

Tipo de artículo: Artículo original

Técnicas de Inteligencia artificial para el diagnóstico de pulsioximetría de apnea de sueño

Artificial intelligence techniques for the diagnosis of sleep apnea pulse oximetry

Liusnet Batista Reyes ^{1*} , <https://orcid.org/0009-0000-4543-8135>

Jenny Escalona Suárez ² , <https://orcid.org/0009-0002-3094-948X>

Omar Mar Cornelio ³ , <https://orcid.org/0000-0002-0689-6341>

¹ Centro Nacional de Electromedicina. Correo electrónico: liusnet@infomed.sld.cu

² ETI, Biocubafarma. Correo electrónico: jennyesu@gmail.com

³ Centro de Estudio de Matemática Computacional, Universidad de las Ciencias Informáticas. Cuba. Correo electrónico: omarmar@uci.cu

* Autor para correspondencia: liusnet@infomed.sld.cu

Resumen

La pulsioximetría es un método para tratar las señales de saturación de oxígeno en sangre y frecuencia cardiaca permitiendo a los pacientes la vigilancia de sus constantes en cada momento. En la presente investigación se realizó un estudio de monitoreo del pulsímetro en el hogar de cada paciente, con el objetivo de identificar las posibles incidencias para determinar las probabilidades de diagnosticar el síndrome de apnea de sueño obstructivo en los pacientes afectados, proponiendo el uso de la técnica de inteligencia artificial más adecuada para apoyar la toma de decisiones en un resultado más acertado.

Palabras clave: técnicas de inteligencia artificial; pulsioximetría; apnea de sueño; modelación matemática.

Abstract

Pulse oximetry is a method for treating blood oxygen saturation and heart rate signals, allowing patients to monitor their constants at all times. In the present investigation, a heart rate monitor monitoring study was carried out in each patient's home, with the aim of identifying possible incidences to determine the probabilities of diagnosing obstructive sleep apnea syndrome in affected patients, proposing the use of the most suitable artificial intelligence technique to support decision-making in a more accurate result.

Keywords: artificial intelligence techniques; pulse oximetry; sleep apnea; mathematical modeling.

Recibido: 07/01/2023

Aceptado: 25/03/2023

En línea: 01/04/2023



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

Introducción

La Inteligencia Artificial (IA) es una ciencia en constante evolución, aplicada a la medicina y la salud, en la actualidad ha logrado beneficios en casi todas sus especialidades. Se realiza una revisión de artículos de la salud apoyados en técnicas de IA, las cuales actúan como un sistema de apoyo a la toma de decisiones (Muñoz et al., 2021). Según los avances recientes IA en el cuidado de la salud, entre los estudios más destacados, se encuentran los que emplean los algoritmos de redes neuronales artificiales, modelados por el cerebro humano (Ahmed et al., 2022). Otras de las técnicas utilizadas para la predicción de diferentes enfermedades, se encuentran: el aprendizaje profundo y aprendizaje automático (Avila-Tomás et al., 2020).

Otro de sus logros es el uso de la robótica en las diferentes áreas de salud. La robótica en la medicina ha estado evolucionando progresivamente y se destacan algunos ejemplos como son la prótesis de miembros, electroestimulación, asistentes personales, robótica de rehabilitación, también se menciona la cirugía asistida por la robótica, la cual ha permitido grandes avances en el campo quirúrgico como la cirugía a distancia y la cirugía mínimamente invasiva.

La tecnología de inteligencia artificial se convertirá en un asistente esencial para los médicos, contribuyendo significativamente en el diagnóstico de diversas enfermedades. La integración de tecnologías de inteligencia artificial y minería de datos cambiará la atención médica inteligente en el futuro, optimizando la información. La tecnología de minería de datos es muy adecuada para su uso en el campo médico (Ye et al., 2019). La tecnología de procesamiento de imágenes y reconocimiento de patrones son componentes importantes de la IA.

La inteligencia artificial en la salud ofrece un apoyo al diagnóstico que facilita la detección de enfermedades tempranas, abriendo las puertas a una medicina más preventiva y personalizada (Qayyum et al., 2020). La presente investigación está dirigida hacia la solución de un problema existente, usando técnicas de Inteligencia Artificial como el reconocimiento lógico de patrones, realizando un monitoreo de pulsioximetría en el paciente teniendo como objetivo final un diagnóstico clínico más acertado de Síndrome de Apneas del Sueño (Al-Rakhami et al., 2021).

