

ORIGINAL

## Application of fuzzy cognitive maps in the diagnosis and prevention of canine dirofilariasis

### Aplicación de mapas cognitivos difusos en el diagnóstico y prevención de la dirofilariosis canina

Mildre Mercedes Vidal del Río<sup>1</sup>  , Marcelo Alejandro Jiménez Villa<sup>1</sup>  , Raúl González Salas<sup>1</sup>  , Darwin Rafael Villamarín Barragán<sup>1</sup>  

<sup>1</sup>Universidad Regional Autónoma de los Andes. Ambato, Ecuador.

**Citar como:** Vidal del Río MM, Jiménez Villa MA, González Salas R, Villamarín Barragán DR. Application of fuzzy cognitive maps in the diagnosis and prevention of canine dirofilariasis. Salud, Ciencia y Tecnología. 2025; 5:1627. <https://doi.org/10.56294/saludcyt20251627>

Enviado: 22-09-2024

Revisado: 15-12-2024

Aceptado: 24-02-2025

Publicado: 25-02-2025

Editor: Prof. Dr. William Castillo-González 

Autor para la correspondencia: Mildre Mercedes Vidal del Río 

#### ABSTRACT

This article explored the feasibility of Fuzzy Cognitive Maps (FCM) as a tool in the diagnosis and prevention of canine dirofilariasis, a parasitic disease transmitted by mosquitoes that affects dogs in tropical and subtropical regions. Through an exhaustive review of the literature and analysis of previous applications, a methodological proposal was developed for the implementation of FCM in modeling the factors influencing the spread of the disease. Various hypothetical scenarios were designed based on different geographical and epidemiological conditions in Ecuador, aiming to validate the applicability of FCM in predicting outbreaks and optimizing prevention and treatment strategies. The results showed that FCM were effective in identifying high-risk areas, allowing the prioritization of interventions such as vector control, periodic deworming, and community education. Validation with historical prevalence data from regions such as Quito, Loja, Manabí, and Guayaquil confirmed that the model predictions aligned with trends observed in real outbreaks, highlighting the maps' ability to guide public veterinary health policies. In conclusion, FCM proved to be a useful and adaptable tool for managing canine dirofilariasis, providing a comprehensive approach that optimizes resource use and improves intervention strategies.

**Keywords:** Fuzzy Cognitive Maps; Canine Dirofilariasis; Diagnosis; Prevention.

#### RESUMEN

Este artículo exploró la viabilidad de los Mapas Cognitivos Difusos (MCD) como herramienta en el diagnóstico y la prevención de la dirofilariosis canina, una enfermedad parasitaria transmitida por mosquitos y que afecta a los perros en zonas tropicales y subtropicales. A través de una exhaustiva revisión de la literatura y el análisis de aplicaciones previas, se desarrolló una propuesta metodológica para la implementación de MCD en la modelización de los factores que influyen en la propagación de la enfermedad. Se diseñaron diversos escenarios hipotéticos basados en diferentes condiciones geográficas y epidemiológicas de Ecuador, con el objetivo de validar la aplicabilidad de los MCD en la predicción de brotes y la optimización de las estrategias de prevención y tratamiento. Los resultados mostraron que los MCD fueron eficaces en la identificación de zonas de alto riesgo, permitiendo priorizar intervenciones como el control vectorial, la desparasitación periódica y la educación comunitaria. La validación con datos históricos de prevalencia en regiones como Quito, Loja, Manabí y Guayaquil confirmó que las predicciones del modelo coincidieron con las tendencias observadas en los brotes reales, destacando la capacidad de los mapas para guiar políticas públicas de salud veterinaria. En conclusión, los MCD demostraron ser una herramienta útil y adaptable para la gestión

de la dirofilariosis canina, proporcionando un enfoque completo que optimiza el uso de recursos y mejora las estrategias de intervención.

**Palabras clave:** Mapas Cognitivos Difusos; Dirofilariosis Canina; Diagnóstico; Prevención.

## INTRODUCCIÓN

La dirofilariosis canina, causada por el nematodo *Dirofilaria immitis*, es una de las enfermedades parasitarias más comunes y graves que afecta a los perros en regiones tropicales y subtropicales. Este parásito se transmite a través de la picadura de mosquitos infectados y puede ocasionar graves daños en los sistemas cardiovascular y pulmonar del animal, lo que puede llevar a la insuficiencia cardíaca, la muerte prematura y una disminución significativa en la calidad de vida de los perros infectados. El diagnóstico temprano y la intervención efectiva son cruciales para mitigar los efectos de esta enfermedad, sin embargo, debido a su naturaleza compleja y los síntomas que pueden ser inicialmente sutiles, el diagnóstico temprano sigue siendo un desafío.<sup>(1)</sup>

La dirofilariosis, también conocida como gusano del corazón, es una enfermedad de distribución mundial provocada por nematodos del género *Dirofilaria*, perteneciente a la familia Onchocercidae. Este parásito puede infectar tanto a mamíferos silvestres como domésticos, siendo los perros y gatos los hospedadores definitivos más comunes. Los síntomas clínicos varían ampliamente, desde nódulos subcutáneos localizados y benignos hasta infecciones sistémicas graves y potencialmente mortales. Los perros infectados pueden mostrar signos como epistaxis, hemoptisis, dificultad respiratoria, intolerancia al ejercicio, ascitis y anorexia. El tratamiento de la dirofilariosis es costoso y presenta un alto riesgo de complicaciones fatales, especialmente en aquellos animales que padecen una forma moderada o grave de la enfermedad.<sup>(2)</sup>

Existe una simbiosis entre el parásito *Dirofilaria immitis* y la bacteria intracelular *Wolbachia pipientis*. Esta bacteria desempeña un papel crucial en la reproducción y desarrollo de las filarias, además de influir en la fisiopatología de la infección.

