



Mapas Cognitivos difusos y mapas cognitivos neutrosóficos. Aplicación al Análisis socio-ambiental de la cuenca del río Sinos

Mapas Cognitivos difusos y mapas cognitivos neutrosóficos. Aplicación al Análisis socio-ambiental de la cuenca del río Sinos

Rodolfo González Ortega¹, Maikel Leyva Vázquez², João Alcione Sganderla Figueiredo³

¹Universidade Feevale, Bolsista Capes, Novo Hamburgo, Rio Grande do Sul, *Brasil*, rodolfogonzalez1978@gmail.com

²Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas. Guayaquil, Ecuador. mleyvaz@gmail.com

³Universidade Feevale, Novo Hamburgo, Rio Grande do Sul, *Brasil*, sganfigue@feevale.br

Abstrac:

The Sinos River Basin is one of the most contaminated water basin in Bra-zil which leads to tremendous efforts for its recovery through adequate integral management. The management of water quality through the analysis of the interrelations between the different factors could be difficult. . In this paper, the authors present Fuzzy Cognitive Maps and Neutrosophic Cognitive Maps for a better choice of environmental management i by the Basin Management Committee of the Sino River. With this method it's possible to use FCM/NCM to model the complex system of variables involved into the determination of water quality, according to the water quality index (WQI) .

Keywords: NCM, FCM, WQI

Introducción

Los modelos mentales son representaciones internas de una realidad externa de cada individuo [1, 2]. Esto, quiere decir, que de la misma realidad externa, cada individuo puede tener variadas representaciones internas. Estas representaciones son modeladas frecuentemente mediante representaciones causales en presencia de incertidumbre [3].

Los modelos causales son herramientas cada vez más empleadas, para la comprensión y análisis de los sistemas complejos [4, 5]. Para considerar la causalidad desde un punto de vista computacional, se requiere la obtención de modelos causales imprecisos que tomen en consideración la incertidumbre [6]. El razonamiento causal es útil en la toma de decisiones por ser natural y fácil de entender y ser convincente porque explica el por qué se llega a una conclusión particular [7].

Para considerar la causalidad desde un punto de vista computacional, se requiere la obtención de modelos causales imprecisos empleando grafos dirigidos [6]. En este sentido existen dos técnicas de soft computing para la inferencia causal: redes bayesianas (RB) y mapas cognitivos difusos (MCD) [8]. Los MCD. Estos proveen esquemas más realistas para la representación del conocimiento brindando la posibilidad de representar ciclos y modelar la vaguedad [9].

Las conexiones en MCD son solo numéricas por lo tanto la relación de dos eventos debe ser lineal. La neutrosofía puede manejar información indeterminada e inconsistente, mientras que los conjuntos difusos y los conjuntos difusos intuitivos no los describen de manera apropiada. Los mapas cognitivos neutrosóficos (MCN) son una extensión de MCD donde se incluye la indeterminación [2, 10]. La concepción de los mapas cognitivos difusos no trata la relación indeterminada.

Mapas Cognitivos Difusos (MCD) y Mapas Cognitivos Neutrosóficos

Actualmente ha surgido la necesidad de plantear la causalidad en términos de lógica difusa ofreciendo esta un marco adecuado para tratar con la causalidad imperfecta. La teoría de los conjuntos difusos o borrosos fue introducida por Zadeh[11] en el año 1965. Esta parte de la teoría clásica de conjuntos, añadiendo una función de pertenencia [12].

Una función de pertenencia o inclusión $\mu_a(t)$, indica el grado n en que la variable t está incluida en el concepto representado por la etiqueta A [13]. Para la definición de estas funciones de pertenencia se utilizan convenientemente ciertas familias, por coincidir con el significado lingüístico de las etiquetas más utilizadas. Las más frecuentes son triangular, trapezoidal y gaussiana (Figura 1.7).

Los MCD (Figura 1.6) son una técnica desarrollada por Kosko como una extensión de los mapas cognitivos [14], permitiendo describir la fortaleza de la relación mediante el empleo de valores difusos en el intervalo $[-1,1]$. Constituyen una estructura de grafo difuso dirigido e incluyen la retroalimentación para representar causalidad [8]. La matriz de adyacencia se obtiene a partir de los valores asignados a los arcos (Figura 1).