El síndrome de apnea del sueño es una enfermedad prevalente caracterizada por la colapsabilidad recurrente de la vía aérea superior durante el sueño (Baldominos et al., 2020). Estos episodios de reducción o ausencia del flujo aéreo van a inducir la presencia de modificaciones características tanto en la saturación de oxígeno como en la frecuencia cardíaca (FC).



Materiales y métodos

Para el desarrollo de la investigación se realizó un estudio de los artículos más destacados referentes a las técnicas de IA más usadas en los problemas médicos, luego se realizó un análisis de qué técnica de Inteligencia Artificial cumplía con los criterios más adecuados para darle solución al problema planteado (Curioso & Brunette, 2020).

Teniendo en cuenta el resultado que se quiere obtener, se decidió utilizar el método de reconocimiento de patrones (Gao et al., 2020). La cual necesita ante todo modelar el problema y después procesar los datos para obtener una solución final de problema.

Para determinar la modelación matemática del problema y obtener una mejor comprensión del mismo se ha decidido usar la metodología de reconocimiento lógico combinatorio de patrones en sus 5 pasos descritos:

- 1 Formulación del problema no matemático.
- 2 Formalización del problema.
- 3 Selección de la forma de solución del problema.
- 4 Solución del problema matemático.
- 5 Análisis e interpretación de los resultados, respecto al problema.

En esta investigación se implementan estos cinco pasos, aplicados a un caso práctico.

Resultados y discusión

Paso 1: Formulación del problema no matemático.

En el Centro de Investigaciones Clínicas, se realizó un estudio de monitoreo en el hogar, de 232 muestras para el comportamiento de la pulsioximetría en los pacientes de síndrome de apnea de sueño. La pulsioximetría es una prueba rápida de medir el oxígeno en sangre evitando cualquier complicación grave de los pacientes. Usando los datos obtenidos en la investigación se sugiere la probabilidad diagnóstica de la patología (teniendo en cuenta que si hay una clínica especializada en este estudio las posibilidades para obtener mejores resultados en esta patología son mayores).

La apnea del sueño es un trastorno del sueño potencialmente grave, consiste en episodios de cierre parcial o total de las vías aéreas superiores que se producen durante el sueño y que dan lugar a la interrupción de la respiración.

Para apoyar el estudio de los exámenes realizados se propone el uso de técnicas de inteligencia artificial para apoyar la toma de decisiones con un resultado más acertado y automatizado que el que se obtiene en la actualidad.



En el estudio realizado, se establece como objetivo del problema la necesidad de determinar la probabilidad diagnóstica que tiene un paciente de padecer esta patología. Para resolver el problema planteado se necesita determinar el objeto y sus propiedades, las cuales serían:

Objeto: Pacientes

Propiedades: (Nombre, Edad, Sexo, Saturación de oxígeno, Estudio de Edward, Variación de la frecuencia Cardíaca, Tipo de enfermedad, Probabilidad de los resultados)

Paso 2: Formalización del problema.

- Formalización de los objetivos: el objetivo es que el sistema debe tomar los datos de un grupo de pacientes y ser capaz de determinar si otro paciente tiene o no cierta enfermedad.
- Objeto de Estudio: Paciente (P)
- Determinación de los objetos matemáticos, variables, clases de objetos:

Tabla 1. Determinación de las variables y tipo.

Variables	Tipo
Nombre (nombre_p)	Cadena de caracteres
Edad (edad_p)	Numeral
Sexo (sexo_p)	Numeral
Saturación de oxígeno (so_p)	Numeral
Variación de la frecuencia Cardíaca (frecuencia_p)	Numeral
Estudio de Edward (estudio_p)	Booleano
Tipo de enfermedad (enfermedad_p)	Cadena de caracteres
Probabilidad de los resultados (probabilidad_p)	Booleano

Paso 3: Selección de la forma de solución del problema.

