

MODELO, BASADO EN COMPUTACIÓN CON PALABRAS Y MAPAS COGNITIVOS DIFUSOS COMPETITIVOS, PARA LA REPRESENTACIÓN DE LAS INTERRELACIONES ENTRE SÍNTOMAS, SIGNOS Y ENFERMEDADES CARDIOVASCULARES

MODEL, BASED ON COMPUTING WITH WORDS AND COMPETITIVE FUZZY COGNITIVE MAPS, FOR THE REPRESENTATION OF THE INTERRELATIONSHIPS BETWEEN SYMPTOMS, SIGNS AND CARDIOVASCULAR DISEASES

*MSc. Salah Hasan Saleh¹, Dr. Maikel Yelandi Leyva Vázquez²,
Dr. Juan Pedro Febles Rodríguez¹, Dr. Fawaz Saleem Mohsen³*

*¹Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI), La Habana, Cuba.
salahcuba@yahoo.com*

*²Universidad Internacional del Ecuador (UIDE), Quito, Ecuador.
Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.*

³Servicio de referencia nacional de cardiopatía y embarazo, La Habana, Cuba.

RESUMEN

Los mapas cognitivos difusos han recibido una creciente atención para la representación del conocimiento causal. Son de especial utilidad en el diagnóstico médico. El trabajo despliega una propuesta para el modelado de las interrelaciones entre síntomas, signos y enfermedades cardiovasculares, basado en mapas cognitivos difusos competitivos, utilizando el paradigma de computación con palabras, con el objetivo de proporcionar modelos causales que sean fácilmente comprensibles. Para ello, se propone el uso del modelo de representación lingüístico basado en 2-tuplas lingüísticas en los mapas cognitivos difusos competitivos, lo cual permite realizar los procesos de computación con palabras, sin pérdida de información. Como resultado del trabajo se obtiene un nuevo modelo de mapa cognitivo difuso, denominado mapa cognitivo difuso competitivo lingüístico (LCFCM por sus siglas en inglés). La principal ventaja del modelo propuesto para el diagnóstico médico basado en mapas cognitivos difusos es que permite aumentar la interpretabilidad de los modelos causales. Finalmente, se presenta un estudio de caso del modelo propuesto y el análisis estático de dicho modelo con el objetivo de determinar los síntomas y signos más importantes en el mapa obtenido así como recomendaciones de trabajos futuros.

Palabras clave: computación con palabras, diagnóstico médico, granularidad, mapas cognitivos difusos.

ABSTRACT

Fuzzy cognitive maps have received increasing attention for the representation of the causal knowledge, due to its especial usefulness in medical diagnosis. This paper proposes a representation of interrelations among symptoms, signs and cardiac diseases based on competitive fuzzy cognitive maps, using the paradigm of Computing with Words, in order to provide causal models easy to understand. To this end, the use of linguistic representation model based on linguistic 2-tuple in the competitive fuzzy cognitive maps is proposed, which allowing to perform the Computing with Words Processes without losing information. As a result of this paper, a new model of fuzzy cognitive maps is obtained, which is called Linguistic Competitive Fuzzy Cognitive Map (LCFCM). The main advantage of the model proposed for medical diagnosis, based on fuzzy cognitive maps, is that it allows increasing the interpretability of the causal models, being this fact useful in medical diagnosis. Last, the paper presents a case study of the model proposed and a static analysis of this model to determine symptoms and signs more important in the map obtained, as well as recommendations for future works.

Keywords: computing with words, fuzzy cognitive maps, granularity, medical diagnosis.

INTRODUCCIÓN

Las situaciones que abarcan el contexto en que el ser humano desarrolla sus tareas cotidianas son extremadamente complejas y dinámicas. En cada campo, el análisis de las variables que componen el sistema objeto de estudio puede simplificarse, si se lo concibe compuesto como un conjunto de conceptos, donde un cambio en cada uno de ellos provocará cambios en los restantes. Cuando se trata de analizar la problemática de un área particular, la representación de los conceptos en forma de un mapa permite sintetizar la información aislando los principales conceptos que están vinculados en el problema. En estos casos los Mapas Cognitivos Difusos (MCD) (1) logran sintetizar gran parte de la información presente. Además, con esta técnica es posible seguir la evolución de los conceptos hasta un estado de equilibrio y por lo tanto permiten estudiar la dinámica que lleva de un estado a otro determinado en la situación que se analiza.

