



Modelo neutrosófico para apoyar la toma de decisiones de los tratamientos médicos con aguas termales

Model neutrosophics decisions of the medical treatments with hot springs

Autores:

¹Neilys González Benítez, ²Aliosky Martínez Hernández, ³Maikel Y. Leyva Vásquez

¹Doctora en Ciencias Técnicas – Especialidad - informática, Especialista del Centro Meteorológico Provincial de Pinar del Río, Código Postal: 20100, Cuba. Email: neilysgonzalezbenitez@gmail.com, neilys71@nauta.cu

²Ingeniero informático, Profesor de la Universidad de Pinar de Río, Hermanos Saiz Montes de Oca. Departamento de Informática, Código Postal: 20100, Cuba. Email: aliosky@upr.edu.cu, martnezh@nauta.cu

³Doctor en Ciencias Técnicas - Especialidad – Informática, Profesor Investigador de la Universidad Estatal de Guayaquil, Guayas, Código Postal: 090515, Ecuador. Email: mleyvaz@gmail.com

Resumen. Las aguas termales se proceden de capas subterráneas de la tierra que salen del suelo 5°C o más que la temperatura superficial, ellas son ricas en componentes minerales y permiten su utilización en la terapéutica como baños, inhalaciones, irrigaciones y calefacción. Existen enfermedades que tienen una marcada mejoría por baños en aguas termales, apoyar la toma de decisiones a los especialistas de salud para los tratamientos médicos con estas aguas es vital, máximo cuando está presente la incertidumbre de utilizar estas aguas para los tratamientos médicos. Basado en lo antes referido en el presente artículo se propone utilizar la teoría neutrosófica para apoyar la toma de decisiones de los tratamientos médicos con aguas termales.

Palabras Claves: Aguas termales, temperatura, apoyo a la toma de decisiones, incertidumbre, tratamientos médicos.

Abstract. The hot springs are proceeded from subterranean of the country cloaks that bring bad luck of the 5°C earth or more that the superficial temperature, they are rich in component minerals and permit your use in the therapeutics as bathes, inhalations, irrigations and heating. There are illnesses they have a marked improvement for bathes in hot springs, lean takes it of decisions to the specialists of health for the medical treatments with these waters is vital, maximum when is present the uncertainty to use these waters for the medical treatments. Based on it before related at present article proposes use the neutrosophics theory to lean it takes of decisions of the medical treatments with hot springs.

Keywords: Hot springs, temperature, medical decisions, uncertainty, treatments.

7. Introducción

Desde épocas remotas las antiguas civilizaciones utilizaban el baño como medida terapéutica o como instancia para socializar. Hallazgos antiguos de construcciones dedicadas para este fin datan de antes del 2000 A.N.E en la India. Existe también mención de las mismas en diferentes textos griegos, como La Ilíada de Homero. En la Antigua Roma, y Grecia el baño era considerado un ritual. Los primeros registros del uso de agua caliente en las "termas" son de finales del Siglo V A.N.E.

El baño se veía como acontecimiento social, lo que propició la aparición de diferentes tipos de "termas" y entre ellas las "termas terapéuticas" o balnearios de aguas termales, que además poseían un fuerte significado simbólico-sagrado.

Una característica importante de las aguas termales es que se encuentran ionizadas. Existen dos tipos de Iones, los positivos y los negativos. Contrario a su nombre, los positivos no le traen beneficios al cuerpo humano y, por el contrario, son irritantes. En cambio, los iones negativos tienen la capacidad de relajar el cuerpo. Las aguas termales se encuentran cargadas con iones negativos, por lo que su uso en tratamientos médicos es considerado efectivo, en especial si las aguas poseen una fuerte concentración de azufre. [1]

El agua mineraliza y caliente de las termas tiene diferentes efectos en el Cuerpo humano. Algunos autores las dividen en tres, biológica, Física y Química, aunque en realidad todas actúan al mismo tiempo. El baño en aguas termales aumenta la temperatura del cuerpo, matando gérmenes, entre ellos Virus, además aumenta la presión hidrostática del cuerpo, por lo que aumenta la circulación sanguínea y la oxigenación. Este aumento en la temperatura ayuda a disolver y eliminar las toxinas del cuerpo [2]

Al aumentar la oxigenación, el baño en aguas termales hace que mejore la alimentación de los tejidos del cuerpo en general, motivo por el cual aumenta el Metabolismo, estimulando al mismo tiempo las secreciones del tracto digestivo y del Hígado, ayudando así a la digestión.