Para el desarrollo de la investigación se realizó un análisis de qué técnica de Inteligencia Artificial se podría usar para darle solución al problema planteado, teniendo en cuenta que ya se había realizado un análisis con una técnica previamente con buenos resultados y al no contarse con casos, ni tener reglas bien definidas, no se pudo aplicar nuevamente esta técnica ya implementada, por lo que fue necesario realizar un análisis de otras técnicas y definir cuál utilizar. Algunas de ellas fueron:

- **Minería de datos.** Consiste en la extracción no trivial de información, que reside de manera implícita en los datos. Dicha información, previamente desconocida, podrá resultar útil para algún proceso. La minería de datos prepara, sondea y explora los datos para sacar la información oculta en ellos.



- **Redes neuronales.** Es uno de los instrumentos de uso frecuente para detectar categorías comunes en los datos. Estas deben ser entrenadas para que den solución a los problemas. Esta enseñanza se realiza repitiendo sistemáticamente entradas clásicas, con sus respectivas salidas o respuestas.
- **Reconocimiento de patrones.** Es la ciencia de carácter multidisciplinario que se ocupa de los procesos sobre ingeniería, computación y matemáticas relacionados con objetos físicos y/o abstractos, con el propósito de extraer mediante dispositivos computacionales y/o el hombre la información que permita establecer propiedades y/o vínculos entre conjuntos de dichos objetos.

Al realizar dicho análisis se concluye que de las técnicas antes descritas la que se va a utilizar para dar solución al problema es reconocimiento de patrones, con un enfoque lógico combinatorio. Este enfoque se basa en la idea de que la modelación del problema debe ser lo más cercana posible a la realidad del mismo, sin hacer suposiciones que no estén fundamentadas. El objetivo en este enfoque es modelar problemas donde los patrones puedan estar formados por cualquier combinación de características tanto cualitativas como cuantitativas.

El tipo de problemas que vamos a resolver es de clasificación supervisada que consiste en clasificar nuevos objetos basándose en la información de una muestra ya clasificada. Y se utilizara el enfoque lógico combinatorio, pues son problemas con datos mezclados, usando similitudes acumuladas o buscando patrones representativos.

- **Datos de entrada:** Matriz inicial / MI (1)
- **Datos de salida:** Matriz de Entrenamiento / ME (2)
- **P1:** Construir la Matriz de Semejanza³ utilizando una función de semejanza. Ecuación (1):

$$\beta(O_i, O_j) = \sum_{k=1}^n \delta_k(O_i, O_j) \quad (1)$$

- **P2:** Calculo del umbral de semejanza. Ecuación (2):

$$\beta_0 = \frac{2}{m(m-1)} \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=i+1}^m \beta(O_i, O_j) \quad (2)$$

Donde:

m: número de objetos;

i: recorre las filas

j: recorre las columnas.

En la función de similitud por variables booleanas se propone la ecuación (3):



$$\delta_j = \begin{cases} 1 & \text{si } x_j(O_i) = x_j(O_c) \\ 0 & \text{e. o. c} \end{cases} \quad (3)$$

Donde:

El sistema colocará 1 en el caso de que ambos rasgos tengan igual valor, asignará valores entre 0 y 1 según los valores definidos y colocará 0 en otro caso que no se encuentre definido en las reglas anteriores. Mientras que para variables numéricas se puede utilizar la ecuación (4):

$$\delta_j = \begin{cases} 1 & \text{si } |x_j(O_i) - x_j(O_c)| < \varepsilon \\ 0 & \text{e. o. c} \end{cases} \quad (4)$$

Donde:

ε : es un umbral de semejanza.

El agrupamiento, como técnica dentro del Reconocimiento de Patrones, se encarga de organizar una colección de objetos en clases o grupos, de forma tal que los objetos pertenecientes a un mismo grupo sean lo suficientemente similares como para poder inferir que son del mismo tipo y los objetos pertenecientes a grupos distintos sean lo suficientemente diferentes como para poder afirmar que son de tipos diferentes.

Paso 4: Solución del problema matemático.

Se realizó un encuentro con los médicos de la especialidad, para un correcto análisis de los resultados y para su validación, teniendo en cuenta algunos criterios importantes:

En los resultados obtenidos en la monitorización de la pulsioximetría, demostró que los pacientes con síndrome de apnea su saturación de oxígeno en sangre era diferentes a los pacientes sanos. Además, la frecuencia cardiaca obtenida por los pacientes diagnosticados fue más elevada que los pacientes sin padecimiento.

