Módulos internos del controlador.	10
4.	Variable de entrada pH.	12
5.	Variable de entrada de bicarbonatos.	13
6.	Variable de entrada de presión parcial de dióxido de carbono. .	14
7.	Variable de entrada de presión parcial de oxígeno.	15
8.	Variable de salida sobre la situación respiratoria.	17
9.	Variable de salida sobre la situación metabólica.	19
10.	Variable de salida del nivel de oxigenación.	20
11.	Reglas de la base de conocimiento.	21
12.	Funcionamiento del módulo de codificación.	22
13.	Ejemplo de aplicación de tres reglas sobre valores del dominio codificados.	23
14.	Agrupación de los resultados de las reglas anteriores.	23
15.	Cálculo del COG mediante cálculo de integrales.	24
16.	Cálculo del COG mediante aproximación de la función de pertenencia.	24
17.	Ejemplo 1.	25
18.	Ejemplo 2.	26
19.	Ejemplo 3.	27

1. Resumen

La gasometría arterial es una técnica de medición respiratoria que sirve para identificar el pH, presiones parciales de oxígeno y dióxido de carbono, así como la concentración de bicarbonato en una muestra de sangre. Esta técnica tiene un proceso invasivo pues la muestra de sangre se toma de una arteria, por lo general la arteria radial. Este tipo de procedimiento se utiliza para evaluar enfermedades respiratorias y padecimientos que afectan a los pulmones. Dado que el examen tiene en cuenta el equilibrio acidobásico del cuerpo, este mismo puede revelar información sobre el funcionamiento no sólo del pulmón sino también de los riñones y del estado metabólico del cuerpo en general. La gasometría puede ser empleada también en casos de intervenciones quirúrgicas pues es una situación en la cual es de suma importancia tener controlada la irrigación de oxígeno en órganos delicados.

Si bien al paciente no se le requiere una preparación especial para el examen, la persona encargada de interpretar los datos de la monitorización debe ser capaz de inferir conclusiones sobre la situación del paciente en base a datos aportados por el gasómetro. En esta situación es donde entraría en acción nuestro sistema, pues mediante un sistema difuso podemos relacionar los datos proporcionados por los electrodos del gasómetro con la situación respiratoria y/o metabólica del paciente.

2. Introducción

En este apartado expondremos el material básico para cubrir la práctica, siendo esto ciertas nociones sobre lógica difusa y sobre el procedimiento de las gasometrías arteriales.

2.1. Conjuntos difusos

La lógica difusa es una rama de la inteligencia artificial que abarca áreas del conocimiento que trabajan sobre información del mundo real. Este tipo de lógica se trata de una generalización de la lógica clásica, añadiendo conceptos como imprecisión o incertidumbre que acortan la distancia entre la lógica formal y el razonamiento humano. Dada la naturaleza de la información, esta nunca será completa, por lo que intentar encajarla en una óptica booleana resulta un ejercicio infructuoso.

Para sobrellevar esta particularidad de la información surge el concepto de lógica difusa de mano del matemático Lofti A. Zadeh (1) en el año 1965 a través de publicaciones sobre su trabajo sobre conjuntos difusos, el cual se consolidaría en 1973 cuando propuso su teoría de la lógica difusa. Para Zadeh el conocimiento no era absoluto, por lo que era necesario contextualizarlo mediante un universo y un referencial incluido dentro del primero. De esta forma cada entidad dentro del referencial vendría descrita mediante una función de pertenencia ($\mu(x)$) que establecería en qué porcentaje está presente ese individuo dentro del conjunto.

Este enfoque propone una forma de analizar la información de la misma forma que lo haríamos de forma natural, esto es, no de forma binaria (sí/no), sino relativa (mucho, poco, bastante, algo). Así, dado un referencial que represente una característica, cuando un objeto tiene $\mu = 1.00$ podemos decir que tiene esa característica completamente, y de otro con $\mu = 0.1$ podríamos decir que no tiene casi nada de esa característica.

La siguiente es la forma general que propone Zadeh para representar un conjunto difuso:

$$\forall A \subset U: A_{\text{difuso}} \longleftrightarrow \exists \mu_A(X): U \rightarrow [0,1] \forall x \in U$$

A partir de esto, Zadeh especifica las operaciones respectivas que se podrían hacer sobre los conjuntos, añadiendo también el concepto de núcleo de un conjunto difuso. Esto se describe de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} & \text{Universo_referencial_U} \\ A \subset U & / \exists \mu_A(x) \rightarrow U:[0,1] \quad \forall x \in U \\ \text{Núcleo: } N_A & = \{x \in U / \mu_A(x)=1\} \\ A = \text{Normalizado} & \leftrightarrow N_A \neq \emptyset \end{aligned}$$

Esta definición pone de manifiesto como los conjuntos difusos son una generalización de los conjuntos clásicos, siendo los clásicos el núcleo de los difusos.

2.2. Gasometrías arteriales

Como ya se ha descrito antes, las gasometrías arteriales son procedimientos invasivos en los que se toman muestras de sangre de un paciente con el fin de conocer el funcionamiento de su sistema respiratorio, así como del metabólico (2). A la hora de monitorizar al paciente el gasómetro registra mediciones entre otros de pH, presión parcial de dióxido de carbono, presión parcial de oxígeno, saturación de oxígeno, niveles de bicarbonato. Cada uno de estos parámetros son registrados mediante sus correspondientes electrodos.

A continuación se detalla cada parámetro:

- pH. No es un término que informe de por sí sobre las afecciones respiratorias, pero sí es indicativo del tiempo que llevan manteniéndose dichas enfermedades en el paciente. Determinan la acidez o alcalinidad de la sangre.
- HCO_3 . También identificado como bicarbonatos, está íntimamente relacionado con el dióxido de carbono ya que los mismos en contacto con ácidos liberan dióxido de carbono. Son regulados por los riñones y ayudan a determinar desbalances metabólicos.
- pO_2 o presión parcial de oxígeno. Indica el grado de oxigenación con el que la sangre irriga los tejidos. Hace referencia al oxígeno que viaja disuelto en la sangre pues es el que provoca una presión medible. Su valor normal descende con la edad pero en el caso de esta práctica no se tiene en cuenta este detalle.
- pCO_2 o presión parcial de dióxido de carbono. Este parámetro nos aporta información sobre la ventilación alveolar del paciente, esto es, la cantidad de aire fresco respirado disponible para el intercambio gaseoso. Su relación con la respiración correcta es inversa, de esta forma si la ventilación alveolar se reduce a la mitad la PCO_2 se duplica una vez establecido un estado de equilibrio. Así, conociendo el PCO_2 de un paciente podemos conocer si ventila o no correctamente.