El baño repetido (especialmente en periodos de 3 a 4 semanas) puede ayudar a normalizar las funciones de las Glándulas endocrinas, así como el funcionamiento en general del Sistema nervioso autonómico del cuerpo. También existe un mejoramiento y estímulo del sistema inmune, relajación mental, producción de endorfinas y regulación de las funciones glandulares. Muchos de estos efectos se deben al consumo del cuerpo de minerales como Dióxido de carbono, Azufre, Calcio y Magnesio.

Otras enfermedades que son beneficiadas con las aguas termales son la psoriasis, la dermatitis y las enfermedades por Hongos. En algunas ocasiones también ayudan en la cura de heridas y de otras lesiones de la piel. En ocasiones esta acción se le atribuye a las sulfobacterias.

En la actualidad existe incertidumbre para aplicar los tratamientos con las aguas termales, lo que dificulta la toma de decisiones de los especialistas de salud para tratar enfermedades como las antes referidas, esta incertidumbre está dada por la inconsistencia de las mediciones relacionadas con las temperaturas de las aguas magmáticas, las cuales son más elevada que la de las aguas telúricas.

Las aguas magmáticas tienen temperaturas mayores a los 50 ° C, mientras que las aguas de origen telúrico poseen temperaturas normales. Por otro lado, gracias a que las aguas telúricas son filtradas, estas poseen menor cantidad de mineralización que las magmáticas. La versatilidad de la información que se registra, de las aguas termales y telúricas, problematiza su uso inmediato para los tratamientos médicos, por lo que ante esta situación existe una incertidumbre marcada.

La incertidumbre en las últimas décadas ha sido tratada con técnicas de en Inteligencia Artificial (IA), aunque han surgido restricciones que limitaban las opciones para su tratamiento y en particular, los argumentos en contra de adoptar un método bayesiano estadístico clásico ya no son válidos. Las redes bayesianas proporcionan métodos viables para construir sistemas de diagnóstico sin utilizar hipótesis burdas e inherentemente, defectuosas sobre la independencia condicional y la modularidad del conocimiento.

En el presente artículo se estudia la lógica difusa y la representación de la incertidumbre para representar sistemas complejos [3], debido a que los modelos causales son herramientas empleados para la ayuda a la toma de decisiones [4, 5].

La causalidad desde un punto de vista computacional, requiere de modelos causales imprecisos que contemplen la incertidumbre [6]. La teoría de los conjuntos difusos o borrosos fue introducida por Zadeh [7] ofreciendo un marco adecuado en el tratamiento de la causalidad imperfecta, haciendo uso de la vaguedad. Para la expresión del grado de causalidad entre conceptos se pueden emplear expresiones lingüísticas como "negativamente fuerte", "positivamente fuerte", "negativamente débil", "positivamente débil", etc. [8, 9]. Los mapas cognitivos difusos [10] es una técnica creada por Kosko como una extensión de los mapas cognitivos utilizando lógica borrosa [11] los cuales son empleados para el razonamiento causal y la representación y análisis de modelos mentales [12]. Daveport [13] plantea la necesidad de que los agentes inteligentes construyan modelos mentales incluso de situaciones ficticias.

Es este campo de la representación de la incertidumbre en donde se utiliza la lógica neutrosófica realizando aportes a la IA. La lógica neutrosófica es una generalización de la lógica difusa basada en el concepto de neutrosofía [14, 15]. Una matriz neutrosófica, por su parte, es una matriz donde los elementos $a = (a_{ij})$ han sido reemplazados por elementos en $\langle R \cup I \rangle$, siendo $\langle R \cup I \rangle$ un anillo neutrosófica entero [16].

