

Tipo de artículo: Artículo original

Método para medir la implementación de variables ambientales a partir de sus relaciones causales

Method to measure the implementation of environmental variables from their causal relationships

Byron Patricio Andrade Clavijo^{1*} , <https://orcid.org/0000-0001-7270-2501>

Orfa de Jesús Jácome Álvarez² , <https://orcid.org/0000-0002-2620-0516>

Paul Santiago Guevara Sánchez³ , <https://orcid.org/0000-0002-0736-2931>

Nelson Gerardo Vera Severino⁴ , <https://orcid.org/0000-0002-4875-4253>

¹Instituto Superior Tecnológico Edupraxis, Vicerrector. bandrade@tecnologicoedupraxis.edu.ec

²Instituto Superior Tecnológico Edupraxis, Carrera de Administración. ojacome@tecnologicoedupraxis.edu.ec

³Instituto Superior Tecnológico Edupraxis, Carrera de Administración. pguevara@tecnologicoedupraxis.edu.ec

⁴Instituto Superior Tecnológico Edupraxis, Carrera de Administración. nvera@tecnologicoedupraxis.edu.ec

* Autor para correspondencia: usuario@dominio.com

Resumen

La protección al medio ambiente representa un elemento de vital importancia para garantizar la subsistencia de la especie humana. Diversas normas han sido implementadas para asegurar su cuidado. Sin embargo, cuantificar el impacto del cumplimiento de las variables ambientales representa una actividad poco abordada por la ciencia. La presente investigación tiene como objetivo desarrollar un método para medir la implementación de las variables ambientales. El método basa su funcionamiento mediante la modelación de las relaciones causales a partir del mapa cognitivo difuso. La propuesta se implementa en la comunidad de Jipijapa con el objetivo de intencional el cumplimiento de las variables con mayor deficiencia.

Palabras clave: variables ambientales; método multicriterio; evaluación ambiental.

Abstract

Protection of the environment represents an element of vital importance to guarantee the subsistence of the human species. Various regulations have been implemented to ensure your care. However, quantifying the impact of compliance with environmental variables represents an activity little addressed by science. The present research aims to develop a method to measure the implementation of environmental variables. The method bases its operation by modeling causal relationships from the fuzzy cognitive map. The proposal is implemented in the Jipijapa community with the objective of intentionally complying with the variables with the greatest deficiency.

Keywords: environmental variables; multi-criteria method; environmental assessment.

Recibido: 13/05/2021

Aceptado: 25/10/2021



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

Introducción

Para garantizar la sostenibilidad y el buen vivir de los seres humanos, garantizar un medio ambiente sano determina el cumplimiento de indicadores saludables. El propósito de la evaluación ambiental es determinar los efectos de las actividades propuestas sobre las variables ambientales y cómo dichos efectos pueden transmitirse a otras variables a través de las interacciones existentes entre ellas.

A diario se producen modificaciones en las variables ambientales que son provocadas por diferentes factores como la radiación solar(Saucedo et al., 2020);la exposición a plaguicidas y salud poblacional(Zúñiga-Venegas et al., 2020);trastornos en la biosfera ecuatoriana(Barriga, 2017). Existiendo una brecha entre el decir-hacer en la educación ambiental(Páramo, 2017). Todo ello afecta el sistema sanitario, la atención primaria y la salud pública(Benedicto, 2018) en el Ecuador.

Problema de esta naturaleza han sido modelados por la ciencia mediante diferentes enfoques, donde los modelos causales expresados como la causalidad del fenómeno pueden expresarse mediante grafos dirigidos. Cada modelo causal que se puede representar por un grafo son expresiones de la causalidad entre los conceptos. Los modelos causales permiten modelar la causa o efecto de un determinado evento (Goodier et al., 2010), (Strauch et al., 2011),La figura 1 muestra un esquema con las diferentes relaciones causales(Mar et al., 2017).

