

Practica 1

Interpretación de gasometría arterial

Índice

1. Resumen	3
2. Introducción	3
3. Material y métodos	4
3.1. Herramientas del Trabajo	4
3.2. Consideraciones de Medidas	4
3.3. Arquitectura Usada y Descartes	5
4. Resultados	7
5. Discusión	8
6. Conclusión	10

1. Resumen

En este trabajo diseñamos un sistema de lógica difusa para el diagnóstico de alcalosis y acidosis tanto metabólica como respiratoria y la presencia de compensación de este estado. Los datos necesarios para este diagnóstico son el pH, concentración de pCO_2 y bicarbonato en sangre, teniendo una salida de la patología prevalente y el estado de compensación.

2. Introducción

La gasometría arterial es una técnica que consiste en analizar una muestra de sangre arterial del paciente para conocer, entre otros, los valores de la presión de oxígeno y de dióxido de carbono, la cantidad de bicarbonato y su estado ácido-base. Los resultados de esta prueba se pueden utilizar para realizar un diagnóstico de las condiciones que puedan afectar al paciente, como lo son la acidosis y la alcalosis (respiratoria y metabólica), trastornos del equilibrio ácido-base en los que se centrará nuestro trabajo.

Basándose en los valores de pH, $paCO_2$ y HCO_3 obtenidos en la prueba, un profesional médico puede dar un diagnóstico con una precisión relativamente alta en la mayoría de los casos, pero, como en la mayoría de diagnósticos, esto se basa en términos ambiguos como “alto” o “bajo”, lo cual puede hacer que haya algún error en el resultado.

Nuestro objetivo es crear un sistema difuso que ayude a los profesionales con los diagnósticos de las dos condiciones antes mencionadas dando la probabilidad de que un individuo tenga cada una de estas, además de los efectos compensatorios relacionados. Aparte de permitir transformar las expresiones ambiguas del lenguaje natural en valores numéricos cuantificables, estos sistemas tienen la ventaja de comportarse bien ante casos atípicos, lo cual puede ser de mucha ayuda en el ámbito de la medicina, donde se necesita poder evaluar de forma correcta a pacientes en estados muy diversos que pueden presentar condiciones poco comunes.

Para crear este modelo, realizamos una investigación sobre los valores entre los que oscilan el pH, PCO_2 y HCO_3 , tanto en el caso normal como en pacientes que padecen algún desequilibrio como los que tratamos en este trabajo. Estos valores fueron los que utilizamos para determinar los límites de cada categoría en el sistema, realizando así la transformación de expresiones del lenguaje cotidiano a intervalos numéricos.

3. Material y métodos

3.1. Herramientas del Trabajo

La herramienta principal empleada en el proyecto ha sido el sistema de cómputo numérico *MatLab*, junto con su complemento *Fuzzy Logic Toolbox*, desarrollado por la misma empresa. Este plugin nos ha permitido crear sistemas de lógica difusa y ajustar automáticamente las funciones de pertenencia y las reglas de un sistema de inferencia difusa a partir de datos.

Para redactar la memoria, hemos utilizado el editor en línea basado en LaTeX, Overleaf.

La extracción y obtención de datos se llevaron a cabo utilizando diversas fuentes, como se detalla en las referencias. Utilizamos el motor académico de búsqueda *Google Scholar* para recopilar información. Además, hemos obtenido muchos datos de la calculadora GSA, los cuales nos han servido como referencia para estimar la precisión de nuestro modelo.

3.2. Consideraciones de Medidas

A la hora de establecer los límites de los distintos aspectos medidos nos hemos basado en la información del estudio “Interpretación de una gasometría arterial” [11] para establecer los valores normales. Centrándonos en el pH gracias al trabajo de Sood Pramod et al. [9] establecemos los rangos máximos y mínimos entre 6.80 y 8.00, reduciendo el rango mínimo para establecer la medición normal en el medio del rango. Para establecer los rangos del PCO_2 y HCO_3 se han tomado como rangos normales los presentes en “Swearingen’s handbook” [10] estableciendo los máximos y mínimos en base a los casos clínicos a presentar en el apartado de resultados. A la hora de realizar nuestro sistema, prestamos especial atención a los valores máximos y mínimos, ya que a partir de esos valores nuestro sistema difuso no daría ningún resultado. Por esto, era necesario encontrar un equilibrio para que nuestro sistema pudiese dar un diagnóstico a la mayoría de los pacientes, pero los límites no fuesen demasiado extremos, lo cual haría que el diagnóstico de valores cercanos a lo normal fuese menos preciso.

