

ARTÍCULO

Modelación de sistemas organizacionales mediante el empleo de la inteligencia artificial. Su aplicación en la gestión

System Modeling in Organizations Using Artificial Intelligence. Application in Management

MSc. Arnaldo Dámera Martínez¹ y Dr. C. Roberto Portuondo Padrón²

1 Centro de Ingeniería Ambiental de Camagüey, Camagüey, Cuba. damera@ciac.cu

2 Cátedra de Complejidad, Universidad de Camagüey *Ignacio Agramonte Loynaz*, Cuba

RESUMEN

Se estudia la modelación organizacional a través de operadores difusos tipo Mandani, Sugeno y por redes neuronales, para revelar la tendencia de las variables del modelo en su contribución al aumento del valor de la identidad del sistema. Esto permitió determinar las variables proclives de cambio en un momento dado y diseñar en base a ello una estrategia de gestión en el Centro de Ingeniería Ambiental de Camagüey, Cuba. Los resultados evidenciaron el logro de niveles cualitativamente superiores en la gestión a partir del año 2009.

Palabras clave: gestión organizacional, cambio organizacional, inteligencia artificial, lógica borrosa.

ABSTRACT

A study of organizational modeling was conducted through Mamdani and Sugeno fuzzy operators, and neural networks; the aim was to reveal the contribution of model variable

trends to an increase in the values of the system's identity. It helped determine variables that were more prone to change at a certain moment, and design a management strategy based on it at the Center for Environmental Engineering of Camaguey, Cuba. The results showed higher qualitative values in terms of management, from 2009 on.

Key words: organizational management, organizational change, artificial intelligence, fuzzy logic.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad nadie niega que las organizaciones se comporten como sistemas vivos. En tal sentido, una organización se distingue de otra por la red de relaciones que la conforma, que tendrá influencia decisiva en su dinámica.

En la red de relaciones de los seres vivos se distinguen dos conceptos: organización y estructura. Por organización se entiende el conjunto de elementos y relaciones entre ellos que conforman el sistema como entidad de una determinada clase de sistemas, una especie. El término estructura alude a algo diferente: al conjunto de elementos y relaciones concretas entre éstos que conforman al sistema como determinada entidad individualizada (Morgan, 1986).

Los sistemas vivos poseen ciertas características interesantes: su función esencial es la de reproducirse a sí mismos de forma recurrente (autopoiesis), actúan como una unidad aparte del entorno y se cuidan de la hostilidad de este para no perder su organización (su identidad). Los sistemas vivos cambian su estructura conservando necesariamente su organización, su identidad (Maturana, 1992).

Morgan (1986) explica que la identidad del sistema es la única vía para auto organizarse; la identidad determinará también el ambiente percibido. Ante ello brota una nueva explicación de la resistencia al cambio: debido a la naturaleza circular y autorreferencial de la relación organización-entorno, surge inevitablemente la resistencia. La organización persigue mantener su identidad, el conjunto de asunciones que se ha formado (sobre el entorno, sobre la propia organización, etc.) y el cambio organizativo pasaría entonces por el cambio de identidad. El cambio se concebirá como

amenazador para las asunciones y comportamientos relacionados con la identidad de la organización. En esto radica el que los seres humanos sean especialmente poco tolerantes al cambio. Pero por otra parte, y aquí se da una paradoja, los seres humanos también están permanentemente envueltos en procesos de desarrollo y cambio. Luego, como corolario, se puede decir que los seres humanos, y por añadidura las organizaciones, tienen necesidad de cambiar y de proteger su identidad a un mismo tiempo (Morgan, 1986).

Es por ello que Miceli (2006) afirma que las redes sociales son estructuras que evolucionan en el tiempo al menos en un doble sentido: en primera instancia generando un producto (envío de información, toma de decisiones, generación de poder) y en segundo lugar produciendo modificaciones en su propia morfología.

En correspondencia con estos presupuestos existen trabajos científicos que estudian en dos direcciones la influencia del cambio de la identidad en la gestión de la organización. Una de ellas es para mantenerla y otra para transformarla (Navarro, 2001; Diegoli, 2004; Cornejo, 2010; D'Angelo, 2010; Osorio, 2010; Abram, 2010; Sotolongo, 2010; Gómez y Maldonado, 2010; 2014).

Los trabajos antes mencionados están basados en el enfoque de la complejidad, que postula el carácter borroso de la realidad y emplean la lógica difusa. Bajo esta lógica reside la idea de que los elementos clave en el pensamiento humano no son números, sino etiquetas lingüísticas y ello ha posibilitado el tratamiento computacional de variables que tienen que ver con los aspectos emocionales, de creencias y culturales, dándole inmensas posibilidades de empleo en el campo de la gestión organizacional (Navarro, 2001; Diegoli, 2004).