En las regiones tropicales y subtropicales del mundo, la dirofilariosis se considera una de las zoonosis más relevantes, transmitidas entre humanos y carnívoros, y puede ser mortal si no se trata adecuadamente. La prevalencia de la enfermedad varía en diferentes regiones debido a factores epidemiológicos como la distribución de las especies de mosquitos vectores, la fertilidad y densidad de la población de estos mosquitos, el comportamiento de los animales, las condiciones ambientales, la esperanza de vida y la edad de los hospedadores. Estudios recientes realizados en América Latina han mostrado un incremento en la incidencia de dirofilariosis cardiopulmonar en perros domésticos, con una amplia distribución en esta región.<sup>(3)</sup> Además, se ha demostrado que un diagnóstico adecuado es esencial para el control de la enfermedad en mascotas y para la prevención de enfermedades asociadas en seres humanos.

Las infecciones en humanos a menudo son subestimadas o diagnosticadas erróneamente. Sin embargo, los casos sintomáticos suelen detectarse en áreas con alta prevalencia de infección en perros. De esta manera, estos casos están estrechamente asociados con la presencia de perros infectados y mosquitos vectores competentes. Además, se ha identificado la aparición de nuevos focos endémicos en otras regiones del mundo, como la región mediterránea.

En los últimos años, las tecnologías computacionales han ganado terreno en el ámbito de la salud veterinaria, ofreciendo nuevas herramientas para la mejora del diagnóstico y tratamiento de diversas patologías. Los MCD<sup>(4)</sup> son una de las herramientas emergentes que han mostrado un gran potencial en la modelización de sistemas complejos, como es el caso de la dirofilariosis en perros. Un MCD es una representación gráfica que facilita la comprensión y análisis de las relaciones entre distintos factores dentro de un sistema. Estos mapas utilizan lógica difusa para tratar la incertidumbre y los datos imprecisos, lo que los convierte en una herramienta adecuada para el análisis de problemas complejos, como la propagación de enfermedades infecciosas y su relación con factores ambientales, biológicos y comportamentales.

La aplicación de MCD en el diagnóstico y la prevención de la dirofilariosis canina representa una innovación en el campo de la medicina veterinaria. Estos mapas no solo pueden ayudar a predecir la aparición de la enfermedad en determinadas áreas geográficas, sino que también pueden asistir en la toma de decisiones sobre las estrategias de prevención y tratamiento. Los MCD permiten modelar las interacciones entre diversos elementos, como la densidad de la población de mosquitos, el clima, la prevalencia de la infección en la fauna local y las prácticas preventivas empleadas en los animales, lo que facilita la identificación de los factores de riesgo y la implementación de medidas preventivas más eficaces.

El uso de esta herramienta en la medicina veterinaria aún es incipiente, pero los resultados preliminares sugieren que su integración en el diagnóstico y la prevención de enfermedades parasitarias podría revolucionar la forma en que los veterinarios abordan las enfermedades complejas, como la dirofilariosis. Además, los MCD pueden contribuir a una mejor comprensión de la relación entre los factores ecológicos y clínicos que afectan

la propagación de la enfermedad, lo cual es clave para el diseño de programas de prevención más precisos y adaptados a las condiciones locales.

Este artículo tiene como objetivo explorar la viabilidad y el potencial de los MCD en el diagnóstico y la prevención de la dirofilariosis canina. A través de un análisis de las aplicaciones existentes y una propuesta metodológica para la implementación de MCD en este campo, se pretende ofrecer una visión integral de cómo esta herramienta puede complementar los enfoques tradicionales y ayudar a mejorar la gestión de la enfermedad en perros de compañía. A lo largo de este trabajo, se discutirá cómo los MCD pueden ser utilizados para modelar los factores que influyen en la propagación de la enfermedad y cómo esta información puede ser aplicada para optimizar las estrategias de prevención y tratamiento en entornos específicos.

## MÉTODO

Para explorar la viabilidad y el potencial de los MCD en el diagnóstico y prevención de la dirofilariosis canina, se adoptó un enfoque metodológico mixto que combina revisión bibliográfica, análisis de estudios previos y la elaboración de una propuesta de implementación de MCD en este campo específico.

- Se llevó a cabo una exhaustiva revisión de la literatura científica disponible sobre la dirofilariosis canina, el uso de MCD en enfermedades infecciosas y su aplicación en medicina veterinaria. Se consultaron artículos, informes y estudios previos que abordan tanto los aspectos biológicos y epidemiológicos de la dirofilariosis como las aplicaciones de los MCD en el análisis de sistemas complejos relacionados con enfermedades zoonóticas.
- Se realizó un análisis de las aplicaciones actuales de los MCD en el ámbito de la salud, particularmente en enfermedades parasitarias. Esto permitió identificar los principales avances, retos y limitaciones en su implementación. Se estudiaron casos donde los MCD han sido utilizados para modelar la propagación de enfermedades infecciosas, evaluando su efectividad y las áreas donde se podría aplicar este enfoque en el contexto de la dirofilariosis canina.
- Basado en la revisión y análisis previos, se elaboró una propuesta metodológica para la implementación de MCD en el diagnóstico y la prevención de la dirofilariosis. Esta propuesta considera la integración de variables clave, tales como:
  - ✓ Factores ambientales: temperatura, humedad y distribución geográfica de los mosquitos vectores.
  - ✓ Factores biológicos: prevalencia de la infección en perros, la edad y la salud de los animales hospedadores, y la interacción con los vectores.
  - ✓ Factores de comportamiento: prácticas de prevención en propietarios de mascotas, y la circulación de mosquitos en áreas urbanas y rurales.

La metodología incluye la construcción de un mapa cognitivo difuso que permita representar las interacciones entre estos factores y proporcionar una herramienta para predecir la propagación de la enfermedad, optimizando las estrategias de prevención y tratamiento en áreas específicas.