En la siguiente tabla se definen los intervalos de valores que se han tomado como referencia para cada parámetro:

	pH	HCO ₃ (mmol/L)	pCO ₂ (mmHg)	pO ₂ (mmHg)
altos	>7.45	>28	>45	>100
normales	[7.35, 7.45]	[22, 28]	[35, 45]	[80, 100]
bajos	<7.35	>22	<35	<80

Cuadro 1: Valores de referencia de cada parámetro (3)

Cada parámetro posee su propia nomenclatura para cada nivel, la cual será empleada en secciones posteriores:

- Acidemia. Valor alto de pH, superior a 7.45.
- Alcalemia. Valor bajo de pH, inferior a 7.35.
- Hiperbicarbonatemia. Valor alto de HCO₃, superior a 28 mmol/L.
- Normobicarbonatemia. Valor de HCO₃ dentro del intervalo normal.
- Hipobicarbonatemia. Valor bajo de HCO₃, inferior a 22 mmol/L.
- Hipercapnia. Valor alto de pCO₂, superior a 45 mmHg.
- Normocapnia. Valor de pCO₂ dentro del intervalo normal.
- Hipocapnia. Valor bajo de pCO₂, inferior a 35 mmHg.
- Hiperoxemia. Valor alto de pO₂, superior a 100 mmHg.
- Normoxemia. Valor de pO₂ dentro del intervalo normal.
- Hipoxemia. Valor bajo de pO₂, inferior a 80 mmHg.

3. Material y métodos

En esta sección describiremos la herramienta que hemos empleado para especificar el comportamiento del sistema, su arquitectura y como hemos dispuesto las variables de entrada y salida, así como las reglas.

3.1. Fuzzy Logic Toolbox MATLAB

Como indica el título, la herramienta usada para construir nuestro sistema es "Fuzzy Logic Toolbox", un módulo de lógica difusa de MATLAB. Los intervalos de valores de cada parámetro de entrada y de salida, así como las reglas de conocimiento están registradas en un fichero .fis, el cual al importarlo muestra el siguiente esquema del sistema: En apartados posteriores

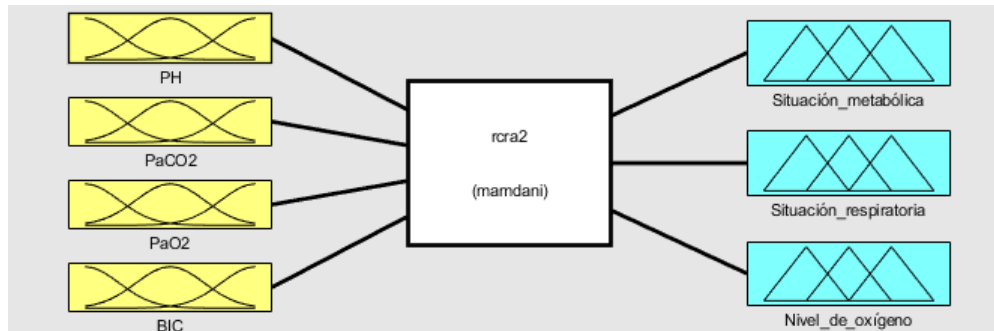


Figura 1: Esquema del sistema dentro de la herramienta Fuzzy Logic Design.

se pormenorizará la escala de cada variable y las reglas establecidas en la herramienta.

3.2. Arquitectura del sistema

Este apartado define qué partes del sistema están en contacto con qué otras partes, qué tipo de información manipula cada una y qué datos da como resultado.

Las dos grandes entidades que hemos identificado son el controlador y el dominio.

- El dominio o entorno físico es el estado del paciente que se refleja en los valores de los parámetros.
- El controlador o sistema de control es la base de nuestro sistema difuso, que se relaciona con el dominio leyendo los valores de los parámetros y en base a estos emitiendo veredictos sobre la situación del paciente.

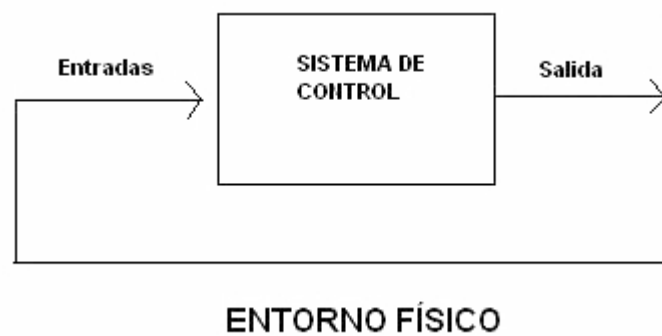


Figura 2: Esquema de dominio general.

El controlador a su vez se divide en cuatro módulos descritos a continuación:

- Codificador (Fuzzificación). Lee las variables de entrada. Estas son valores numéricos y este módulo las convierte en difusas, encajándolas dentro de los intervalos de niveles bajos, normales o altos, con nomenclatura distinta para cada parámetro, según corresponda.
- Base de conocimiento. Representa el conocimiento del dominio del problema, concretamente se basa en las reglas difusas que permiten identificar los distintos diagnósticos del paciente en base a los valores de cada parámetro.
- Motor de inferencias. Es la parte principal del controlador difuso, pues es el módulo encargado de inferir las acciones resultantes en base a aplicar las reglas difusas a las variables previamente codificadas. Simula el razonamiento humano a través de la implicación difusa y las reglas de inferencia de la lógica difusa.
- Decodificador (Defuzzificación). Módulo de salida del controlador que emite las variables de control. Estas variables son variables concretas, resultado de decodificar las variables difusas que provienen del motor de inferencias. En nuestro caso se traduce en describir la situación tanto respiratoria como metabólica del paciente con los posibles valores para cada caso.

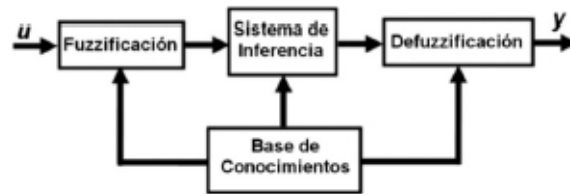


Figura 3: Módulos internos del controlador.