Los operadores difusos más empleados en la modelación de sistemas son los de tipo Mandani, Sugeno y las redes neuronales (Suárez, 2000; Dubrovin, Jolma y Turunen, 2002; Lozano y Fuentes, 2003; Isasi y Galván, 2004; Martín del Paso, 2005; Sosa, 2007; Macián, 2012). Sin embargo, no hay consenso de cuáles son más efectivos.

Estos trabajos, de una forma u otra, fundamentan la necesidad de tomar la identidad de la organización como variable de estudio para el cambio organizacional. Precisamente ese es el objetivo del presente trabajo, que intenta modelar la identidad de una organización de ciencia (Centro de Ingeniería Ambiental de Camagüey, CIAC) a partir

de los componentes de su esencia para determinar aquellos elementos que necesitan ser mejorados, lo que se realiza mediante una estrategia de cambio, aplicada para desarrollar dicha organización.

DESARROLLO

Para la modelación del sistema organizacional se emplean técnicas de la vida artificial. Esta es una ciencia de frontera que intenta comprender la esencia y la naturaleza de la vida mediante la construcción (simulación o síntesis) de sistemas artificiales que exhiban propiedades normalmente asociadas a los organismos vivos (Bedau, 2010; Bohórquez, 2013; Gómez y Maldonado, 2014). Se trata, por lo tanto, de una investigación sistemática orientada a desentrañar la lógica de la vida y de los sistemas (artificiales) que exhiben características o comportamientos propios de la vida, de manera que se entienda esta como un fenómeno de complejidad creciente y, por lo tanto, de gran incertidumbre.

La aplicación de estas técnicas se inicia con la precisión que identifica al CIAC como una clase: Centro Provincial de Servicios Científicos y Tecnológicos. Posteriormente se seleccionan las variables que caracterizan la esencia de estos centros, a través, de un estudio de los diferentes sistemas de evaluación de ciencia en diferentes partes del mundo (González, Benítez y García, 2001; Martín, 2004; SECYT, 2009; Salazar, Lucio, Rivera y Bernal, 2009; Prat-Trebal, 2010; CITMA, 2010; Board, 2011; Rodríguez, 2012), limitados a aquellas variables que caracterizan la calidad en el trabajo y el desempeño.

Se precisaron dos tipos de variables: "duras" (tangibles) y "suaves" (intangibles):

Duras: pertinencia (PE), resultado (R), optimización (O), impacto (I).

Blandas: participación (P), coprotagonismo (CO) y autonomía integradora (AI).

Las variables duras se llevaron a valores cuantitativos (según resultados) y se agruparon en una función que se denominó *capacidad*; mientras que las blandas se llevaron a valores cualitativos (referidas a los recursos humanos) y se agruparon en una función que se denominó *voluntad*. Fue necesario normalizar las variables para que estuviesen definidas en un rango de 1 a 10. Ambas variables conformaron la variable identidad. Así:

$$f_v = f(P, CO, AI); f_c = f(PE, R, O, I); I = (f_v, f_c)$$

Aplicación del modelo matemático difuso (sistema de inferencia difuso del tipo Mandani)

Se seleccionaron las variables del sistema.

Preparación de los datos para la simulación: para la preparación de los datos fue necesario tomar el resumen por indicadores económicos del caso de estudio y llevarlos de acuerdo a su significado a indicadores de las variables independientes fundamentales del modelo: pertinencia, resultado, optimización, impacto, participación, coprotagonismo y autonomía integradora.

- Se diseñó el instrumento de evaluación.
- Se comprobó la confiabilidad del instrumento de evaluación, donde se precisan la validez aparente, la validez de contenido, la validez de constructo, la fiabilidad test-retest y la consistencia interna.
- Se aplicó el instrumento diseñado en base a los datos reales de 2006 en el caso de estudio.

Posteriormente se procedió a la aplicación de la “*Toolbox Fuzzy Logic*” (lógica difusa o) del MATLAB 7.5, comenzando por:

- “Fuzzificación” de las variables de entrada.

Se representan las variables de entrada mediante conjuntos difusos.