	Muy bajo	Bajo	Normal	Alto	Muy alto
pH	$\geq 6,8$ y < 7	≥ 7 y $< 7,35$	$\geq 7,35$ y $< 7,45$	$\geq 7,45$ y $< 7,8$	$> 7,8$ y ≤ 8
	Bajo	Normal			Alto
PCO_2	≥ 10 y < 35	≥ 35 y < 45			≥ 45 y < 80
HCO_3	≥ 0 y < 22	≥ 22 y < 26			≥ 26 y ≤ 60

Cuadro 1: Rangos de pH, PCO_2 y HCO_3

Como se puede ver, en el caso del PCO_2 y el HCO_3 , la categoría “Alto” tiene un rango de valores mayor que la categoría “Bajo”, lo cual hace que la categorización no sea completamente simétrica. Esto se debe a que, según las fuentes y ejemplos prácticos que consultamos, hemos llegado a la conclusión de que los valores de estos dos compuestos tienden a variar más cuando estos son elevados que cuando son bajos.

3.3. Arquitectura Usada y Descartes

Nuestra arquitectura considera tres entradas y cuatro salidas, siendo las entradas el pH, PCO_2 y HCO_3 , las salidas son el estado respiratorio y metabólico junto con la compensación de los mismos.

Comenzando con las entradas, el pH es dividido en 5 niveles, desde “Muy Bajo” a “Muy Alto”, para poder posteriormente establecer múltiples severidades de las condiciones contempladas. Con respecto al PCO_2 y HCO_3 establecemos tres niveles “Bajo”, “Normal” y “Alto” para la diferenciación entre condiciones de origen respiratorio o metabólico y la compensación presente. En este caso, no vimos necesario utilizar categorías de “Muy Bajo” y “Muy Alto”, ya que en la mayoría de los casos la salida era la misma que en los casos de “bajo” y “alto”, respectivamente.

Continuando con las salidas, establecemos el estado respiratorio y metabólico, comprendido en 5 niveles entre “Alcalosis severa” y “Acidosis severa” determinado por el pH y relación entre el PCO_2 y HCO_3 . Por otra parte, establecemos la compensación tanto metabólica como respiratoria en 2 valores “Ninguna” y “Compensado”, dependiendo de la relación entre el PCO_2 y HCO_3 .

A la hora de establecer las reglas del sistema hemos descartado los casos donde el PCO_2 y HCO_3 sean iguales y el pH no nos indique la condición presente. Por otra parte, se han descartado los casos donde el PCO_2 supera al HCO_3 con un pH alto y los casos donde el HCO_3 supere al PCO_2 con un pH bajo al ser valores no posibles de encontrar en pacientes de las condiciones a detectar.

A continuación mostraremos imágenes tanto de la arquitectura del sistema difuso como de las reglas usadas:

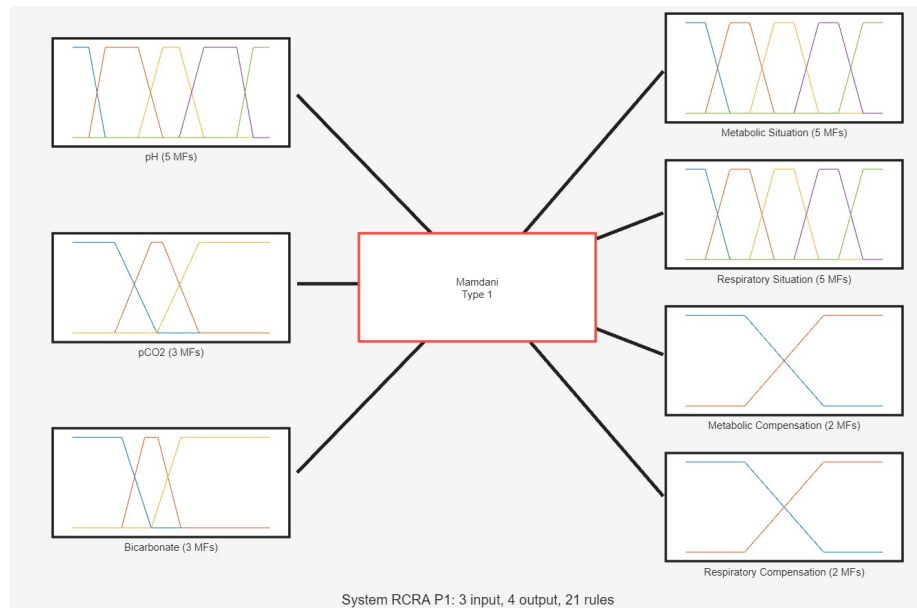


Figura 1: Arquitectura del sistema

Rule	
1	If pH is Muy Bajo and pCO2 is Bajo and Bicarbonate is Bajo then Metabolic Situation is Acidosis Severa, Respiratory Compensation is Compensado
2	If pH is Bajo and pCO2 is Bajo and Bicarbonate is Bajo then Metabolic Situation is Acidosis, Respiratory Compensation is Compensado
3	If pH is Alto and pCO2 is Bajo and Bicarbonate is Bajo then Respiratory Situation is Alkalosis, Metabolic Compensation is Compensado
4	If pH is Muy Alto and pCO2 is Bajo and Bicarbonate is Bajo then Respiratory Situation is Alkalosis Severa, Metabolic Compensation is Compensado
5	If pH is Muy Bajo and pCO2 is Normal and Bicarbonate is Bajo then Metabolic Situation is Acidosis Severa, Respiratory Compensation is Ninguna
6	If pH is Bajo and pCO2 is Normal and Bicarbonate is Bajo then Metabolic Situation is Acidosis, Respiratory Compensation is Ninguna
7	If pH is Medio and pCO2 is Normal and Bicarbonate is Bajo then Metabolic Situation is Acidosis, Respiratory Compensation is Ninguna
8	If pH is Medio and pCO2 is Bajo and Bicarbonate is Normal then Respiratory Situation is Alkalosis, Metabolic Compensation is Ninguna
9	If pH is Alto and pCO2 is Bajo and Bicarbonate is Normal then Respiratory Situation is Alkalosis, Metabolic Compensation is Ninguna
10	If pH is Muy Alto and pCO2 is Bajo and Bicarbonate is Normal then Respiratory Situation is Alkalosis Severa, Metabolic Compensation is Ninguna
11	If pH is Medio and pCO2 is Normal and Bicarbonate is Normal then Metabolic Situation is Normal, Respiratory Situation is Normal
12	If pH is Muy Bajo and pCO2 is Alto and Bicarbonate is Normal then Respiratory Situation is Acidosis Severa, Metabolic Compensation is Ninguna
13	If pH is Bajo and pCO2 is Alto and Bicarbonate is Normal then Respiratory Situation is Acidosis, Metabolic Compensation is Ninguna
14	If pH is Medio and pCO2 is Alto and Bicarbonate is Normal then Respiratory Situation is Acidosis, Metabolic Compensation is Ninguna
15	If pH is Medio and pCO2 is Normal and Bicarbonate is Alto then Metabolic Situation is Alkalosis, Respiratory Compensation is Ninguna
16	If pH is Alto and pCO2 is Normal and Bicarbonate is Alto then Metabolic Situation is Alkalosis, Respiratory Compensation is Ninguna
17	If pH is Muy Alto and pCO2 is Normal and Bicarbonate is Alto then Metabolic Situation is Alkalosis Severa, Respiratory Compensation is Ninguna
18	If pH is Muy Bajo and pCO2 is Alto and Bicarbonate is Alto then Respiratory Situation is Acidosis Severa, Metabolic Compensation is Compensado
19	If pH is Bajo and pCO2 is Alto and Bicarbonate is Alto then Respiratory Situation is Acidosis, Metabolic Compensation is Compensado
20	If pH is Alto and pCO2 is Alto and Bicarbonate is Alto then Metabolic Situation is Alkalosis, Respiratory Compensation is Compensado
21	If pH is Muy Alto and pCO2 is Alto and Bicarbonate is Alto then Metabolic Situation is Alkalosis Severa, Respiratory Compensation is Compensado

Figura 2: Reglas del sistema

4. Resultados

Para medir la precisión de nuestro modelo, decidimos buscar informes de casos reales de cada uno de los trastornos con los que tratamos. Con los valores de pH, PCO₂ y HCO₃ medidos en las pruebas de cada caso, comprobamos el resultado tanto en nuestro modelo y en la calculadora y los comparamos entre ellos y con la fuente real.

En la tabla que se muestra abajo, se puede ver, para cada caso, los valores de entrada, el diagnóstico real y las estimaciones tanto de nuestro modelo como de la calculadora GSA.