Por otra parte, cabe destacar que un grafo neutrosófico, es un grafo en el cual al menos un arco es un arco neutrosófico [17]. En la matriz de adyacencia neutrosófica los arcos significan: 0 = no hay conexión entre nudos, 1 = conexión entre nudos, I = conexión indeterminada (desconocida si es o si no). Tales nociones no se utilizan en la teoría difusa.

Si la indeterminación de casos en términos médicos es introducida por diferentes técnicas de IA que, en vez de utilizar lógica difusa, utilizan lógica neutrosófica, entonces estas técnicas son clasificadas como conjuntos neutrosóficos útiles en la representación del conocimiento causal, ventajosas para apoyar la toma de decisiones.

De acuerdo a lo antes referido se presenta un modelo neutrosófico para apoyar la toma de decisiones de los tratamientos médicos con aguas termales en pacientes que padecen enfermedades reumáticas crónicas, así también para la recuperación funcional de la neuro parálisis central y periférica, para algunas enfermedades metabólicas como la diabetes, la obesidad y la gota, enfermedades relacionadas con problemas gastrointestinales crónicos, enfermedades respiratorias leves, problemas de la circulación, enfermedades crónicas de la piel, enfermedades relacionadas con el estrés y otras de tipo psicosomático, secuelas de trauma y enfermedades ginecológicas crónicas.

8. Materiales y métodos

En el estudio realizado para apoyar la toma de decisiones de los tratamientos médicos con aguas termales participaron especialistas de salud que por su experiencia y conocimientos son considerados expertos en los tratamientos médicos con aguas termales. Dichos especialistas laboran en un proyecto de colaboración conjunta relacionado con la medicina tradicional en Cuba, específicamente en el Balneario de San Diego de los Baños en la provincia de Pinar del Río, representando un 75 % del total de los especialistas que integran el proyecto.

El diagnóstico realizado estuvo dirigido a valorar la efectividad del análisis de la información que se procesa y su incidencia en el apoyo a la toma de decisiones para realizar tratamientos médicos con aguas termales. Se valoró la situación de la recogida de información, en particular de las temperaturas de las aguas, cuando presentan los siguientes estados:

- Aguas frías (menos de 20 °C)

- Aguas hipo termales (20-35 °C)
- Aguas meso termales (35-45 °C)
- Aguas híper termales (45-100 °C)
- Aguas súper termales (100-150 °C)

Estos aspectos fueron analizados aplicando los métodos y técnicas de investigación científica de análisis documental, útil para estudiar la información que se registra sobre la temperatura de las aguas termales en los diferentes horarios establecidos por el Sistema Meteorológico Mundial, para identificar la calidad de la misma y su registro. Un resumen de los principales dificultades y limitaciones detectadas se corresponden con las herramientas que se emplean para el tratamiento de la información son muy rudimentarias, lo que incide en que los especialistas no cuenten con herramientas útiles para el apoyo a la toma de decisiones para el tratamiento de pacientes con padecimiento de enfermedades, como las antes citadas, para tarta dichos pacientes con aguas termales.

La gestión, almacenamiento y análisis de la información (temperaturas) para el tratamiento de enfermedades con aguas termales presenta limitaciones.

Se aplicó entrevista a profundidad a 15 especialistas de salud de una población constituida por 30 especialistas. La selección de la muestra fue intencionada teniendo en cuenta que era necesaria la opinión de especialistas que trabajan directamente con los tratamientos de las aguas termales. Estos 15 especialistas conforman una muestra representativa de cada institución participante en el proyecto. Los principales resultados obtenidos se corresponden con la necesidad de contar con una base de datos de información mejor organizada y más confiable, específicamente de las temperaturas de las aguas termales dado que la calidad del dato es fundamental. Se constató la importancia de incorporar técnicas avanzadas como la teoría neutrosófica para mejorar la toma de decisiones en los sistemas de salud con tratamientos de aguas termales.

