

Sistema de apoyo al diagnóstico médico de COVID-19 mediante mapa cognitivo difuso

Support system to Covid-19 medical diagnosis via diffuse cognitive map

Omar Mar Cornelio^{1*} <https://orcid.org/0000-0002-0689-6341>

Jorge Gulín González¹ <https://orcid.org/0000-0001-7912-2665>

Barbara Bron Fonseca² <https://orcid.org/0000-0001-9463-8408>

Jeovanys Víctor Garcés Espinosa³ <https://orcid.org/0000-0002-1897-3332>

¹Universidad de las Ciencias Informáticas, Centro de Estudio de Matemática Computacional. La Habana, Cuba.

²Universidad de las Ciencias Informáticas, Facultad de Ciencias y Tecnologías Computacionales. La Habana, Cuba.

³Policlínico Docente “Ernesto Guevara”. Granma, Cuba.

*Autor para la correspondencia: omarmar@uci.cu

RESUMEN

Introducción: Los escenarios de convivencia de las diversas poblaciones son muy complejos, lo que contribuye con la propagación de enfermedades. Diagnosticar tempranamente enfermedades infecciosas representa una tarea fundamental para disminuir su propagación y evitar epidemias. Sin embargo, la inconsistencia en los datos de poblaciones y la imposibilidad de contar con un diagnóstico oportuno en muchos casos trae como consecuencia la proliferación de pandemias tales como la COVID-19.

Objetivo: Desarrollar un sistema de apoyo al diagnóstico médico para COVID-19 a partir de la modelación de las relaciones causales de los criterios de diagnóstico, para conformar el mapa cognitivo difuso.

Métodos: Para el desarrollo de la investigación se utilizaron métodos teóricos, empíricos y estadísticos, tales como: analítico-sintético, inductivo-deductivo, hipotético-deductivo, modelación. Como método empírico se utilizó la entrevista semiestructurada con la intención de recoger información que permitiera incluir contenidos no prescritos y precisar el conocimiento de los expertos sobre los principales indicadores para la toma de decisiones en el diagnóstico médico de la COVID-19.

Resultados: El sistema funciona a través de un mapa cognitivo difuso para modelar las relaciones causales que representan la base de la inferencia. Se utilizan técnicas de inteligencia artificial como base al diagnóstico médico. Se presenta un ejemplo demostrativo para el diagnóstico médico de la COVID-19 en el que se modelan las relaciones causales de los diferentes conceptos que describen la enfermedad provocada.

Conclusiones: El sistema diseñado constituye una herramienta viable de apoyo a la toma de decisiones en el diagnóstico médico de la COVID-19, que permite obtener criterios evaluativos a partir de la modelación de las relaciones causales, esto lo hace extensible a otros tipos de situaciones de emergencias sanitarias.

Palabras clave: diagnóstico médico; enfermedades infecciosas; mapa cognitivo difuso; COVID-19.

ABSTRACT

Introduction: Different populations coexistence scenarios are very complex, which contributes to the spread of diseases. Diagnosing infectious diseases early is a critical task in reducing its spread and preventing epidemics. However, inconsistency in population data and the inability to have timely diagnosis in many cases result in the proliferation of pandemics such as COVID-19.

Objective: Develop a support system for COVID-19 medical diagnostic from modeling causal relations of diagnostic criteria, to form the diffuse cognitive map.

Methods: Theoretical, empirical and statistical methods were used for the development of the research, such as: analytical-synthetic, inductive-deductive, hypothetical-deductive, modeling. As an empirical method, the semi-structured interview was used with the intention of collecting information that would include unprescribed contents and require expert knowledge of the main indicators for decision-making in COVID-19 medical diagnosis.

Results: The system works through a diffuse cognitive map to model causal relationships that represent the inference's basis. Artificial intelligence techniques are used as a basis for medical diagnosis. A demonstrative example is presented for COVID-19 medical diagnosis in which are modelled the causal relations of the different concepts that the disease describes.

Conclusions: The designed system is a viable support tool for decision-making in COVID-19 medical diagnosis, which allows to obtain evaluative criteria from the modelling of causal relations, and this makes it extendable to other types of health emergencies situations.

Keywords: medical diagnosis; infectious diseases; diffuse cognitive map; COVID-19.

Recibido: 07/04/2020

Aceptado: 28/09/2020

Introducción

Las personas en diferentes ambientes se enfrentan a problemáticas o circunstancias que deben ser resueltas. El diagnóstico médico constituye una actividad en la que los especialistas de la salud, a partir de la base de su conocimiento, identifican una enfermedad o estado de salud. Durante el proceso de diagnóstico, el especialista tiene en cuenta una gran cantidad de información suministrada por el paciente durante el interrogatorio o anamnesis, el examen físico, pruebas de laboratorio, entre otros elementos para llegar al diagnóstico definitivo.

En la actualidad, la propagación de la COVID-19, enfermedad provocada por el nuevo coronavirus SARS-CoV-2, identificado en China en diciembre de 2019, representa una pandemia que afecta a las poblaciones de casi todo el mundo.^(1,2) Obtener un diagnóstico certero a partir de las manifestaciones clínicas constituye una tarea que salva vidas y evita su propagación.^(3,4) Cuando el personal médico se enfrenta al diagnóstico de la COVID-19, analiza el cuadro clínico presentado por el paciente donde realiza una primera clasificación de las sintomatologías y posteriormente profundiza en pruebas clínicas que corroboren el diagnóstico.⁽⁵⁾

En el proceso de diagnóstico médico, a partir del chequeo clínico, son muchos los casos que se clasifican como sospechosos de infección de COVID-19.^(6,7) Sin embargo, a partir del resultado del laboratorio clínico resultan negativos.^(8,9) En este sentido, una clasificación más certera garantizaría un diagnóstico con mayor precisión. Problemas de esta naturaleza han sido abordados por la ciencia a partir de la representación de modelos causales para la toma de decisiones.^(10,11)