Tabla 2. Representación de las propiedades con sus datos de los pacientes diagnosticados.

Nombre	Edad	Sexo	Saturación de oxígeno [70-100]%	Variación de la frecuencia cardiaca (lpm)	Estudio de Edward	Tipo de Enfermedad	Probabilidad de los resultados
A	50	M	73	72	SI	Hipertensión	Alto
B	45	M	100	57	NO	Sano	Bajo
.
E	55	F	86	76	SI	EPOC	Alto



Paso 5: Análisis e interpretación de los resultados, respecto al problema.

El resultado de este estudio, ha sido el desarrollo de procedimientos adecuados para obtener probabilidades de diagnóstico de Síndrome de Apnea, a partir de pruebas de monitoreo en el hogar con servicio de pulsioximetría. Para ello, se ha tratado de incorporar técnicas inteligentes al análisis de estas pruebas, obteniendo resultados más acertados. Los médicos utilizan los parámetros variación de la frecuencia cardiaca, saturación de oxígeno, estudio de Edward, tipo de enfermedad que padece el paciente, unido a la clínica, ayudándoles a plantear con mayor seguridad el diagnóstico positivo o negativo del síndrome de apnea de sueño. Estos procedimientos, se realizan desde hace 12 años, con un total de 232 estudios hasta el momento, tienen diferentes indicaciones como: las roncopatías de todo tipo, hipersomnias diurnas, disnea de causa cardiovascular o respiratoria, estudio de la saturación de O₂ durante el sueño en la enfermedad pulmonar obstructiva crónica, en la insuficiencia cardiaca, en la obesidad severa, etc. Su alta correlación con la clínica en los resultados es de gran ayuda desde el punto de vista clínico y fisiopatológico. Una herramienta automatizada le ayuda al médico obtener un diagnóstico más certero sobre esta enfermedad.

Discusión

Realizando una monitorización de los pacientes y orientándolo hacia la ayuda en la decisión del diagnóstico clínico, se han estudiado muestras que permite evaluar un conjunto de señales fisiológicas para obtener un diagnóstico del Síndrome de Apneas del Sueño, particularizado para el paciente en estudio. Basándose en observaciones de comportamiento, se puede plantear que la incidencia de las apneas del sueño en algunas familias sugiere una anomalía genética (Gao et al., 2020). Las apneas del sueño aparecen en todos los grupos de edades y en ambos sexos, aunque parece que predomina en los hombres. Las personas con una mayor probabilidad de sufrir o desarrollar apneas del sueño, son aquellas que roncan y son obesas, o tienen la presión sanguínea elevada, o presentan alguna anomalía física en la nariz, garganta o cualquier otra parte de las vías aéreas superiores. La ingestión de alcohol y de somníferos incrementa la frecuencia y duración de las pausas respiratorias durante el sueño en individuos con o sin apneas del sueño (Kaur et al., 2020).

De forma general se puede plantear que el Síndrome de Apneas del Sueño es un trastorno respiratorio que se caracteriza porque las personas afectadas presentan paradas respiratorias de duración variable mientras duermen. Estos pacientes no suelen ser conscientes de tales interrupciones de la respiración que, la mayor parte de las veces, no llegan a despertar al enfermo (Eguía & Cascante, 2007).

Para la obtención de mejores resultados de este estudio se propuso el enfoque lógico combinatorio ya que puede ser aplicado para resolver diferentes tipos de problemas en disímiles áreas. El objetivo de los algoritmos de reconocimiento



de patrones es proporcionar una respuesta razonable para todos los datos posibles y clasificar los datos de entrada en objetos o clases en función de determinadas características. Se realiza una coincidencia "más probable" entre varias muestras de datos y sus características clave se comparan y reconocen.

Conclusiones

Se identificó el Reconocimiento de Patrones, entre las técnicas de Inteligencia Artificial, como la más idónea para la solución del problema planteado. Se definieron un conjunto de pasos para el desarrollo de la solución, que hicieron más fácil la obtención de los resultados obtenidos. Debido a que la información de los pacientes que padecen esta enfermedad se encuentra de forma manual, se complejiza la búsqueda, haciendo el trabajo del médico engorroso y con el uso de la solución obtenida se le facilita al médico para apoyar la toma de decisiones en el diagnóstico del mismo.