- Se aplicó el operador difuso AND para obtener el consecuente de cada una. La base de reglas almacena un conjunto de reglas de la forma IF-THEN que cuantifica el conocimiento de los expertos sobre la manera de resolver problemas particulares. Para el sistema de inferencia difuso (FIS) de la variable de salida voluntad se seleccionaron 27 reglas y para el de la variable capacidad se seleccionaron 54 reglas. A cada regla se le asignó un peso de 1.
- Se aplicó el método de implicación para cada regla que define la forma de obtención del consecuente (un conjunto difuso), a partir del valor del antecedente (un número simple).
- Se aplicó el método de agregación (el máximo) de todas las salidas, donde se unifican todos los conjuntos difusos de las salidas de cada regla y su combinación es un conjunto difuso único por cada variable de salida.

- “Desfuzzificación” de las variables de salida. La entrada del proceso de “desfuzzificación” es la salida del proceso de agregación (conjunto difuso único por cada variable de salida) y la salida es un número simple, o sea, el “desfuzzificador” combina las conclusiones del mecanismo de inferencia difuso y las convierte en un valor numérico real. Se empleó el centro de gravedad o centroide como criterio de “desfuzzificación”.

- Interpretación preliminar

Partiendo de los valores numéricos reales de las variables de entrada del centro en el año 2006, en una escala de 1 a 10, se obtuvo un valor de identidad real de 4,1.

Aplicación del MATLAB 7.5 (simulación multivariada con doble “fuzzificación”)

- Implementación del modelo con la herramienta “Simulink”

El modelo final implementado en el entorno del “Simulink” del software MATLAB 7.5 puede observarse en la **Fig. 1.**

Obtenidos los resultados de los procesos de inferencia difusos, se implementó un tercer sistema de inferencia (doble “fuzzificación”), en el cual las variables de entrada son las mismas variables de salida voluntad y capacidad obtenidas anteriormente, y la variable de salida es la identidad de la organización, con una base de reglas difusas compuesta por nueve reglas.

- Corridas del modelo

Se realizaron múltiples corridas de simulación para cada variable para conocer las variables de entrada que manifestaban tendencia al aumento del valor de la identidad y cuáles no, y de esta forma poder gestionar bajo incertidumbre.

- Interpretación de resultados

Como producto final de esta simulación se obtiene el gráfico tridimensional o superficie de comportamiento, donde se reflejan las variables de entrada del tercer sistema de inferencia, en este caso voluntad y capacidad, y la variable de salida final de todo el modelo que es la identidad de la organización.

Este proceso de doble “fuzzificación” incrementa el grado de precisión de los resultados. La superficie de salida final puede observarse en la **Fig. 2**, donde el color amarillo representa los intervalos difusos máximos, el verde los medios y el azul los bajos.

Realizada la simulación de las corridas del modelo final implementado en el entorno del “Simulink” del software MATLAB 7.5 con doble “fuzzificación”, y revelada la tendencia de cada variable de entrada en cuanto a lo que contribuye al aumento del valor de la identidad, además de conocido el valor real de las variables de entrada, se pasa a hacer un análisis estratégico y tomar las variables con mayor tendencia al cambio, como objeto de transformación para alcanzar niveles cualitativamente superiores en el desarrollo de la identidad organizacional.

Elaborada la estrategia de cambio para las variables más dinámicas que favorecen el aumento de la identidad y ejecutada esta a lo largo de 4 años en cada estudio de caso, se realizó una nueva corrida del modelo, para lo cual se tomaron como valores numéricos de las variables de entrada los valores reales de 2009 del propio centro en una escala de 1 a 10, y se obtuvo una identidad con valor real de 6,2. Se realizó un análisis estadístico según t de Student, donde se comparan los valores de las variables antes y después de aplicada la estrategia de cambio en cada centro, y se concluye que existen diferencias significativas entre los valores calculados en 2006 y en 2009.

La estrategia de cambio consistió en gestionar la organización a través de aumentar los valores de las variables más deprimidas en el resultado.

Se constató aumento en la variable identidad del CIAC, lo cual demuestra la validez de los fundamentos de la estrategia de cambio y de la estrategia de cambio ejecutada para el estudio del caso (Tabla 1).

Modelo matemático difuso con aplicación del método de implicación del tipo Sugeno para los tres sistemas de inferencia difusos

Las variables de entrada así como sus valores se tomaron idénticos a los del sistema Mandani aplicado con anterioridad. Posteriormente se aplicó la “Toolbox Fuzzy Logic” (lógica difusa o borrosa) del MATLAB 7.7.0 (R2008b), y se utilizó específicamente la herramienta mam2sug para la conversión a Sugeno de los tres sistemas de inferencia difusos.