A su vez, un sistema para la toma de decisiones representa un proceso de selección entre cursos de alternativas, basado en un conjunto de criterios, para alcanzar uno o más objetivos.^(12,13) Incluye el proceso de identificación de un problema u oportunidad y la selección de una alternativa de acción entre varias existentes, es una actividad clave en todo tipo de organización. El proceso de inferencia se compone de cuatro etapas fundamentales:⁽¹⁴⁾

- Diagnóstico: consiste en detectar cuál es el problema o conjunto de problemas que afectan el proceso.
- Diseño: permite modelar las diferentes alternativas mediante las cuales, *a priori*, es posible solucionar el problema diagnosticado. Deben cumplirse tres principios:
 - Exclusividad, donde una estrategia supone el rechazo de las demás.
 - Exhaustividad, se deben incluir todas las posibles formas de actuación.
 - Viabilidad, deben ser viable desde el punto de vista técnico, operativo, financiero, entre otros.
- Elección: fase en la cual se selecciona la mejor estrategia o alternativa del conjunto.
- Revisión: se desarrolla un análisis sobre el grado en el que la estrategia seleccionada y ejecutada ha conseguido resolver el problema.

Los problemas de toma de decisiones pueden ser clasificados según el ambiente de decisión como:

- Problema de toma de decisiones en ambiente de certidumbre.
- Ambiente de incertidumbre.
- Ambiente de riesgo.^(15,16)

En el marco de las observaciones anteriores, la presente investigación tiene como objetivo desarrollar un sistema de apoyo al diagnóstico médico para COVID-19 a partir de la modelación de las relaciones causales de los criterios de diagnóstico, para conformar el mapa cognitivo difuso.

Métodos

Para el desarrollo de la investigación se utilizaron métodos teóricos, empíricos y estadísticos.

Los métodos teóricos utilizados fueron:

- El analítico-sintético para el estudio de los métodos de decisión e inferencia como soporte al diagnóstico médico y posteriormente para la extracción de los elementos esenciales que permita la fundamentación de la investigación.
- El inductivo-deductivo permitió la deducción de criterios a partir del estudio de la literatura científica y la consulta a experto sobre los principales criterios que sustentan la propuesta de sistema de apoyo a la toma de decisiones para el diagnóstico de la COVID-19.
- El método hipotético-deductivo permitió la formulación de las principales correlaciones existentes en las relaciones causales de los criterios de decisión.

La modelación permitió la representación estructurada de métodos, procedimientos y variables, mediante una secuencia coherente y lógica de los diferentes artefactos que componen el sistema de apoyo al diagnóstico médico propuesto.

El sistema fue diseñado para soportar el proceso de inferencia en el diagnóstico médico. Se emplea una concepción multicriterio a partir de la representación de los indicadores sobre los cuales se cuantifica el diagnóstico.⁽¹⁷⁾ Se utiliza una composición de trabajo en grupo de expertos, que permiten la generación de la base de conocimiento sobre el conjunto de indicadores evaluativos para el diagnóstico.⁽¹⁸⁾

Como parte de la implementación de la propuesta, se consultaron 7 expertos: 2 médicos con especialización clínica, 2 médicos con especialidad general integral, 2 epidemiólogos y 1 intensivista.

A su vez, el conjunto de indicadores evaluativos representa una de las entradas del sistema que constituyen informaciones necesarias para el diagnóstico.^(19,20) La actividad de diagnóstico constituye el núcleo fundamental para el razonamiento del sistema, su procesamiento se basa en la modelación de las relaciones causales con el empleo de FCM.^(21,22)

Como método empírico se utilizó la entrevista semiestructurada, con la intención de recoger información que garantizara la inclusión de contenidos no prescritos. Su objetivo era determinar el conocimiento de los expertos sobre los principales indicadores para la toma de decisiones en el diagnóstico médico de la COVID-19. Esto permitió establecer las relaciones causales de los conceptos para conformar el mapa cognitivo difuso (FCM por sus siglas en inglés).

Se utilizaron métodos matemáticos estadísticos como ajuste del modelo y validación de las predicciones del modelo, que permitieron el procesamiento y análisis de los datos manifestados por los expertos, así como el procesamiento de los instrumentos utilizados en la presente investigación. La inferencia del sistema propuesto, basó su implementación en la técnica matemática mapa cognitivo difuso.

Resultados

El sistema de apoyo al diagnóstico médico modela las relaciones causales entre los diferentes conceptos que intervienen en el proceso. Sustenta los siguientes principios:

- Integración del conocimiento causal mediante mapa cognitivo difuso para la representación de la causalidad entre los indicadores del diagnóstico médico.
- Identificación mediante el equipo de expertos de los indicadores para el diagnóstico médico y las relaciones causales.
- Orientación de las inferencias bajo un ambiente de incertidumbre para incrementar la precisión en el proceso de clasificación del diagnóstico médico.

El diseño del sistema está compuesto por un flujo de trabajo que guía el proceso para la toma de decisiones sobre el diagnóstico médico. Está integrado por seis actividades, cuya propuesta se puede visualizar en la figura 1.