Conflictos de intereses

Los autores declaran que no poseen conflicto de intereses.

Contribución de los autores

1. Conceptualización: Liusnet Batista Reyes, Jenny Escalona Suárez, Omar Mar Cornelio.
2. Curación de datos: Liusnet Batista Reyes, Jenny Escalona Suárez.
3. Análisis formal: Liusnet Batista Reyes, Jenny Escalona Suárez.
4. Investigación: Liusnet Batista Reyes, Jenny Escalona Suárez.
5. Metodología: Liusnet Batista Reyes, Jenny Escalona Suárez.
6. Administración del proyecto: Liusnet Batista Reyes, Jenny Escalona Suárez.
7. Software: Liusnet Batista Reyes, Jenny Escalona Suárez.
8. Supervisión: Liusnet Batista Reyes.
9. Validación: Jenny Escalona Suárez.
10. Visualización: Liusnet Batista Reyes.
11. Redacción – borrador original: Liusnet Batista Reyes, Jenny Escalona Suárez, Omar Mar Cornelio.
12. Redacción – revisión y edición: Liusnet Batista Reyes, Jenny Escalona Suárez, Omar Mar Cornelio.



Financiamiento

La investigación no requirió financiamiento externo.

Referencias

- Ahmed, I., Jeon, G., & Piccialli, F. (2022). From artificial intelligence to explainable artificial intelligence in industry 4.0: a survey on what, how, and where. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 18(8), 5031-5042. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9695219/>
- Al-Rakhami, M. S., Gumaei, A., Altaf, M., Hassan, M. M., Alkhamees, B. F., Muhammad, K., & Fortino, G. (2021). FallDeF5: A Fall Detection Framework Using 5G-Based Deep Gated Recurrent Unit Networks. *IEEE Access*, 9, 94299-94308. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9462896/>
- Avila-Tomás, J. F., Mayer-Pujadas, M. A., & Quesada-Varela, V. J. (2020). La inteligencia artificial y sus aplicaciones en medicina I: introducción antecedentes a la IA y robótica. *Atención Primaria*, 52(10), 778-784. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0212656720301451>
- Baldominos, A., Puello, A., Oğul, H., Aşuroğlu, T., & Colomo-Palacios, R. (2020). Predicting infections using computational intelligence—a systematic review. *IEEE Access*, 8, 31083-31102. <https://ieeexplore.ieee.org/iel7/6287639/8948470/08990083.pdf>
- Curioso, W. H., & Brunette, M. J. (2020). Artificial intelligence and innovation to optimize the tuberculosis diagnostic process. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 37(3), 554-558. <https://europepmc.org/article/med/33295561>
- Eguía, V., & Cascante, J. A. (2007). Síndrome de apnea-hipopnea del sueño: Concepto, diagnóstico y tratamiento médico. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*,
- Gao, F., Deng, K., & Hu, C. (2020). Construction of TCM health management model for patients with convalescence of coronavirus disease based on artificial intelligence. 2020 International Conference on Big Data and Informatization Education (ICBDIE),



- Kaur, S., Singla, J., Nkenyereye, L., Jha, S., Prashar, D., Joshi, G. P., El-Sappagh, S., Islam, M. S., & Islam, S. R. (2020). Medical diagnostic systems using artificial intelligence (ai) algorithms: Principles and perspectives. *IEEE Access*, 8, 228049-228069. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9279211/>
- Muñoz, L., Villarreal, V., Nielsen, M., Caballero, Y., Sittón-Candanedo, I., & Corchado, J. M. (2021). Artificial intelligence models and techniques applied to COVID-19: A review. *Electronics*, 10(23), 2901. <https://www.mdpi.com/2079-9292/10/23/2901>
- Qayyum, A., Ahmad, I., Mumtaz, W., Alassafi, M. O., Alghamdi, R., & Mazher, M. (2020). Automatic segmentation using a hybrid dense network integrated with an 3D-atrous spatial pyramid pooling module for computed tomography (CT) imaging. *IEEE Access*, 8, 169794-169803. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9197680/>
- Ye, M., Zhang, H., & Li, L. (2019). Research on data mining application of orthopedic rehabilitation information for smart medical. *IEEE Access*, 7, 177137-177147. <https://ieeexplore.ieee.org/iel7/6287639/8600701/08922697.pdf>