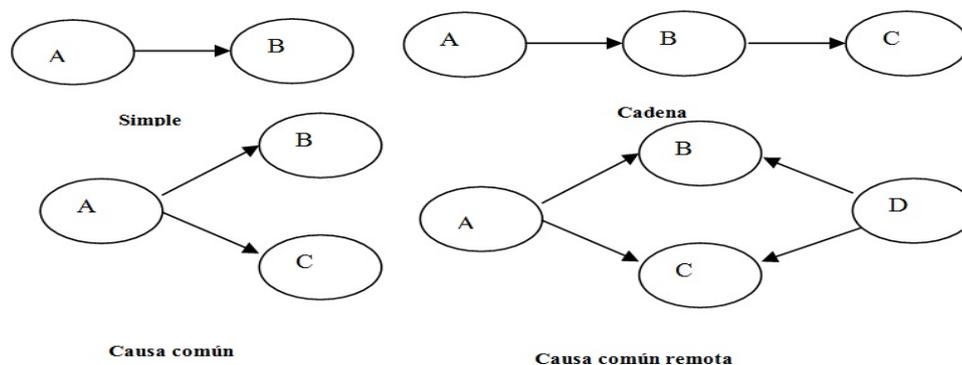


Figura 1: Ejemplo de grafos causales.

Diversas investigaciones han sido desarrolladas por autores donde se abordan temas como: Contaminación atmosférica efectos en la salud respiratoria en el niño(Ubilla & Yohannessen, 2017).Amenazas, desafíos y oportunidades para la salud medioambiental en Europa, América Latina y el Caribe(Ortega-García et al., 2019).Contaminación atmosférica urbana(Ortega-García et al., 2020). Cartografías del conflicto ambiental(Merlinsky, 2017). Mercado de productos agrícolas ecológicos en Colombia(Castañeda, 2017).



Por otra parte se ha realizado evaluación de la producción científica de sustentabilidad ambiental (Lozano et al., 2017). Las investigaciones antes mencionadas definen los temas ambientales como una línea activa de la ciencia en constante evolución representando esta el dominio de aplicación de la presente investigación.

A partir de la problemática antes descrita la presente investigación tiene como objetivo: desarrollar un método para medir la implementación de las variables ambientales. La investigación se encuentra estructurada en Introducción, materiales y métodos, resultado y discusión. La introducción describe los principales elementos asociados al objeto de estudio de la investigación, es presentada la problemática que sustenta la propuesta de método. Los materiales y métodos realizan una descripción de la estructura y funcionamiento del método propuesto. Los resultados y discusión presentan una descripción de los resultados en la implementación de la propuesta para lo cual se midió la implementación de las variables ambientales en la comunidad de Jipijapa.

Materiales y métodos

La presente sección describe el funcionamiento del método para medir la implementación de variables ambientales mediante sus relaciones causales expresadas en Mapa Cognitivo Difuso. Se presentan los elementos fundamentales que caracterizan la propuesta para facilitar su comprensión.

El método diseñado para inferir la implementación de variables ambientales, se expresa mediante tres actividades básicas: entrada, inferencia y resultados. La figura 2 muestra un esquema general del método propuesto.



Figura 2: Estructura del método propuesto.



El método propuesto se estructura para soportar la gestión del flujo de trabajo para medir la implementación de variables ambientales. Emplea un enfoque multicriterio multiexperto. Utiliza un conjunto de indicadores evaluativos que representan la base sobre el cual el método realiza la inferencia.

El proceso de inferencia describe el razonamiento a partir de la implementación de la técnica Mapa Cognitivo Difuso para modelar las relaciones causales. La figura 3 muestra las actividades que describen el flujo de trabajo del método.



Figura 3: Flujo de trabajo del método.

A continuación se realiza una descripción de las actividades propuestas:

Actividad 1 seleccionar los expertos y determinación de las variables ambientales:

La actividad consiste en determinar el conjunto expertos que intervienen en proceso. Se utiliza un enfoque multiexperto de modo que:

El número de expertos que interviene en el proceso $E = \{e_1, \dots e_m\}$, $m \geq 2$,

El número de variables ambientales del proceso $C = \{C_1, \dots C_n\}$, $n \geq 2$,

Actividad 2 determinaciones de las relaciones causales:

La determinación de las relaciones causales consiste en establecer la relación de los conceptos del mapa. Son representadas por variables difusas expresadas como términos lingüísticos. Más explícitamente, durante la etapa de ingeniería del conocimiento cada experto expresa la relación que existe entre cada par de conceptos C_i y C_j del mapa. Entonces, 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.