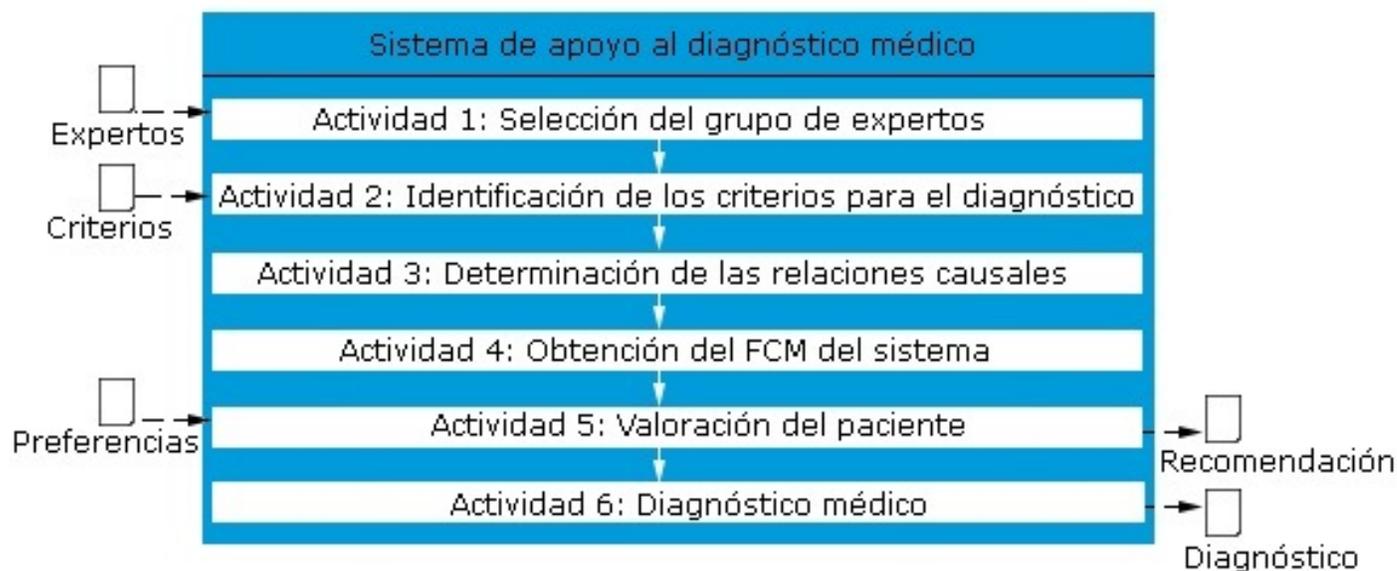


Fig.1 - Estructura del sistema de apoyo al diagnóstico médico.

Actividad 1: selección del grupo de expertos

La actividad consiste en determinar el grupo de personas que trabajarán en el proceso de identificación de los criterios evaluativos y la determinación de las relaciones causales.

Los criterios de selección que se deben tener en cuenta contemplan que el grupo de expertos debe cumplir con las siguientes características:

- Debe estar conformado al menos con 5 expertos.
- Los candidatos a expertos que intervienen en el sistema deben poseer un alto nivel de conocimiento en el enfrentamiento de epidemias.

El grupo de expertos determina los parámetros de entrada del sistema correspondiente a los criterios evaluativos y sus relaciones causales.

Actividad 2: identificación de los criterios para el diagnóstico

La actividad consiste en determinar el conjunto de criterios que son utilizados en el chequeo físico del paciente para el diagnóstico médico. Para la selección de los criterios se utiliza un enfoque de trabajo en grupo. La actividad hace uso de los expertos seleccionados en el paso previo. El grupo de expertos determina los criterios que se tendrán en cuenta para la inferencia del proceso. Se debe cumplir que el número de criterios seleccionado cumpla con el enfoque multicriterio para lo cual se aplica la ecuación 1.

$$C = \{c_1, \dots, c_n\}, \forall c_i, 1 \leq i \leq n \quad (1)$$

Donde:

C: representa el conjunto de criterios evaluativos en el proceso de inferencia.

Para un enfoque de trabajo en grupo, el número de expertos que realiza la selección de los criterios para la valoración de los pacientes en el diagnóstico médico debe cumplir con lo descrito en la ecuación 2.

$$E = \{e_1, \dots, e_m\}, \forall e_i, 1 \leq i \leq m \quad (2)$$

Donde:

E: representa el conjunto de expertos que intervienen en el sistema.

Una vez seleccionados los expertos que intervienen en el proceso, se someten a su consideración la identificación de los criterios evaluativos para el diagnóstico médico. Mediante el trabajo realizado por el grupo de expertos se obtiene la identificación de un conjunto de criterios. La tabla 1 muestra el resultado de los criterios identificados en su implementación.

Tabla 1 - Criterios para el diagnóstico médico

No.	Criterio
1	Contacto con casos confirmados de COVID-19 o de viajes a zonas con presencia de la enfermedad.
2	Presencia de sintomatología en un periodo de 2 a 14 días (más común de 4-6 días) del contacto o del viaje.
3	Síntomas de fiebre ≥ 38 grados. Cefalea intensa a predominio de la región frontal. Malestar general con decaimiento. Tos seca. Esta última es un síntoma que puede ayudar en el diagnóstico diferencial, pues la mayoría de las infecciones respiratorias agudas (IRA) cursan con tos húmeda, aunque esto no se puede tomar como un diagnóstico definitivo.
4	Aparición de diarreas, las cuales no tienden a ser numerosas (3 a 5 como promedio).
5	Aparición de disnea (dificultad respiratoria) en los pacientes adultos de mediana edad (47-56 años).
6	Presencia de dolores abdominales, mareos, náuseas y vómitos.

Actividad 3: determinación de las relaciones causales

Para la obtención de las relaciones causales sobre los criterios identificados en la actividad anterior, se emplea el enfoque de trabajo en grupo. Los expertos establecen qué relaciones causales existen entre los diferentes criterios. De la actividad se obtiene como resultado el conocimiento expresado por el conjunto de expertos que representa la base de la inferencia futura.

En el FCM existen tres posibles tipos de relaciones causales entre conceptos:⁽²³⁾

- $W_{ij} > 0$, indica una causalidad positiva entre los conceptos C_j y C_i . Es decir, el incremento (o disminución) en el valor de C_j lleva al incremento (o disminución) en el valor de C_i .
- $W_{ij} < 0$, indica una causalidad negativa entre los conceptos C_j y C_i . Es decir, el incremento (o disminución) en el valor de C_j lleva a la disminución (o incremento) en el valor de C_i .
- $W_{ij} = 0$, indica la no existencia de relaciones entre los conceptos C_j y C_i .