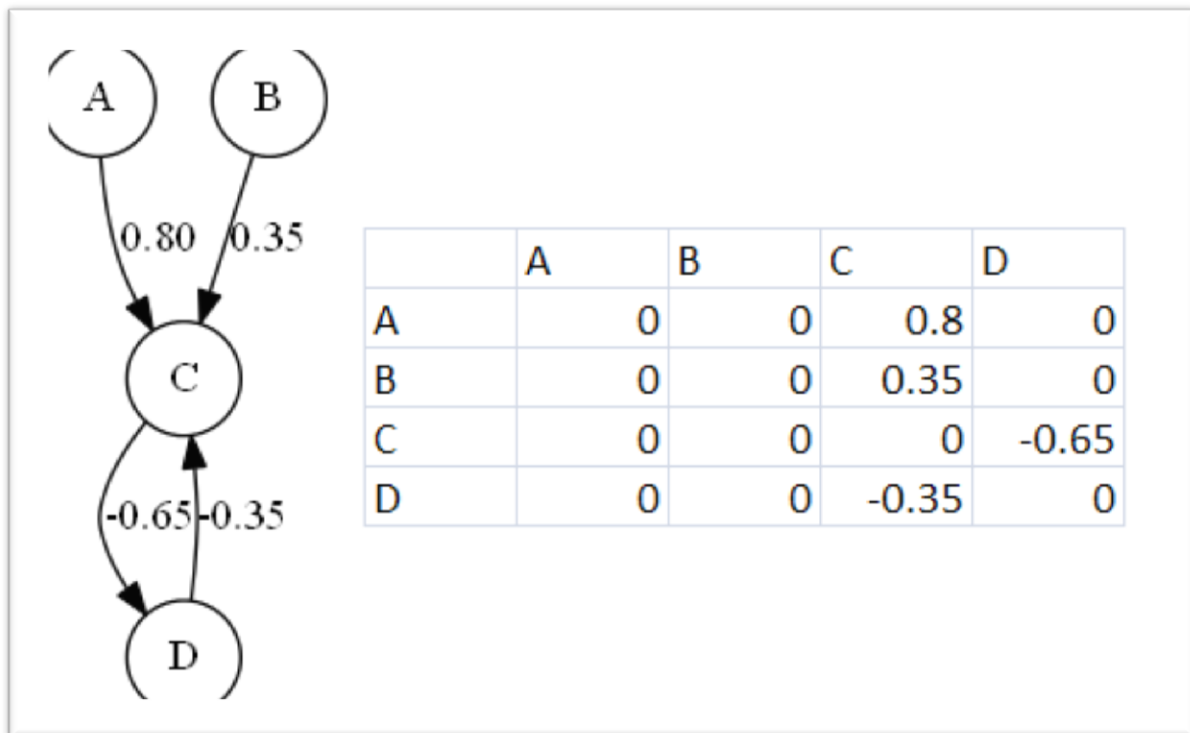


Figura 1 Mapa cognitivo difuso y su correspondiente matriz de adyacencia [15].

En los MCD existen tres posibles tipos de relaciones causales entre conceptos: causalidad positiva, causalidad negativa o la no existencia de relaciones.

1. **Causalidad positiva** ($W_{ij} > 0$): Indica una causalidad positiva entre los conceptos C_i y C_j , es decir, el incremento (disminución) en el valor de C_i lleva al incremento (disminución) en el valor de C_j .
2. **Causalidad negativa** ($W_{ij} < 0$): Indica una causalidad negativa entre los conceptos C_i y C_j , es decir, el incremento (disminución) en el valor de C_i lleva la disminución (incremento) en el valor de C_j .
3. **La no existencia de relaciones** ($W_{ij} = 0$): Indica la no existencia de relación causal entre C_i y C_j .

Por otra parte el análisis dinámico se centra en el análisis de escenarios y orientado a metas [15]. Permite al usuario realizar observaciones y conclusiones adicionales no disponibles mediante el simple análisis estático. Está basado en un modelo de ejecución que calcula los niveles de activación en iteraciones sucesivas de los

distintos conceptos. Esta simulación requiere adicionalmente la definición de los valores iniciales para cada concepto en un vector inicial [16].

Los valores de los conceptos son calculados en cada paso de la simulación forma siguiente:

$$A_i^{(t+1)} = f\left(A_i^{(t)} + \sum_{j=1}^N A_j^{(t)} \cdot w_{ji}\right) \tag{1}$$

donde $A_i^{(t+1)}$ es el valor del concepto C_i en el paso $t + 1$ de la simulación, $A_j^{(t)}$ es el valor del concepto C_j en el paso t de la simulación, w_{ji} es el peso de la conexión que va del concepto C_j al concepto C_i y $f(\cdot)$ es la función de activación [17]. Las principales funciones de activación reportadas en la literatura son la sigmoide y la tangente hiperbólica [17]. Estas funciones emplean un valor lambda (λ) [18]. De acuerdo al vector de entrada, el MCD convergerá a uno de los siguientes estados: punto fijo, ciclo límite o atractor caótico [19].

Los MCD han sido empleados para la toma de decisión en grupo debido a las facilidades que brinda para la agregación de modelos causales provenientes de múltiples expertos [20, 21]. Cuando participa un conjunto de expertos (k), la matriz de adyacencia del MCD colectivo se calcula de la siguiente forma:

$$E = \mu(E_1, E_2, \dots, E_k) \tag{2}$$

siendo por lo general el operador μ la media aritmética[22] o la media aritmética ponderada.

