

Inteligencia artificial en la gestión financiera empresarial

María Del Carmen Sosa Sierra

msosa@uninorte.edu.co, msosasierra@yahoo.com

Contadora Pública, Universidad del Atlántico (Colombia). Especialista
en Finanzas, Universidad del Norte (Colombia).

Resumen

Este artículo se enfoca en la revisión de las principales técnicas que aborda la Inteligencia Artificial, con sus diferentes paradigmas, y son relevantes los sistemas expertos, las redes neuronales, los algoritmos genéticos, la lógica borrosa y la teoría “*Rough sets*” con sus diferentes aplicaciones al campo de la gestión financiera empresarial. Se considera que los directivos o ejecutivos de las compañías al efectuar la planificación, ejecución y control en la gestión financiera empresarial podrían apoyarse en las nuevas tecnologías o técnicas que ofrece la Inteligencia Artificial para la toma de decisiones adecuadas y eficientes. Lo anterior con el fin de poder enfrentar los desafíos que impone el nuevo entorno económico global y la creciente innovación tecnológica que afrontan las empresas en el siglo XXI.

Palabras claves: Inteligencia artificial, redes neuronales, algoritmos genéticos, sistemas de lógica y teoría de *rough sets*.



Abstract

This article focuses on a review of the main techniques of Artificial Intelligence with its different paradigms, from which the most important are: expert systems, neuronal networks, genetic algorithms, fuzzy logic, and the “Rough Sets” theory with its different applications related to the field of Financial Management in businesses. It is considered that the directors or executives of companies could use the new technologies or techniques that Artificial Intelligence offers in the making of effective and efficient decisions while planning, executing and controlling the financial management aspect of their businesses. The previous aspect is done in order to be able to face the challenges that the new global economic surroundings impose and the increasing technological innovations that companies in the XXI century face.

Key words: Artificial intelligence, neuronal networks, genetic algorithms, fuzzy logic and rough sets theory.

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas se ha asistido a un cambio profundo en el ámbito empresarial debido fundamentalmente al avance de la tecnología. La presencia de nuevos paradigmas en el tratamiento de la información que generan las empresas denominado “Gestión del Conocimiento”, al igual que el procesamiento masivo de esta información, una marcada tendencia hacia la globalización de los mercados, el riesgo y la incertidumbre en la toma de decisiones empresariales, etc., han contribuido a dicho avance. Todo esto enmarcado por un mundo cada vez más complejo donde el viejo mundo de las certezas ya no existe y donde el ser competitivo y sostenible en el tiempo se constituye en un reto imperativo para la supervivencia de las empresas. En este contexto, el avance de la tecnología y de los nuevos paradigmas no debe limitarse a simular las funciones para el procesamiento manual de la información, sino que estas herramientas deben ser un soporte fundamental para el logro de los objetivos de la gestión empresarial traducida en decisiones adecuadas, eficaces y oportunas.

Los cambios mencionados anteriormente se pueden extender al campo de las decisiones empresariales, especialmente al de las finanzas, las cuales no se han escapado a estos cambios y nuevos paradigmas. Así, se pueden observar profundas transformaciones que van desde las “finanzas tradicionales” en las que los estudios se han enmarcado sobre una base fundamentalmente descriptiva, contable e institucional, a las “finanzas modernas”, que buscan explicar los fenómenos financieros e indicar el camino para la toma de decisiones financieras. Estas explicaciones se basan en la construcción de modelos cuantitativos que utilizan el lenguaje científico, un razonamiento adecuado y verificaciones empíricas. Las investigaciones más recientes en el campo de las finanzas están incidiendo más en el estudio de los aspectos cualitativos, en lo que se ha dado en llamar como “el paradigma de la psicología financiera”. Este paradigma intenta explicar el comportamiento de los inversionistas, tema que encuentra grandes limitaciones cuando se aborda enteramente con los modelos racionales planteados por las finanzas tradicionales y modernas.

Con el propósito de abordar estos nuevos paradigmas se han desarrollado recientemente las técnicas de la Inteligencia Artificial, las cuales han deja-

do en claro la necesidad de contar con soportes de ayuda poderosos para tomar decisiones en la actividad empresarial. Estos soportes deben ser capaces de considerar la información cualitativa y a partir de ella diseñar e implementar modelos estadísticos y computacionales que asistan a los decisores en la resolución de los diversos problemas empresariales.