Las relaciones causales son representadas por variables difusas expresadas como términos lingüísticos, específicamente 2-tuplas lingüísticas. Para la representación lingüística se utiliza un conjunto de etiquetas lingüísticas con granularidad 9. La tabla 2 muestra el conjunto de términos utilizados.^(24,25)

Tabla 2- Conjunto de términos lingüísticos empleados

Variable	Término lingüístico	Valor
S ₀	Negativamente muy fuerte (NMF)	(-1,-1;-0,75)
S ₁	Negativamente fuerte (NF)	(-1;-0,75;-0,50)
S ₂	Negativamente media (NM)	(-0,75;-0,0;-0,25)
S ₃	Negativamente débil (ND)	(-0,50,-0,25, 0,0)
S ₄	Cero (C)	(-0,25;0,0;0,25)
S ₅	Positivamente débil (PD)	(0,0;0,25;0,50)
S ₆	Positivamente media (PM)	(0,25;0,50;0,75)
S ₇	Positivamente fuerte (PF)	(0,50;0,75;1)
S ₈	Positivamente muy fuerte (PMF)	(0,75;1;1)

Una vez obtenidas las relaciones causales de cada criterio por cada experto que intervino en el proceso, se realiza un proceso de agregación de información a partir de una función promedio tal como muestra la ecuación 3.

$$VA = \frac{\sum_{i=1}^n C_{ij}}{E} \quad (3)$$

Donde:

VA: es valor agregado

E: cantidad de expertos que participan en el proceso,

C_{ij}: vector de pesos expresado por los expertos para los criterios C.

En la actividad 2 el grupo de expertos identifica los criterios evaluativos para el diagnóstico médico. Para determinar las relaciones causales se somete a consideración del grupo de expertos los criterios identificados. A partir de los cuales se pueden determinar las 7 relaciones causales expresadas por los expertos para cada criterio, las que se agregan aplicando la ecuación 3. Finalmente, se obtiene el valor absoluto de relación para cada criterio. La tabla 3 muestra la matriz de adyacencia resultante del proceso.

Tabla 3 - Matriz de adyacencia de los criterios para el diagnóstico médico

C	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
C ₁	[0]	[1]	[1]	[0,90]	[0,90]	[0,93]
C ₂	[1]	[0]	[1]	[1]	[0,94]	[0,95]
C ₃	[1]	[1]	[0]	[0,60]	[0,78]	[0,78]
C ₄	[0,90]	[0,90]	[0,55]	[0]	[0,55]	[0,55]
C ₅	[1]	[1]	[0,55]	[0,65]	[0]	[0,65]
C ₆	[0,85]	[0,80]	[0,20]	[0,20]	[0,20]	[0]

Actividad 4: obtención del FCM del sistema

El FCM es una representación del conocimiento causal extraído de los expertos sobre los criterios evaluativos. En la actividad 3 los expertos determinan las relaciones que existe entre cada par de conceptos C_i y C_j . Como resultado se obtiene la matriz de adyacencia.^(26,27,28)

Para cada relación causal se obtienen K reglas con la siguiente estructura: Si C_i es A entonces C_j es B y el peso W_{ij} es C. Cada nodo constituye un concepto causal, esta característica hace que la representación sea flexible para visualizar el conocimiento humano.^(29,30,31)

Luego de obtener las relaciones causales, se realiza el análisis estático. Se toma de referencia el conocimiento almacenado en la matriz de adyacencia. Para el desarrollo del presente método se trabaja con el grado de salida, tal como muestra la ecuación 4.^(32,33,34)

$$id_i = \sum_{j=1}^n \|C_{ji}\| \quad (4)$$

Donde:

id: es grado de salida,

C_{ji} : vector de pesos expresado por los expertos para los criterios C.

Las relaciones causales obtenidas y almacenadas en la matriz de adyacencia, como resultado del conocimiento expresado por el grupo de expertos, se representan mediante mapa cognitivo difuso para aumentar la interpretación de la información. La figura 2 muestra el FCM que expresa las relaciones causales de los criterios evaluativos para el diagnóstico médico.