Se aplicó, además, encuesta a 20 especialistas de salud de una población constituida por 30 especialistas. La selección de la muestra fue intencionada teniendo en cuenta que era necesaria la opinión de especialistas en el tratamiento de enfermedades con aguas termales y que también tuvieran conocimientos sobre el comportamiento de las temperaturas y el procesamiento de dicha información. Estos 20 especialistas constituyen una muestra representativa de los participantes del proyecto de medicina

natural y tradicional del Balneario de Sam Diego de los Baños en Pinar del Río. Estas encuestas posibilitaron profundizar en el cumplimiento de las políticas de gestión de información establecidas por el Instituto de Meteorología en Cuba, implementado en los Centros Meteorológico Provinciales.

En el análisis realizado a través de las encuestas se constató que la información relativa al comportamiento de las temperaturas de las aguas termales presenta incertidumbre. Se destaca que no existe un desarrollo de herramientas informáticas que permita un mejor tratamiento de la información por lo que se requiere de una base de datos, para gestionar la información sobre el comportamiento de las temperaturas de las aguas termales en aras de identificar las principales dificultades que limitan la realización los tratamientos médicos con aguas termales.

El resultado del diagnóstico preliminar realizado refleja la importancia que reviste disponer de información organizada de forma tal que facilite su acceso y análisis, así como poder contar con tecnología apropiada para apoyar la toma de decisiones para los tratamientos médicos con aguas termales.

9. Resultados

Partiendo del análisis realizado, se propone un modelo neutrosófico para apoyar la toma de decisiones de los tratamientos médicos con aguas termales que integre los procesos: gestión del conocimiento, análisis inteligente de los datos y la definición de conjuntos neutrosóficos para apoyar la toma de decisiones de los tratamientos médicos con aguas termales como resultado de los diagnósticos realizados.

El modelo se sustenta bajo los principios de actualización permanente mediante la retroalimentación de la información que nutre al modelo. El enfoque a procesos para definir las actividades necesarias que permitan alcanzar el resultado deseado, identificar las posibles entradas y salidas, así como la evaluación de los tratamientos médicos con las aguas termales. El enfoque hacia la gestión de un conjunto de procesos para identificar, entender y gestionar la información de las enfermedades a tratar con las aguas termales. El enfoque hacia la toma de decisiones, basado en el análisis de la información.

Los componentes del modelo son la gestión del conocimiento, el Análisis inteligente de los datos y la definición de conjuntos neutrosóficos para apoyar la toma de decisiones de los tratamientos médicos con aguas termales. Todos estos componentes se encuentran relacionados entre sí como se muestra en la figura 1.

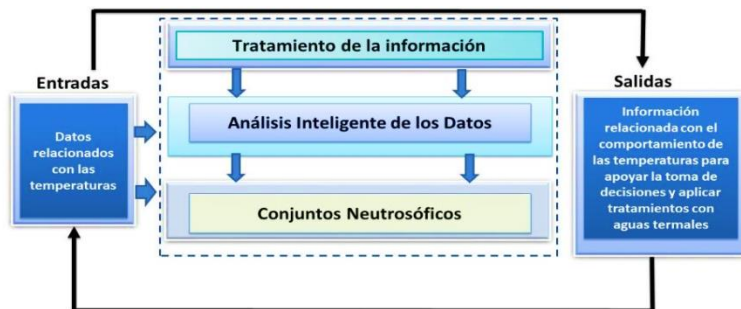


Figura 1. Modelo para apoyar la toma de decisiones de los tratamientos médicos con aguas termales. **Fuente:** Elaboración propia.

9.1. Información de entrada y salida del modelo

Las entradas del modelo lo constituyen la información sobre los datos recopilados de las mediciones de temperaturas de las aguas termales. Como salida se obtiene información relacionada con el comportamiento de las temperaturas para apoyar la toma de decisiones para aplicar tratamientos médicos con aguas termales.

9.2. Descripción de los componentes del modelo

La relación entre los diferentes componentes del modelo se establece a partir de la información que se define como entrada y salida en cada uno de ellos.

Componente 1. Gestión del conocimiento

Entradas: información sobre las mediciones de temperaturas.

