



## Mapa cognitivo neutrosófico para el apoyo al diagnóstico de enfermedades renales

Daylin Hernández Prieto<sup>1</sup>, Maydelis Crusá Lorenzo<sup>2</sup>, Alexande Rodríguez<sup>3</sup>, Neilys González Benítez<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Especialista de primer grado en Nefrología, Profesor Instructor, Hospital Clínico Quirúrgico Docente Abel Santa María Cuadrado, Pinar del Río, 20100, Cuba. E-mail: [nelson81@nauta.cu](mailto:nelson81@nauta.cu)

<sup>2</sup> Especialista en Medicina General Integral, Especialista en Nefrología, profesor asistente, Hospital Clínico Quirúrgico Docente Abel Santa María Cuadrado, Pinar del Río, 20100, Cuba E-mail: [anapaula@infomed.sld.cu](mailto:anapaula@infomed.sld.cu)

<sup>3</sup> Especialista en Medicina General Integral, Especialista en Nefrología, profesor instructor, Hospital Clínico Quirúrgico Docente Abel Santa María Cuadrado, Pinar del Río, 20100, Cuba E-mail: [nelsonale@infomed.sld.cu](mailto:nelsonale@infomed.sld.cu)

<sup>4</sup> Dra. in Technical Sciences, Center Meteorological of the Pinar del Río, Post Code: 20100, Cuba. E-mail: [neilysgonzalezbenitez@gmail.com](mailto:neilysgonzalezbenitez@gmail.com)

**Resumen.** El diagnóstico de enfermedades es un proceso complejo, ya que, a menudo, los datos médicos y la información se encuentra en diferentes formatos, lo que conlleva a que la misma posea incertidumbre, la cual requiere ser tratada con técnicas informática – matemática, para obtener una mayor interpretabilidad de la misma, en aras de disminuir la incertidumbre y asistir con mayor certeza al apoyo del diagnóstico de enfermedades. El objetivo del presente trabajo es desarrollar un mapa cognitivo neutrosófico para el apoyo al diagnóstico de enfermedades renales, que permita disminuir la incertidumbre, obtener una mayor interpretabilidad de los datos, para asistir con mayor certeza al apoyo del diagnóstico de enfermedades haciendo uso de la lógica neutrosófica y en particular de los mapas cognitivos neutrosóficos.

**Palabras Claves:** Mapas cognitivos neutrosófico, diagnóstico de enfermedades, incertidumbre, certeza, enfermedades renales

### 1 Introducción

La necesidad de tomar decisiones en el diagnóstico de enfermedades renales es un proceso complejo, que se encuentra en continua transformación, el cual puede llegar a no poseer la certeza adecuada, por la imposibilidad de asimilar toda la información requerida para adoptar la decisión médica más adecuada. El proceso de toma de decisiones médicas es complejo, ya que, a menudo, los datos médicos y la información son imprecisos, contradictorios, ausentes o no fáciles de interpretar. Por lo tanto, el médico tiene que tener en cuenta muchos datos e información de fuentes interdisciplinarias (datos de los pacientes, el examen de los médicos, la evaluación física, pruebas de laboratorio), para alcanzar la solución más adecuada [1]. De ahí que seleccionar la representación correcta de la información relacionada con el paciente es un factor clave del éxito.

La lógica neutrosófica es una generalización de la lógica difusa basada en el concepto de neutrosofía [2,3]. Una matriz neutrosófica, por su parte, es una matriz donde los elementos  $a = (a_{ij})$  han sido reemplazados por elementos en  $\langle RUI \rangle$ , donde  $\langle RUI \rangle$  es un anillo neutrosófico entero [4]. Un grafo neutrosófico es un grafo en el cual al menos un arco es un arco neutrosófico [5]. Si la indeterminación es introducida en un mapa cognitivo [6] entonces es llamado un mapa cognitivo neutrosófico, el cual resulta especialmente útil en la representación del conocimiento causal al permitir la representación y análisis de la indeterminación [7, 8].

Actualmente los Mapas Cognitivos Neutrosóficos son un campo abierto de investigación, desarrollo y aplicación en la toma de decisiones. El análisis estático en un mapa cognitivo neutrosófico se centra en la selección de los conceptos que juegan un papel importante en el sistema modelado [9]. Se realiza a partir de la matriz de adyacencia tomando en consideración el valor absoluto de los pesos [10].