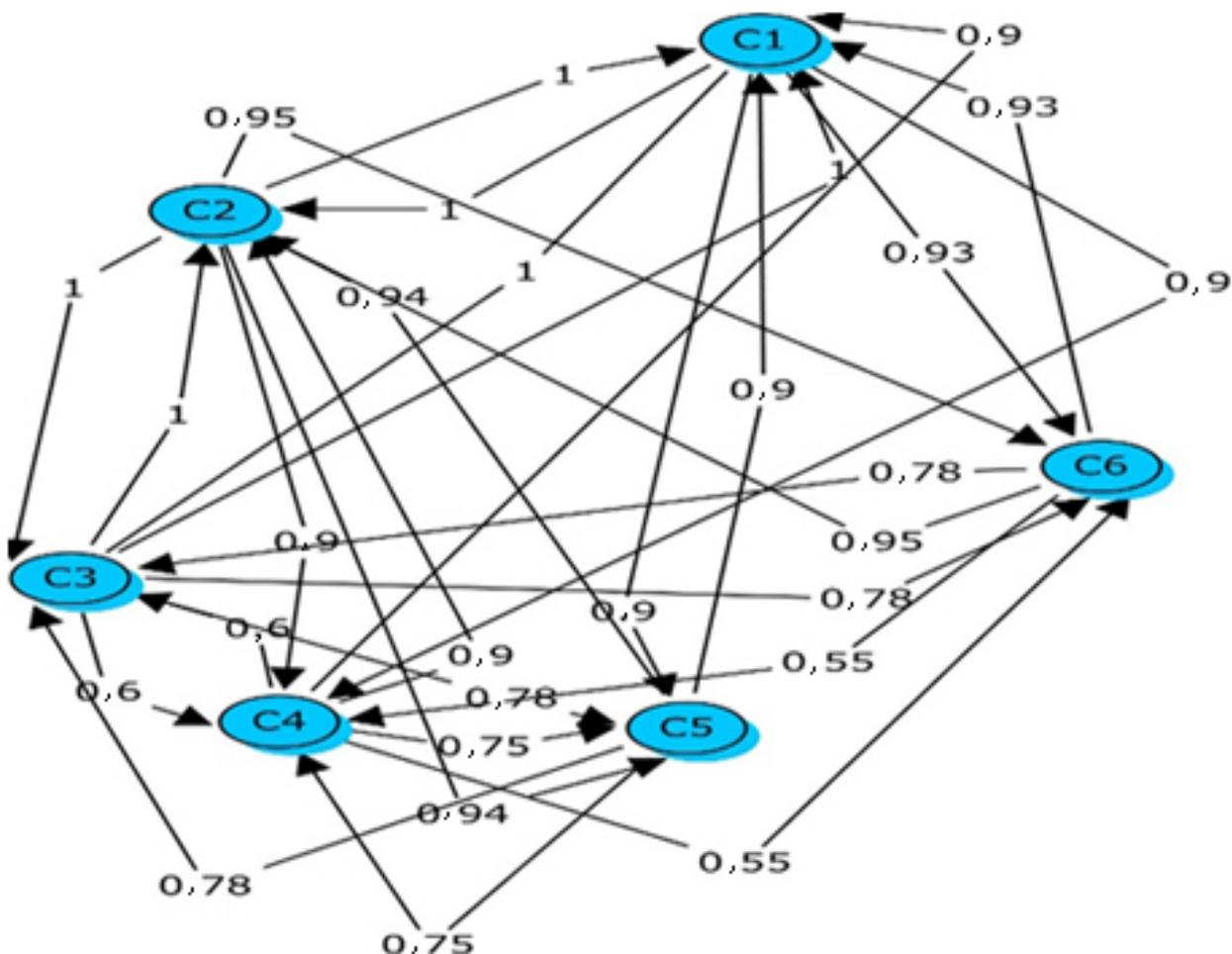


Fig.2 - Mapa cognitivo difuso de los criterios evaluativos para el diagnóstico médico.

La matriz de adyacencia posee el conocimiento necesario para determinar los pesos atribuidos a cada indicador. Para calcular los pesos, se emplea la ecuación 4. La tabla 4 muestra los resultados del cálculo realizado.

Tabla 4 - Peso atribuido a los criterios evaluativos

No	Síntesis de los criterios evaluativos	Pesos
C ₁	Contacto con casos confirmado de COVID-19.	0,94
C ₂	Presencia de sintomatología en un periodo de 2 a 14 días del contacto con COVID-19 o el viaje a una zona con transmisión.	0,97
C ₃	Síntomas de fiebre ≥ 38 grados. Cefalea intensa a predominio de la región frontal, Malestar general con decaimiento y tos seca.	0,83
C ₄	Aparición de diarreas las cuales no tienden a ser numerosas (3 a 5 como promedio).	0,69
C ₅	Aparición de disnea (dificultad respiratoria) en los pacientes adultos de mediana edad (47-56 años).	0,77
C ₆	Dolores abdominales, mareos, náuseas y vómitos.	0,45

Actividad 5: valoración del paciente

La implementación del sistema de apoyo al diagnóstico médico en la práctica médica se realizó en el Policlínico Docente “Ernesto Guevara de la Serna” del municipio Niquero en la provincia de Granma.

La actividad valoración del paciente consiste en realizar, a partir del chequeo clínico, un levantamiento del comportamiento que poseen los criterios evaluativos en el paciente. Para la actividad se utiliza un conjunto de etiquetas lingüísticas.^(24,25) La figura 3 muestra el conjunto de etiquetas lingüísticas utilizado en la presente investigación.

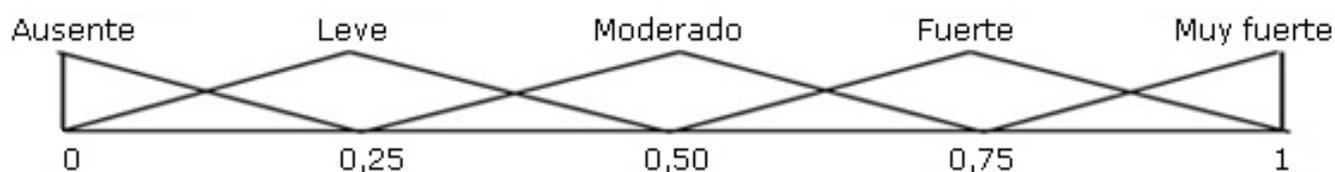


Fig. 3 - Conjunto de etiquetas lingüísticas.

Asimismo, esta actividad radica en realizar el chequeo clínico sobre la condición médica actual en una institución hospitalaria, para lo que se determina el comportamiento de los criterios evaluativos propuestos para el diagnóstico médico. Esta valoración se hace a partir del conjunto de términos propuesto en la figura 3.

La tabla 5 obtiene el resultado de la valoración de un paciente que se estudia como caso, a modo de ejemplo, en la presente investigación.

Tabla 5 - Valoración de paciente

No	Alternativa (A ₁)
C ₁	1
C ₂	1
C ₃	1
C ₄	0,33
C ₅	0,45
C ₆	0,60

Actividad 6: diagnóstico médico

La actividad de diagnóstico consiste en realizar el procesamiento de las informaciones obtenidas y el conocimiento almacenado. El diagnóstico modelado por un FCM evolucionará durante el tiempo, donde la activación de cada neurona dependerá del grado de activación de sus antecedentes en la iteración anterior.^(35,36) Este proceso se repite hasta que el sistema estabilice o se alcance un número máximo de iteraciones.

Durante el procesamiento para la inferencia, se calcula el vector de estado A a través del tiempo, para una condición inicial A^0 .⁽³⁷⁾ De forma análoga a otros sistemas neuronales, la activación de C_i dependerá de la activación de las neuronas que inciden directamente sobre el concepto C_i y de los pesos causales asociados a dicho concepto.^(38,39) La ecuación 5 muestra la expresión utilizada para el procesamiento.^(40,41)

$$A_i^{(K+1)} = f\left(A_i^{(K)} \sum_{i=1; j \neq i}^n A_i^{(K)} * W_{ji}\right) \quad (5)$$

Donde:

$A_i^{(K+1)}$: es el valor del concepto C_i en el paso k+1 de la simulación,

$A_i^{(K)}$: es el valor del concepto C_j en el paso k de la simulación,

W_{ji} : es el peso de la conexión que va del concepto C_j al concepto C_i y $f(x)$ es la función de activación.

La actividad de diagnóstico médico consiste en procesar los datos de los pacientes para inferir un diagnóstico. Siguiendo con el paciente tomado como objeto de estudio para esta investigación, se muestra en la tabla 6 los resultados del procesamiento realizado.