De esta forma, el funcionamiento del sistema sería el siguiente:

- Se leen valores concretos de los parámetros monitorizados del paciente. Estos se codifican dentro de la escala de cada uno según su valor, volviéndolos difusos.
- Ante un estado en el que tenemos datos difusos de cada parámetro el motor de inferencias aplica las reglas de la base de conocimiento y obtiene como resultado valores difusos para las variables de salida, es decir, la interpretación del paciente.
- El decodificador calcula el valor concreto para cada variable de salida difusa y emite un juicio sobre la situación del paciente.

3.3. Clasificación

A continuación se muestran los valores que hemos establecido para relacionar cada nivel preciso con su valor difuso, tanto para las variables de entrada como para las de salida, así como la especificación de cada regla de conocimiento.

3.3.1. Variables de entrada

Este apartado hace referencia a los valores de cada componente que estarían registrados por cada electrodo del gasómetro. Teniendo en cuenta los valores que hemos establecido en la tabla 1, procedemos a presentar como se traducirían estos valores dentro de la herramienta que hemos usado. Nótese que se utiliza por lo general una forma trapezoidal pues es la forma que consideramos más fiel para representar un intervalo.

- pH.

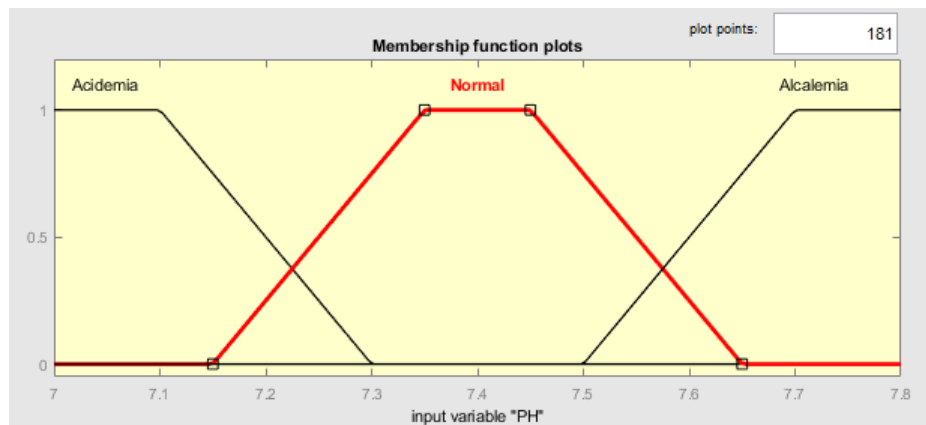


Figura 4: Variable de entrada pH.

- Acidemia.
Parámetros del trapecio: [7 7 7.1 7.3]
- Normal.
Parámetros del trapecio: [7.15 7.35 7.45 7.65]
- Alcalemia.
Parámetros del trapecio: [7.5 7.7 8 8]

■ HCO_3^- .

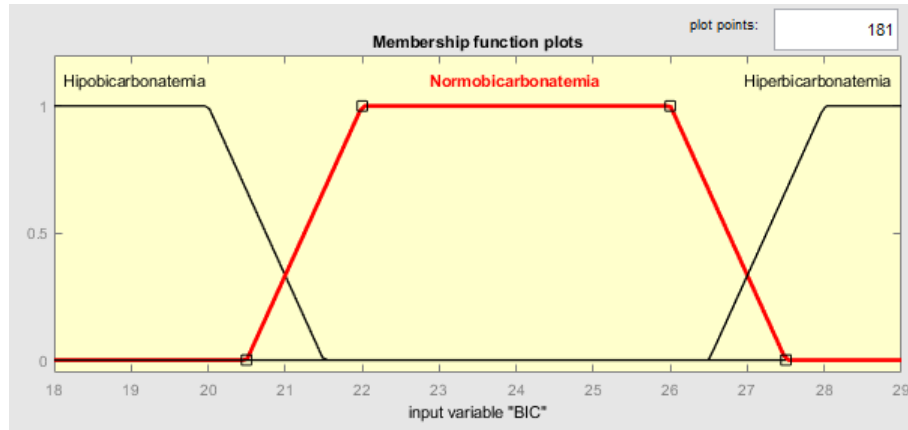


Figura 5: Variable de entrada de bicarbonatos.

- Hipobicarbonatemia.
Parámetros del trapecio: $[0 \ 0 \ 20 \ 21.5]$
- Normobicarbonatemia.
Parámetros del trapecio: $[20.5 \ 22 \ 26 \ 27.5]$
- Hiperbicarbonatemia.
Parámetros del trapecio: $[26.5 \ 28 \ 29 \ 29]$

■ $p\text{CO}_2$.

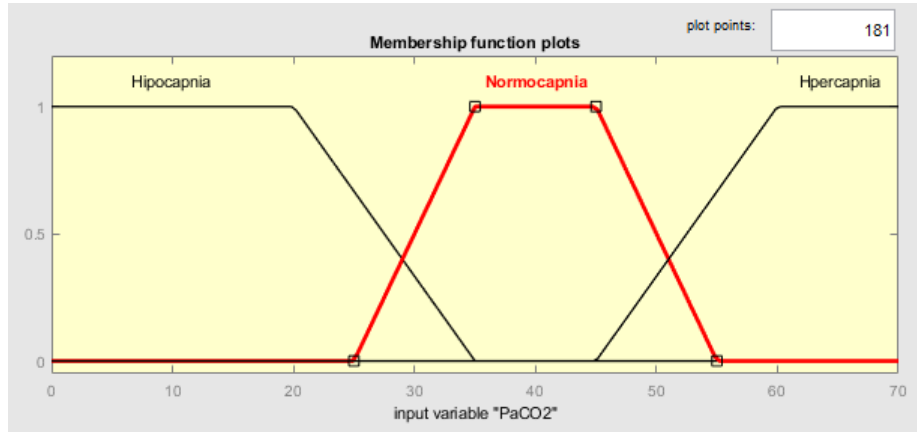


Figura 6: Variable de entrada de presión parcial de dióxido de carbono.

- Hipocapnia.
Parámetros del trapecio: [0 0 20 35]
- Normocapnia.
Parámetros del trapecio: [25 35 45 55]
- Hpercarnia.
Parámetros del trapecio: [45 60 70 70]

■ pO_2 .