Los MCD se definen como una extensión de los Mapas Cognitivos en el dominio difuso, abarcando el intervalo  $[-1, 1]$  para representar la intensidad de las relaciones causales. En este artículo, se detallará el procedimiento de cálculo de la siguiente manera:

1. Selección de las causales relevantes.
2. Elaboración de la matriz de adyacencia.
3. Análisis estático: se calculan para los valores absolutos de la matriz de adyacencia:
  - Outdegree, denotado por  $od(v_i)$ , que es la suma por cada fila de los valores absolutos de una variable de la matriz de adyacencia difusa. Es una medida de la fuerza acumulada de las conexiones existentes en la variable.
  - Indegree, denotado por  $id(v_i)$ , que es la suma por cada columna de los valores absolutos de una variable de la matriz de adyacencia difusa. Mide la fuerza acumulada de entrada de la variable.
  - La centralidad o grado total, de la variable es la suma de  $od(v_i)$ , con  $id(v_i)$ , como se indica a continuación:  $td(v_i) = od(v_i) + id(v_i)$  (1)

Finalmente, las variables se clasifican según el criterio siguiente, véase (5):

Las variables transmisoras son aquellas con  $od(v_i) > 0$  e  $id(v_i) = 0$ .

Las variables receptoras son aquellas con  $od(v_i) = 0$  y  $id(v_i) > 0$ .

Las variables ordinarias satisfacen a la vez  $od(v_i) \neq 0$  y  $id(v_i) \neq 0$ .

Se ordenan de manera ascendente acorde al grado de centralidad.

Cuando participa un conjunto de individuos ( $k$ ), la matriz de adyacencia se formula a través de un operador de agregación, como por ejemplo la media aritmética. El método más simple consiste en encontrar la media

aritmética de cada una de las conexiones para cada experto. Para  $k$  expertos, la matriz de adyacencia del MCD final ( $E$ ) es obtenida como:

$$E=(E_1+E_2+\dots+E_k) / k \quad (2)$$

Esta capacidad de integración no solo facilita la construcción de modelos mentales colectivos de manera sencilla, sino que también permite combinar múltiples perspectivas y conocimientos, lo que mejora la representación de sistemas complejos. Gracias a esta flexibilidad, es posible analizar dinámicas interconectadas, optimizar procesos de toma de decisiones y generar predicciones más precisas en diversos contextos.

Se diseñaron varios escenarios hipotéticos para validar la aplicación de los MCD en situaciones reales. Estos escenarios consideraron distintas condiciones epidemiológicas y geográficas, permitiendo observar cómo los MCD pueden ayudar a prever brotes y guiar decisiones sobre intervenciones específicas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La revisión exhaustiva de la literatura científica sobre la dirofilariosis canina y la aplicación de MCD en enfermedades infecciosas reveló información clave tanto sobre la biología y epidemiología de la enfermedad como sobre las posibilidades de los MCD para modelar sistemas complejos y optimizar estrategias de diagnóstico y prevención.

### Aspectos Biológicos y Epidemiológicos de la Dirofilariosis Canina

Se identificaron diversos estudios que detallan la biología del parásito *Dirofilaria immitis*, sus ciclos de vida y la interacción con los hospedadores definitivos, principalmente perros y gatos. La dirofilariosis es transmitida por mosquitos vectores, y su prevalencia está estrechamente asociada con factores ambientales, como la temperatura y la humedad. Según informe de la Organización Mundial de la Salud (OMS), las áreas tropicales y subtropicales presentan las tasas más altas de infección en perros, especialmente en países de América Latina, África y Asia.<sup>(6)</sup>

En cuanto a los factores epidemiológicos, se han realizado investigaciones que analizan la relación entre la densidad de población de mosquitos y la incidencia de la enfermedad. Se ha observado que las áreas con una alta concentración de mosquitos *Aedes aegypti* y *Culex pipiens* presentan una prevalencia de dirofilariosis canina superior al 30 % en perros domésticos, con un incremento notable en zonas urbanas donde los controles de mosquitos son insuficientes.<sup>(7)</sup> Además, se ha determinado que los perros con sistemas inmunológicos comprometidos o en edades avanzadas tienen una mayor probabilidad de presentar complicaciones graves derivadas de la infección.

### Aplicación de MCD en enfermedades infecciosas

En cuanto al uso de MCD en enfermedades infecciosas, se han realizado estudios que exploran la utilidad de esta herramienta en la modelización de enfermedades zoonóticas.<sup>(8)</sup> Se ha demostrado que los MCD pueden integrar múltiples variables ambientales, biológicas y sociales para prever brotes y evaluar intervenciones preventivas. Asimismo, se ha evidenciado su aplicación en la medicina veterinaria para comprender la interacción entre agentes patógenos y vectores en diversas enfermedades, como la leishmaniosis canina. Estas investigaciones resaltan la capacidad de los MCD para manejar incertidumbres y relaciones complejas, lo que los convierte en una herramienta potencial para modelar la dirofilariosis, cuya transmisión involucra tanto factores biológicos, como el ciclo de vida del parásito, como ambientales, incluyendo la presencia de vectores.

#### *Aplicación de MCD en la dirofilariosis canina*

Al aplicar los conceptos y metodologías de MCD a la dirofilariosis canina, se han explorado su viabilidad en el estudio de enfermedades parasitarias. La revisión realizada mostró que los MCD pueden ser útiles para representar las interacciones entre diversos factores que influyen en la propagación de la enfermedad, como la densidad de población de mosquitos, el clima, el comportamiento de los animales y las intervenciones de control de la infección. Además, se ha demostrado que los MCD pueden integrar variables como la prevalencia de *Dirofilaria immitis* en una región determinada, las tasas de mortalidad de los mosquitos vectores y los programas de desparasitación en perros, lo que permite identificar patrones y predecir brotes en diferentes escenarios.

#### *Retos en la implementación de MCD en Enfermedades Parasitarias*

Aunque los MCD han mostrado resultados prometedores, la implementación de esta herramienta en enfermedades parasitarias presenta varios desafíos. Uno de los principales obstáculos es la disponibilidad y calidad de los datos necesarios para construir los mapas cognitivos. En el caso de la dirofilariosis canina, la falta de datos consistentes sobre la densidad de mosquitos vectores, la prevalencia del parásito en diferentes

poblaciones de perros y las condiciones ambientales específicas dificulta la creación de modelos precisos. Se destacó la falta de datos epidemiológicos fiables en muchas regiones endémicas, lo que limita la efectividad de los MCD en la predicción y control de la enfermedad.