Seguidamente, se simularon las corridas del modelo final implementado en el entorno del “Simulink” del software MATLAB 7.7.0 (R2008b) con doble “fuzzificación”. Para el estudio de caso se obtuvo un aumento de la variable, con la utilización de los valores reales de las variables de 2,2 en 2006 a un valor de 4,5 en 2009.

Como se puede apreciar del análisis comparativo de las corridas con los valores reales en 2006 y en 2009, se produjo el aumento del valor de la identidad del caso de estudio, al utilizar el modelo matemático difuso aplicando el método de implicación del tipo Sugeno para los tres sistemas de inferencia difusos.

Comparación con el modelo matemático basado en la inteligencia artificial (redes neuronales artificiales)

Muchos de los desarrollos actuales de los científicos se dirigen al estudio de las capacidades humanas como fuente de nuevas ideas para el diseño de las nuevas máquinas. Así, la inteligencia artificial es un intento por descubrir y describir aspectos de la inteligencia humana que pueden ser simulados mediante máquinas. En el presente estudio se utilizó las redes neuronales artificiales (RNA).

Preparación de los datos

Para ello se realizaron corridas del modelo matemático difuso con la aplicación del método de implicación del tipo Sugeno, para los tres sistemas de inferencia difusos hasta obtener 4 juegos de datos: 3 juegos para realizar el entrenamiento supervisado de la RNA y 1 para pruebas.

Creación de la RNA

Se procedió a la aplicación de la “*Neural Network Toolbox*” 6.0.1 del MATLAB 7.7.0 (R2008b). Se crearon varias redes donde se utilizaron siete neuronas para la capa de entrada y una para la de salida, pero se varió el número de neuronas en la capa intermedia, específicamente 8; 10; 12 y 14 neuronas y además se utilizaron diferentes combinaciones de los juegos de datos para su entrenamiento y luego se almacenaron. Todas las redes creadas fueron del tipo “*Freed-Fowardbackprop*”.

Entrenamiento de la RNA

Se aplicó la “*Neural Network Toolbox*” 6.0.1 del MATLAB 7.7.0 (R2008b), con la instrucción >>nntool y la “*Network/Data Manager*”, de forma que se posicionó el “*Current Directory*” en el lugar en que se encuentra la red almacenada; para el entrenamiento se le brindaron los juegos de datos y las salidas ya conocidas. Se entrenaron 30 redes.

Implementación del modelo con la herramienta “Simulink” y corridas del modelo

Utilizando la “Network/Data Manager” se entran los datos de prueba con los datos de entrada solamente y se realizan múltiples corridas de simulación del modelo para cada juego de datos de entrada; así se van obteniendo las salidas como resultado.

De esta forma se determinan cuáles redes son las que manifestaban tendencia al aumento del valor de la identidad. Finalmente se seleccionó la RNA de 12 capas intermedias con el juego de data 1 (Fig. 3). Posteriormente se realizaron las corridas de simulación con los valores reales de las variables de entrada de nuestro sistema, para los años 2006 y 2009.

Interpretación de resultados

Para el estudio de caso se obtuvo un aumento de la identidad y se utilizaron los valores reales de las variables de 2,3 en 2006 a un valor de 6,0 en 2009.

Como se puede apreciar del análisis comparativo de las corridas con los valores reales en 2006 y en 2009, se produjo un aumento en la identidad del caso de estudio utilizando el modelo matemático basado en la inteligencia artificial (Tabla 2).

Es de destacar que a partir del año 2010 se emplearon las redes neuronales y se obtuvo un aumento paulatino de la identidad organizacional desde el valor de 6,0 hasta 8,3, que se traduce en diferentes logros del CIAC.

En el estudio, a partir de la modelación realizada en 2006, se simularon los valores de 2009 y 2014, los cuales se compararon con los valores reales en esos años. Se realizó un análisis estadístico según t de Student, donde se comparan los valores de las variables obtenida con valores reales y simulados, y se concluye que no existen diferencias significativas entre los valores reales y simulados en el caso de los modelos empleados en el año 2009; en 2014, solamente al aplicar las redes neuronales, tampoco existieron diferencias significativas. La causa de esta diferencia estriba en que las redes neuronales van aprendiendo a lo largo del tiempo ya que incorporan los nuevos datos a la base de datos propia, como aparece en la Tabla 3.

Los resultados del CIAC se exponen a continuación:

- Se alcanza y se mantiene la sostenibilidad financiera de la entidad; se cierra ciclo en ambas monedas.