Los MCD han recibido una creciente atención para el análisis de sistemas causales complejos y constituyen grafos causales que hacen uso de la lógica difusa brindando la posibilidad de representar ciclos y modelar la vaguedad

propia de este tipo de relaciones (2). Los mapas cognitivos fueron propuestos por Axelrod (3). En estos, los nodos representan conceptos o variables de un dominio. Las conexiones indican la dirección de la causalidad junto al signo asociado que puede ser positivo (incremento causal) o negativo (decremento causal). Sin embargo en el mundo cotidiano los enlaces entre causa y efecto son frecuentemente imprecisos por naturaleza, existiendo distintos grados de causalidad, por lo que se definieron los MCD que hacen uso de la lógica difusa (4), ya que ofrece un marco adecuado para tratar con la causalidad imperfecta en los mapas cognitivos.

La lógica difusa permite expresar el grado de causalidad entre conceptos a través del empleo de valores borrosos en el intervalo $[-1, 1]$, mediante el uso de expresiones lingüísticas como “negativamente fuerte”, “positivamente fuerte”, “negativamente débil”, “positivamente débil”, etc. En estos casos, la información lingüística modela de forma flexible el conocimiento e implica procesos de computación con palabras (CWW) (5).

Se considera que el modelado de las relaciones entre síntomas y enfermedades, para el diagnóstico médico, constituye un sistema complejo lo que lo hace adecuado para el empleo de los MCD (7).

Las enfermedades cardiovasculares (20) constituyen una de las causas más importantes de discapacidad y muerte prematura en todo el mundo. El problema subyacente es la arteriosclerosis, que progresa a lo largo de los años, de modo que cuando aparecen los síntomas, generalmente a mediana edad, suele estar en una fase avanzada. Los episodios coronarios (infarto de miocardio) y cerebro vasculares (ataque apoplético) agudos se producen de forma repentina y conducen a menudo a la muerte antes de que pueda dispensarse la atención médica requerida.

Los signos y síntomas del paciente, en el caso de las enfermedades cardiovasculares, son sometidos al juicio experimentado de uno o más médicos quienes están siempre en la obligación de hacer una propuesta, fundamentarla y aplicar el tratamiento correspondiente.

Estos sistemas de ningún modo pretenden suplantar al experto humano sino por el contrario, auxiliarle en su actividad diaria como un “colega” inteligente, siempre metódico, sistemático y con el mismo nivel de objetividad. Los sistemas médicos son complejos, implicando tratarse con información ambigua, imprecisa e incierta. Las características previas hacen necesario el empleo de modelos que sean interpretables por los especialistas médicos, adecuando el empleo de la CWW en conjunto con los MCD (8).

En el presente trabajo se realiza una propuesta para el modelado de las relaciones

entre síntomas, signos y enfermedades cardiovasculares, haciendo uso del modelo lingüístico basado en 2-tuplas para trabajar sobre MCD competitivos siguiendo el paradigma de computación con palabras. La principal novedad de dicho modelo radica en facilitar la interpretabilidad de un modelo que tenga en cuenta las interrelaciones entre síntomas, signos y enfermedades.

El trabajo se estructura del siguiente modo: en la Sección 2 se abordan las temáticas relacionadas con los MCD y su empleo en el diagnóstico médico, así como el modelo de representación basado en la 2-tuplas lingüística. En la Sección 3 se presenta el procedimiento propuesto y a continuación en la Sección 4 se muestra el estudio de caso donde se obtiene a partir de un experto el modelo causal para el diagnóstico de enfermedades cardiovasculares, se presenta además el análisis estático del modelo propuesto. El trabajo finaliza con las conclusiones y sugerencias de trabajos futuros.