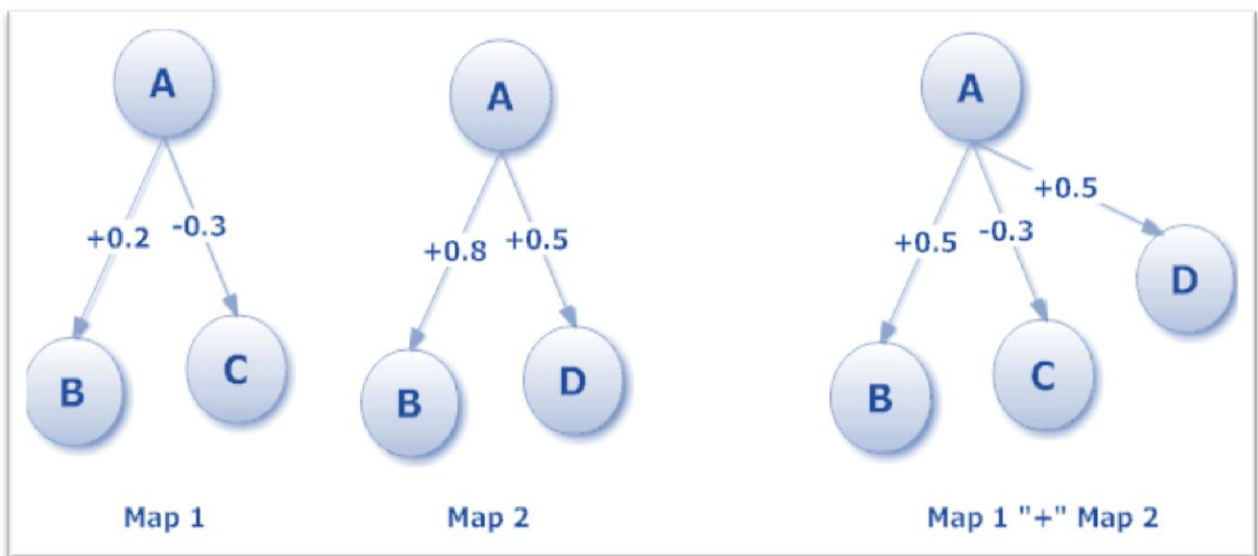


Figura 2. Agregación de MCD[23]

La agregación de MCD resulta especialmente útil debido a la importancia que presenta integrar conocimientos de diferentes expertos con modelos mentales diversos permitiendo la construcción de modelos mentales colectivos [24, 25].

En el proceso de agregación de los mapas cognitivos difusos se emplea fundamentalmente los operadores media y media ponderada (WA por sus siglas en inglés). Un operador WA tiene asociado un vector de pesos V , con $v_i \in [0,1]$ y $\sum_{i=1}^n v_i = 1$, teniendo la siguiente forma:

$$WA(a_1, \dots, a_n) = \sum_{i=1}^n v_i a_i \quad (3)$$

donde v_i representa la importancia/relevancia de la fuente de datos a_i .

Si se introduce un valor de credibilidad o fiabilidad de las fuentes se mejora este proceso realizando la agregación mediante la WA [22, 26] para la asignación de pesos se recomienda el empleo del proceso de Jerarquía Analítica (AHP por sus siglas en inglés).

Esta agregación de conocimiento permite mejorar la fiabilidad del modelo final, el cual es menos susceptible a creencias potencialmente erróneas de los expertos individuales [16]. Resulta especialmente útil además debido a la importancia que presenta integrar conocimientos de diferentes expertos con modelos mentales diversos [24]. Sin embargo, esta agregación de conocimiento es muy sensible a la presencia de valores atípicos, errores y valoraciones prejuiciadas [15, 27]. Es criterio de la autora de la investigación que este aspecto debe ser abordado desde nuevos enfoques que vayan más allá de la agregación de información mediante externos al modelo.

La lógica neutrosófica es una generalización de la lógica difusa basada en el concepto de neutrosofía [28-30]. Una matriz neutrosófica, por su parte, es una matriz donde los elementos $a = (a_{ij})$ han sido reemplazados por elementos en $\langle R \cup I \rangle$, donde $\langle R \cup I \rangle$ es un anillo neutrosófico entero [31, 32]. Un grafo neutrosófico es un grafo en el cual al menos un arco es un arco neutrosófico [33, 34].

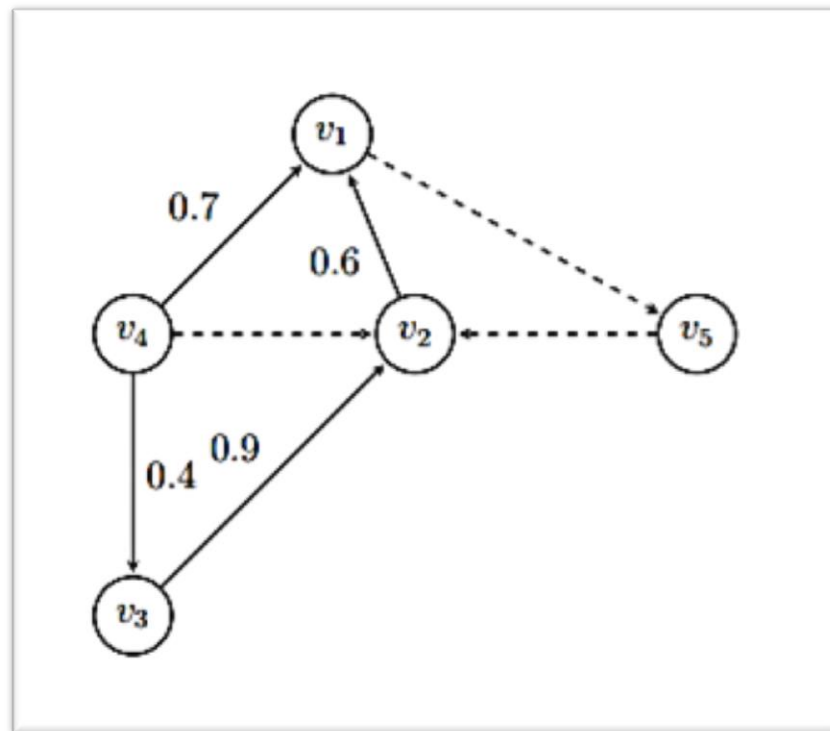


Figura. 3 Ejemplo MCN [35].

Si la indeterminación es introducida en un mapa cognitivo [36] entonces es llamado un mapa cognitivo neutrosófico [37], el cual resulta especialmente útil en la representación del conocimiento causal al permitir la representación y análisis de la indeterminación [28, 38].