Casos de uso	pH	PCO ₂	HCO ₃	Fuente de origen	Fuzzy Designer	Calculadora GSA
1	7.12	72.00	23.40	Ac R[2]	Ac R	Ac R
2	7.28	76.69	34.90	Ac R[4]	Ac R	Ac R
3	7.50	25.00	19.50	Al R[8]	Al R	Al R
4	7.40	31.13	19.00	Al R[5]	Al R/Ac M	Al R
5	6.84	23.00	3.90	Ac M[7]	Ac M Sev	Ac M
6	7.24	33.00	17.00	Ac M[3]	Ac M	Ac M
7	7.72	60.00	60.00	Al M[6]	Al M Com	Al M
8	7.80	44.50	56.30	Al M[1]	Al M	Al M

Cuadro 2: Resultados

Abreviaturas:

- Ac: Acidosis.
- Al: Alcalosis.
- R: Respiratoria.
- M: Metabólica.
- Sev: Severa.
- Com: Compensada.
- Mix: Trastorno mixto.

Se puede ver que en la mayoría de casos el sistema actuó con gran precisión, dando un diagnóstico que se correspondió tanto con el real como con el de la calculadora. En el apartado de “Discusión” se hablará en mayor profundidad de los resultados obtenidos.

5. Discusión

Como mencionamos en la anterior sección, en la mayoría de casos de pacientes, nuestro sistema se comporta correctamente, pero hay ciertas excepciones. A continuación hablaremos de los casos que más destacan:

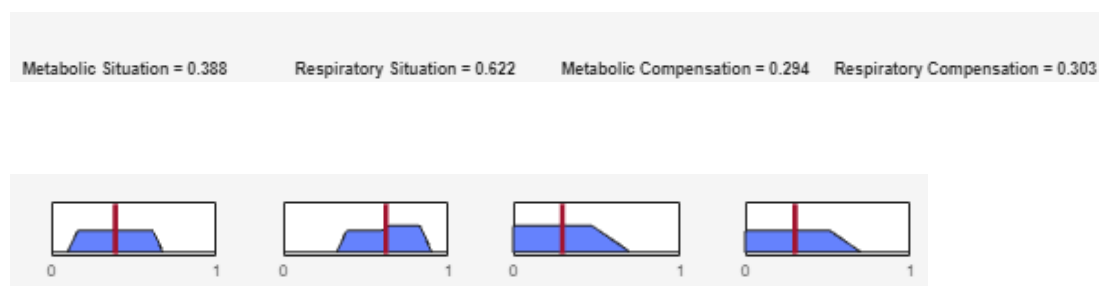


Figura 3: Caso 4

El caso 4 tiene la peculiaridad de que el pH está en el punto medio del nivel normal, lo cual hace que sea difícil distinguir si se trata de alcalosis respiratoria o acidosis metabólica, ya que ambas se caracterizan por tener unos niveles de PCO_2 y de HCO_3 bajos. En este caso, la calculadora acierta, pero nuestro sistema da el mismo grado de pertenencia en ambas categorías. Esto se debe a que, debido a que en nuestro sistema la distinción entre acidosis y alcalosis se hace únicamente en base al pH, cuando este valor esté exactamente en el punto medio nuestro sistema no podrá distinguir de qué trastorno se trata. En cambio, la calculadora puede tener también en cuenta la relación matemática entre el PCO_2 y el HCO_3 para calcular esto, lo cual le facilita el realizar esta distinción.



Figura 4: Caso 6

En el caso 6, los niveles de pH se salen del intervalo normal, por lo que el nuestro sistema devuelve correctamente la salida de “Acidosis metabólica”, aunque el grado de pertenencia en “Alcalosis respiratoria” también sea relativamente alto por estar cerca del intervalo normal.

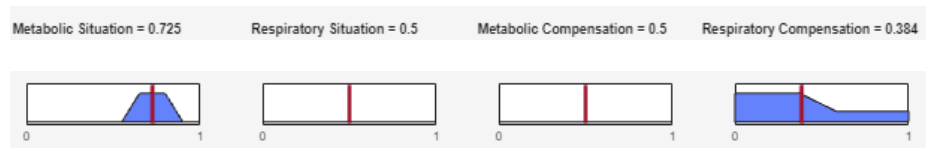


Figura 5: Caso 8

En el caso 8, se puede ver un caso en el que el sistema determina que la situación respiratoria es completamente normal, mostrando que para ciertos casos sí que puede dar un único diagnóstico preciso en lugar de dudar entre dos categorías. Esto se da especialmente cuando el pH está en niveles extremos.