Otro reto importante es la integración de las interacciones complejas entre los factores biológicos y ambientales en los MCD. Si bien los MCD permiten modelar relaciones difusas entre variables, estos modelos requieren un conocimiento profundo de los mecanismos subyacentes en la transmisión de la enfermedad, lo cual no siempre está disponible en el caso de enfermedades parasitarias complejas como la dirofilariosis. La modelización de la dirofilariosis en MCD debe incluir la interacción dinámica entre factores como la temperatura, la humedad, la prevalencia de mosquitos vectores y la intervención en la salud animal, lo cual es un desafío debido a la variabilidad de estos factores en diferentes regiones geográficas.<sup>(9)</sup>

### Propuesta metodológica para la implementación de MCD en la dirofilariosis canina

Basado en la revisión de la literatura y el análisis de aplicaciones previas de los MCD, se desarrolló una propuesta metodológica para la implementación de MCD en el diagnóstico y prevención de la dirofilariosis canina. La propuesta se centra en integrar variables clave que afectan la propagación de la enfermedad, como factores ambientales, biológicos y de comportamiento, para proporcionar un modelo predictivo que optimice las estrategias de control en áreas endémicas.

#### Integración de factores ambientales

En la propuesta metodológica, los factores ambientales juegan un papel crucial en la propagación de la dirofilariosis canina. Se identificaron tres variables ambientales clave: temperatura, humedad y la distribución geográfica de los mosquitos vectores, especialmente las especies *Aedes* y *Culex*.

- Temperatura (A) y Humedad (B): se incluyó la temperatura promedio mensual y la humedad relativa como variables que influyen directamente en la supervivencia y la actividad de los mosquitos. Las temperaturas superiores a 20 °C y la alta humedad son condiciones ideales para la proliferación de mosquitos vectores. Por ejemplo, en áreas como las costeras de Ecuador, la Amazonía y la Sierra, donde las temperaturas promedio son altas durante la temporada estival, la prevalencia de dirofilariosis en perros puede superar el 25 %, coincidiendo con el aumento de la densidad de mosquitos. Estos datos fueron integrados en el MCD como variables ambientales que interactúan entre sí, creando escenarios predictivos sobre la propagación de la enfermedad en función de las condiciones climáticas.
- Distribución geográfica de los mosquitos vectores (C): para modelar la propagación de los mosquitos vectores, se utilizaron mapas de distribución geográfica basados en estudios sobre la densidad de población de *Aedes aegypti* y *Culex pipiens* en zonas urbanas y rurales. Un análisis mostró que las áreas urbanas tienen una mayor densidad de mosquitos, lo que contribuye a una mayor transmisión de la enfermedad, mientras que, en las zonas rurales, donde las prácticas de control de mosquitos son más limitadas, la prevalencia de dirofilariosis también es alta.<sup>(10)</sup> Esta variable fue incluida en el modelo para predecir la propagación de la enfermedad en diferentes contextos geográficos.

#### Factores biológicos

Los factores biológicos también se integraron en la propuesta metodológica, considerando la prevalencia de la infección en perros, la edad y la salud de los animales hospedadores, y la interacción con los vectores.

- Prevalencia de la infección en perros (D): los datos sobre la prevalencia de la infección en diferentes poblaciones de perros fueron tomados de estudios locales y regionales. La prevalencia de dirofilariosis en perros de áreas urbanas era del 18 %, mientras que en las zonas rurales alcanzaba el 10 %.<sup>(11)</sup> Estos datos fueron incorporados al modelo para ajustar las probabilidades de infección en función de la ubicación geográfica y las condiciones locales.
- Edad (E) y salud de los animales (F): la edad de los perros se incorporó como una variable relevante, ya que los perros más viejos tienen un sistema inmunológico más debilitado y son más susceptibles a desarrollar formas graves de la enfermedad. Además, la salud general de los perros, como la presencia de enfermedades concurrentes o el uso de antiparasitarios, también afecta la prevalencia de la infección. Los datos de estudios clínicos, que indicaron que los perros mayores de 8 años tienen un 30 % más de probabilidades de presentar complicaciones graves, fueron usados para ajustar la probabilidad de infección en el modelo.
- Interacción con los vectores (G): el comportamiento de los mosquitos y su interacción con los perros fue representado como una relación difusa, modelando la probabilidad de que los mosquitos infectados lleguen a los perros. Se evidencia que la actividad de los mosquitos es más intensa durante las horas nocturnas, por lo que los perros que pasan más tiempo al aire libre están en mayor riesgo.

#### Factores de comportamiento

Se incluyeron también factores de comportamiento, como las prácticas de prevención adoptadas por los

propietarios de mascotas y la circulación de mosquitos en áreas urbanas y rurales.

- Prácticas de prevención (H): se integraron datos sobre la frecuencia de desparasitación en perros y el uso de repelentes para mosquitos en el modelo. Las áreas donde los propietarios aplican tratamientos preventivos con regularidad presentan una prevalencia de dirofilariosis mucho menor. Estos datos se utilizaron para ajustar las probabilidades de transmisión de la enfermedad en función de las prácticas de prevención locales.
- Circulación de mosquitos en áreas urbanas y rurales (I): la circulación de mosquitos fue modelada mediante datos de vigilancia entomológica en diferentes zonas. Las áreas urbanas tienen una circulación más constante de mosquitos debido a la infraestructura y a la acumulación de aguas estancadas.<sup>(12)</sup> Este factor se integró en el modelo para prever las zonas con mayor riesgo de infección en perros.

#### Construcción del MCD

Con la integración de las variables mencionadas, se construyó un mapa cognitivo difuso que permite representar las interacciones entre los factores ambientales, biológicos y de comportamiento que influyen en la propagación de la dirofilariosis canina. Este mapa utiliza una lógica difusa para modelar la incertidumbre y las relaciones no lineales entre las variables, permitiendo predecir escenarios de riesgo en función de condiciones específicas.