- Se logra por primera vez por especialistas del centro, la exportación de servicios científicos y tecnológicos (SCT), de riesgo tecnológico en las plataformas petroleras de Petróleos de México.
- El centro mantiene su actividad de investigación, se incrementa el nivel de actividad de los servicios científico tecnológicos estatales y a clientes, así como de producciones especializadas.
- Consolidada la integración de los trabajadores en función de los objetivos colectivos por encima de los individuales.
- Trabajadores con alta motivación y sentido de pertenencia. Se aplica de forma adecuada el Reglamento de Estímulo.
- Integración del CIAC con los centros de la Agencia de Energía Nuclear y Tecnologías de Avanzada y del territorio, en la ejecución de proyectos y SCT de conjunto, incluidas las redes de laboratorios.
- Cuenta con una estructura más funcional y flexible.
- Integración entre los factores, subdirecciones y trabajadores para alcanzar las metas trazadas.
- Se mantiene el servicio de comedor con oferta adecuada.
- Se consolida y perfecciona constantemente la cultura en la aplicación de la evaluación del desempeño.
- Se cumple el plan económico del año.
- Se gestionan proyectos de investigación o innovación financiados por las empresas.
- Se ejecuta proyecto de transferencias de tecnologías para diversificar nuevas producciones.
- Se innova constantemente para obtener nuevos o mejorados SCT.
- Se prepara personal del centro en Dubná, Rusia para asimilación de nuevas tecnologías como las nano.
- Se fomentan constantemente nuevas alianzas para la prestación de SCT cooperados.

- Se participó en propuestas de proyectos para insertar a CIAC en la Zona Especial de Desarrollo del Mariel a través de una asociación económica internacional y para la colaboración con China.
- Se presentó el expediente de solicitud del paso de la entidad a Empresa de Ciencia y Tecnología.

CONCLUSIONES

Se constata que es posible la modelación del sistema organizacional, a través de modelar la identidad de la organización y los componentes de su esencia, para determinar aquellos elementos que necesitan ser mejorados.

Para ello se emplearon como herramientas operadores difusos tipo Mandani, Sugeno y mediante la inteligencia artificial, y se evidenció la superioridad de la aplicación de la inteligencia artificial dado que la red neuronal va aprendiendo a medida que se introducen nuevos datos. A partir de los resultados de la modelación se implementó una estrategia de cambio, que corroboró el desarrollo del CIAC en los últimos años.

REFERENCIAS

ABRAM, P. (2010). *Gestión de la complejidad. De apagar incendios al desarrollo de negocios rentables*, (en línea). Recuperado el 28 de febrero de 2013, de www.paconsultores.com.ar

BEDAU, M. (2010). Living Technology: Exploiting Life's Principles in Technology. *Artificial Life*, 16(1), 89-97.

BOARD, T. (2011). *Science and Engineering Indicators 2010*. EE. UU: National Science Foundation.

BOHÓRQUEZ, E. (2013). La organización empresarial como sistema adaptativo complejo. *Estudios Gerenciales*, 29(2), 258-265, (en línea). Recuperado el 25 de febrero 2014, de w.w.w.elsevier.es/estudios_gerenciales

CITMA. (2010). El potencial humano dedicado a la ciencia y a la innovación tecnológica, en Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, *Sistema de información estadística complementaria* (pp. 43-47). Cuba: Autor.

CORNEJO, A. (2010). *Presiones del medio ambiente que obligan a la reconfiguración continua en la organización. Modelo estructura-procesos. La administración del siglo XXI*. Madrid, España: Alfonso Cornejo Ed..

D'ANGELO, O. (2010, enero). Los procesos de autoorganización-contextualización y la autonomía en los sistemas sociales. Conferencia magistral dictada en el 5to. Congreso Bienal Internacional acerca de las Implicaciones Filosóficas, Epistemológicas, Metodológicas de la Teoría de la Complejidad, La Habana, Cuba.

DIEGOLI, S. (2004). *A Methodology for Observing Chaotic and Fuzzy Aspects of Non-Linear Dynamics of Groups*. España: Universidad de Barcelona.

DUBROVIN, T., JOLMA, A. y TURUNEN, E. (2002). Fuzzy Model for Real-Time Reservoir Operation. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 128(1), 66-73.

GÓMEZ, N. y MALDONADO, C. (2010). *Modelamiento y simulación de sistemas complejos*. Bogotá, Colombia: Laboratorio de Modelamiento y Simulación de la Universidad del Rosario.

GÓMEZ, N. y MALDONADO, C. (2014). *Sistemas Bio-inspirados: Un marco teórico para la Ingeniería de Sistemas Complejos*. Bogotá, Colombia: Laboratorio de Modelamiento y Simulación de la Universidad del Rosario.