En la actualidad, la Inteligencia Artificial se está aplicando a numerosas actividades realizadas por los seres humanos y se destacan entre otras las siguientes líneas de investigación científicas: La robótica, la visión artificial, técnicas de aprendizaje y la gestión del conocimiento. Estas dos últimas aplicaciones de la Inteligencia Artificial son las que más directamente se aplican al campo de las finanzas, debido a que en este campo existe una fuerte motivación orientada a la construcción de sistemas de información que incorporen conocimiento, y que permitan a los decisores de las organizaciones tomar decisiones eficientes y oportunas en el ámbito de la gestión financiera empresarial.

A continuación se describen los conceptos de Inteligencia Artificial (*Artificial Intelligence* AI-siglas en inglés), sus aproximaciones y las técnicas más destacadas de la Inteligencia Artificial aplicadas al campo de la gestión financiera empresarial: Los sistemas expertos, las redes neuronales, los algoritmos genéticos y la lógica difusa y la técnica reciente de los conjuntos aproximados o *rough sets*. Estas técnicas pueden combinarse para obtener una solución más adecuada del problema en estudio.

2. DEFINICIÓN Y CATEGORÍAS DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

A pesar de que el término de Inteligencia Artificial-AI fue acuñado desde hace aproximadamente tres décadas, según Munakata (1998), no existe una definición estándar sobre este término. Sin embargo, se encuentran definiciones tradicionales que hacen referencia a la capacidad de programas de computador para operar en la misma forma en que el pensamiento humano ejecuta sus procesos de aprendizaje y reconocimiento. Esta definición se fundamenta en la comparación de la inteligencia de las máquinas de computador con la inteligencia humana. Otra definición de Inteligencia Artificial se centra en la simulación de la inteligencia humana en una

máquina, de esta forma la máquina estará en condiciones de identificar y usar la pieza de conocimiento que se necesita en la resolución de un problema.

Existen dos aproximaciones fundamentales dentro del amplio espectro de la Inteligencia Artificial. Una es la Inteligencia Artificial simbólica, la cual se caracteriza por un alto nivel de abstracción y vista microscópica. A esta categoría pertenecen la psicología clásica, los sistemas basados en el conocimiento, el aprendizaje simbólico de máquina, técnicas de búsqueda, y el procesamiento de lenguaje natural.

La segunda aproximación se caracteriza por un bajo nivel de abstracción y modelos biológicos microscópicos. Las redes neuronales y los algoritmos genéticos se encuentran en esta categoría.

Además de estas dos aproximaciones de la Inteligencia Artificial, se han desarrollado nuevas herramientas denominadas “inteligencia computacional”, las cuales tienen aplicación en la gestión financiera empresarial especialmente en el tratamiento de la información imprecisa. Dentro de estas técnicas de reciente implementación se pueden mencionar: los sistemas borrosos (*fuzzy systems*), la teoría de los conjuntos aproximados (*rough sets theory*), y sistemas caóticos (*systems chaotic*). Los sistemas borrosos y la teoría de los conjuntos aproximados se pueden emplear con las técnicas de la Inteligencia Artificial simbólica y las aplicaciones numéricas en el tratamiento de la información imprecisa e incompleta.

Con el rápido avance de los sistemas computacionales y la creación de grandes bases de datos, emergen nuevas técnicas de Inteligencia Artificial adscritas a los sistemas expertos como la Minería de datos o *Data Mining*. Esta técnica es considerada una etapa previa en la generación de conocimiento. Los avances en los sistemas han crecido a la par de la necesidad de extraer información valiosa para la toma de decisiones en un mundo globalizado. Así, establecer una estrategia competitiva se convierte en un tema de vital importancia para garantizar la sostenibilidad de un negocio frente a sus competidores.

3. SISTEMAS EXPERTOS

Los sistemas expertos se definen en forma general como los sistemas de computación (incluyen *hardware* y *software*) que recopilan y simulan el pensamiento de expertos humanos en un área específica del conocimiento. Estos sistemas son capaces de procesar y memorizar información, aprender y razonar en situaciones determinísticas e inciertas, comunicarse con humanos y/o sistemas expertos, hacer decisiones apropiadas y explicar el porqué estas decisiones han sido tomadas. De esta forma, los sistemas expertos actúan como un consultor que puede proporcionar ayuda a un experto humano con un grado razonable de credibilidad.