Para nuestro caso de estudio se realiza un análisis de las enfermedades que ocasionan daño estructural y/o funcional del riñón, evidenciado por:

- a) Marcadores de daño renal en orina (proteinuria, microalbuminuria, hematuria),
- b) Alteraciones patológicas en imágenes histológicas
- c) Disminución del filtrado glomerular (FG)  $<60$  ml/min en ausencia de otros marcadores de daño renal, independientemente de la causa que lo originó, por un período de 3 o más meses [11].



Es de destacar que la visión epidemiológica de las enfermedades renales ha cambiado notablemente. En la actualidad estas enfermedades han afectado a un porcentaje significativo de la población, debido fundamentalmente a que sus causas principales residen en trastornos de alta prevalencia como el envejecimiento, la hipertensión arterial, la diabetes mellitus y las enfermedades vasculares [12,13].

Estas enfermedades son de difícil diagnóstico a priori, están relacionadas con diferentes conductas de otras enfermedades como las antes mencionadas, poseen elementos subjetivos, sobre el diagnóstico de las mismas, pueden ser mortales o provocar un debilitamiento crónico del paciente, no se manifiestan igual en cada individuo por lo que se les atribuye numerosos signos clínicos, requieren esfuerzos combinados para tratarlas. Por lo cual se hace complejo un diagnóstico preciso solamente con la experiencia de los médicos especialistas en esta rama [14].

En el mundo existen aplicaciones que recogen el conocimiento de numerosos expertos en el área de enfermedades renales, las cuales están almacenadas en disímiles Bases de Datos, las cuales no siempre están disponibles para hacer uso de ellas. Por otra parte. Debido a que las enfermedades renales tienen características especiales y factores incidentes, desde el punto de vista genético, se hace imprescindible la valoración integral del paciente y la familia, en el área de salud del paciente para analizar causas, incidencia y prevalencia de la enfermedad de acuerdo a la relación paciente – familia.

Partiendo de la problemática planteada se desarrolla un mapa cognitivo neutrosófico, para el apoyo al diagnóstico de enfermedades renales, que permita disminuir la incertidumbre, obtener una mayor interpretabilidad de los datos, para asistir con mayor certeza al apoyo del diagnóstico de enfermedades haciendo uso de la lógica neutrosófica y en particular de los mapas cognitivos neutrosóficos.

Los mapas cognitivos neutrosóficos en el presente estudio, facilitan una mayor interpretabilidad de los datos, relacionados con las enfermedades renales, ellos contribuyen a la correlación entre los factores de mayor incidencia y los síntomas y signos que presentan los pacientes. La neutrosofía, que fue propuesta por [15] para el tratamiento de las neutralidades ha formado las bases para hacer uso una serie de teorías matemáticas que generalizan las teorías clásicas y difusas tales como los conjuntos neutrosóficos y la lógica neutrosófica, según refiere [16] y es por ello que su uso en diferentes técnicas es utilizado con frecuencia

La definición original de valor de verdad en la lógica neutrosófica es mostrado según refiere [17] como  $N = \{(T, I, F) : T, I, F \subseteq [0, 1]\}$   $n$ , lo que representa una valuación neutrosófica, considerada como un mapeo de un grupo de fórmulas proposicionales a  $N$ , y por cada sentencia  $p$  para obtener el resultado a través de la ecuación 1.

$$v(p) = (T, I, F) \quad (1)$$

Un grafo neutrosófico, es un grafo en el cual al menos un arco es un arco neutrosófico [18]. En una matriz de adyacencia neutrosófica los arcos cuando son iguales a 0, significan que no poseen conexión entre los nodos, cuando son iguales a 1, significa que posee conexión entre nodos, y cuando son iguales a I, significa que la conexión es indeterminada (desconocida si es o si no). Tales nociones no se utilizan en la teoría difusa.