Salidas: información enriquecida, asociada a los datos necesarios de las temperaturas, para apoyar la toma de daciones y aplicar tratamiento con las aguas termales.

El componente de gestión del conocimiento permite una gestión adecuada de la información de las mediciones de las temperaturas y el conocimiento sobre ellas, considerado como imprescindible para apoyar la toma de decisiones para aplicar tratamientos médicos con aguas termales.

Componente 2. Análisis inteligente de los datos

Entradas: información de los pacientes con enfermedades que requieren tratamientos médicos con aguas termales.

Salida: registro de datos pre procesados.

En el componente de Análisis inteligente de los datos, se selecciona los datos de las fuentes de datos donde se recopilan las informaciones relacionadas con la climatología de cada región, como establece el Instituto de Meteorología en Cuba. Los datos se registran en diferentes formatos ellos se pre procesaron para eliminar los datos que causen contratiempo en los resultados esperados, en aras de garantizar su disponibilidad, completitud y fidelidad.

Pre procesados los datos se aplicada la técnica de limpieza de datos, los datos faltantes se rellenan, utilizando el método de imputación por media. Método que sustituye los valores faltantes de una variable mediante la media de las unidades observadas en esa variable. El método de imputación de valores faltantes contribuye a reducir la pérdida de los datos faltantes en la base de datos [18]

Componente 3. Definición de los conjuntos neutrosóficos para apoyar la toma de decisiones de los tratamientos médicos con aguas termales.

En este componente se utiliza una agregación de la información previamente recopilada y analizada en el componente 2. El flujo de trabajo propuesto se presenta en la figura 2. Los términos lingüísticos y la indeterminación mediante números neutrosóficos de valor único basado en la agregación de la información se tienen en cuenta, para el apoyo a la toma de decisiones a través de los conjuntos neutrosóficos de las temperaturas apropiadas para aplicar los tratamientos médicos con aguas termales.

Cada una de las actividades en la agregación de la información y la indeterminación mediante números neutrosóficos de valor único se presenta a continuación.

Primeramente, se establece un marco de evaluación para seleccionar los criterios y las alternativas a ser evaluados con el fin de priorizar estos últimos. El marco de trabajo queda definido de la siguiente forma:

$C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ con $n \geq 2$, un conjunto de criterios, $E = \{e_1, e_2, \dots, e_k\}$ con $k \geq 1$, un conjunto de expertos, $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ con $m \geq 2$, un conjunto finito de alternativas. Posteriormente, se

recoge la información necesaria sobre las preferencias de los decisores. El vector de utilidad según refiere [80] se representa mediante la expresión 1.

$$P_j = \{p_{j1}, p_{j2}, \dots, p_{jk}\} \quad (1)$$

donde p_{jk} es la preferencia en relación al criterio c_k de la alternativa x_j

Las valoraciones mediante números neutrosóficos de valor único son evaluadas por las diferentes alternativas las cuales son útiles para construir la que se emplea en los operadores de agregación. Luego se ordenan las alternativas y se clasifican para seleccionar la más conveniente, la cual se elige por la función de puntuación definida por [81, 82].

De acuerdo con las funciones de puntuación y precisión para conjuntos sets de números neutrosóficos de valor único, se genera un orden de clasificación del conjunto de alternativas [83]. Posteriormente se seleccionan la(s) opción(es) teniendo en cuenta las de los puntajes más altos. Para ordenar alternativas se usa una función de puntuación que se expresa en la ecuación 2, definida por [84]:

$$s(V_j) = 2 + T_j - F_j - I_j \quad (2)$$

Adicionalmente se define la función de precisión como se muestra en 3, de la siguiente forma:

$$a(V_j) = T_j - F_j \quad (3)$$

Si $s(V_j) < s(V_i)$, entonces V_j es menor que V_i , denotado como $V_j < V_i$. En caso de $s(V_j) = s(V_i)$ si $a(V_j) < a(V_i)$, entonces V_j es menor V_i , denotado por $V_j < V_i$, si $a(V_j) = a(V_i)$, entonces V_j y V_i son iguales, denotado por $V_j = V_i$

De acuerdo a la función de puntuación las alternativas quedan ordenadas de la siguiente forma: $x_2 > x_1 > x_3$.