Resultados

Comprender la complejidad de las fuentes de contaminación del agua y su mitigación utilizando el modelo de mapas cognitivos difusos para apoyar la toma de decisiones. Inicialmente se seleccionan los indicadores relevantes (Tabla 1).

Table 1. Nodos relevantes del MCD.

| Concept | Concept description |
|---|--|
| WQI (del inglés índice de calidad del agua) | El WQI fue desarrollado para evaluar la calidad del agua cruda para su uso en el suministro público después del tratamiento. Los parámetros utilizados en el cálculo del WQI son principalmente indicadores de contaminación causada por la liberación de aguas residuales domésticas. La evaluación de la calidad del agua WQI tiene limitaciones, ya que este índice no analiza varios parámetros importantes para el suministro público, como sustancias tóxicas (por ejemplo, metales pesados, pesticidas, compuestos orgánicos), protozoos patógenos y sustancias que interfieren con las propiedades organolépticas del agua |
| DO (del inglés | El oxígeno disuelto se refiere al nivel de presencia libre en el agua. Es un parámetro |

| | |
|----------------------|---|
| oxígeno disuelto) | importante para la medición de la calidad del agua, debido a su importancia para los organismos que viven dentro de una masa de agua. |
| Coliformes T | Las bacterias coliformes termotolerantes se encuentran en el tracto intestinal de animales de sangre caliente y son indicativas de la contaminación de las aguas residuales domésticas. No son patógenos (no causan enfermedad) pero su presencia en grandes cantidades indica la posibilidad de microorganismos patógenos que son responsables de la transmisión de enfermedades transmitidas por el agua (por ejemplo, disentería bacilar, tifoidea, cólera). |
| PH | El PH afecta el metabolismo de varias especies acuáticas. Para la protección de la vida acuática, el pH debe estar entre 6 y 9. Los cambios en los valores de pH también pueden aumentar el efecto de los productos químicos que son tóxicos para los organismos acuáticos, como los metales pesados. |
| Temperatura del agua | La temperatura influye en diversos parámetros físico-químicos del agua, como la tensión superficial y la viscosidad. Los organismos acuáticos se ven afectados por temperaturas fuera de sus límites de tolerancia térmica, lo que causa impactos en su crecimiento y reproducción |
| Nitrógeno total | En los cuerpos de agua, el nitrógeno puede ocurrir en forma de nitrógeno orgánico, amoníaco, nitrito y nitrato. Los nitratos son tóxicos para los humanos, y en altas concentraciones causan una enfermedad llamada memoglobinemia infantil, que es letal para los niños. Debido a que los compuestos de nitrógeno son nutrientes en procesos biológicos, su liberación en grandes cantidades en cuerpos de agua, junto con otros nutrientes como el fósforo, causa un crecimiento excesivo de algas, un proceso conocido como eutrofización, que puede dificultar la recreación de la oferta y la preservación de la vida acuática. . Las fuentes de nitrógeno para los cuerpos de agua son variadas, una de las principales es el lanzamiento de alcantarillas sanitarias y efluentes industriales. En las zonas agrícolas, el drenaje del agua de lluvia en los suelos que han recibido fertilizantes también es una fuente de nitrógeno, así como el drenaje del agua de lluvia en las zonas urbanas. La fijación biológica del nitrógeno atmosférico por las algas y las bacterias también ocurre. Además, otros procesos, como la deposición atmosférica por el agua de lluvia, también provocan que se suministre nitrógeno a los cuerpos de agua. |
| Total de fósforo | Al igual que el nitrógeno, el fósforo es un nutriente importante para los procesos biológicos y su exceso puede causar la eutrofización del agua. Para obtener más información sobre la eutrofización, consulte el Índice de estado trófico. Las fuentes de fósforo incluyen las aguas residuales domésticas, la presencia de detergentes de superfosfato y la materia fecal. El drenaje pluvial de las áreas agrícolas y urbanas también es una fuente importante de fósforo para los cuerpos de agua. Entre los efluentes industriales se encuentran los de las industrias de fertilizantes, alimentos, lácteos, refrigeración y matanza. |