## 2 Materiales y métodos

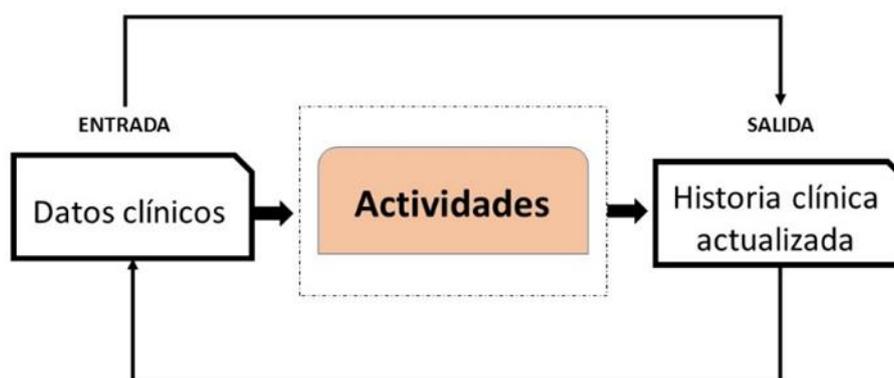
Se realizó una investigación aplicada basada en un estudio descriptivo, prospectivo, longitudinal en el servicio de hemodiálisis del Hospital General Docente Abel Santamaría Cuadrado de la provincia de Pinar del Río, Cuba; en el período comprendido de 2014 - 2018. El universo estuvo compuesto por 108 pacientes que padecen de enfermedad renal y la muestra estuvo constituida por los 108 pacientes, coincidiendo con el universo.

Basado en lo antes referido se desarrolla un marco de trabajo que facilita el análisis estático en un mapa cognitivo neutrosófico, el cual se centra en la selección de los datos analíticos de los pacientes con afecciones renales. Se consideró en el estudio los valores de referencia tomados como normales de calcio (2.10-2.37 mmol/l) y de fósforo (1.13-1.78 mmol/l). Con estos valores de calcio y fósforo se determinó el producto fósforo cálcico de cada paciente, además se tuvo en cuenta datos demográficos como sexo, edad, tiempo en hemodiálisis y etiología de la enfermedad renal.

El marco de trabajo propuesto, se muestra en la figura 1, el mismo consta de tres componentes fundamentales, que son:



1. Entrada, que se corresponde con los datos clínicos de los pacientes, cuyos datos son recogidos en su historia clínica.
2. Actividades, se corresponde con un grupo de actividades a desarrollar por los especialistas en nefrología, con el fin de obtener diagnósticos médicos certeros desde los criterios que se obtiene en este componente.
3. Salida, se corresponde con la información actualizada de las historias clínicas de los pacientes.



**Figura 1.** Marco de trabajo propuesto para el apoyo al diagnóstico de enfermedades renales, basado en mapas cognitivos neutrosófico. **Fuente:** Elaboración propia.

El marco de trabajo propuesto en la figura 1, guía el proceso para el apoyo al diagnóstico de enfermedades renales, basado en mapas cognitivos neutrosófico. La estructura integrada de los factores que inciden en el desarrollo de enfermedades renales son modelados a través del uso de un mapa cognitivo neutrosófico, el cual contribuye a la obtención del análisis cuantitativo de las características que se corresponden con los factores de análisis.

Los mapas cognoscitivos neutrosóficos son una generalización de los mapas cognitivos difusos. Los mapas cognitivos difusos son introducidos por Axelrod [17] donde los nodos representan conceptos o variables en un área de estudio determinada y los arcos indican influencias positivas o negativas, las que son consideradas relaciones causales. Ellos han sido aplicados en diversas áreas, especialmente en el apoyo a la toma de decisiones y en el análisis de sistemas complejo según refieren [19].

### 3 Resultados

Se obtiene como resultado un predominio del sexo masculino sobre el femenino con un total de 70 (64.8%) y 38 (35.1%) respectivamente y se encontró además un mayor número de pacientes con afecciones renales, en las edades comprendidas entre 18 y 49 años.