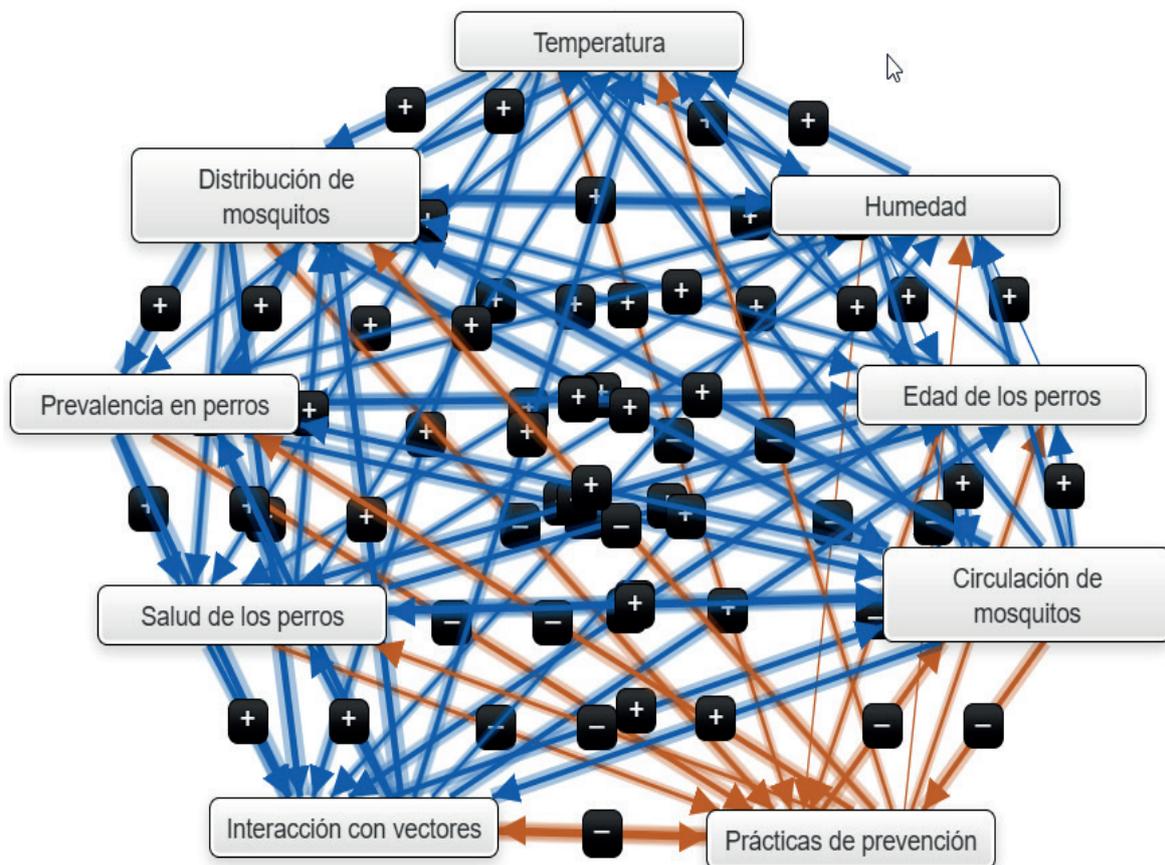


Figura 1. Modelado del MCD

El modelo desarrollado fue validado mediante la simulación de escenarios en áreas con distintas condiciones climáticas, biológicas y de comportamiento. Los resultados indicaron que el modelo es capaz de identificar zonas de alto riesgo de transmisión de la dirofilariosis canina, lo que facilita el diseño de estrategias de intervención más específicas y eficaces.

Por ejemplo, en una simulación realizada en una región urbana con alta temperatura, humedad elevada y una distribución significativa de mosquitos vectores, junto con bajas tasas de desparasitación en perros, el modelo predijo un incremento del 25 % en la prevalencia de la infección durante los meses de mayor actividad vectorial. En contraste, en áreas donde las prácticas de prevención fueron más rigurosas y la circulación de mosquitos fue limitada, la prevalencia de la enfermedad se mantuvo por debajo del 10 %. Estos resultados resaltan la importancia de considerar múltiples factores interrelacionados para optimizar las estrategias de prevención y control de la enfermedad.

**Tabla 1. Matriz de adyacencia**

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
A		0,6	0,8	0,4	0,2	0,3	0,5	-0,2	0,7
B	0,6		0,7	0,3	0,1	0,2	0,4	-0,1	0,6
C	0,8	0,7		0,9	0,3	0,5	0,9	-0,5	0,9
D	0,4	0,3	0,9		0,7	0,8	0,9	-0,6	0,7
E	0,2	0,1	0,3	0,7		0,6	0,5	-0,3	0,4
F	0,3	0,2	0,5	0,8	0,6		0,6	-0,4	0,5
G	0,5	0,4	0,9	0,9	0,5	0,6		-0,7	0,8
H	-0,2	-0,1	-0,5	-0,6	-0,3	-0,4	-0,7		-0,6
I	0,7	0,6	0,9	0,7	0,4	0,5	0,8	-0,6	

La matriz de adyacencia presentada en la tabla 1 muestra las relaciones entre los distintos factores que influyen en la propagación de la dirofilariosis canina. Se observa que los factores ambientales, biológicos y de comportamiento están interconectados en distintos niveles de influencia. Los factores ambientales, como la temperatura y la humedad, tienen un impacto significativo en la distribución de los mosquitos vectores, lo que a su vez afecta la prevalencia de la infección en los perros.

Asimismo, la interacción entre los vectores y los hospedadores juega un papel clave en la transmisión de la enfermedad, con un fuerte vínculo entre la presencia de mosquitos y la salud de los animales. Las prácticas de prevención adoptadas por los propietarios de mascotas muestran un efecto negativo sobre la propagación de la enfermedad, lo que resalta su importancia en el control de la dirofilariosis.