1. Mapas cognitivos difusos (MCD)

Los MCD son una técnica introducida por Kosko (1) como una extensión de los mapas cognitivos. Los MCD describen la fortaleza de la relación mediante el empleo de valores borrosos en el intervalo $[-1, 1]$. Para ello, los nodos representan conceptos causales y pueden modelar eventos, acciones, valores, metas o procesos. Así, los nodos constituyen una estructura de grafo difuso con retroalimentación para representar causalidad (9) y ofrecen un marco de trabajo más potente y flexible para representar el conocimiento humano para el razonamiento frente a los sistemas expertos tradicionales (10).

Un MCD se puede representar a través de un grafo dirigido ponderado donde los nodos representan conceptos y los arcos indican una relación causal (11). Una matriz de adyacencia es construida a partir de los valores asignados a los arcos generalmente de forma numérica (12).

Dada la gran utilidad de los MCD, estos han sido extendidos para modelar diversas situaciones. Así, encontramos extensiones basadas en la teoría de los sistemas grises (13), intervalos (14), lógica difusa intuicionista (15), entre otras extensiones.

Existen varias adaptaciones de los MCD para la toma de decisiones o construcción de sistemas de soporte a la toma de decisiones. Stylios y otros (16) proponen la aplicación de los MCD a la toma de decisiones en la medicina, y denominan su modelo mapa cognitivo difuso competitivo. En él se introducen dos tipos de nodos fundamentales, los de decisión y los asociados a factores. Esta arquitectura pudiera ser generalizada para representar criterios y alternativas (Figura 1) (17).

Se encuentran ejemplos de su aplicación en el diagnóstico de las patologías del lenguaje (16) y en la obstetricia (18). Sin embargo la necesidad de que la relación entre los nodos sea numérica limita la interpretabilidad del modelo.

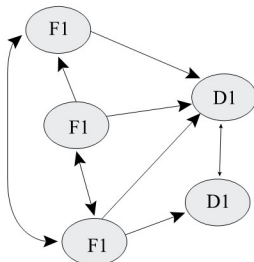


Figura 1. Mapa cognitivo difuso competitivo constituido por dos alternativas (nodos de decisión) y tres criterios (factores) (19).

1.1 CWW y modelo lingüístico basado en 2-tuplas

La propuesta presentada en (21), tiene como propósito aumentar la interpretación de los MCD, proporcionando resultados lingüísticos que sean fácilmente interpretables. Para ello, se propone que se represente la información a través de valores lingüísticos y se opere sobre ellos a través del modelo lingüístico basado en 2-tuplas. De este modo, los modelos mentales obtenidos son más cercanos al modo de pensar de los decisores.

La CWW es una metodología que permite realizar un proceso de computación y razonamiento, utilizando palabras pertenecientes a un lenguaje en lugar de números. Dicha metodología permite crear y enriquecer modelos de decisión en los cuales la información vaga e imprecisa (22) es representada a través de variables lingüísticas.

El modelo de representación lingüística de 2-tuplas permite realizar procesos de computación con palabras sin pérdida de información, basándose en el concepto de traslación simbólica.

Sea $S = \{s_0, s_1, \dots, s_g\}$ un conjunto de términos lingüísticos y $\beta \in [0, g]$ un valor en el intervalo de granularidad de S .

Definición 1: [4] *La Traslación Simbólica de un término lingüístico, es un número valorado en el intervalo $[-.5, .5]$ que expresa la diferencia de información entre una cantidad de información expresada por el valor $\beta \in [0, g]$, obtenido en una operación simbólica y el valor entero más próximo, $i \in \{0, \dots, g\}$ que indica el índice de la etiqueta lingüística (s_i) más cercana en S .*

A partir de este concepto se desarrolló un nuevo modelo de representación de la información lingüística el cual hace uso de un par de valores o 2-tuplas. Este modelo de representación define un conjunto de funciones que facilitan las operaciones sobre 2-tuplas.