Basado en el análisis de las causas que ocasionan daño estructural y/o funcional del riñón, se detectan los principales factores que con frecuencia inciden en las enfermedades renales, destacándose:

- Hipertensión arterial (HTA)
- La Diabetes Mellitus (DM)
- La glomerulopatías (GL)

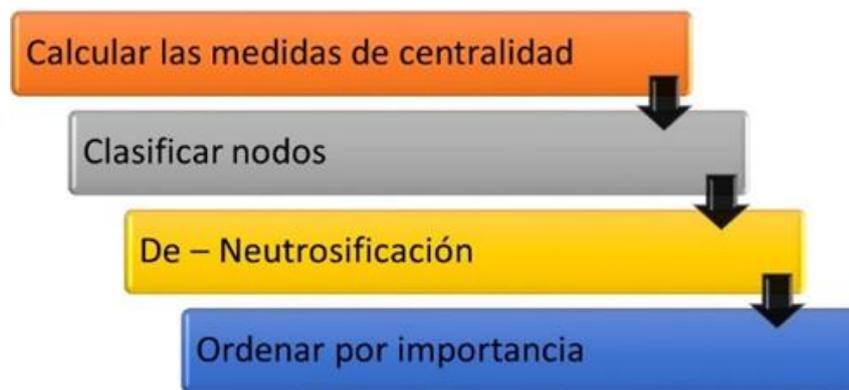
Por otra parte, se destaca el predominio de pacientes del sexo masculino con producto de fósforo cálcico normal y sin calcificaciones vasculares.

Los resultados obtenidos se presentan en términos lingüísticos, para obtener una mayor interpretabilidad de ellos es necesario su tratamiento, para cuantificar los mismos. Por tal motivo, en el presente estudio, se utilizan



los mapas cognoscitivos neutrosóficos, como herramienta para el modelado de las características que se relacionan con los factores que inciden en el desarrollo de enfermedades renales. El análisis estático en los mapas cognitivos neutrosóficos se centra en la selección de los conceptos que juegan un papel más importante en el sistema modelado [9]. Esta selección se realiza a partir de la matriz de adyacencia tomando en consideración el valor absoluto de los pesos [10].

Un análisis estático en mapas cognitivos neutrosóficos según [20] da como resultado inicialmente número neutrosóficos de la forma  $(a+bI)$ , donde  $I$  = indeterminación [21]. El mismo requiere de un proceso de-Neutrosificación tal como fue propuesto por Salmerón y Smarandache [22].  $I \in [0,1]$  es reemplazado por sus valores máximos y mínimos. Esencialmente para realizar un análisis estático en un mapa cognitivo neutrosófico se debe seguir los pasos que se muestran en la figura 2.



**Figura 2.** Pasos a seguir para el análisis estático en un mapa cognitivo neutrosófico. **Fuente:** [16]

Las medidas que se describen a continuación se emplean en el modelo propuesto, las mismas se basan en los valores absolutos de la matriz de adyacencia [23]:

- Outdegree ( $vi$ ) es la suma de las filas en la matriz de adyacencia neutrosófica. Refleja la fortaleza de las relaciones ( $c_{ij}$ ) saliente de la variable.

$$od(vi) = \sum_{i=1}^n c_{ij} \quad (2)$$

- Indegree ( $vi$ ) es la suma de las columnas Refleja la Fortaleza de las relaciones ( $c_{ij}$ ) saliente de la variable.

$$id(vi) = \sum_{i=1}^n c_{ij} \quad (3)$$

- Centralidad total (total degree ( $vi$ )), es la suma del indegree y el outdegree de la variable.

$$td(vi) = od(vi) + id(vi) \quad (4)$$

Para la evaluación de los factores de mayor peso en los pacientes con afecciones renales, con un mapa cognitivo neutrosófico, se obtiene una vez construido el mapa cognitivo neutrosófico y de la experiencia de los nefrólogos. La matriz de adyacencia neutrosófica generada se muestra en la tabla 1.

	HTA	DM	GL
HTA	0	0	-0.3
DM	0	0	0
GL	0	1	0

**Tabla 1.** Matriz de adyacencia neutrosófica. **Fuente:** Elaboración propia.

Las medidas de centralidad son calculadas a través de las medidas Outdegree e Indegree, resultados que se muestran en la tabla 2.

Nodo	Id	Od
HTA	0	0
DM	I	0
GL	0.3	I

**Tabla 2.** Medidas de centralidad, Outdegree, Indegree. **Fuente:** Elaboración propia.

Calculadas las medidas de centralidad, se clasifican los nodos del mapa cognitivo neutrosófico, resultado que se muestra en la tabla 3.