Según O'Leary (1995), citado por Suárez (2000), existen dos enfoques para la construcción de los sistemas expertos:

- El primer enfoque permite la introducción del conocimiento acumulado de expertos humanos a lo largo de su vida profesional, obteniéndose de esta forma lo que se conoce como sistema experto. El principal problema de este enfoque se relaciona con el proceso de captación de la información, la cual se ha de hacer mediante entrevista al experto en un dominio específico o mediante la observación de su comportamiento a través de un análisis de protocolo. Esto trae bloqueos o cuellos de botellas en el desarrollo de la aplicación.
- El segundo enfoque busca la elaboración de programas de ordenador capaces de generar conocimiento a través del análisis de los datos empíricos y posteriormente se usa ese conocimiento para hacer inferencias sobre nuevos datos. Como resultado de este enfoque surgen procedimientos conocidos como *Machine Learning* (Aprendizaje Automático) o *Data Mining* (explotación de datos), los cuales permiten transformar una base de datos en base de conocimiento (más adelante en este artículo se menciona con más detalle este concepto). Este segundo enfoque es uno de los más utilizados para el diseño de sistemas expertos.

Los sistemas expertos se constituyen en la herramienta de la Inteligencia Artificial más utilizada desde sus inicios y, como se dijo anteriormente, corresponden a programas de ordenador que recopilan en un programa

informático el conocimiento de especialistas en una materia. Existen distintos tipos de sistemas expertos, teniendo en cuenta la forma como los sistemas expertos representan el conocimiento incluido en ellos, y los sistemas expertos basados en reglas son los más comúnmente utilizados en el ámbito financiero. Los componentes principales de un sistema experto basado en reglas son los siguientes:

- *Base de conocimiento*: Contiene el conocimiento y las experiencias de los expertos en un determinado dominio representado por medio de símbolos. Dentro de ella se puede distinguir el conocimiento declarativo (hechos) y procedimental (reglas).
- *Base de Datos, Memoria de trabajo o Modelo situacional*: Es una memoria auxiliar que contiene la información relacionada con el problema que se va a resolver, es decir, los datos iniciales y los datos intermedio que corresponden al estado del sistema a lo largo del proceso.
- *Motor de Inferencias o Estructura de control*: Es la parte del sistema experto que se encarga de realizar los procesos de inferencia entre la información contenida en la base de datos o memoria de trabajo y la base de conocimiento, con el fin de obtener las conclusiones que sean necesarias.
- *Interfaz de usuario o Subsistema de consulta*: Es la parte del sistema experto que permite la comunicación entre el usuario y el motor de inferencias. Adicionalmente, permite introducir la información que necesita el sistema y comunica las respuestas del sistema experto al usuario.
- *Modelo de justificación o Subsistema de explicación*: Esta parte del sistema experto explica los pasos realizados por el motor de inferencias para llegar a las conclusiones esperadas, indica también el porqué se utilizan ciertas reglas y no otras, y por qué se planteó determinada pregunta en el diálogo con el usuario.
- *Subsistema de Adquisición del conocimiento*: Es una interfaz que facilita la introducción del conocimiento en la base de datos y de los mecanismos de inferencia. Esta parte del sistema experto también se encarga de

comprobar la veracidad y coherencia de los hechos y reglas que se introducen en la base de conocimiento.

Teniendo en cuenta lo anterior, los sistemas expertos o inteligentes pueden englobar una serie de características fundamentales para cumplir con el objetivo de ofrecer asesoramiento inteligente o tomar una decisión inteligente sobre una función de un proceso. En Sánchez Tomás (1991) se presentan algunas características de estos sistemas expertos, las cuales se mencionan a continuación:

- Los sistemas expertos pueden ofrecer soluciones óptimas para resolver problemas muy difíciles tan bien o mejor que los expertos humanos.
- Pueden razonar heurísticamente, usando lo que los expertos consideran que son reglas empíricas efectivas, e interactúan con los humanos de forma adecuada, incluyendo el lenguaje natural.
- Manipulan y razonan sobre descripciones simbólicas.
- Pueden funcionar con datos que contienen errores, usando reglas inciertas de enjuiciamiento.
- Pueden contemplar múltiples hipótesis en competición simultáneamente.
- Pueden explicar por qué están formulando una pregunta.
- Pueden explicar su proceso de razonamiento y justificar sus conclusiones.