GONZÁLEZ, W., BENÍTEZ, F. y GARCÍA, J. L. (2001, mayo). *La utilización de un sistema de indicadores de ciencia y tecnología para la gestión de la actividad de la investigación en las universidades cubanas*. Ponencia presentada en el V Taller Iberoamericano e Interamericano de Indicadores de Ciencia y Tecnología, RICYT, Montevideo, Uruguay.

ISASI, P. y GALVÁN, I. (2004). *Redes de neuronas artificiales. Un enfoque práctico*. Madrid, España: Pearson Prentice Hall.

LOZANO, C. y FUENTES, F. (2003). *Tratamiento borroso del intangible en la valoración de empresas en internet*, (en línea). Recuperado el 12 de enero del 2013, de <http://www.eumed.net/cursecon/libreria/clg-ffm/index.htm>

MACIÁN, H. (2012). *Utilización de lógica difusa en la gestión de embalses. Aplicación a los ríos Sorbe, Esla y Mijares*. Disertación doctoral no publicada, Universidad de Oviedo, España.

MARTÍN DEL PASO, M. (2005). *Aplicaciones de las redes neuronales artificiales a problemas de predicción y clasificación financiera*. España: Departamento de Economía Financiera y Contabilidad, Universidad Rey Juan Carlos.

MARTÍN, J. (2004). *Organizational Culture*. EE. UU, Stanford: Research Paper Series.

MATURANA, R. (1996). *La realidad: ¿Objetiva o construida? II. Fundamentos biológicos del conocimiento*. Barcelona, España: Anthropos.

MICELI, J. (2006). La ciencia de las redes, (en línea). *REDES. Revista Hispana para el Análisis de Redes Sociales*, 10(10), s.p.. Recuperado el 22 de marzo de 2008, de http://revista-redes.rediris.es/html-vol10/vol10_10.htm

MORGAN, G. (1986). *Images of Organizations*. Newbury Park, CA: Sage Publications.

NAVARRO, J. C. (2001). La organización como sistema dinámico complejo. Tesis doctoral no publicada, Universidad de Barcelona, España, (en línea).

OSORIO, G. (2010). Aspectos teóricos emergentes de la complejidad en la gestión de las redes sociales. *COMPLEXUS. Revista de Complejidad, Ciencia y Estética*, 11(IV), 13-25.

PRAT-TREBAL, A. M. (2010). *Indicadores de producto, en capacitación y asistencia técnica para la mejora en la recolección y análisis de indicadores de ciencia, tecnología e innovación en países de América Latina y el Caribe: Fortalecimiento del sistema de información sobre la red interamericana de ciencia, tecnología e innovación*. Montevideo, Uruguay: RICYT.

RODRÍGUEZ, Y. (2012). *Metodología bibliométrica para la evaluación de la actividad científica*. Tesis doctoral no publicada, ISPJAE, La Habana, Cuba.

SALAZAR, M., Lucio, J., Rivera, S. y Bernal, E. (2009). *Indicadores de ciencia y tecnología*. Recuperado el 10 de mayo de 2011, de <http://www.ocyt.org.co>

SECYT. (2009). *Indicadores de C y T a partir de CvLAC*, (en línea). Recuperado el 12 de enero de 2010, de <http://www.sicytar.secyt.gov.ar/>

SOTOLONGO, L. (2010, enero). *Dinámica y semiosis en los procesos de la auto-organización*. Conferencia magistral en el 5to. Congreso Bienal Internacional acerca de las Implicaciones Filosóficas, Epistemológicas, Metodológicas de la Teoría de la Complejidad, La Habana, Cuba.

SOSA, M.C. (2007) Inteligencia artificial en la gestión financiera empresarial. *Revista Pensamiento y Gestión*, 23(2), 153-186.

SUÁREZ. J. (2000). *Técnicas de inteligencia artificial aplicadas al análisis de la solvencia empresarial*, (en línea). Recuperado el 15 de noviembre 2000, de http://www.uniovi.es/econo/DocumentosTrabajo/2000/206_00.pdf

Recibido: 10/05/2015

Aprobado: 05/11/2015

Arnaldo Dámera Martínez. Centro de Ingeniería Ambiental de Camagüey, Camagüey,
Cuba. damera@ciac.cu