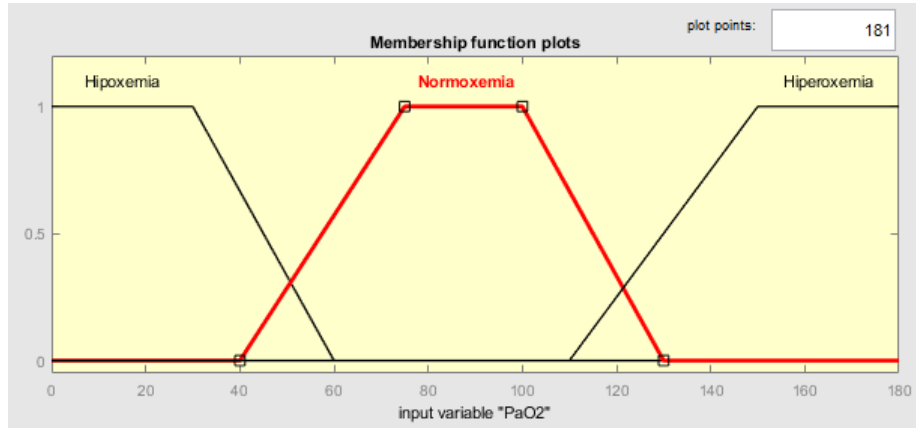


Figura 7: Variable de entrada de presión parcial de oxígeno.

- Hipoxemia.
Parámetros del trapecio: [0 0 30 60]
- Normoxemia.
Parámetros del trapecio: [40 75 100 130]
- Hiperoxemia.
Parámetros del trapecio: [110 150 180 180]

3.3.2. Variables de salida

Estas variables se relacionan con la interpretación que daría el experto sobre la situación del paciente en base a los datos de cada componente. Si bien las gasometrías pueden arrojar luz sobre varios aspectos del funcionamiento correcto o incorrecto del cuerpo, para el caso de nuestro sistema hemos decidido acotar las interpretaciones de los datos a tres resultados.

Un primer resultado sería la situación respiratoria del paciente, la cual viene dada observando los valores del pH, concentración de bicarbonatos y presión parcial de CO_2 . Dentro de esta situación distinguimos tres posibles niveles en los que se podría encontrar.

- Alkalosis respiratoria. Se trata de un trastorno del equilibrio ácido-base en que una hiperventilación eleva el pH del plasma sanguíneo. La hiperventilación se relaciona con una baja presión parcial de CO_2 , esto es, hipocapnia, así como con una baja concentración de bicarbonatos.

Dentro de esta categoría distinguimos dos niveles posibles de alkalosis: alkalosis moderada y alkalosis severa, distinguiéndose una de la otra en el nivel de concentración de bicarbonatos.

- Respiración normal. Los valores de pH, HCO_3 y pCO_2 se encuentran dentro del rango descrito como normal.
- Acidosis respiratoria. Análogamente a la alkalosis, este es un trastorno del equilibrio ácido-base mas en este caso viene provocado por una disminución en la frecuencia de la respiración, esto es, hipoventilación. Esta baja frecuencia de respiración provoca una creciente concentración de CO_2 en el plasma sanguíneo, hipercapnia, con su consecuente aumento de los bicarbonatos y disminución del pH de la sangre.

De la misma forma que con la alkalosis, en este caso establecemos dos posibles niveles de acidosis: acidosis moderada y acidosis severa, en base al nivel de concentración de bicarbonatos.

Con todo esto, el aspecto de nuestro sistema en la herramienta para este resultado sería de la siguiente forma:

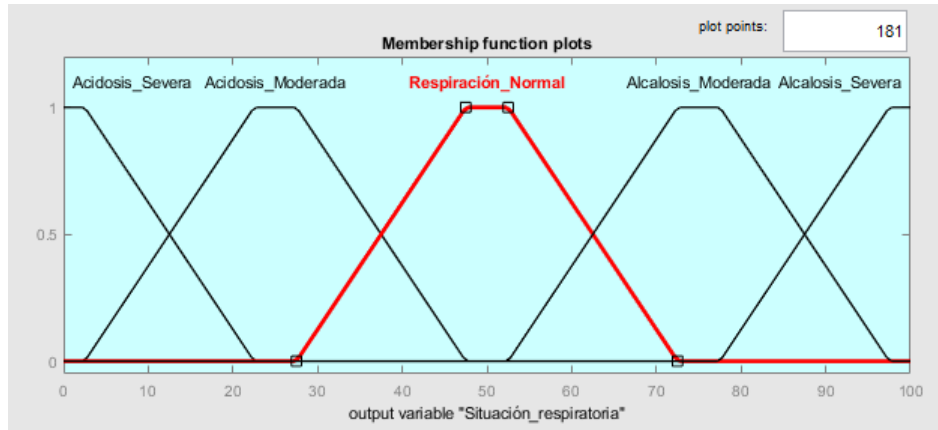


Figura 8: Variable de salida sobre la situación respiratoria.

Los valores de cada función de pertenencia son los generados por la herramienta por defecto.

- Acidosis respiratoria severa: [-22.5 -2.5 2.5 22.5]
- Acidosis respiratoria moderada: [2.5 22.5 27.5 47.5]
- Respiración normal: [27.5 47.5 52.5 72.5]
- Alcalosis respiratoria moderada: [52.5 72.5 77.5 97.5]
- Alaclosis respiratoria severa: [77.5 97.5 102.5 122.5]

El segundo resultado se trata de la situación metabólica del paciente. Esta situación está determinada por los niveles de pH, concentración de bicarbonatos y presión parcial de CO_2 . Esta situación aporta información sobre el funcionamiento de los riñones, pues son los que se encargan de compensar la concentración de bicarbonatos. De manera similar a la situación respiratoria, en este caso se diferencian tres posibles niveles de metabolismo:

- **Alcalosis metabólica.** Es un trastorno del equilibrio ácido-base en el cual una baja densidad de iones hidrógeno y su consecuente aumento de la concentración de bicarbonatos produce un aumento del pH del plasma sanguíneo. También se asocia a un aumento de la presión parcial de CO_2 por hipoventilación compensatoria.
En esta situación hacemos una separación en alcalosis moderada y alcalosis severa.
- **Metabolismo normal.** Los valores de pH, HCO_3 y pCO_2 se encuentran dentro del rango descrito como normal.
- **Acidosis metabólica.** Es una alteración del equilibrio ácido-base del cuerpo. Se caracteriza por un aumento de la acidez del plasma sanguíneo, normalmente asociado a una disminución de la concentración de bicarbonatos y una baja presión parcial de CO_2 .
Este tipo de trastorno tiene cierta importancia pues los síntomas de esta afección incluye cefalea, náuseas, hipoxia y dolor abdominal entre otros, pudiendo llegar a originar complicaciones tanto neurológicas (letargo, convulsiones, coma) como cardíacas (arritmias, baja respuesta a la epinefrina).
Dentro de este caso dividimos la acidosis metabólica en acidosis moderada y severa.