Definición 2: [4] *Sea $S = \{s_0, s_1, \dots, s_g\}$ un conjunto de términos lingüísticos y $\beta \in [0, g]$ un valor que representa el resultado de una operación simbólica, entonces la 2-tupla lingüística que expresa la información equivalente a β , se obtiene usando la siguiente función:*

$$\Delta: [0, g] \rightarrow S \times [-.5, .5]$$

$$\Delta(\beta) = (s_i, \alpha), \text{ con } \begin{cases} s_i, i = \text{round}(\beta) \\ \alpha = \beta - i, \alpha \in \end{cases}$$

Donde: *round* es el operador usual de redondeo, s_i es la etiqueta con índice más cercano a β y α es el valor de la traslación simbólica.

Cabe señalar que $\Delta^{-1}: (S) \rightarrow [0, g]$ es definida como $\Delta^{-1}(s_i, \alpha) = i + \alpha$. De este modo, una 2-tupla lingüística (S) queda identificada con su valor numérico en $[0, g]$.

1.2 Modelo de MCD basado en CWW

Pérez y colaboradores (21) proponen un modelo de MCD basado en computación con palabras. El peso de la conexión que va del concepto C_j al concepto C_i es representado mediante 2-tuplas lingüísticas. Dado que el modelo lingüístico basado en 2-tuplas permite realizar una transformación entre una 2-tupla lingüística y un valor numérico en el intervalo de granularidad $[0, g]$ y los MCD trabajan sobre valoraciones numéricas expresadas en el intervalo $[-1, 1]$, es necesario realizar una transformación de una 2-tupla a un valor numérico en el intervalo $[-1, 1]$ que nos permita trabajar con MCD.

Adicionalmente se propone la transformación del valor numérico equivalente de una 2-tupla β a un valor numérico en el intervalo $[-1, 1]$ del siguiente modo (23).

$$\begin{aligned}\gamma: [0, g] &\rightarrow [-1, 1] \\ \gamma(w_{ij}) &= \frac{2w_{ij}}{g-1} - 1 \\ \gamma^{-1}: [-1, 1] &\rightarrow [0, g] \\ \gamma^{-1}(w_{ij}) &= \frac{(w_{ij} + 1)(g - 1)}{2}\end{aligned}$$

Donde g es la granularidad del conjunto de términos S .

Las funciones anteriores junto a las funciones asociadas con la 2-tupla, permiten la representación de relaciones causales tanto positiva como negativa y la agregación de estos valores (6) para la realización del proceso de inferencia causal utilizando las 2-tuplas (8).

2. Modelo para la representación de las interrelaciones entre signos síntomas y enfermedades.

En esta sección se presenta el procedimiento empleado para el modelado de las interrelaciones entre síntomas signos y enfermedades cardiovasculares basado en computación con palabras y MCD competitivos al que denominaremos (LCFCM). El mismo tiene como propósito fundamental mejorar la interpretabilidad de los modelos para el análisis y diagnóstico de este tipo de enfermedades. Las fases incluidas en el modelo propuesto se representan gráficamente en la Figura 2 y son detalladas a continuación:

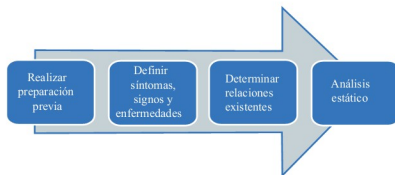


Figura 2: Fases del modelo propuesto.

Realizar preparación previa

En primer lugar se identifican las fuentes de información a incluir en el estudio, de ser posible recomendándose la participación de múltiples expertos que

representan distintos puntos de vista del sistema a modelar. Adicionalmente se definen conjuntos de términos lingüísticos que serán empleados para el modelado de las relaciones. Siendo:

- $S = \{s_0, \dots, s_g\}$ el conjunto de términos lingüísticos.