Tabla 6 - Cálculo de preferencias atribuidas al paciente

Criterio	Peso	Preferencia	Agregación
C ₁	0,94	1	0,94
C ₂	0,97	1	0,97
C ₃	0,83	1	0,83
C ₄	0,69	0,75	0,51
C ₅	0,77	1	0,77
C ₆	0,45	0,65	0,29
Índice			0,72

A partir del proceso de simulación del escenario, mediante la ecuación 5, se obtiene el comportamiento en el tiempo de la simulación. La figura 4 muestra una gráfica con el comportamiento de la simulación.

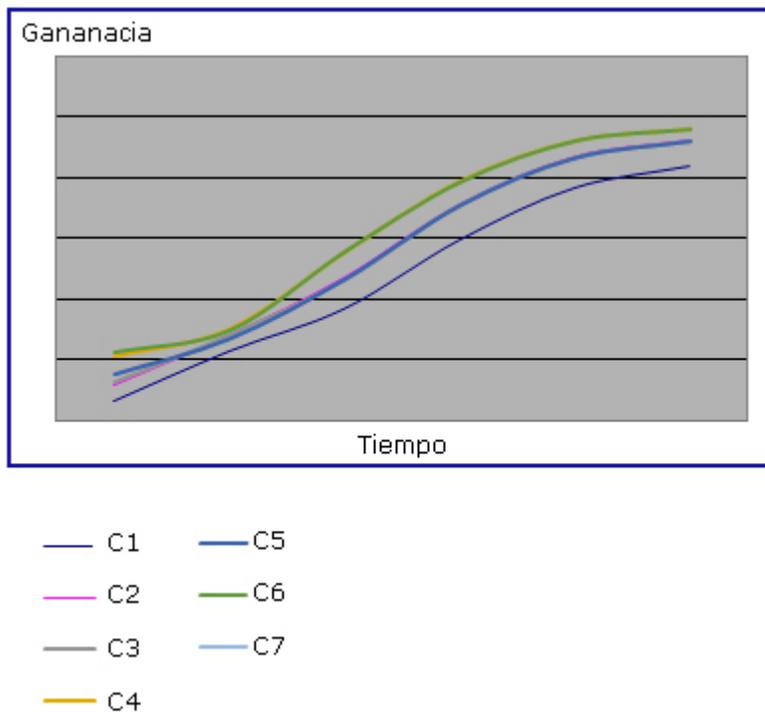


Fig.4 - Resultado de la simulación.

Una vez calculados los índices del paciente $I = 0,72$ para el caso analizado, el sistema para el diagnóstico médico propuesto recomienda, basado en el resultado obtenido, que el paciente posee COVID-19 con una probabilidad del 72 %.

Discusión

El diagnóstico médico representa un área de las ciencias médicas cuya precisión incide en la mitigación de los padecimientos y la disminución de complicaciones derivadas del cuadro clínico. La presente investigación propone un sistema de apoyo a la toma de decisiones sobre el diagnóstico médico de la COVID-19. Este sistema modela las relaciones causales mediante el empleo de la técnica FCM para resolver problemas de arranque en frío sin el almacenamiento de bases de conocimientos previos.

El núcleo fundamental de la investigación se basa en la obtención del conjunto de criterios de evaluación para el diagnóstico médico. La entrevista realizada al grupo de expertos representa el instrumento para extraer el conocimiento causal.

El proceso de inferencia utilizado se basa sobre el conocimiento causal expresado por expertos sobre los criterios de evaluación. Sin embargo, las principales limitaciones de la investigación consisten en que la modelación realizada está diseñada para problemas de arranque en frío, a partir de lo cual se desaprovechan los siguientes elementos:

- El conjunto de datos que se obtienen de los pacientes que son diagnosticados.
- No se combinan diferentes técnicas en función de mejorar la inferencia mediante modelación híbrida.
- El proceso de inferencia se basa inicialmente solo en el conocimiento de los expertos sobre las relaciones causales de los diferentes conceptos.

Investigaciones realizadas en el área del conocimiento del diagnóstico médico basan su funcionamiento mediante la implementación de sistemas inteligentes basados en caso o adaptativos.⁽⁴²⁾ Estos sistemas, respecto a la propuesta implementada, tienden en el tiempo a ser mucho más preciso. Los sistemas basados en caso por su parte poseen como limitación

la imposibilidad de inferir un diagnóstico certero si no poseen una sólida base de conocimiento almacenada.

A partir de estos elementos, es recomendable en futuras investigaciones la hibridación de un sistema computacional que integre un proceso de inferencia basado en FCM para resolver problemas en frío y a su vez una base de caso que permita comparar y determinar el mejor diagnóstico a partir del conocimiento almacenado.

Se puede concluir que el sistema diseñado constituye una herramienta viable de apoyo a la toma de decisiones en el diagnóstico médico de la COVID-19, que permite obtener criterios evaluativos a partir de la modelación de las relaciones causales, esto lo hace extensible a otros tipos de situaciones de emergencias sanitarias.

Referencias bibliográficas

1. Bai Y, Yao L, Wei T, Tian F, Jin D-Y, Chen L, *et al.* Presumed asymptomatic carrier transmission of COVID-19. *Jama*. 2020 [acceso 15/04/2020];323(14):1406-07. Disponible en: <https://jamanetwork.com/journals/jama/fullarticle/2762028>
2. WHO. Coronavirus disease 2019 (COVID-19): situation report, 67. Ginebra: WHO; 2020. [acceso 15/04/2020]. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/331685/nCoVsitrep01Apr2020-eng.pdf>
3. Xu Z, Shi L, Wang Y, Zhang J, Huang L, Zhang C, *et al.* Pathological findings of COVID-19 associated with acute respiratory distress syndrome. *The Lancet respiratory medicine*. 2020;8(4):420-422. DOI: [10.1016/S2213-2600\(20\)30076-X](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(20)30076-X)
4. Gao J, Tian Z, Yang X. Breakthrough: Chloroquine phosphate has shown apparent efficacy in treatment of COVID-19 associated pneumonia in clinical studies. *BioScience Trends* 2020;14(1):72-73. DOI: [10.5582/bst.2020.01047](https://doi.org/10.5582/bst.2020.01047)
5. Vila J, Gómez MD, Salavert M, Bosch J. Métodos de diagnóstico rápido en microbiología clínica: necesidades clínicas. *Enfermedades Infecciosas Y Microbiología Clínica*. 2017 [acceso 15/04/2020];35(1):41-6. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0213005X16303500>