De esta forma, la clasificación de la variable de salida "situación metabólica" en nuestro sistema sería la siguiente:

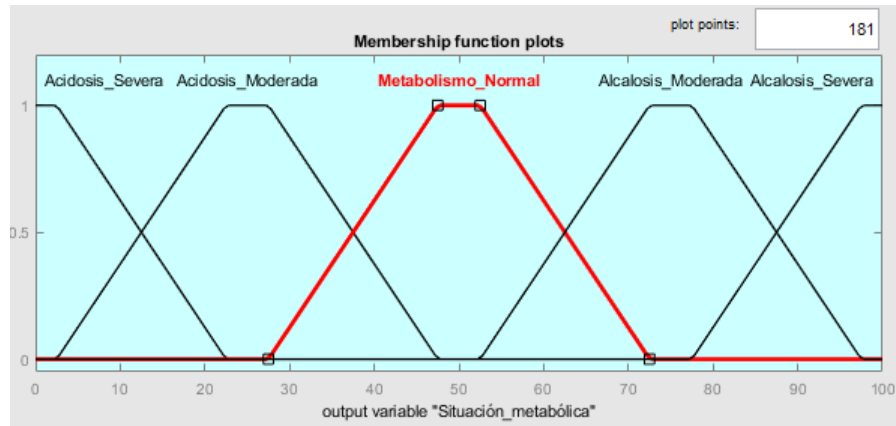


Figura 9: Variable de salida sobre la situación metabólica.

- Acidosis metabólica severa: [-22.5 -2.5 2.5 22.5]
- Acidosis metabólica moderada: [2.5 22.5 27.5 47.5]
- Metabolismo normal: [27.5 47.5 52.5 72.5]
- Alcalosis metabólica moderada: [52.5 72.5 77.5 97.5]
- Alaclosis metabólica severa: [77.5 97.5 102.5 122.5]

Finalmente, el tercer resultado que obtenemos como variable de salida es el nivel de oxigenación del paciente. Esto hace referencia a la presión del oxígeno que viaja disuelto en el plasma sanguíneo y por consecuencia a la capacidad del cuerpo de irrigar de forma correcta de oxígeno ciertos tejidos y órganos. Si bien el nivel de oxigenación de una persona puede variar atendiendo a diferentes factores fisiológicos para nuestra práctica los hemos obviado.

Este resultado tiene su importancia dentro de nuestra práctica pues puede aportar información sobre si el paciente esta hipoventilando o tiene presente una insuficiencia respiratoria.

Para este resultado distinguimos tres casos: oxigenación deficiente, cuando el nivel de oxígeno es crucialmente bajo, oxigenación insuficiente, cuando la oxigenación es baja pero no peligrosa, y oxigenación normal.

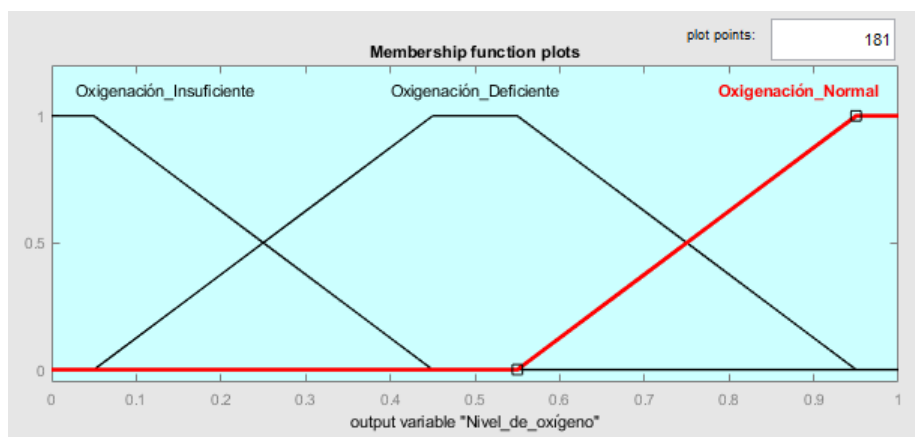


Figura 10: Variable de salida del nivel de oxigenación.

3.3.3. Reglas del sistema

En este apartado se aclaran las relaciones entre las variables de entrada y las de salida, específicamente suponen la asociación de los síntomas y las interpretaciones para la situación del paciente. Si bien para cada situación de los resultados de salida se menciona qué valores conducen a cada resultado, la base de reglas sintetiza dichas asociaciones mediante una estructura IF-THEN.

Así, la situación respiratoria daría como resultado cuatro reglas para los casos extremos (alcalosis y acidosis), de la misma forma la situación metabólica produciría otras cuatro reglas análogas, el nivel de oxigenación por su parte aportaría tres reglas para cada caso, y finalmente establecemos una regla final que identifica una situación normal del paciente.

El apartado de reglas de nuestro sistema dentro de la herramienta quedaría de la siguiente forma:

```
1. If (PH is Acidemia) and (PaCO2 is Hpercapnia) and (BIC is Normobicarbonatemia) then (Situación_respiratoria is Acidosis_Severa) (1)
2. If (PH is Acidemia) and (PaCO2 is Hpercapnia) and (BIC is Hiperbicarbonatemia) then (Situación_respiratoria is Acidosis_Moderada) (1)
3. If (PH is Alcalemia) and (PaCO2 is Hipocapnia) and (BIC is Hipobicarbonatemia) then (Situación_respiratoria is Alcalosis_Moderada) (1)
4. If (PH is Alcalemia) and (PaCO2 is Hipocapnia) and (BIC is Normobicarbonatemia) then (Situación_respiratoria is Alcalosis_Severa) (1)
5. If (PH is Acidemia) and (PaCO2 is Normocapnia) and (BIC is Hipobicarbonatemia) then (Situación_metabólica is Acidosis_Severa) (1)
6. If (PH is Acidemia) and (PaCO2 is Hipocapnia) and (BIC is Hiperbicarbonatemia) then (Situación_metabólica is Acidosis_Moderada) (1)
7. If (PH is Alcalemia) and (PaCO2 is Hpercapnia) and (BIC is Hiperbicarbonatemia) then (Situación_metabólica is Alcalosis_Moderada) (1)
8. If (PH is Alcalemia) and (PaCO2 is Normocapnia) and (BIC is Hiperbicarbonatemia) then (Situación_metabólica is Alcalosis_Severa) (1)
9. If (PaO2 is Hipoxemia) then (Nivel_de_oxígeno is Oxigenación_Insuficiente) (1)
10. If (PaO2 is Normoxemia) then (Nivel_de_oxígeno is Oxigenación_Deficiente) (1)
11. If (PaO2 is Hiperoxemia) then (Nivel_de_oxígeno is Oxigenación_Normal) (1)
12. If (PH is Normal) and (PaCO2 is Normocapnia) and (BIC is Normobicarbonatemia) then (Situación_metabólica is Metabolismo_Normal)(Situación_respiratoria is Respiración_Normal) (1)
```