Luego se utiliza el método del Centroide y el mecanismo de inferencia Mamdani para agregar las k reglas, y el valor defuzificado es el valor de la relación. La figura 4 muestra las funciones de pertenencia utilizadas para el dominio.

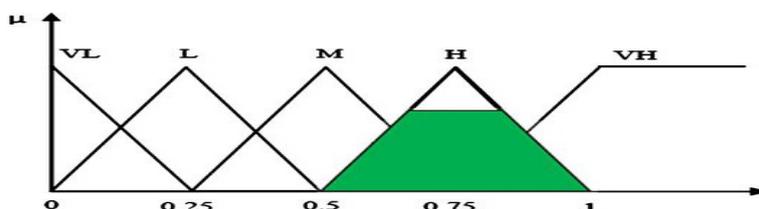


Figura 4: Función de pertenencia.

Actividad 3 obtención del MCD resultante:

A partir de los resultados de la actividad 2 donde se obtienen las relaciones causales, se expresan mediante la matriz de adyacencia (White & Mazlack, 2011). Los valores agregados emitidos por los expertos agrupados, conforman las relaciones con los pesos de los nodos, a través del cual es generado el Mapa Cognitivo Difuso resultante (Mar & Gulín, 2018). Mediante un análisis estático del resultado de los valores obtenidos en la matriz de adyacencia se puede calcular el grado de salida utilizándose la ecuación (1) donde se obtienen los pesos atribuidos a cada variable ambiental (Vasquez et al., 2018), (Mar Cornelio et al., 2020).

$$id_i = \sum_{j=1}^n \|I_{ji}\| \tag{1}$$

Actividad 4 procesamientos de la inferencia:

El grado de activación de una neurona es un indicador del nivel de presencia del concepto en el sistema (Kosko, 1992). Esta característica es un aspecto clave en la interpretabilidad y usabilidad de los MCD, sobre todo si la función de umbral es continua. La figura 5 muestra la apariencia de un MCD y la semántica en la activación de una neurona.

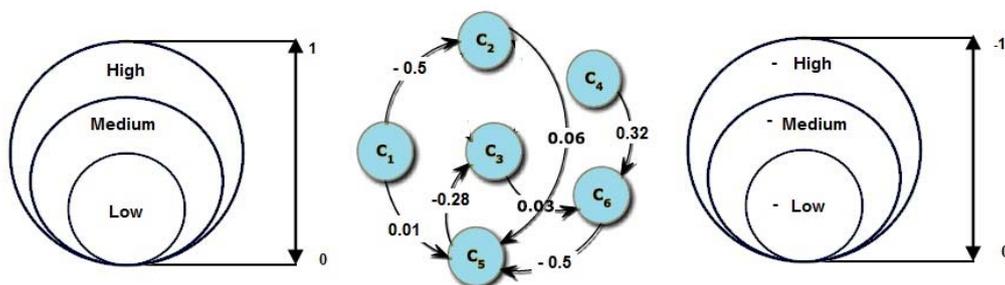


Figura 5: Nivel de activación de un concepto.



obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

A partir de la ecuación (2) se realiza el procesamiento, el cual consiste en calcular el vector de estado A a través del tiempo, para una condición inicial A^0 . De forma análoga a otros sistemas neuronales, la activación de C_i dependerá de la activación las neuronas que inciden directamente sobre el concepto C_i y de los pesos causales asociados a dicho concepto (Giordano & Vurro, 2010).

$$A_i^{(K+1)} = f\left(A_i^{(K)} \sum_{i=1; j \neq i}^n A_i^{(K)} * W_{ji}\right) \quad (2)$$

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.

Resultados y discusión

La presente sección describe la implementación del método propuesto. Se realiza un estudio de caso donde es posible determinar el comportamiento de las diferentes variables ambientales en función de determinar el estado de su implementación. La propuesta utilizó como escenario de implementación la comunidad de Jipijapa en Ecuador. A continuación se describen los resultados del estudio:

Actividad 1 seleccionar los expertos y determinación de las variables ambientales:

Para el desarrollo de estudio, se consultaron 5 expertos que representaron la base para la identificación de las relaciones causales. Se tuvo en cuenta el conocimiento sobre proyectos medioambientales.