El procedimiento planteado es implementado a través del software Python el cual posee funciones apropiadas para tal fin.

Conclusiones

En el presente trabajo se ha realizado una caracterización de las aguas termales y sus beneficios para tratamientos médicos, teniendo en cuenta la incertidumbre presente con respecto a la información que se requiere conocer para poyar la toma de decisiones para aplicar los tratamientos mencionados. Se realizó un diagnóstico preliminar para conocer la necesidad de poseer un marco de trabajo general para apoyar la toma de decisiones disminuir la incertidumbre, poseer mayor interpretabilidad en los datos para aplicar los tratamientos médicos con aguas termales. Se presentan los distintos componentes del modelo propuesto como marco general y en particular se presenta el procedimiento para la agregación de la información y la indeterminación mediante números neutrosóficos de valor único, lo cual al ser implementado a través de la herramienta informática Python calcula la distancia euclidiana para el tratamiento de la neutralidad y las funciones de puntuación y precisión para evaluar las mejores alternativas.

Referencias

- [1]. Cibeira-Moreiras, R., Los primeros usos del agua termal y mineral. Ponencia realizada en las Jornadas Internacionales 2000 de Turismo, en la ciudad de Federación-Entre Ríos- Argentina.
- [2]. Altman, N., Balneotherapy - Healing with Water junio 17.
- [3]. 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**: p. 73-83.
- [4]. Sharif, A.M. and Z. Irani., Applying a fuzzy-morphological approach to complexity within management decision making. 2006, Emerald Group Publishing Limited. p.930-961.
- [5]. Glykas, M., Fuzzy Cognitive Maps: Advances in Theory, Methodologies, Tools and Applications. 2010: Springer Verlag.
- [6]. Puente Agueda, C., Causality in Science. Pensamiento Matemático, 2011(1): p. 12.

- [7]. Zadeh, L.A., Fuzzy sets. *Information and Control*, 1965.8(3): p. 338-353.
- [8]. Sokar, I.Y., et al., KPIs Target Adjustment Based on Trade-off Evaluation Using Fuzzy Cognitive Maps. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 2011. 5(12): p.2048-2053.
- [9]. Pérez-Teruel, K., et al., Computación con palabras en la toma de decisiones mediante mapas cognitivos difusos. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 2014. 8: p. 19-34.
- [10]. 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, R. Valencia-Garcia, et al., Editors. 2016, Springer International Publishing: Cham. p. 39-50.
- [11]. Kosko, B., Fuzzy cognitive maps. *International Journal of Man-Machine Studies*, 1986. 24(1): p. 65-75.
- [12]. Pérez-Teruel, K., M. Leyva-Vázquez, and V. Estrada-Sentí, Mental Models Consensus Process Using Fuzzy Cognitive Maps and Computing with Words. *Ingeniería y Universidad*, 2015. 19: p. 173-188.
- [13]. Davenport, D., Explaining Everything, in *Fundamental Issues of Artificial Intelligence*, V.C. Müller, Editor. 2016, Springer International Publishing: Cham. p. 341-354.
- [14]. Smarandache, F., A unifying field in logics: neutrosophic logic. *Neutrosophy, neutrosophic set, neutrosophic probability and statistics*. 2005: American Research Press.
- [15]. 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.
- [16]. Kandasamy, W.V. and F. Smarandache, *Fuzzy Neutrosophic Models for Social Scientists*. 2013: Education Publisher Inc.
- [17]. Kandasamy, W.B.V. and F. Smarandache, *Fuzzy cognitive maps and neutrosophic cognitive maps*. 2003: American Research Press.
- [18]. Castro, M., Imputación de datos faltantes en un modelo de tiempo de fallo acelerado. (Tesis de fin de Máster en Técnicas Estadísticas). 2014. Universidad de Santiago de Compostela, Galicia, España.