Figura 11: Reglas de la base de conocimiento.

4. Implementación

Para comprender la implementación de nuestro sistema, primero precisamos definir los conceptos del cálculo difuso en los que nos basamos (4).

El primer concepto es la base para traducir la información de concreta a difusa, es decir, el codificador o fuzzyficador.

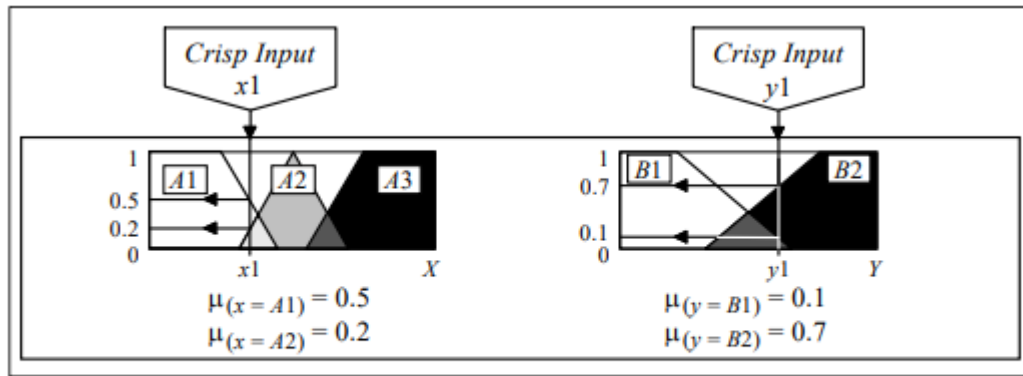


Figura 12: Funcionamiento del módulo de codificación.

Como se puede apreciar en la figura para una variable de entrada concreta, se dispone su valor en la escala horizontal y se traza una línea perpendicular a la escala. Con esto se registra qué trapecios o áreas interseca, lo cual se corresponde con el resultado de la función de pertenencia para este valor en cada conjunto. Esto se corresponde con la aplicación gráfica de la implicación de Mamdani.

Una vez registrados los valores de pertenencia para cada variable de entrada, es decir, obtenidos los valores difusos correspondientes, se pasa a la parte de razonamiento. Esto es, aplicar las reglas de inferencia para cada valor de cada variable.

Estos valores se agrupan según el operador que use cada regla, dando como resultado una región en la que se situaría el resultado. Este proceso puede apreciarse en el siguiente esquema:

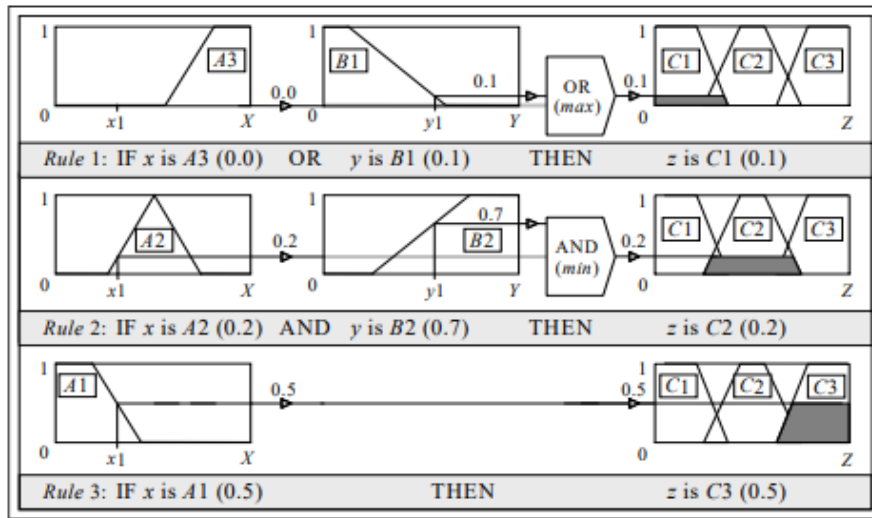


Figura 13: Ejemplo de aplicación de tres reglas sobre valores del dominio codificados.

Cuando cada regla ha sido aplicada, el resultado de cada una se agrupa superponiendo todas las áreas.

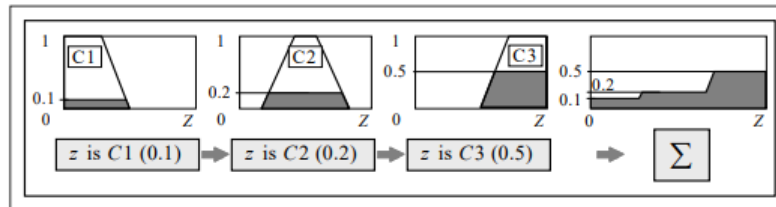


Figura 14: Agrupación de los resultados de las reglas anteriores.

La decodificación en nuestro sistema se lleva a cabo mediante el método de Centro de Gravedad (COG). Este método se basa en hallar el centro de masa del área descrita por los resultados, lo cual supone tener que realizar o bien a través de una integral o bien con una buena aproximación del muestreo de la función de pertenencia.

$$COG = \frac{\int_a^b \mu_A(x) x dx}{\int_a^b \mu_A(x) dx}$$

Figura 15: Cálculo del COG mediante cálculo de integrales.