Se identificaron a partir del trabajo con los expertos, 6 variables ambientales las cuales son relacionadas en la Tabla 1.

Tabla 1: Variables ambientales.

No.	Variables ambientales
1	Calidad en los flujos de agua superficial y subterránea
2	Temperatura
3	Formaciones vegetales
4	Especies y comunidades faunísticas sensibles
5	Migración animal
6	Erosión superficial



Actividad 2 determinar las relaciones causales:

Para el proceso de identificación de las relaciones causales se obtuvieron 5 matrices de adyacencias correspondiente a los 5 expertos que intervinieron en el proceso para lo cual se agregaron en la matriz resultante. La tabla 2 muestra la matriz de adyacencia resultante del proceso.

Tabla 2: Matriz de adyacencia de las variables ambientales.

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
C ₁	[0]	[0.75]	[1]	[1]	[0]	[1]
C ₂	[1]	[0]	[1]	[0]	[1]	[1]
C ₃	[1]	[1]	[0]	[1]	[0.75]	[0.5]
C ₄	[1]	[0]	[0.5]	[0]	[0]	[0.9]
C ₅	[0]	[0.5]	[0.75]	[0.5]	[0.75]	[1]
C ₆	[1]	[1]	[0.75]	[0.75]	[0]	[0]

Actividad 3 obtenciones del MCD resultante:

A partir de la matriz de adyacencia resultante se obtiene el Mapa Cognitivo Difuso del método para medir la implementación de variables ambientales. La figura 6 muestra el Mapa Cognitivo Difuso resultante.

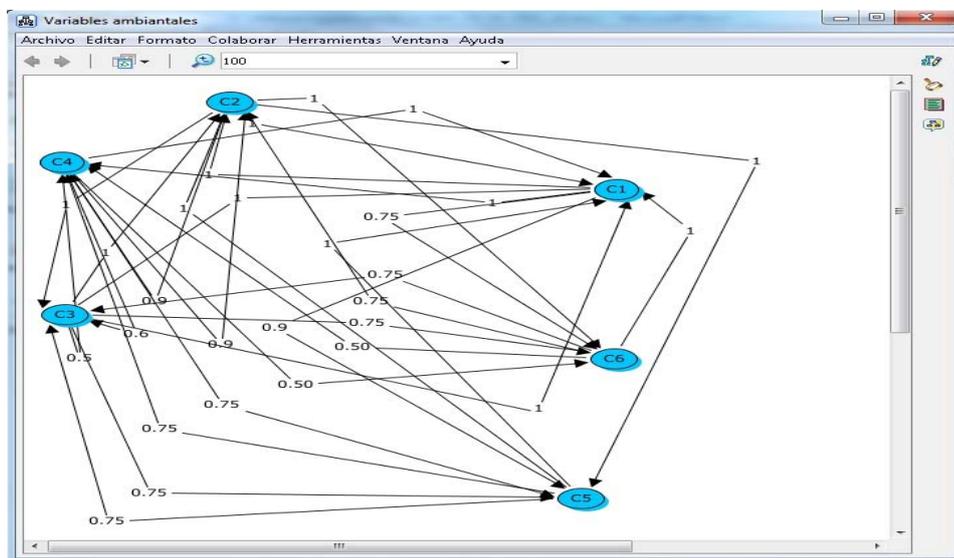


Figura 6: Mapa Cognitivo Difuso resultante.



obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

Actividad 4 procesamientos de la inferencia:

Mediante la matriz de adyacencia se identificaron los pesos atribuidos a las variables ambientales mediante la resolución de la ecuación (1). La tabla 3 muestra los resultados obtenidos de los pesos.

Tabla 3: Peso atribuido a las variables ambientales.