Fig.1. Modelo final

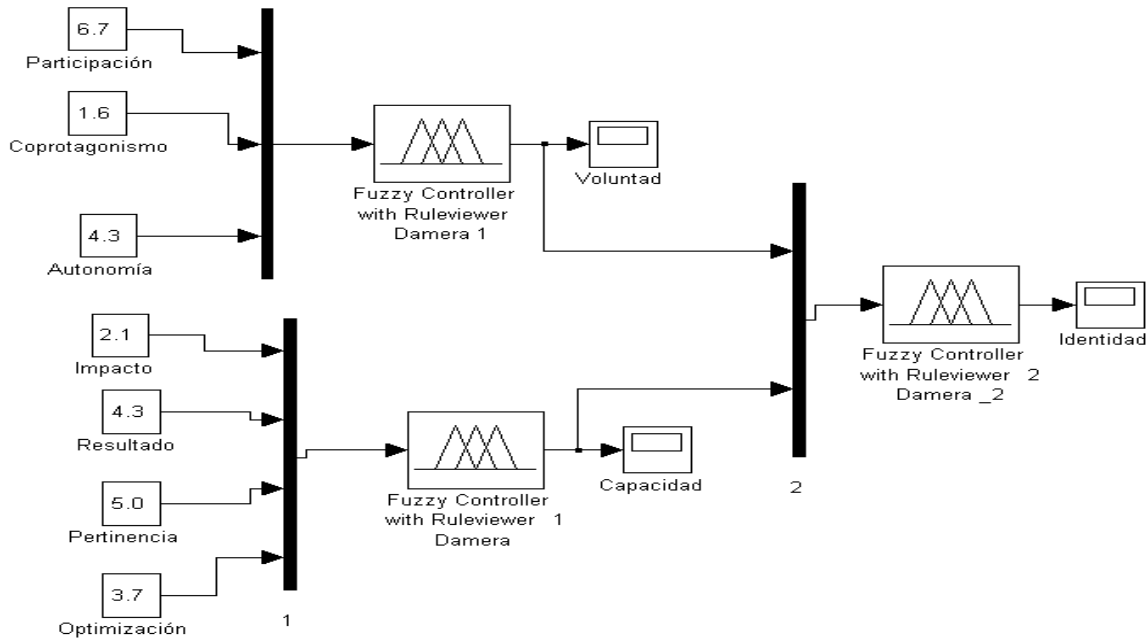


Figura1. Modelo final

Tabla 1. Comparación resultados 2006 y 2009

GI=9 t= 1,8331	Resultados CIAC	
	2006	2009
Participación (P)	6,7	7,0
Coprotagonismo (CP)	1,6	2,9
Autonomía integradora (AI)	4,3	6,5
Impacto (I)	2,1	3,5
Resultado (R)	4,3	7,5
Pertinencia (Pe)	5,0	6,6
Optimización (O)	3,7	3,5

Voluntad	4,2	4,4
----------	-----	-----

Tabla 2. Comparación resultados 2006 y 2009

Comparación resultados	Resultados CIAC	
	2006	2009
Participación (P)	6,7	7,0

Capacidad	4,0	6,5
Identidad	4,1	6,2
t	4,73	

Coprotagonismo (CP)	1,6	2,9
Autonomía Integradora (AI)	4,3	6,5
Impacto (I)	2,1	3,5
Resultado (R)	4,3	7,5
Pertinencia (Pe)	5,0	6,6
Optimización (O)	3,7	3,5
Voluntad	4,2	4,4
Capacidad	4,0	6,5
Identidad Mandani	4,1	6,2
Identidad Sugeno	2,2	4,5
Redes Neuronales 12 capas data 1	2,3	6,0