| | |
|--------------------------------|--|
| | |
| Turbidity | La turbidez indica el grado de atenuación que sufre un haz de luz cuando cruza el agua. Esta atenuación ocurre por la absorción y dispersión de la luz causada por sólidos en suspensión (limo, arena, arcilla, algas, desechos, etc.). La principal fuente de turbidez es la erosión del suelo, cuando en la estación lluviosa el agua de lluvia aporta una cantidad significativa de material sólido a los cuerpos de agua. Las actividades mineras, así como el lanzamiento de aguas residuales y efluentes industriales, también son fuentes importantes que causan un aumento en la turbidez del agua. El aumento de la neblina hace que se use una mayor cantidad de sustancias químicas (por ejemplo, coagulantes) en las plantas de tratamiento de agua, lo que aumenta los costos de tratamiento. Además, la alta turbidez también afecta la preservación de organismos acuáticos, el uso industrial y las actividades recreativas. |
| Sólidos totales | El residuo total es el material que queda después de la evaporación, el secado o la calcinación de la muestra de agua durante un tiempo y temperatura determinados. Cuando los desechos sólidos se depositan en los lechos de los cuerpos de agua pueden causar su sedimentación, lo que causa problemas de navegación y puede aumentar el riesgo de inundación. Además, pueden causar daños a la vida acuática porque al depositarse en la cama destruyen los organismos que viven en los sedimentos y sirven como alimento para otros organismos, además de dañar los lugares de desove de los peces. |
| DBO520 | La Demanda Bioquímica de Oxígeno representa la cantidad de oxígeno requerida para oxidar la materia orgánica presente en el agua a través de la descomposición microbiana aeróbica. El DBO520 es la cantidad de oxígeno consumida durante 5 días a una temperatura de 20 ° C. Los altos valores de DBO520 en un cuerpo de agua generalmente son causados por la liberación de cargas orgánicas, principalmente aguas residuales domésticas. La aparición de valores altos de este parámetro provoca una disminución de los valores de oxígeno disuelto en el agua, lo que puede conducir a la mortalidad de los peces y la eliminación de otros organismos acuáticos. |
| Aguas residuales domésticas | Las aguas residuales domésticas se definen como aguas residuales de asentamientos y servicios residenciales, como casas; y que se origina principalmente en baños, baños y cocinas. |
| Desechos líquidos industriales | El agua o el líquido transportan los desechos de un proceso industrial. Estos desechos pueden ser el resultado de cualquier proceso o actividad de la industria, la fabricación, el comercio o los negocios, desde el desarrollo de cualquier recurso natural, o desde operaciones con animales como corrales de engorde, gallineros o lecherías. El término incluye aguas pluviales contaminadas y lixiviados de instalaciones de desechos sólidos |
| Contaminación Difu- | La contaminación difusa es la liberación de contaminantes potenciales de una serie de |

| | |
|---|--|
| sa | actividades que, individualmente, pueden no tener ningún efecto en el medio ambiente acuático, pero que, a escala de una cuenca de captación, pueden tener un efecto significativo. Las fuentes de contaminación difusa suelen ser individualmente menores, pero colectivamente pueden provocar daños ambientales significativos. Tales como escorrentía de tierras de cultivo; escorrentía de actividades forestales; escorrentía de carreteras, casas y áreas comerciales; infiltración en aguas subterráneas de paisajes desarrollados de todo tipo; escorrentía de patio de actividades industriales |
| Imp Salud | Combinación de procedimientos, métodos y herramientas a través de los cuales se puede juzgar la relación de ciertos fenómenos con sus efectos potenciales sobre la salud de la población, así como la distribución de dichos efectos. |
| Imp Economía | Combination of procedures, methods and tools through which one can judge the relationship of certain phenomena with their potential effects on the economy, as well as the distribution of such effects. |
| Imp Biota | Combinación de procedimientos, métodos y herramientas a través de los cuales se puede juzgar la relación de ciertos fenómenos con sus efectos potenciales sobre la biota, así como la distribución de dichos efectos. |
| Planta de tratamiento de aguas residuales | Es el proceso de eliminación de contaminantes de aguas residuales, principalmente industriales y domésticas. Incluye procesos físicos, químicos y biológicos para eliminar estos contaminantes y producir aguas residuales tratadas ambientalmente más seguras. Un subproducto del tratamiento de aguas residuales suele ser un residuo semisólido o lodo, denominado lodo de aguas residuales, que debe someterse a un tratamiento adicional antes de ser adecuado para su eliminación o aplicación en el suelo. |
| Cumplimiento de la Ley | es cualquier sistema por el cual algunos miembros de la sociedad actúan de manera organizada para hacer cumplir la ley descubriendo, disuadiendo, rehabilitando o castigando a las personas que violan las reglas y normas que rigen a esa sociedad. |
| conservación de humedales | Su objetivo es proteger y preservar áreas como pantanos, marismas y pantanos. se han convertido en un tema central para la conservación debido a los servicios ecosistémicos que brindan. |
| Conservación del bosque ribereño | La importancia de los bosques de ribera es que forman un complejo ecosistema, dando lugar a interrelaciones entre las especies de organismos, tanto terrestres como acuáticos, y formando relaciones entre la biota y los componentes abióticos. |

La Figura 2 muestra un modelo de FCM obtenido con 20 nodos y 63 conexiones mediante la herramienta Mental Modeler [39].