6. Díaz OD, González NO. Manual para el diagnóstico y tratamiento del paciente diabético a nivel primario de salud. La Habana: Ecimed; 2016 [acceso 15/04/2020]. Disponible en: http://www.bvs.sld.cu/libros/manual_diag_ttmo_paciente_diabetico/manual_diag_ttmo_pt_e_diabetico_completo.pdf
7. Arenas Gallego A, Calderon Castro IP, Garcia C, Franko J. Responsabilidad del estado frente a los diagnósticos médicos erróneos en la prestación de servicios de salud. Colombia: Ediciones Universidad Simón Bolívar; 2018 [acceso 15/04/2020]. Disponible en: <https://bonga.unisimon.edu.co/bitstream/handle/20.500.12442/3156/Resumen.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
8. Arribasa MM, Riverob A, Fernández E, Povedad T, Caylà JA. Enfermedades infecciosas y microbiología clínica. Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica. 2018 [acceso 15/04/2020];36(Supl 1): 3-9. Disponible en: https://viivhealthcare.com/content/dam/cf-viiv/viiv-healthcare/es_ES/documents/Monografico%20SEIMC%20%202018.pdf#page=6
9. Lejarazu L, Rello SR, Muñoz IS. Retos diagnósticos de la gripe. Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica. 2019 [acceso 15/04/2020];37:47-55. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0213005X1930182X>
10. Fuster VDE, Boigues FJ, Vidal A, Pastor JI. Redes bayesianas y diagnóstico médico. Una forma diferente de aprender probabilidades condicionadas. Modelling in Science Education and Learning. 2019 [acceso 15/04/2020];12(2):59-76. Disponible en: <https://polipapers.upv.es/index.php/MSEL/article/download/10830/11695>
11. Ventura G, Junior F, Peña Membrillo BO. Sistema Experto Médico para Mejorar el Diagnóstico de Pacientes con Depresión del CSM Santa Lucia de Moche. [tesis de ingeniería]. [Perú]: Universidad César Vallejo; 2018. [acceso 15/04/2020]. Disponible en: http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/38474/gupioc_vf.pdf?sequence=1
12. Herbert S. The New Science of Management Decision. New York: Sage Publications, Inc; 1960. [acceso 15/04/2020]. Disponible en: <https://psycnet.apa.org/record/2009-05849-000>
13. Enrique B, Franklin F. Toma de decisiones empresariales. Contabilidad y Negocios 2011;6(11):113-20.

14. Martínez E. Evaluación y decisión multicriterio: reflexiones y experiencias. UNESCO: Editorial Universidad de Santiago; 1998. [acceso 15/04/2020]. Disponible en: <http://www.cs.put.poznan.pl/ewgmcda/pdf/MartinexBook.pdf>
15. Leyva M. Modelo de ayuda a la toma de decisiones basado en Mapas Cognitivos Difusos [tesis de doctorado]. [La Habana]: Universidad de las Ciencias Informáticas; 2013.
16. Clemen RT, Reilly. T. Making hard decisions with Decision Tools. 2nd rev edition Australia: Duxbury/Thomson. Pacific Grove, CA: Duxbury Press R T; 2001. [acceso 15/04/2020]. Disponible en: https://books.google.com/cu/books?hl=es&lr=&id=CNMbbQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Making+hard+decisions+with+DecisionTools.+&ots=WRRA8ropIt&sig=ne58jQb9jDLw8NBDmM9Vwa16JtI&redir_esc=y#v=onepage&q=Making%20hard%20decisions%20with%20DecisionTools.&f=false
17. Rocchi L, Paolotti L, Rosati A, Boggia A, Castellini C. Assessing the sustainability of different poultry production systems: A multicriteria approach. Journal of cleaner production. 2019 [acceso 15/04/2020];211:103-14. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618334139>
18. Moghadas M, Asadzadeh A, Vafeidis A, Fekete A, Kötter T. A multi-criteria approach for assessing urban flood resilience in Tehran, Iran. International journal of disaster risk reduction. 2019 [acceso 15/04/2020];35:101069. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212420918308021>
19. Bagdanavičiūtė I, Kelpšaitė-Rimkienė L, Galinienė J, Soomere T. Index based multi-criteria approach to coastal risk assesment. J Coast Conserv. 2019;23(4):785-800. DOI: [10.1007/s11852-018-0638-5](https://doi.org/10.1007/s11852-018-0638-5)
20. Efe B. Fuzzy cognitive map based quality function deployment approach for dishwasher machine selection. Applied Soft Computing. 2019 [acceso 15/04/2020];83:105660. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1568494619304405>
21. Portilla ICB, Sánchez ICH, Tarquino IR. Diffuse cognitive maps for analysis of vulnerability to climate variability in Andean rural micro-watersheds. Dyna. 2020 [acceso 15/04/2020];87(212):38-46. Disponible en: http://www.scielo.org/co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532020000100038