Para que una fuente de información pueda expresar con mayor facilidad el conocimiento, es necesario que disponga de un conjunto apropiado de descriptores lingüísticos. Con el propósito de facilitar el trabajo, se recomienda el cumplimiento de las siguientes reglas (24):

- El número de términos a la izquierda y a la derecha del término medio debe ser el mismo.
- La cardinalidad de un conjunto de términos lingüísticos no debe ser demasiado pequeña como para imponer una restricción de precisión a la información que quiere expresar cada fuente de información, y debe ser lo suficientemente grande como para permitir hacer una discriminación de las valoraciones en un número limitado de grados.

Definir síntomas, signos y enfermedades

Se determinan los síntomas, signos y enfermedades, los cuales pasan a ser nodos en el modelo. Se clasifican los nodos de dos formas: los síntomas y nodos son factores y las enfermedades son nodos de decisión. Esta clasificación permite modelar el problema siguiendo el concepto de los mapas cognitivos difusos competitivos.

Determinar relaciones existentes

Cada experto expresa las relaciones haciendo uso de los términos lingüísticos definidos. El peso de la conexión que va del concepto C_i al concepto C_j , dado por el experto k , es representado mediante 2-tuplas lingüísticas del siguiente modo:

$$W_{ij}^k = (s_w, \alpha)_{ij}^k \quad (4)$$

En el modelo propuesto el tipo de causalidad (positiva, negativa, no existencia) puede ser identificado de la siguiente forma:

- Causalidad positiva ($W_{ij} > s_g/2$)
- Causalidad negativa ($W_{ij} < s_g/2$)

– No existencia de relaciones ($W_{ij} = s_{g/2}$)

Análisis estática

En este caso se propone realizar el análisis estático del modelo. Se obtienen los valores numéricos de las conexiones utilizando la expresión (2) y posteriormente se obtiene el valor absoluto de la matriz de adyacencia. Finalmente se ordenan los nodos de acuerdo a su importancia en el modelo a partir de la centralidad de grado.

La centralidad de grado ($C(v)$) de un nodo (v) se calcula a partir de la suma de su grado de entrada ($id(v)$) y grado de salida ($od(v)$), tal como se expresa en la fórmula siguiente:

$$C(v) = id(v) + od(v) \quad (5)$$

La centralidad en un MCD indica cuán fuertemente está relacionado un nodo con otros a partir de sus conexiones directas.

3. Estudio de caso

A continuación se muestra la aplicación del procedimiento propuesto en un estudio de caso real y el modelo causal obtenido, en este caso con la participación de un experto. Se definió un conjunto de términos lingüísticos de granularidad 9 (tabla 1). A partir de un estudio de la bibliografía y la experiencia médica se obtuvieron un conjunto de conceptos (Anexo I).

Tabla 1. Términos lingüísticos asociados a las relaciones causales.

Posible enfermedad	Descripción
S_0	Negativamente muy fuerte (NMF)
S_1	Negativamente fuerte (NF)
S_2	Negativamente media (NM)
S_3	Negativamente débil (ND)
S_4	Cero (C)
S_6	Positivamente media (PM)
S_7	Positivamente fuerte (PF)
S_8	Positivamente muy fuerte (PMF)

Las relaciones son obtenidas a partir de la literatura y de la valoración de expertos teniendo en cuenta los términos lingüísticos definidos (Tabla 1). Una

vez modeladas las relaciones entre conceptos se llegó al siguiente (LCFCM) (Figura 3.)

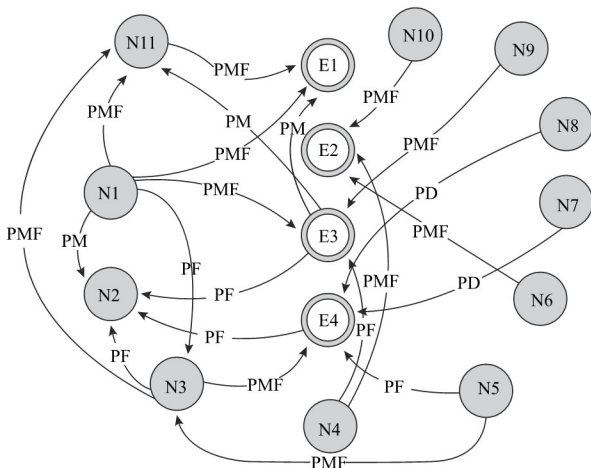


Figura 3: Mapa cognitivo obtenido (LCFCM).