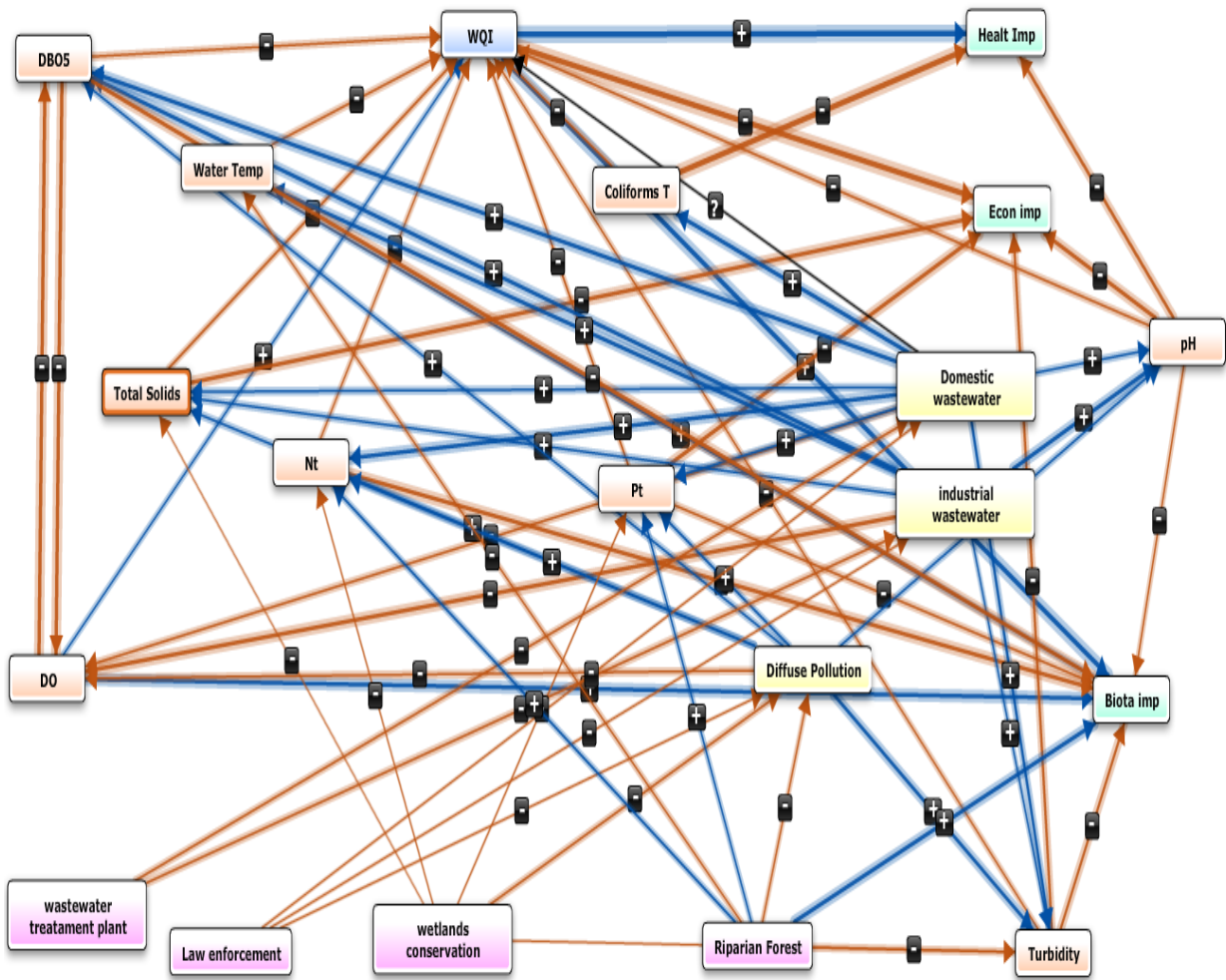


Figure 2. Mapa C3gnitivo Difuso propuesto

Modelo FCM de las relaciones WQI. Las lneas azules indican positivo. Las lneas azules indican relaciones positivas y las lneas rojas indican relaciones negativas, y el grosor de la lnea representa la fuerza de la relaci3n.

El an3lisis est3tico se realiza en base al estudio de las caracteristicas del gr3fico dirigido ponderado que representa el modelo, utilizando las m3tricas de la teor3a de grafos (Figura 3).

| Component | Indegree | Outdegree | Centrality | Preferred State | Type |
|----------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------|----------|
| WQI | 2.9099999999999997 | 2.86 | 5.77 | | ordinary |
| Domestic wastewater | 0.34 | 4.53 | 4.87 | | ordinary |
| Bioa imp | 4.699999999999999 | 0 | 4.699999999999999 | | receiver |
| DBO5 | 2.69 | 1.8599999999999999 | 4.55 | | ordinary |
| DO | 2.44 | 2.0300000000000002 | 4.470000000000001 | | ordinary |
| Turbidity | 2.25 | 1.5 | 3.75 | | ordinary |
| Diffuse Pollution | 0.43000000000000005 | 3.19 | 3.62 | | ordinary |
| Econ imp | 3.39 | 0 | 3.39 | | receiver |
| industrial wastewater | 0.26 | 3.04 | 3.3 | | ordinary |
| pH | 1.26 | 1.8900000000000001 | 3.1500000000000004 | | ordinary |
| Healt imp | 2.81 | 0 | 2.81 | | receiver |
| Total Solids | 1.38 | 1.16 | 2.54 | | ordinary |
| Nt | 1.39 | 1 | 2.3899999999999997 | | ordinary |
| Coliforms T | 0.81 | 1.3599999999999999 | 2.17 | | ordinary |
| Pt | 1.09 | 1.06 | 2.1500000000000004 | | ordinary |
| Riparian Forest | 0 | 1.7999999999999998 | 1.7999999999999998 | | driver |
| Water Temp | 0.78 | 0.59 | 1.37 | | ordinary |
| wastewater treatment plant | 0 | 0.5800000000000001 | 0.5800000000000001 | | driver |
| wetlands conservation | 0 | 0.45000000000000007 | 0.45000000000000007 | | driver |
| Law enforcement | 0 | 0.03 | 0.03 | | driver |

Figure 3. Analisis estático

Como resultado del análisis estático se obtiene que el nodo WQI. Adicionalmente se realizaron análisis de escenarios como figura 4.