No.	Variables ambientales	Peso
C ₁	Calidad en los flujos de agua superficial y subterránea	0,62
C ₂	Temperatura	0,66
C ₃	Formaciones vegetales	0,70
C ₄	Especies y comunidades faunísticas sensibles	0,40
C ₅	Migración animal	0,58
C ₆	Erosión superficial	0,62

A partir del comportamiento de los pesos atribuidos a los indicadores y el comportamiento en la organización de los indicadores evaluativos se realiza un proceso de agregación de información con el objetivo de estimar el índice de implementación. La tabla 4 muestra el resultado del cálculo realizado.

Tabla 4: Peso y preferencias determinadas para el desarrollo del método.

Criterios	Pesos	Preferencias	Agregación
C ₁	0,62	0,75	0,129
C ₂	0,66	0,5	0,092
C ₃	0,70	0,75	0,147
C ₄	0,40	1	0,110
C ₅	0,58	1	0,161
C ₆	0,62	0,75	0,129
Índice			0,77

Una vez obtenido el índice de implementación de las variables ambientales se realiza un análisis del valor obtenido donde se evidencia un índice de implementación de un I= 77. A partir del valor determinado, se puede concluir que la gestión ambiental en la ciudad de Jipijapa se encuentra a un nivel adecuado.



Conclusiones

A partir del desarrollo de la investigación propuesta, se obtuvo un método para determinar el índice de implementación de las variables ambientales. El método propuesto basó su funcionamiento mediante un enfoque multicriterio multiexperto.

A partir de la implementación del método, se obtuvo el Mapa Cognitivo Difuso agregado con la representación de las relaciones causales de las variables ambientales. Este elemento representa la base para la inferencia del funcionamiento del método propuesto.

Mediante la aplicación del método en el caso de estudio fue posible demostrar la aplicabilidad del método que permitió medir índice de implementación de las variables ambientales a partir del conjunto de criterios evaluativos.

Conflictos de intereses

Los autores no poseen conflicto de intereses.

Contribución de los autores

1. Conceptualización: Byron Patricio Andrade Clavijo, Orfa de Jesús Jácome Álvarez.
2. Curación de datos: Paul Santiago Guevara Sánchez, Nelson Gerardo Vera Severino.
3. Análisis formal: Byron Patricio Andrade Clavijo, Orfa de Jesús Jácome Álvarez.
4. Adquisición de fondos: Byron Patricio Andrade Clavijo, Orfa de Jesús Jácome Álvarez.
5. Investigación: Byron Patricio Andrade Clavijo, Orfa de Jesús Jácome Álvarez.
6. Metodología: Paul Santiago Guevara Sánchez, Nelson Gerardo Vera Severino.
7. Administración del proyecto: Byron Patricio Andrade Clavijo.
8. Recursos: Paul Santiago Guevara Sánchez, Nelson Gerardo Vera Severino.
9. Software: Paul Santiago Guevara Sánchez, Nelson Gerardo Vera Severino.
10. Supervisión: Byron Patricio Andrade Clavijo, Orfa de Jesús Jácome Álvarez.
11. Validación: Paul Santiago Guevara Sánchez, Nelson Gerardo Vera Severino.
12. Visualización: Byron Patricio Andrade Clavijo, Orfa de Jesús Jácome Álvarez.
13. Redacción – borrador original: Byron Patricio Andrade Clavijo, Orfa de Jesús Jácome Álvarez, Paul Santiago Guevara Sánchez, Nelson Gerardo Vera Severino.
14. Redacción – revisión y edición: Byron Patricio Andrade Clavijo, Orfa de Jesús Jácome Álvarez, Paul Santiago Guevara Sánchez, Nelson Gerardo Vera Severino.



obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional**
(CC BY 4.0)

Financiamiento

La investigación ha sido financiada por El Instituto Superior Tecnológico Edupraxis, situado en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua, Ecuador.