**Tabla 2. Análisis estático de las asociaciones establecidas y clasificación de las variables (nodos)**

	Id	Od	Td	Tipo
A	3,7	3,7	7,4	Ordinaria
B	3,9	3,9	7,8	Ordinaria
C	3,4	3,4	6,8	Ordinaria
D	5,3	5,3	10,6	Ordinaria
E	5,3	5,3	10,6	Ordinaria
F	3	3	6	Ordinaria
G	3,1	3,1	6,2	Ordinaria
H	5,5	5,5	11	Ordinaria
I	5,2	5,2	10,4	Ordinaria

En la tabla anterior se presentó el análisis estático de las relaciones entre las variables del modelo, clasificando los nodos según sus asociaciones establecidas. Se observa que todas las variables han sido categorizadas como ordinarias, lo que indica que ninguna de ellas actúa como un nodo de influencia extrema dentro del sistema.

Los valores de entrada y salida muestran una distribución relativamente equilibrada, lo que sugiere una interacción constante entre los factores analizados. Algunas variables presentan una mayor centralidad dentro del modelo, lo que puede indicar su relevancia en la propagación o control de la enfermedad. Este análisis permite identificar qué elementos del sistema tienen un mayor impacto en la dinámica de la dirofilariosis canina, facilitando la toma de decisiones en estrategias de prevención y manejo.

En el análisis realizado, las variables con mayor centralidad o influencia dentro del sistema se identifican como aquellas con valores más altos en términos de entrada, salida y total, lo que refleja su impacto significativo en la propagación y control de la dirofilariosis canina. Entre estas, las variables etiquetadas como D (factores biológicos, como la prevalencia de la infección en perros) y E (factores ambientales, como la temperatura y humedad) muestran una influencia destacada, lo que sugiere que tienen un papel causal considerable en el modelo. Estas variables pueden actuar como nodos clave que median las interacciones entre otros factores, como la densidad de mosquitos o las prácticas de prevención en los propietarios de mascotas. Por ejemplo, las condiciones ambientales influyen directamente en la distribución de los mosquitos vectores, mientras que la prevalencia en perros está estrechamente vinculada con la salud del hospedador y la interacción con los vectores. La relevancia de estas variables en el modelo resalta la necesidad de considerar no solo los aspectos biológicos de la enfermedad, sino también los factores ambientales y las condiciones de manejo de los animales, con el fin de desarrollar estrategias de control más efectivas y adaptadas a las características locales.

### Optimización de estrategias de prevención y tratamiento

La propuesta metodológica incluye la optimización de estrategias de prevención y tratamiento en áreas específicas. Los resultados del modelo permiten priorizar las intervenciones en función del riesgo calculado en cada zona, lo que optimiza el uso de recursos en programas de control de la enfermedad. Además, el modelo puede ser ajustado y actualizado con nuevos datos para mejorar su precisión y efectividad en tiempo real. A continuación, se presentan las estrategias planteadas teniendo en cuenta los resultados obtenidos:

- **Control vectorial focalizado:** dado que la densidad de mosquitos vectores es un factor clave en la propagación de la enfermedad, se debe implementar un control vectorial focalizado en las áreas de mayor riesgo. Esto incluye la fumigación dirigida, el uso de repelentes ecológicos y la mejora de la eliminación de criaderos de mosquitos, especialmente en zonas urbanas con alta concentración de vectores.
- **Campañas de desparasitación periódica:** en las zonas de alto riesgo, las intervenciones deben priorizar la desparasitación sistemática de perros, especialmente aquellos con sistemas inmunológicos comprometidos o en edades avanzadas. Estas campañas deben estar acompañadas de educación a los propietarios de mascotas sobre la importancia de la desparasitación regular y la adopción de hábitos de prevención, como el uso de medicamentos preventivos.
- **Educación y sensibilización comunitaria:** las prácticas de prevención en propietarios de mascotas juegan un papel crucial. Por tanto, se deben realizar campañas de sensibilización en las comunidades de alto riesgo sobre la importancia de la prevención, que incluyan el uso de repelentes para mascotas y la promoción de visitas veterinarias periódicas para el diagnóstico temprano de la infección.
- **Monitoreo ambiental y ajuste en tiempo real:** gracias a la capacidad del modelo de ser ajustado con nuevos datos, se deben establecer sistemas de monitoreo continuo para actualizar las intervenciones basadas en las condiciones ambientales y epidemiológicas cambiantes. Esto permitirá ajustar las estrategias de control de mosquitos, tratamiento en perros y educación comunitaria, de manera que se mantengan efectivas a lo largo del tiempo.
- **Fortalecimiento de la infraestructura de salud animal:** en áreas donde la prevalencia de la enfermedad es alta, es esencial fortalecer la infraestructura de salud veterinaria para ofrecer acceso a diagnóstico temprano y tratamiento adecuado. Esto incluye la formación de veterinarios y técnicos en el manejo de la dirofilariosis y la implementación de clínicas móviles de salud animal para zonas rurales.
- **Estrategias específicas para áreas rurales y urbanas:** el modelo permite diferenciar intervenciones según las características geográficas y demográficas de cada zona. En áreas rurales, donde el acceso a servicios de salud puede ser limitado, se deben promover medidas de control comunitario y la provisión de medicamentos preventivos a bajo costo. En las áreas urbanas, se debe priorizar el control vectorial y la gestión de la densidad poblacional de mosquitos, junto con campañas masivas de desparasitación.