Para el análisis estático se obtuvo la matriz de adyacencia numérica Tabla 1.

A partir de los valores de centralidad de grado se obtiene el siguiente orden de importancia en el modelo de los síntomas y signos ordenados de mayor a menor:

$$N_1 > N_2 > N_3 \sim N_{11} > N_4 > N_6 \sim N_9 \sim N_{10} > N_5 > N_7 \sim N_8.$$

Este orden de importancia de síntomas y signos coincide con la apreciación dada por el especialista. El análisis estático permite centrar el proceso de diagnóstico en los síntomas y signos más importantes.

Dentro de las ventajas encontradas por el personal médico se encuentra la interoperabilidad del modelo y la ventaja que presenta la posibilidad de las interrelaciones entre los síntomas y las enfermedades. Desde el punto de vista médico, el modelo pretende reducir los episodios cardiovasculares y la muerte prematura tanto en las personas con enfermedad cardiovascular establecidas

Tabla 1. Matriz de adyacencia numérica.

	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	E1	E2	E3	E4
N1	0	0.5	0.75	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0
N2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N3	0	0.75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
N4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.75	0
N5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.75
N6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
N7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25
N8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25
N9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
N10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
N11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
E1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E3	0	0.75	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5	0	0	0
E4	0	0.75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

como en aquellas con alto riesgo cardiovascular debido a uno o más factores de riesgo mediante un diagnóstico rápido y preciso.

CONCLUSIONES

Los MCD se han demostrado como una herramienta útil de apoyo a la toma de decisiones. En el trabajo se ha presentado un nuevo modelo de MCD, utilizando el paradigma de computación con palabras para el modelado de las relaciones entre síntomas, signos y enfermedades, denominado mapa cognitivo difuso competitivo lingüístico (LCFCM). Para ello, se ha utilizado el modelo de representación basado en 2-tuplas lingüísticas que permite realizar procesos de computación con palabras sin pérdida de información.