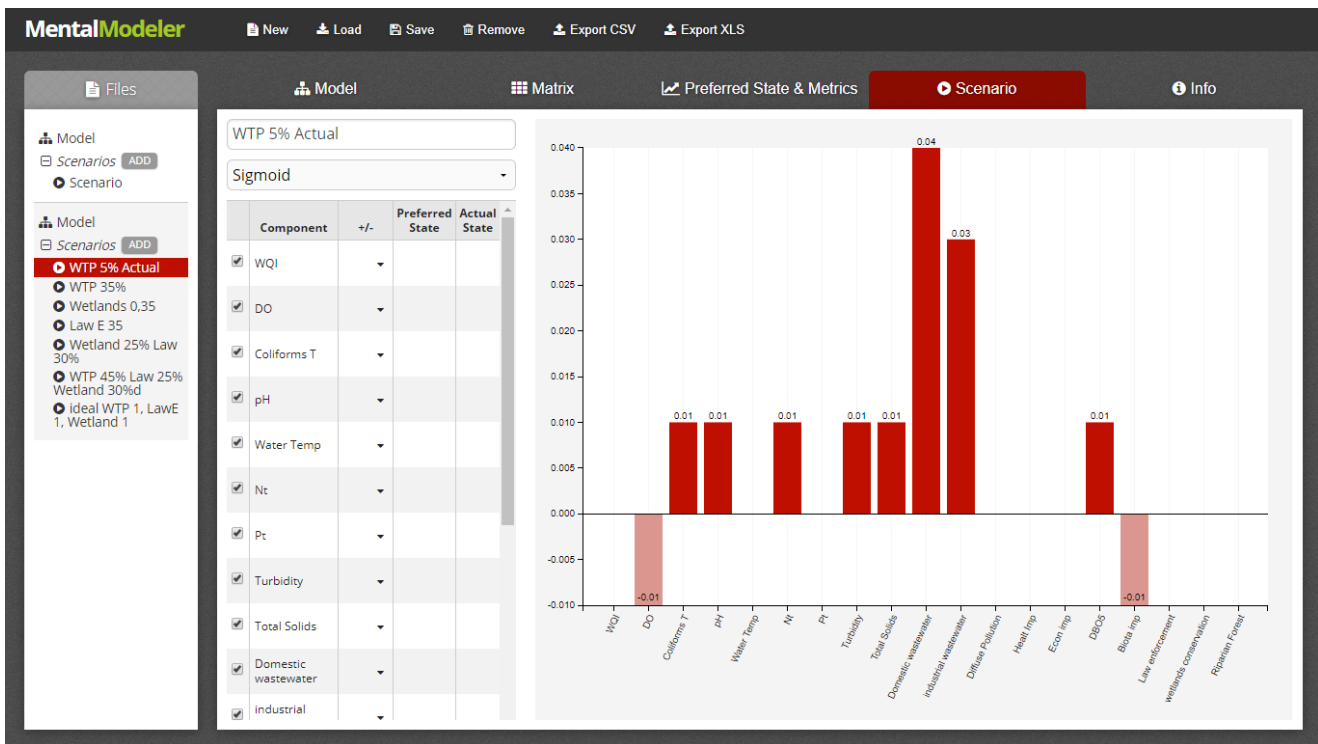


Figure 4. Analisis de escenario

Conclusiones

En el presente trabajo se abordaron aspectos relacionados con los modelos mentales mediante modelos causales. Se trataron aspectos relacionados con la necesidad de incluir la indeterminación en las relaciones causales mediante mapas cognitivos neutrosófico y Mapas Cognitivos Difusos. La cuenca del río Sinos es una de las cuencas hidrográficas más contaminadas de Brazil, lo que genera enormes esfuerzos para su recuperación mediante una gestión integral adecuada. La gestión de la calidad del agua mediante el análisis de las interrelaciones entre los diferentes factores podría ser difícil es por eso que se sugiere el uso de MCD y MCN. Como trabajos futuros se plantea la incorporación de nuevas métricas de centralidad en mapas cognitivos neutrosóficos. La incorporación del análisis de escenarios a la propuesta es otra área de trabajo futuro.

Referencias

1. Pérez-Teruel, K., M. Leyva-Vázquez, and V. Estrada-Sentí, *Mental models consensus process using fuzzy cognitive maps and computing with words*. Ingeniería y Universidad, 2015. **19**(1): p. 173-188.
2. Pérez-Teruel, K. and M. Leyva-Vázquez, *Neutrosophic logic for mental model elicitation and analysis*. Neutrosophic Sets and Systems, 2012: p. 30.