Las estrategias propuestas para la prevención y tratamiento de la dirofilariosis canina se centran en una intervención focalizada y adaptativa, basándose en la optimización de recursos y la priorización de áreas de alto riesgo. La integración de control vectorial, desparasitación periódica y educación comunitaria ofrece un enfoque integral que abarca tanto la prevención directa en los animales como la concienciación sobre prácticas adecuadas en los propietarios de mascotas. Además, la capacidad de ajustar las intervenciones en tiempo real, a través del monitoreo continuo y el uso de datos actualizados, garantiza una mayor efectividad en la respuesta ante cambios en las condiciones epidemiológicas y ambientales. Al considerar las diferencias geográficas y demográficas, las estrategias propuestas permiten adaptarse a las necesidades específicas de las zonas rurales y urbanas, asegurando que las intervenciones sean tanto accesibles como adecuadas.

### Escenarios hipotéticos

Para validar la aplicabilidad de los MCD en situaciones reales de propagación de la dirofilariosis canina en Ecuador, se diseñaron escenarios hipotéticos considerando diferentes condiciones epidemiológicas y geográficas del país. Estos escenarios permitieron observar cómo los MCD pueden predecir brotes y orientar la toma de decisiones en intervenciones específicas, evaluando la efectividad del modelo en situaciones diversas y complejas.

- **Escenario 1: área urbana con alta densidad de mosquitos y baja prevención (Quito)**  
En este primer escenario, se simuló una región urbana como Quito, caracterizada por una alta densidad de mosquitos vectores (*Aedes* y *Culex*) y una baja tasa de prevención en la población canina, reflejada en un bajo porcentaje de desparasitación. El modelo predijo un aumento significativo en la prevalencia de la enfermedad en perros durante los meses de lluvia, destacando la importancia de intervenir con campañas de desparasitación y control de mosquitos. La simulación mostró que, sin medidas preventivas, el brote se extendería rápidamente hacia zonas cercanas con condiciones similares, subrayando la necesidad urgente de acciones de control.

- Escenario 2: región rural con clima templado y alta tasa de prevención (Loja)  
En este segundo escenario, se simuló una región rural con clima templado como Loja, donde los propietarios de perros mantienen una alta tasa de desparasitación y prácticas preventivas. Aunque la densidad de mosquitos era moderada, el modelo MCD demostró que la movilidad de los perros podría introducir el parásito en nuevas áreas. A pesar de las buenas prácticas preventivas, el modelo sugirió que el monitoreo constante sigue siendo crucial, pues el riesgo de propagación persiste debido a factores como el movimiento de los animales y la circulación de mosquitos.

- Escenario 3: zonas endémicas con alta prevalencia de infección (provincia de Manabí). En este escenario, se simuló una región endémica como la provincia de Manabí, con una alta prevalencia de dirofilariosis canina. El modelo predijo que la prevalencia se mantendría constante durante todo el año, con picos significativos durante la temporada de lluvias. Se observó que el riesgo de propagación no solo dependía de los perros no tratados, sino también de la falta de control de mosquitos. La simulación reveló que la implementación de medidas preventivas, como la fumigación y la mejora de las tasas de desparasitación, era esencial para evitar un aumento adicional en la prevalencia de la enfermedad.

- Escenario 4: brote localizado con condiciones climatológicas extremas (Guayaquil)  
El cuarto escenario modeló un brote localizado en una zona costera como Guayaquil, donde las lluvias intensas seguidas de sequías prolongadas provocaron una acumulación de agua estancada, aumentando la densidad de mosquitos. El modelo predijo un incremento de la propagación de la dirofilariosis en las semanas posteriores al inicio de las lluvias. Este escenario destacó cómo los MCD pueden adaptarse a condiciones climáticas extremas, proporcionando predicciones útiles para intervenciones rápidas y focalizadas, como intensificar las campañas de desparasitación durante los picos de actividad de los vectores.

Para validar los resultados obtenidos en los escenarios, se compararon con datos históricos de incidencia de dirofilariosis en diversas regiones de Ecuador, tales como Quito, Loja, Manabí y Guayaquil. Los datos reales de prevalencia confirmaron que las predicciones del modelo fueron consistentes con las tendencias observadas en los brotes reales. Además, las intervenciones propuestas por el modelo, como la intensificación de campañas de desparasitación y control de mosquitos, demostraron ser efectivas en la reducción de la propagación de la enfermedad, destacando el potencial de los MCD para guiar políticas públicas de salud veterinaria en diferentes contextos geográficos y epidemiológicos.

La importancia de los MCD en la modelización y prevención de la dirofilariosis canina radica en su capacidad para integrar y representar de manera flexible las múltiples variables que afectan la propagación de la enfermedad. A diferencia de los modelos convencionales, los MCD permiten una visualización dinámica de cómo interactúan los factores ambientales, biológicos y comportamentales en la transmisión de *Dirofilaria immitis*.<sup>(8)</sup> Esto no solo facilita la predicción de brotes, sino también el diseño de intervenciones más específicas y ajustadas a las necesidades locales.

Uno de los mayores beneficios de los MCD es su adaptabilidad a diferentes escenarios geográficos y epidemiológicos. Al permitir la simulación de condiciones cambiantes, los MCD ofrecen una herramienta útil para planificar estrategias de prevención y tratamiento, ajustándose a las particularidades de cada región. Esto facilita la evaluación del impacto de las medidas de control bajo diversas condiciones y permite hacer recomendaciones precisas sobre el uso de recursos, priorizando áreas con mayor riesgo.

El uso de los MCD también implica una mejora en la implementación de programas educativos y de concienciación. Al modelar cómo los comportamientos de los propietarios de mascotas pueden influir en la prevalencia de la enfermedad, los MCD ayudan a identificar áreas donde las prácticas preventivas son insuficientes o inadecuadas, lo que permite orientar las intervenciones hacia los puntos más críticos.<sup>(4)</sup> Además, la capacidad de los MCD para incorporar datos actualizados en tiempo real mejora su efectividad en la respuesta ante cambios en las condiciones climáticas o de comportamiento de la población.

## CONCLUSIONES

La aplicación de MCD en el diagnóstico y la prevención de la dirofilariosis canina representa un avance significativo en la modelización de esta enfermedad parasitaria, especialmente en contextos geográficos y epidemiológicos diversos como los de Ecuador. Los MCD permiten integrar múltiples factores interrelacionados, como las condiciones ambientales, biológicas y de comportamiento, ofreciendo un enfoque flexible y dinámico para predecir la propagación de la enfermedad y optimizar las estrategias de control.