Se muestra un estudio de caso donde se obtiene un modelo específico y se realiza el análisis estático del modelo. Como trabajo futuro, se propone incluir el análisis dinámico con vista al diagnóstico, la inclusión de métodos al aprendizaje automático y otras formas de representación de la incertidumbre en las relaciones causales. Otra área de trabajo constituye la incorporación de nuevos síntomas y enfermedades al modelo y estudio experimental de la precisión del mismo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Kosko B. Fuzzy cognitive maps. *International Journal of Man-Machine Studies*. 1986;24(1):65-75.
2. Leyva-Vázquez M, Karina Pérez-Teruel, Febles-Estrada A, Gullín-González J. Técnicas para la representación del conocimiento causal. Un estudio de caso en Informática Médica. *ACIMED*. 2013;24(1).
3. Axelrod RM. *Structure of decision: The cognitive maps of political elites*: Princeton University Press Princeton, NJ; 1976.
4. Zadeh LA. Fuzzy sets. *Information and Control*. 1965;8(3):338-53.
5. Herrera F. An overview on the 2-tuple linguistic model for computing with words in decision making: Extensions, applications and challenges. *Information Sciences*. 2012;207:1-18.
6. Herrero MJM. *Una aproximación multimodal al diagnóstico temporal mediante razonamiento basado en casos y razonamiento basado en modelos. Aplicaciones en la medicina*: Universidad de Murcia; 2007.
7. Georgopoulos VC, Malandraki GA, Stylios CD. A fuzzy cognitive map approach to differential diagnosis of specific language impairment. *Artificial intelligence in Medicine*. 2003;29(3):261-78.
8. Innocent PR, John RI. Computer aided fuzzy medical diagnosis. *Information Sciences*. 2004;162(2):81-104.
9. Ping CW. *A Methodology for Constructing Causal Knowledge Model from Fuzzy Cognitive Map to Bayesian Belief Network [PhD Thesis]*: Chonnam National University. Doctoral Thesis; 2009.
10. Papageorgiou EI. *Learning Algorithms for Fuzzy Cognitive Maps---A Review Study*. *Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, IEEE Transactions on*. 2011;PP(99):1-14.
11. Kosko B. *Fuzzy engineering*. Prentice-Hall, Inc.; 1997.
12. Zhi-Qiang LIU. Causation, bayesian networks, and cognitive maps. *ACTA AUTOMATICA SINICA*. 2001;27(4):552-66.
13. Salmeron JL. Modelling grey uncertainty with Fuzzy Grey Cognitive Maps. *Expert Systems with Applications*. 2010;37(12):7581-8.
14. Papageorgiou E, Stylios C, Groumpos P. Introducing Interval Analysis in Fuzzy Cognitive Map Framework *Advances in Artificial Intelligence*. In: Antoniou G, Potamias G, Spyropoulos C, Plexousakis D, editors. *Lecture Notes in Computer Science*. 3955: Springer Berlin / Heidelberg; 2006. p. 571-5.
15. Iakovidis DK, Papageorgiou E. Intuitionistic Fuzzy Cognitive Maps for Medical Decision Making. *Information Technology in Biomedicine, IEEE Transactions on*. 2011;15(1):100-7.
16. Stylios, Georgopoulos VC, Malandraki GA, Chouliara S. Fuzzy cognitive map architectures for medical decision support systems. *Applied Soft*

- Computing. 2008;8(3):1243-51.
17. Iglesias A, Castillo MDd, Serrano JI, Oliva J. Connectionist Models of Decision Making. In: Jao CS, editor. Decision Support Systems: INTECH; 2010.
 18. Stylios CS, Georgopoulos VC, editors. Fuzzy Cognitive Maps for Medical Decision Support; A paradigm from obstetrics. Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2010 Annual International Conference of the IEEE; 2010 Aug. 31 2010-Sept. 4 2010.
 19. Leyva-Vázquez M. Modelo de Ayuda a la Toma de Decisiones Basado en Mapas Cognitivos Difusos. La Habana: UCI. Doctor en Ciencias Técnicas; 2013.
 20. Yusuf S, Reddy S, Ôunpuu S, Anand S. Global burden of cardiovascular diseases part I: general considerations, the epidemiologic transition, risk factors, and impact of urbanization. *Circulation*. 2001;104(22):2746-53.
 21. Teruel KP, Vázquez ML, Estévez ME. Computación con palabras en la toma de decisiones mediante mapas cognitivos difusos. 2014. 2014;8(2).
 22. Herrera F, Alonso S, Chiclana F, Herrera-Viedma E. Computing with words in decision making: foundations, trends and prospects. *Fuzzy Optimization and Decision Making*. 2009;8(4):337-64.
 23. Pérez-Teruel K, Leyva-Vázquez M, Espinilla M, Estrada-Sentí V. Computación con palabras en la toma de decisiones mediante mapas cognitivos difusos. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*. 2014;8(2):19-34.
 24. Espinilla M. Nuevos Modelos de Evaluación Sensorial con Información Lingüística. SCHOOL= Universidad de Jaén, YEAR= 2009. 2009.

ANEXO I CONCEPTOS UTILIZADOS

Tabla I. Conceptos utilizados.