Referencias

- Barriga, A. M. (2017). Percepciones de la gestión del turismo en dos reservas de biosfera ecuatorianas: Galápagos y Sumaco. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 2017(93), 110-125. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0188461117300535>
- Benedicto, A. S. (2018). El sistema sanitario, la atención primaria y la salud pública. *Atención Primaria*, 50(7), 388. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/pmc6837238/>
- Castañeda, J. S. (2017). Mercado de productos agrícolas ecológicos en Colombia. *Suma de negocios*, 8(18), 156-163. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215910X1730023X>
- Giordano, R., & Vurro, M. (2010). *Fuzzy cognitive map to support conflict analysis in drought management fuzzy cognitive maps* (Vol. En M. Glykas).
- Goodier, C., Austin, S., & Soetanto, R. (2010). Causal mapping and scenario building with multiple organizations. *Futures*, 42(3), 219-229. <https://dspace.lboro.ac.uk/dspace-jspui/bitstream/2134/6033/1/Causal%20Mapping%20%20Scenario%20Building-%20Futures%202.pdf>
- Kosko, B. (1992). *Neural networks and fuzzy systems: A dynamical systems approach to machine intelligence*.
- Lozano, A. C., Agraz, D. L., Hernández, J. G., de María, J. A. A., Rodríguez, J. M. P., Álvarez, J. L., & López, R. E. C. (2017). Evaluación de la producción científica de sustentabilidad ambiental en un centro público de investigación (CPI) del Conacyt (1982-2012). *Revista de la educación superior*, 46(182), 89-112. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0185276017300316>
- Mar Cornelio, O., Santana Ching, I., & Gulín González, J. (2020). Operador por selección para la agregación de información en Mapa Cognitivo Difuso. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 14(1), 20-39.
- Mar, O., & Gulín, J. (2018). Model for the evaluation of professional skills in a remote laboratory system. *Revista Científica*, 3(33), 332-343.



- Mar, O., Santana, I., & Gulín, J. (2017). Competency assessment model for a virtual laboratory system and distance using fuzzy cognitive map. *Revista investigacion operacional*, 38(2), 170-178. <http://rev-inv-ope.univ-paris1.fr/files/38217/38217-07.pdf>
- Merlinsky, G. (2017). Cartografías del conflicto ambiental en Argentina. Notas teórico-metodológicas. *Acta sociológica*, 73, 221-246. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0186602817300555>
- Ortega-García, J. A., Martínez-Hernández, I., Boldo, E., Cárceles-Álvarez, A., Solano-Navarro, C., Ramis, R., Aguilar-Ros, E., Sánchez-Solis, M., & López-Hernández, F. (2020). Contaminación atmosférica urbana e ingresos hospitalarios por asma y enfermedades respiratorias agudas en la ciudad de Murcia (España). *Anales de Pediatría*, 93(2), 95-102. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1695403320300357>
- Ortega-García, J. A., Tellerías, L., Ferrís-Tortajada, J., Boldo, E., Campillo-López, F., Van den Hazel, P., Cortes-Arancibia, S., Ramis, R., Gaioli, M., & Monroy-Torres, R. (2019). Amenazas, desafíos y oportunidades para la salud medioambiental pediátrica en Europa, América Latina y el Caribe. *Anales de Pediatría*,
- Páramo, P. (2017). Reglas proambientales: una alternativa para disminuir la brecha entre el decir-hacer en la educación ambiental. *Suma psicológica*, 24(1), 42-58. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0121438116300248>
- Saucedo, G. M. G., Vallejo, R. S., & Giménez, J. C. M. (2020). Efectos de la radiación solar y actualización en fotoprotección. *Anales de Pediatría*, 92(6), 377. e371-377. e379. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1695403320301661>
- Strauch, C., Sites, U.-L. S., & Kriha, W. (2011). NoSQL databases. *Lecture Notes, Stuttgart Media University*, 20.
- Ubilla, C., & Yohannessen, K. (2017). Contaminación atmosférica efectos en la salud respiratoria en el niño. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 28(1), 111-118. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0716864017300214>
- Vasquez, M. Y. L., Veloz, G. S. D., Saleh, S. H., Roman, A. M. A., & Flores, R. M. A. (2018). 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*, 19(1).
- White, E., & Mazlack, D. (2011). Discerning suicide notes causality using fuzzy cognitive maps. IEEE International Conference Taipei, Taiwan.
- Zúñiga-Venegas, L., Saracini, C., Pancetti, F., Muñoz-Quezada, M. T., Lucero, B., Foerster, C., & Cortés, S. (2020). Exposición a plaguicidas en Chile y salud poblacional: urgencia para la toma de decisiones. *Gaceta Sanitaria*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0213911120301291>