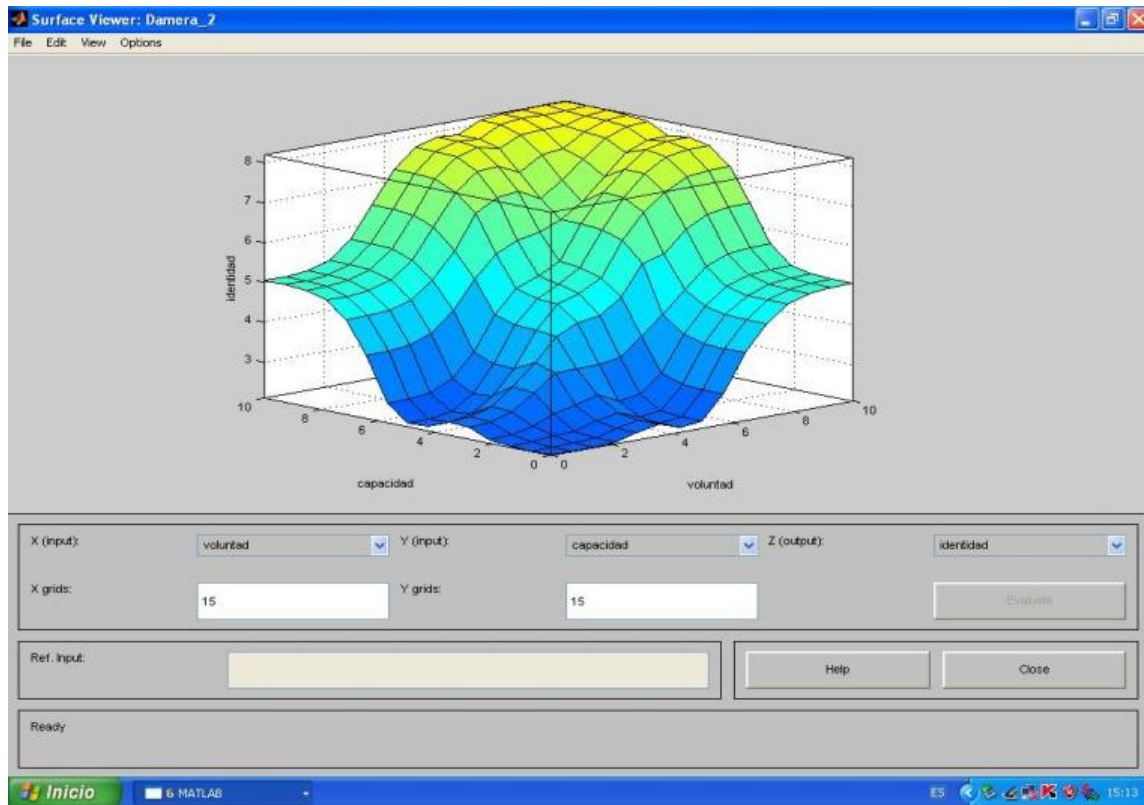


Figura 2. Superficie de salida final

Tabla 3. Comparación de métodos de modelación

COMPARACIÓN ENTRE OPERADORES DIFUSOS	Resultados CIAC				
	2006 R	2009 S	2009 R	2014 S	2014 R
Identidad Mandani	4,1	6,1	6,2	7,9	8,3
Identidad Sugeno 1 FIS	3,4	5,0	5,9	7,3	8,3
Identidad Sugeno 3 FIS	2,2	4,1	4,5	7,4	8,3
Redes Neuronales 12 capas data 1	2,3	5,94	6,0	8,2	8,3

R- Valores reales

S- Valores simulados

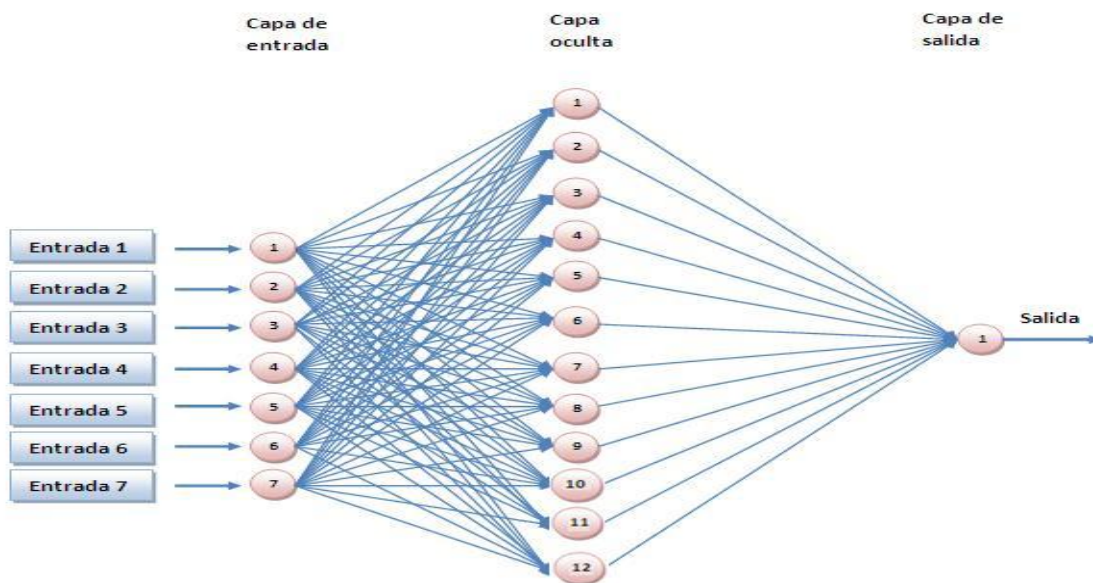


Figura 3. RNA de 12 capas intermedias