Síntomas Signos	Concepto	Descripción
N_1	Dolor anginoso	<ul style="list-style-type: none"> - El dolor anginoso típico suele ser opresivo, retroesternal, irradiado al miembro superior izquierdo (y puede incluir también cuello, mandíbula y hombros). - Su duración puede ser mayor o menor de 20 minutos, dependiendo de la patología que lo ocasiona (angina o Infarto). - Tiene una intensidad muy variable, y suele relacionarse con el ejercicio, con el reposo, y los nitritos, no lo modifica la tos ni los movimientos respiratorios, ni los movimientos musculares. - Puede acompañarse de sudoración fría, náuseas, etc.
N_2	Palpitaciones cardíacas	<ul style="list-style-type: none"> - Sensaciones de latidos cardíacos que se perciben como si el corazón estuviera latiendo con violencia o acelerando.
N_3	Presión arterial alta	<ul style="list-style-type: none"> - Es la fuerza o presión que ejerce la sangre contra las paredes de las arterias, llevando de esa forma la sangre a todas las partes del cuerpo. - Se divide en presión sistólica y presión diastólica. - Su resultado se conoce con una lectura adecuada de la misma, a través de procedimientos manuales o digitales. - 140/90 mmhg o más se considera hipertensión arterial.
N_4	Disnea	<ul style="list-style-type: none"> - Dificultad respiratoria que se suele traducir en falta de aire, y que puede ser de origen respiratorio o cardiovascular.
N_5	Cefalea	<ul style="list-style-type: none"> - Hace referencia a los dolores y molestias localizadas en cualquier parte de la cabeza.
N_6	Cardiomegalia	<ul style="list-style-type: none"> - Es el agrandamiento anormal del corazón, que puede ser del tipo de dilatación o hipertrofia cardíaca. Que se debe a muchas causas subyacentes, entre ellas está la insuficiencia cardíaca sistólica crónica o los diversos tipos de miocardiopatías.
N_7	Visión borrosa	<ul style="list-style-type: none"> - Incapacidad del sistema de visión para percibir, detectar o identificar objetos especiales con unas condiciones de iluminación buenas.
N_8	Confusión mental	<ul style="list-style-type: none"> - Disminución de la actividad de la conciencia. Existen varios grados que van desde una leve obnubilación hasta el estado de estupor.
N_9	Alteraciones electrocardiográficas del segmento S	<ul style="list-style-type: none"> - En condiciones normales, es plano o isoelectrónico, pudiendo presentar pequeñas variaciones < de 0,5 mm. - Durante el dolor anginoso, puede haber una elevación o depresión del mismo, persistente o transitoria, dependiendo del tipo de patología que lo ocasiona (Infarto o angina).

Tabla I. Conceptos utilizados.

N_{10}	Edema en miembros inferiores	<ul style="list-style-type: none"> - Es la hinchazón de las piernas, que se debe a un desequilibrio del intercambio normal de líquidos entre el espacio intracapilar e intersticial en los miembros inferiores. - Se puede deber a una multitud de causas potenciales. - Cuando el edema afecta a ambas piernas de manera homogénea suele deberse a insuficiencia cardíaca, hepática, venosa o renal, etc. - Cuando afecta a una sola pierna, la causa pudiera ser una obstrucción linfática o venosa, o una infección.
N_{11}	Pérdida brusca del conocimiento	<ul style="list-style-type: none"> - Es el desmayo, o llamado también síncope, es una pérdida de conocimiento súbita. Ocurre cuando la tensión arterial cae y no llega suficiente oxígeno al cerebro. - El desmayo se debe a muchas causas.

Tabla II. Salidas.

Posible enfermedad	Concepto	Descripción
E_1	Arritmia	<ul style="list-style-type: none"> -Es un trastorno de la frecuencia o ritmo cardíaco. -Los latidos demasiado rápidos reciben el nombre de taquiarritmia, y los latidos demasiado lentos bradiarritmia.
E_2	Insuficiencia cardíaca (IC)	-Es la incapacidad del corazón de bombear sangre en los volúmenes más adecuados para satisfacer las demandas del metabolismo.
E_3	Cardiopatía isquémica	-Es la patología causada por la disminución transitoria o permanente del riego sanguíneo y consecuente disminución del aporte de oxígeno al tejido miocárdico.
E_4	Hipertensión arterial	-Una enfermedad crónica caracterizada por un incremento continuo agudo o crónico de las cifras de la presión arterial.