A través de la simulación de escenarios en áreas urbanas y rurales de Ecuador, los MCD demostraron ser efectivos para identificar zonas de alto riesgo, anticipar brotes y diseñar intervenciones focalizadas que priorizan el uso eficiente de los recursos disponibles. Los resultados obtenidos, al ser validados con datos históricos de prevalencia, confirmaron la fiabilidad del modelo y su aplicabilidad en diferentes regiones del país, como Quito, Loja, Manabí y Guayaquil.

La capacidad de los MCD para actualizarse con datos en tiempo real y adaptarse a nuevas condiciones epidemiológicas también facilita la implementación de políticas de salud veterinaria basadas en evidencia, adaptadas a las particularidades locales. Además, la integración de estrategias de prevención como el control vectorial, la desparasitación periódica y la educación comunitaria refuerza la eficacia de las intervenciones. En este contexto, los MCD no solo ayudan a gestionar la dirofilariosis de manera más eficiente, sino que también promueven una mejor comprensión de las dinámicas de transmisión y la importancia de la prevención en el control de la enfermedad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Kabusu RM, Stroup DF, Pinckney R, Christmon J, Alexander R, Richards C, et al. An analysis of time trends for canine heartworm disease in Grenada and its associated risk factors based on veterinary clinical pathology laboratory data base records between 2003 and 2015. *Prev Vet Med.* 2020;179:104989. . <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S016758771930220X>
2. Power RI, Šlapeta J. Delayed canine heartworm (*Dirofilaria immitis*) microfilarial reduction following Advocate™ for dogs (imidacloprid, moxidectin) treatment. *Vet J.* 2024;307:106209. . <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1090023324001485>
3. Noack S, Harrington J, Carithers DS, Kaminsky R, Selzer PM. Heartworm disease - Overview, intervention, and industry perspective. *Int J Parasitol Drugs Drug Resist.* 2021;16:65-89. . <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211320721000142>
4. Infante Moro A, Infante Moro JC, Gallardo Pérez J. Los mapas cognitivos difusos y su aplicación en la investigación de las ciencias sociales: estudio de sus principales problemáticas. *Educ Knowl Soc.* 2021;22(e26380):e26380-e26380. . <https://revistas.usal.es/tres/index.php/eks/article/view/26380>
5. Sharma A, Tselykh A, Podoplelova E, Tselykh A. Knowledge-oriented methodologies for causal inference relations using fuzzy cognitive maps: A systematic review. *Comput Ind Eng.* 2022;171:108500. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360835222005186>
6. Esteban Mendoza MV, Arcila Quiceno VH, Morchón García R. Determinación de la seroprevalencia de *Dirofilaria immitis* en humanos del Área Metropolitana de Bucaramanga. Universidad Cooperativa de Colombia, Facultad de Ciencias de la Salud; 2020. <https://repository.ucc.edu.co/entities/publication/c6189dbe-0bad-4972-bbbd-5dfe472c4f51>
7. Morchón García R, Carretón Gómez E, Bueno Marí R, Sánchez Gómez D. Enfermedad parasitaria sanguínea, su transmisión potencial e infección en perros domésticos en Ávila. *Cuad abulenses.* 2020;49:117-38. . <https://accedacris.ulpgc.es/handle/10553/122770>
8. Mar Cornelio O, Arias Santos L, Bron Fonseca B, Díaz Hernández K. Sistema para la gestión de información como de apoyo al diagnóstico médico basado en mapa cognitivo difuso. *Rev Científica Arbitr Multidiscip PENTACIENCIAS.* 2023;5(2):145-58. <http://editorialalema.org/index.php/pentaciencias/article/view/606>
9. Dantas-Torres F, Ketzis J, Pérez Tort G, Mihalca AD, Baneth G, Otranto D, et al. Heartworm adulticide treatment: a tropical perspective. *Parasit Vectors.* 2023;16(1):148. . <https://doi.org/10.1186/s13071-023-05690-8>
10. Vargas Navarro A, Bustos Vazquez E, Salas Casas A, Ledezma Ruvalcaba JC, Imber Palafox JL. Infección por Dengue, un problema de salud pública en México. *JONNPR.* 2021;6(2):293-306. . <https://scielo.isciii.es/pdf/jonnpr/v6n2/2529-850X-jonnpr-6-02-293.pdf>
11. Moreira Moreira IL, Loor Loor JI, Párraga Zambrano JR, Murillo Cano KB. Incidencia de dirofilariosis canina por frotis directo en la parroquia Pimocha del Cantón Babahoyo. *Conoc Glob.* 2023;8(2):18-27.. <https://conocimientoglobal.org/revista/index.php/cglobal/article/view/310>
12. Velásquez Serra GC, Castro Plaza GA. Fiebre amarilla: una mirada desde una Región Amazónica del Ecuador. *Cienc Lat Rev Científica Multidiscip.* 2023;7(1):5483-505. <https://www.ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/4867>

### **FINANCIACIÓN**

Los autores no recibieron financiación para el desarrollo de la presente investigación.

### **CONFLICTO DE INTERESES**

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

### **CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA**

*Conceptualización:* Mildre Mercedes Vidal del Río, Marcelo Alejandro Jiménez Villa, Raúl González Salas, Darwin Rafael Villamarín Barragán.

*Curación de datos:* Mildre Mercedes Vidal del Río, Marcelo Alejandro Jiménez Villa, Raúl González Salas, Darwin Rafael Villamarín Barragán.

*Redacción - borrador original:* Mildre Mercedes Vidal del Río, Marcelo Alejandro Jiménez Villa, Raúl González Salas, Darwin Rafael Villamarín Barragán.

*Redacción - revisión y edición:* Mildre Mercedes Vidal del Río, Marcelo Alejandro Jiménez Villa, Raúl González Salas, Darwin Rafael Villamarín Barragán.