22. Zhang Y, Qin J, Shi P, Kang Y. High-order intuitionistic fuzzy cognitive map based on evidential reasoning theory. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*. 2018 [acceso 15/04/2020];27(1):16-30. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8408491/>
23. Nápoles G, Espinosa M, Grau I, Vanhoof K, Bello R. Fuzzy cognitive maps based models for pattern classification: Advances and challenges. In *Soft Computing Based Optimization and Decision Models*. p. 83-98 Springer, Cham; 2018 DOI: [10.1007/978-3-319-64286-4_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-64286-4_5)
24. McCauley SM, Christiansen MH. Language learning as language use: A cross-linguistic model of child language development. *Psychological review*. 2019 [acceso 15/04/2020];126(1):1. Disponible en: http://livrepository.liverpool.ac.uk/3028272/1/McCauley_Christiansen_in_press_Psych_Review.pdf
25. Wu Z, Xu J, Jiang X, Zhong L. Two MAGDM models based on hesitant fuzzy linguistic term sets with possibility distributions: VIKOR and TOPSIS. *Information Sciences*. 2019 [acceso 15/04/2020];473:101-20. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0020025516322034>
26. Leyva-Vázquez M, Pérez-Teruel K, Febles-Estrada A, Gulín-González J. Modelo para el análisis de escenarios basado en mapas cognitivos difusos: estudio de caso en software biomédico. *Ingeniería y Universidad*. 2013 [acceso 15/04/2020];17:375-90. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/477/47728826007.pdf>
27. Papageorgiou K, Singh PK, Papageorgiou E, Chudasama H, Bochtis D, Stamoulis G. Fuzzy Cognitive Map-Based Sustainable Socio-Economic Development Planning for Rural Communities. *Sustainability*. 2019 [acceso 15/04/2020];12(1):1-31. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/1/305/pdf>
28. Mar O, Ching I, Gulín J. Competency assessment model for a virtual laboratory system at distance using fuzzy cognitive map. *Investigación Operacional*. 2018 [acceso 15/04/2020];38(2):169-77. Disponible en: <http://www.invoperacional.uh.cu/index.php/InvOp/article/download/541/503>

29. Mar O, Gulín J. Modelo para la evaluación de habilidades profesionales en un sistema de laboratorios a distancia. Revista científica. 2018 [acceso 15/04/2020];3(33):332-43. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7021279.pdf>
30. Anninou AP, Groumpos PP. A new mathematical model for fuzzy cognitive maps-application to medical problems. Ingeniería de Sistemas y Tecnología de la Información, 2019 [acceso 15/04/2020];1(1):63-6. Disponible en: <http://siit.ugatu.su/index.php/journal/article/viewFile/10/25>
31. Khodadadi M, Shayanfar H, Maghooli K, Mazinan AH. Fuzzy cognitive map based approach for determining the risk of ischemic stroke. IET systems biology. 2019 [acceso 15/04/2020];13(6):297-304. Disponible en: <https://digital-library.theiet.org/content/journals/10.1049/iet-syb.2018.5128>
32. White E, Mazlack J. Discerning suicide notes causality using fuzzy cognitive maps. IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE 2011). Taipei; 2011, p 2940-2947 DOI:[10.1109/FUZZY.2011.6007692](https://doi.org/10.1109/FUZZY.2011.6007692)
33. Vasquez MYL, Veloz GSD, Saleh SH, Roman AMA, Flores RMA. A model for a cardiac disease diagnosis based on computing with word and competitive fuzzy cognitive maps. Revista de la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad de Guayaquil. 2018 [acceso 15/04/2020];19(1). Disponible en: <https://www.revistas.ug.edu.ec/revistas/index.php/RFCM/article/viewFile/10/100>
34. Ladeira MJ, Ferreira FA, Ferreira JJ, Fang W, Falcão PF, Rosa ÁA. Exploring the determinants of digital entrepreneurship using fuzzy cognitive maps. International Entrepreneurship and Management Journal. 2019 [acceso 15/04/2020];15(4):1077-101. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11365-019-00574-9>
35. Miao Y, Liu Z-Q, Siew CK, Miao CY. Dynamical cognitive network-an extension of fuzzy cognitive map. IEEE transactions on Fuzzy Systems. 2001 [acceso 15/04/2020];9(5):760-70. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/963762/>
36. Amer M, Jetter A, Daim T. Development of fuzzy cognitive map (FCM) based scenarios for wind energy. International Journal of Energy Sector Management; 2011 [acceso 15/04/2020];5(4):564-84 DOI: [10.1108/17506221111186378](https://doi.org/10.1108/17506221111186378)

37. Giordano R, Vurro M. Fuzzy Cognitive Map to Support Conflict Analysis in Drought Management In: Glykas M. (eds) Fuzzy Cognitive Maps. Studies in Fuzziness and Soft Computing. Berlin, Heidelberg: Springer; 2010. vol 247. p 403-425. DOI: [10.1007/978-3-642-03220-2_17](https://doi.org/10.1007/978-3-642-03220-2_17)
38. Konar A, Chakraborty UK. Reasoning and unsupervised learning in a fuzzy cognitive map. Information Sciences. 2005 [acceso 15/04/2020];170(2-4):419-41. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0020025504000945>
39. Felix G, Nápoles G, Falcon R, Froelich W, Vanhoof K, Bello R. A review on methods and software for fuzzy cognitive maps. Artificial Intelligence Review. 2019 [acceso 15/04/2020];52(3):1707-37. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10462-017-9575-1>
40. Alizadeh S, Ghazanfari M. Learning FCM by chaotic simulated annealing. Chaos, Solitons & Fractals. 2009 [acceso 15/04/2020];41(3):1182-90. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960077908002373>
41. Song H, Miao C, Shen Z, Roel W, Maja D, Francky C. Design of fuzzy cognitive maps using neural networks for predicting chaotic time series. Neural Networks. 2010 [acceso 15/04/2020];23(10):1264-75. Disponible en: <http://www.dl.edi-info.ir/Design%20of%20fuzzy%20cognitive%20maps%20using%20neural%20networks%20for%20predicting%20chaotic%20time%20series.pdf>
42. Fukuoka Y. Artificial Neural Networks in Medical Diagnosis. In: Schmitt M., Teodorescu HN, Jain A, Jain S, Jain LC. (eds) Computational Intelligence Processing in Medical Diagnosis. Studies in Fuzziness and Soft Computing. Alemania: Physica, Heidelberg; 2002. vol 96. DOI: [10.1007/978-3-7908-1788-1_8](https://doi.org/10.1007/978-3-7908-1788-1_8)

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen conflicto de intereses

Contribuciones de los autores

Omar Mar Cornelio: conceptualización; curación de datos; análisis formal; administración del proyecto; software; supervisión; redacción - borrador original; redacción - revisión y edición.

Jorge Gulín González: curación de datos; software; redacción - borrador original; redacción - revisión y edición.

Bárbara Bron Fonseca: conceptualización; curación de datos; análisis formal; redacción - borrador original; redacción - revisión y edición.

Jeovanys Víctor Garcés Espinosa: conceptualización; curación de datos; análisis formal; validación.