6. Conclusión

Según los resultados obtenidos, hemos comprobado que los sistemas difusos son viables para la distinción de trastornos ácido-base, especialmente si son usados como apoyo para el diagnóstico de un profesional. Las mayores ventajas que tiene sobre un sistema tradicional es que, dadas unas entradas, no da una única salida, sino que tiene en cuenta tanto el estado respiratorio como el metabólico del paciente, mientras que un sistema convencional solo devolvería la categoría con un grado de pertenencia más alto. Esto hace que, en caso de que un paciente tenga valores atípicos, el sistema difuso pueda ser de más ayuda a un profesional, ya que puede apoyar deducciones que en un principio no serían las más probables.

No obstante, este sistema también tiene dos limitaciones principales:

- En primer lugar, una que comparten todos los sistemas difusos, que es que los valores de entrada tienen unos límites y, en caso de que un valor se salga de ese intervalo, el sistema no podrá dar una solución. Por ejemplo, nuestro sistema no podría diagnosticar a un paciente con un valor de PCO₂ de 81 mmHg, ya que solo toma valores menores o iguales que 80. Como mencionamos en el apartado de “Consideraciones de Medidas”, esto se debe a que fue necesario encontrar un equilibrio entre cubrir los suficientes casos y no tener unos límites demasiado holgados. Esta limitación no debería de afectar demasiado al sistema, ya que, como se ve en los casos clínicos que presentamos, el sistema podrá diagnosticar a una gran mayoría de pacientes.
- En segundo lugar, como se vio en el apartado de “discusión”, el sistema tiene problemas al determinar el trastorno sufrido por el paciente en caso de que sus niveles de PH estén dentro del intervalo normal, mientras que un sistema convencional podría dar una solución más probable en la mayoría de los casos. Esto probablemente se podría solventar aumentando el número de funciones de pertenencia de las entradas de PCO₂ y de HCO₃ para así poder ver de cierta manera la relación entre ellas, lo que haría que el sistema fuese mucho más complejo y necesitase muchas más reglas.

Debido a esto, como dijimos al principio de la conclusión, nuestro sistema sería más eficiente que uno convencional para apoyar las decisiones de un médico profesional, pero en caso de dar un único diagnóstico con la mayor precisión posible, un sistema como la calculadora GSA será igual o mejor en la mayoría de los casos.

Referencias

- [1] Lucía Martínez Barredo et al. «Alcalosis metabólica hipoclorémica. Actuación en urgencias a raíz de un caso clínico». En: *Revista Sanitaria de Investigación* 3.12 (2022), pág. 58.
- [2] Sandra Bacca Camacho. *Caso Clínico*. 2011. URL: <https://www.fesemi.org/sites/default/files/documentos/ponencias/vi-reunion-epoc/2.pdf>.
- [3] Lucía Fernández-de Orueta et al. «Acidosis metabólica inducida por topiramato: a propósito de un caso». En: *Nefrología (Madrid)* 32.3 (2012), págs. 403-404.
- [4] ML Iglesias Lepine et al. «Efectividad de la ventilación no invasiva, modalidad BIPAP con máscara facial, en el paciente EPOC con insuficiencia respiratoria hipercápnica (acidosis respiratoria) en el Áreade Urgencias». En: *Emergencias (St. Vicenç dels Horts)* (2001), págs. 26-30.
- [5] Daniel Manzur Sandoval. «Hiperlactatemia por estados de hiperventilación y alcalosis respiratoria: reporte de tres casos y revisión de la literatura». En: *Medicina crítica (Colegio Mexicano de Medicina Crítica)* 30.3 (2016), págs. 204-208.
- [6] Pablo Malo Ocejo et al. «Discinesia Respiratoria: revisión y caso clínico». En: *Norte de Salud Mental* 7.28 (2007), págs. 63-68.
- [7] J Villegas del Ojo et al. «Coma y acidosis metabólica: Intoxicación por metanol». En: *Revista de Toxicología* 28.2 (2011), págs. 174-176.
- [8] Rodrigo A. Sepúlveda et al. «Alcalosis respiratoria grave, la transformación de un cuadro funcional en orgánico. Caso clínico». es. En: *Revista médica de Chile* 150 (abr. de 2022), págs. 554-558. ISSN: 0034-9887. URL: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-98872022000400554&nrm=iso.
- [9] Pramod Sood, Gunchan Paul y Sandeep Puri. «Interpretation of arterial blood gas». En: *Indian journal of critical care medicine: peer-reviewed, official publication of Indian Society of Critical Care Medicine* 14.2 (2010), pág. 57.
- [10] Pamela L Swearingen et al. «Swearingen’s manual of medical-surgical nursing: a care planning resource». En: *(No Title)* ().
- [11] María García Tovar et al. «Interpretación de una gasometría arterial». En: *Revista Sanitaria de Investigación* 4.2 (2023), pág. 17.