	Nodo transmisor	Nodo receptor	Ordinario
HTA			X
DM	X		
GL	X		

**Tabla 3.** Clasificación de los nodos. **Fuente:** Elaboración propia.

De acuerdo con los resultados mostrados en la tabla 3, los nodos son clasificados como DM y GL receptores y HTA nodo ordinario.

La centralidad total (total degree ( $vi$ )), es calculada a través de la ecuación 4, los resultados para nuestro caso de estudio se muestran en la tabla 4.

	Td
HTA	0
DM	I
GL	0.3+I

**Tabla 4.** Centralidad total. **Fuente:** Elaboración propia.

El próximo paso es el proceso de des Neutrosificación como refieren Salmeron y Smarandache [24].  $I \in [0,1]$  es reemplazado por valores máximos y mínimos. En la tabla 5 se muestran los valores de los intervalos.

	Td
HTA	0
DM	[0, 1]
GL	[0.3,1.3]

**Tabla 5.** De – neutrosificación total de los valores de centralidad total. **Fuente:** Elaboración propia.



Finalmente se trabaja con la media de los valores extremos, la cual se calcula a través de la ecuación 5, la cual es útil para obtener un único valor según refiere [25]. Valor que contribuye a la identificación de los factores de mayor incidencia en los pacientes con afecciones renales.

$$\lambda([a_1, a_2]) = \frac{a_1 + a_2}{2} \quad (5)$$

Entonces;

$$A > B \Leftrightarrow \frac{a_1 + a_2}{2} > \frac{b_1 + b_2}{2} \quad (6)$$

Basado en la ecuación 5, se obtiene la mediana de los valores extremos para analizar los factores de mayor incidencia con respecto a las enfermedades renales. Los resultados se muestran en la tabla 6.

	Td
HTA	0
DM	0.5
GL	0.8

**Tabla 6.** Mediana de los valores extremos. **Fuente:** Elaboración propia.

A partir de estos valores numéricos se obtiene el siguiente orden:

***GL > DM > HTA***

Los resultados obtenidos manifiestan que los factores que mayor incidencia poseen en los pacientes aquejados con enfermedades renales son los que presentan glomerulopatías (GL), posteriormente los que padecen de Diabetes Mellitus (DM) y luego los hipertensos (HTA), resultados acordes a las observaciones y síntomas de los pacientes que presentan daños estructurales y/o funcionales del riñón que son evidenciados por marcadores de daño renal en orina (proteinuria, microalbuminuria, hematuria) y alteraciones patológicas en imágenes histológicas y la disminución del filtrado glomerular (FG) <60 ml/min en ausencia de otros marcadores de daño renal.

## Conclusiones

En el presente estudio se observó un predominio del sexo masculino sobre el femenino con un total de 70 (64.8%) y 38 (35.1%) respectivamente y se encontró además un mayor número de pacientes en las edades comprendidas entre 18 y 49 años, se destaca que los pacientes que con frecuencia son aquejados por enfermedades renales son los que padecen de glomerulopatías (GL), posteriormente los que padecen de Diabetes Mellitus (DM) y luego los hipertensos (HTA). Estos resultados son obtenidos a través de un mapa cognitivo neutrosófico que facilitó la evaluación de los signos clínicos presentados en los pacientes, mayor organización de la información a recoger, mejorar la rapidez de los diagnósticos y la conducta a seguir, pudiendo recibir la atención en centros de salud distantes sin necesidad de ser trasladados, lo cual conllevaría a una reducción en los costos por concepto de transporte, gastos de viaje, combustible y del tiempo en que recibe los beneficios de la atención sanitaria.