3. Pérez Teruel, K., et al., *Proceso de consenso en modelos mentales y aplicación al desarrollo de software ágil en bioinformática*. Revista Cubana de Información en Ciencias de la Salud, 2014. **25**(3): p. 318-332.
4. Sharif, A.M. and Z. Irani, *Applying a fuzzy-morphological approach to complexity within management decision making*. 2006, Emerald Group Publishing Limited. p. 930-961.
5. Glykas, M., *Fuzzy Cognitive Maps: Advances in Theory, Methodologies, Tools and Applications*. 2010: Springer Verlag.
6. Puente Agueda, C., *Causality in Science*. Pensamiento Matemático, 2011(1): p. 12.
7. Hernández-Díaz, N., M. Yelandy-Leyva, and B. Cuza-García, *Modelos causales para la Gestión de Riesgos*. Revista Cubana de Ciencias Informáticas, 2013. **7**(4): p. 58-74.
8. Ping, C.W., *A Methodology for Constructing Causal Knowledge Model from Fuzzy Cognitive Map to Bayesian Belief Network*, in *Department of Computer Science*. 2009, Chonnam National University.
9. Zhi-Qiang, L.I.U., *Causation, bayesian networks, and cognitive maps*. ACTA AUTOMATICA SINICA, 2001. **27**(4): p. 552-566.
10. Kandasamy, W.V. and F. Smarandache, *Fuzzy cognitive maps and neutrosophic cognitive maps*. 2003: Infinite Study.
11. Zadeh, L.A., *Fuzzy sets*. Information and Control, 1965. **8**(3): p. 338-353.
12. Brio, B.M.d. and A.S. Molina, *Redes Neuronales y Sistemas Borosos*. Segunda Edición ed. 2001: Alfaomega.
13. Klir, G.J. and B. Yuan, *Fuzzy sets and fuzzy logic*. 1995: Prentice Hall New Jersey.
14. Kosko, B., *Fuzzy cognitive maps*. International Journal of Man-Machine Studies, 1986. **24**(1): p. 65-75.
15. Leyva-Vázquez, M., *Modelo de Ayuda a la Toma de Decisiones Basado en Mapas Cognitivos Difusos*. 2013, UCI: La Habana.
16. Stach, W., L. Kurgan, and W. Pedrycz, *Expert-Based and Computational Methods for Developing Fuzzy Cognitive Maps*, in *Fuzzy Cognitive Maps*, M. Glykas, Editor. 2010, Springer: Berlin. p. 23-41.
17. Bueno, S. and J.L. Salmeron, *Benchmarking main activation functions in fuzzy cognitive maps*. Expert Systems with Applications., 2009. **36**(3): p. 5221-5229.
18. Papageorgiou, E.I. and J.L. Salmeron., *A Review of Fuzzy Cognitive Maps research during the last decade*. IEEE Transactions on Fuzzy Systems., 2012.
19. Axelrod, R.M., *Structure of decision: The cognitive maps of political elites*. 1976: Princeton University Press Princeton, NJ.
20. Bradley, R., F. Dietrich, and C. List. *Aggregating causal judgements*. 2006 [cited 2012 April 18]; Available from: <http://eprints.lse.ac.uk/20088/>.
21. Khan, M.S. and M. Quaddus, *Group Decision Support Using Fuzzy Cognitive Maps for Causal Reasoning*. Group Decision and Negotiation, 2004. **13**(5): p. 463-480.
22. Kosko, B., *Hidden patterns in combined and adaptive knowledge networks*. International Journal of Approximate Reasoning, 1988. **2**(4): p. 377-393.
23. Espinoza, M.L., *A Fuzzy Cognitive Maps Based Model for Individual Travel Behaviour*. 2012, Hasselt University.
24. Goodier, C., et al., *Causal mapping and scenario building with multiple organisations*. Futures, 2010. **42**(3): p. 219-229.
25. Yesil, E., et al. *Control engineering education critical success factors modeling via Fuzzy Cognitive Maps*. in *Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET), 2013 International Conference on*. 2013. IEEE.
26. Stach, W., L. Kurgan, and W. Pedrycz, *A divide and conquer method for learning large Fuzzy Cognitive Maps*. Fuzzy Sets and Systems, 2010. **161**(19): p. 2515-2532.

27. Groumpos, P., *Fuzzy Cognitive Maps: Basic Theories and Their Application to Complex Systems*, in *Fuzzy Cognitive Maps*. 2010, Springer Berlin / Heidelberg. p. 1-22.
28. Smarandache, F., *A unifying field in logics: neutrosophic logic. Neutrosophy, neutrosophic set, neutrosophic probability and statistics*. 2005: American Research Press.
29. Vera, M., et al., *Las habilidades del marketing como determinantes que sustentaran la competitividad de la Industria del arroz en el cantón Yaguachi. Aplicación de los números SVN a la priorización de estrategias*. Neutrosophic Sets & Systems, 2016. **13**.
30. Broumi, S., J. Ye, and F. Smarandache, *An extended TOPSIS method for multiple attribute decision making based on interval neutrosophic uncertain linguistic variables*. 2015: Infinite Study.
31. Kandasamy, W.V. and F. Smarandache, *Fuzzy Neutrosophic Models for Social Scientists*. 2013: Education Publisher Inc.
32. Dhar, M., S. Broumi, and F. Smarandache, *A Note on Square Neutrosophic Fuzzy Matrices*. 2014: Infinite Study.
33. Kandasamy, W.B.V. and F. Smarandache, *Fuzzy cognitive maps and neutrosophic cognitive maps*. 2003: American Research Press.
34. Broumi, S., et al. *An introduction to bipolar single valued neutrosophic graph theory*. in *Applied Mechanics and Materials*. 2016. Trans Tech Publ.
35. Vázquez, M.L. and F. Smarandache, *Neutrosofía: Nuevos avances en el tratamiento de la incertidumbre*. 2018: Pons Publishing House
36. Leyva-Vázquez, M., et al. *The Extended Hierarchical Linguistic Model in Fuzzy Cognitive Maps*. in *Technologies and Innovation: Second International Conference, CITI 2016, Guayaquil, Ecuador, November 23-25, 2016, Proceedings 2*. 2016. Springer.
37. Betancourt-Vázquez, A., K. Pérez-Teruel, and M. Leyva-Vázquez, *Modeling and analyzing non-functional requirements interdependencies with neutrosophic logic*. Neutrosophic Sets and Systems, 2015: p. 44.
38. Leyva-Vázquez, M., et al., *Técnicas para la representación del conocimiento causal: un estudio de caso en Informática Médica*. Revista Cubana de información en ciencias de la salud, 2013. **24**(1): p. 73-83.
39. Gray, S.A., et al. *Mental modeler: a fuzzy-logic cognitive mapping modeling tool for adaptive environmental management*. in *System sciences (hicss), 2013 46th Hawaii international conference on*. 2013. IEEE.