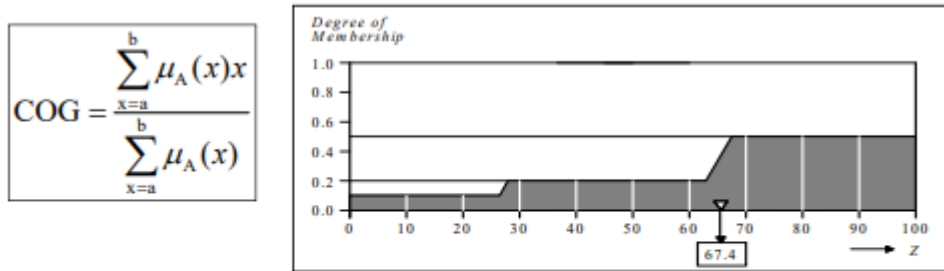


Figura 16: Cálculo del COG mediante aproximación de la función de pertenencia.

5. Ejemplos y resultados

Para mostrar la eficacia de nuestro sistema hemos dispuesto varios ejemplos de síntomas descritos por las variables de entrada, para los cuales comentaremos las interpretaciones que elaboraría el sistema.

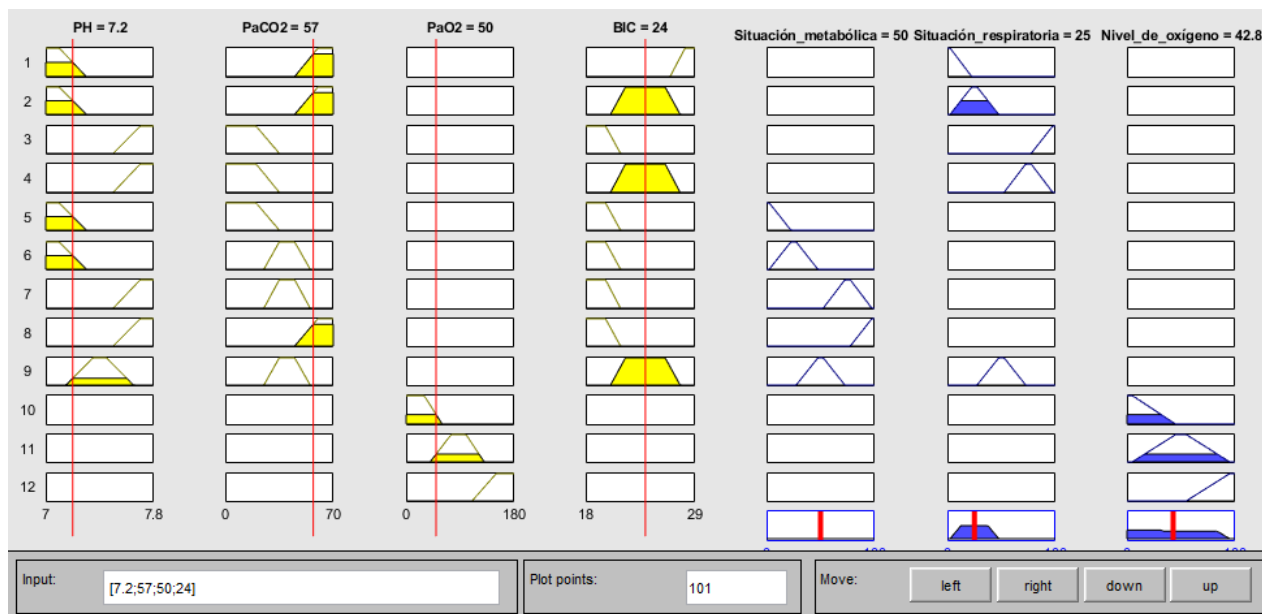


Figura 17: Ejemplo 1.

Como se puede apreciar en este primer ejemplo, los niveles de este paciente de pH son de 7.2 (bajo), de bicarbonatos son 24 mmol/L (normal), de pCO₂ son 57 mmHg (bajo) y de pO₂ son 50 mmHg (bajo). Todo esto hace que el motor de inferencias dispare la regla que señala acidosis respiratoria severa. En este caso, el sistema identifica correctamente que la situación metabólica es normal y además le asigna la situación respiratoria 25, lo cual se traduciría en acidosis respiratoria moderada. Finalmente al nivel de oxigenación le asigna un valor que se correspondería con oxigenación deficiente.

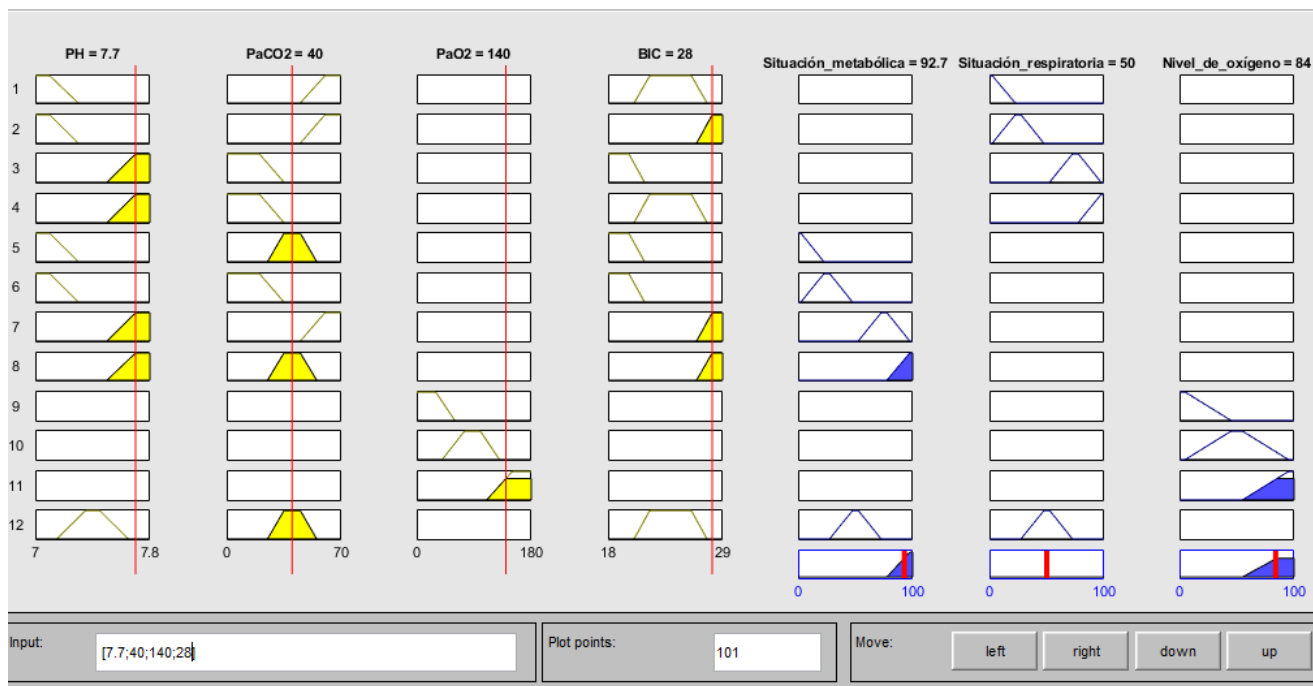


Figura 18: Ejemplo 2.