## Referencias

- [1]. Chrysafiadi K., Virvou M. *Fuzzy Logic for Adaptive Instruction in an E-learning Environment for Computer Programming*. Fuzzy Systems, IEEE Transactions [internet] on 2015 feb [cited 2017 oct 17]; 23(1): [aprox.13.p.]. Available from: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6763091/>
- [2]. Smarandache, F., A unifying field in logics: neutrosophic logic. Neutrosophy, neutrosophic set, neutrosophic probability and statistics. 2005: American Research Press.
- [3]. Vera, M., et al., Las habilidades del marketing como determinantes que sustentaran la competitividad de la Industria del arroz en el cantón Yaguachi. Aplicación de los números SVN a la priorización de estrategias. Neutrosophic Sets & Systems, 2016. 13.
- [4]. Kandasamy, W.V. and F. Smarandache, *Fuzzy Neutrosophic Models for Social Scientists*. 2013: Education Publisher Inc.
- [5]. Kandasamy, W.B.V. and F. Smarandache, *Fuzzy cognitive maps and neutrosophic cognitive maps*. 2003: American Research Press.
- [6]. Leyva-Vázquez, M., et al. The Extended Hierarchical Linguistic Model in Fuzzy Cognitive Maps. in *Technologies and Innovation: Second International Conference, CITI 2016, Guayaquil, Ecuador, November 23-25, 2016, Proceedings 2*. 2016. Springer.
- [7]. Smarandache, F., A unifying field in logics: neutrosophic logic. Neutrosophy, neutrosophic set, neutrosophic probability and statistics. 2005: American Research Press.
- [8]. Leyva-Vázquez, M., et al., Técnicas para la representación del conocimiento causal: un estudio de caso en Informática Médica. *Revista Cubana de información en ciencias de la salud*, 2013. 24(1): p. 73-83.
- [9]. Stach, W., *Learning and aggregation of fuzzy cognitive maps-An evolutionary approach*. 2011, University of Alberta.
- [10]. Bello Lara, R., et al., Modelo para el análisis estático en grafos difusos basado en indicadores compuestos de centralidad. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 2015. 9(2): p. 52-65.
- [11]. Programa Nacional de Enfermedades No Transmisibles. Comisión Nacional de Prevención y Control de la Enfermedad Renal Crónica, 2012. La Habana, Cuba.
- [12]. Soriano Cabrera. S., Definición y clasificación de la Enfermedad Renal Crónica. Prevalencia. Claves para el diagnóstico precoz. Factores de riesgo de la Enfermedad Renal Crónica, 2004. *Nefrología*. Vol. 2. Suplemento 6 Capitulo 2.
- [13]. National kidney Foundation. K/DOQI, clinical practice guidelines for chronic kidney disease: evaluation, classification and stratification. *Am J Kidney Dis*, 2002; 39(Suppl1):51-266.
- [14]. Caramelo. C, Goicoechea. M, Albalate. M, et-al. Cambios estructurales y calcificaciones vasculares en la uremia, 2001. *Nefrología*. Vol. XXI. Número 6. 2001.
- [15]. Leyva, M., Smarandache, F., *Neutrosología: Nuevos avances en el tratamiento de la incertidumbre*, 2018. Pons, Bruselas.
- [16]. Smarandache, F., A Unifying Field in Logics: Neutrosophic Logic. Neutrosophy, Neutrosophic Set, Neutrosophic Probability: Neutrosophic Logic. Neutrosophy, Neutrosophic Set, Neutrosophic Probability, 2005. Infinite Study.
- [17]. Wang, H., et al., *Interval Neutrosophic Sets and Logic: Theory and Applications in Computing: Theory and Applications in Computing*, 2005.Hexis.
- [18]. Belnap, N.D., A useful four-valued logic, in *Modern uses of multiple valued logic*. 1977, Springer. p. 5-37.
- [19]. Wang, H., et al., Single valued neutrosophic sets. *Review of the Air Force Academy*, 2010(1): p. 10.
- [20]. Glykas, M., *Fuzzy Cognitive Maps: Advances in Theory, Methodologies, Tools and Applications*, 2010. Springer Verlag.
- [21]. Puente Agueda, C., Causality in Science. *Pensamiento Matemático*, 2011(1): p. 12.
- [22]. Zadeh, L.A., Fuzzy sets. *Information and Control*, 1965.8(3): p. 338-353.
- [23]. Stach, W., L. Kurgan, and W. Pedrycz, *Expert-Based and Computational Methods for Developing Fuzzy Cognitive Maps*, in *Fuzzy Cognitive Maps*, M. Glykas, Editor. 2010, Springer: Berlin. p. 23-41.
- [24]. Sharif, A.M. and Z. Irani, Applying a fuzzy-morphological approach to complexity within management decisionmaking. 2006, Emerald Group Publishing Limited. p.930-961.
- [25]. Merigó, J., New extensions to the OWA operators and its application in decision making, in *Department of Business Administration*, 2008. University of Barcelona.