En este segundo ejemplo se observa que los síntomas del paciente son niveles de pH de 7.7 (alto), de bicarbonatos de 28 mmol/L (alto), de pCO₂ de 40 mmHg (normal/alto) y de pO₂ de 140 mmHg (alto). Esto hace que el motor de inferencias dispare la regla que señala de alcalosis metabólica severa, así como la que señala que el nivel de oxigenación es normal.

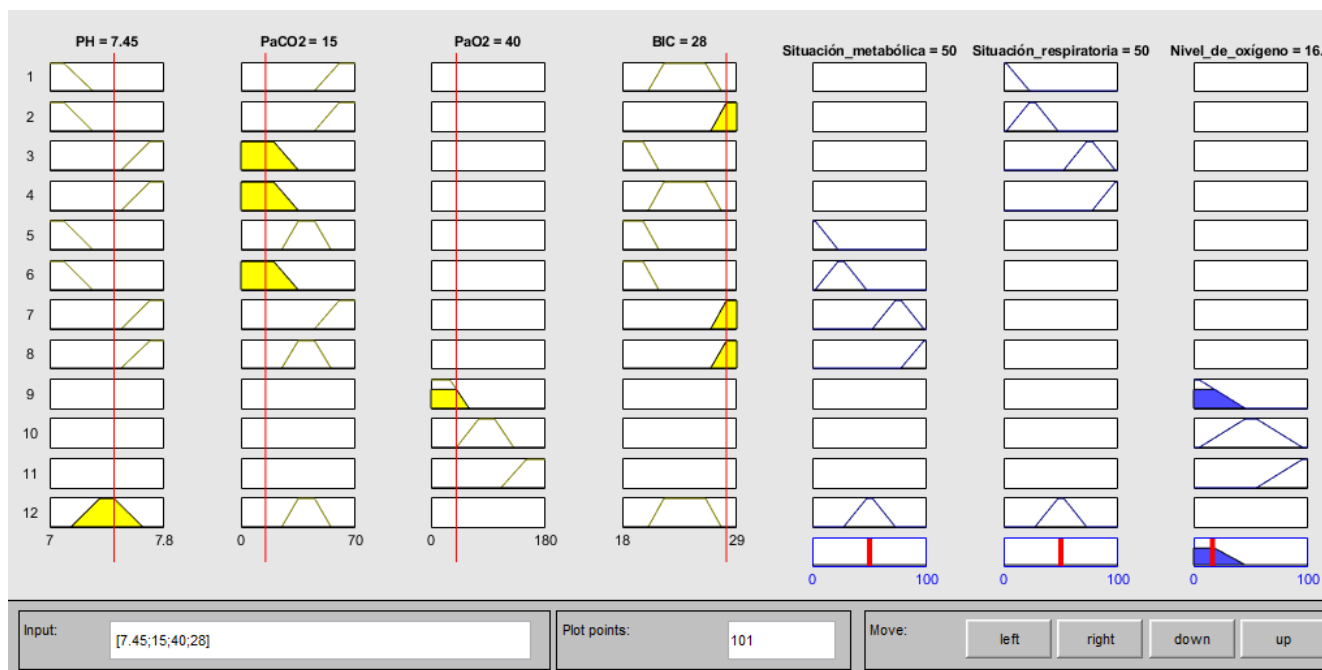


Figura 19: Ejemplo 3.

En este tercer ejemplo se observa que los síntomas del paciente son niveles de pH de 7.45 (normal), de bicarbonatos de 28 mmol/L (alto), de pCO₂ de 15 mmHg (muy bajo) y de pO₂ de 40 mmHg (muy bajo). Esto hace que el motor de inferencias no sea capaz de disparar ninguna regla asociada con la situación metabólica o respiratoria, puesto que este caso no se puede dar ya que los niveles de bicarbonatos y de pCO₂ generalmente no van muy descompasados.

En este caso, nuestro sistema sólo puede informarnos sobre el nivel de oxigenación y nos muestra que el paciente tiene una oxigenación insuficiente.

6. Discusión y conclusiones

Dada la capacidad computacional de los sistemas difusos y su capacidad de asimilar la naturaleza imprecisa del conocimiento creemos que un sistema difuso como este sería de gran utilidad en numerosos ámbitos, especialmente en el médico. Cabe resaltar que con un conjunto reducido de reglas como es el de nuestro sistema es posible analizar de forma mas o menos exacta la información que nos llega del dominio.

En la actualidad ya estamos viendo la expansión del uso de sistemas difusos para distintos fines, por lo que la implementación de un procedimiento como el que hemos diseñado nosotros no sería muy descabellada.

Con todo, consideramos que el uso de un sistema inteligente como este pese a su gran utilidad no debería estar destinado a sustituir a expertos, sino que debería considerarse como una fuente fiable hasta cierto punto contra la cual contrastar los resultados.

La realización de esta práctica nos ha servido para comprender de una manera más cercana los conjuntos difusos, sobre todo al aplicarlo a un caso del mundo real como es el de las gasometrías arteriales. En cuanto a los resultados si bien no son completamente perfectos consideramos que son aceptables pues permiten clasificar medianamente correcta los resultados.

Referencias

- [1] Lofti A. Zadeh - Wikipedia. 2020 [Generic]; 2020. Available from: https://es.wikipedia.org/wiki/Lotfi_A._Zadeh.
- [2] Gasometría Arterial - Wikipedia. 2020 [Generic]; 2020. Available from: https://en.wikipedia.org/wiki/Arterial_blood_gas_test.
- [3] Gasometría Arterial - MedlinePlus. 2020 [Generic]; 2020. Available from: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/003855.htm>.
- [4] Material de clase [Generic]; 2020. Available from: https://campusvirtual.udc.gal/pluginfile.php/49298/mod_resource/content/1/TEMAS.pdf.