El ámbito de aplicación en la gestión empresarial de esta técnica de la Inteligencia Artificial se centra generalmente en la creación de sistemas inteligentes. Estos sistemas están diseñados para servir de soporte a los complejos análisis que se requieren en el descubrimiento de las tendencias del negocio, con el fin de tomar decisiones eficientes y oportunas. Esto le permite a quienes toman decisiones afrontar los retos del nuevo mundo empresarial, en el cual el conocimiento aparece como el factor esencial para el desarrollo de las organizaciones. Algunas de las áreas de aplicación de los sistemas expertos en la gestión empresarial son las siguientes:

- Planeación corporativa financiera
- Análisis de inversiones
- Concesión de créditos

- Análisis de estados financieros
- Interpretación de índices
- Análisis de tendencias
- Recuperación y revisión analítica de registros
- Cálculo y asignación de costos
- Asignación de recursos escasos
- Control y análisis de desviaciones
- Diseño de sistemas de información y de gestión
- Análisis de riesgos
- Evaluación del control interno de una empresa
- Opinión de un auditor, etc.

El siguiente cuadro resume brevemente algunas de las aplicaciones diseñadas para la resolución de problemas en el área de la gestión financiera empresarial.

Cuadro 1
Sistemas expertos en el dominio de la gestión financiera empresarial

Nombre del Sistema	Referencias	Área de la Gestión Financiera Empresarial	Funcionalidad
<i>AUDITPLANNER</i>	Steinbart et al., 1987	Auditoría	Ayuda a los auditores a determinar los juicios de materialidad de las cifras en la etapa de planificación de la auditoría.
<i>RISK ADVISOR</i>	Graham et al., 1991	Riesgo de auditoría	Valorar los riesgos en auditoría y evalúa el rendimiento económico de un cliente.
<i>RICE (Risk Identification and Control Evaluation)</i>	Van Dijk y Williams, 1990	Riesgo de auditoría.	Determina los indicadores de riesgo asociados con una cuenta determinada a utilizar en la planificación de un compromiso de auditoría.
<i>EXPERTEST</i>	Van Dijk y Williams, 1990; Murphy y Brown 1992.	Planificación de la auditoría	Produce programas de auditoría que abarcan todos los aspectos de la auditoría, o bien aspectos parciales de la misma sobre 19 programas de auditoría estándares que están contenidos en la base de conocimiento del sistemas.

Nombre del Sistema	Referencias	Área de la Gestión Financiera Empresarial	Funcionalidad
<i>COMPAS (Computerized Planning Advisory System)</i>	Murphy y Brown, 1992	Planificación de la auditoría	Le permite a los auditores seleccionar los procedimientos de la auditoría
<i>EXPERTAX</i>	Shpilberg, et al., 1986; Shpilberg y Graham. 1986 ; Connell, 1987 ; Messier y Hansen, 1987.	Obtención de la evidencia y formación de la opinión	Asesora a los auditores y a los contadores encargados de la parte impositiva en una empresa en los problemas de la planificación fiscal.
<i>GC-X</i>	Biggs y Selfridge, 1986; Selfridge y Biggs. 1988; Messier y Hansen, 1987; Van Dijk y Williams, 1990.	Obtención de la evidencia y formación de la opinión: Opinión de empresa en funcionamiento.	Le ayuda a los auditores en la formación del juicio sobre la empresa en funcionamiento.
<i>AUDIT EXPERT</i>	Sierra y Bonsón, 1992.	Informe de auditoría	Ayuda al auditor en las fases de elección de la opinión y emisión del informe de auditoría.
<i>AUDIT MASTER-PLAN</i>	Brown y Phillips, 1991	Auditoría interna	Ayuda a los auditores internos en las decisiones de planificación de la auditoría.
<i>EDP-XPART</i>	Hansen y Messier. 1986 ^a , 1986b; Messier y Hansen, 1987; Van Dijk y Williams. 1990	Auditoría informática	Ayuda a los auditores en el área de informática a evaluar los controles de auditoría en los sistemas informáticos avanzados.
<i>BUCKS (Business Control Knowledge System)</i>	Brown y Phillips, 1990	Contabilidad de costo y de gestión	Ayuda a los directores a analizar el rendimiento de los proyectos de la división y las actividades de asesoría de las regiones.
<i>INVENTORY EXPERT SYSTEM</i>	Ghieseddin et al.,1990	Contabilidad de costo y de gestión	Ayuda al personal encargado de la administración y control de los inventarios de una empresa sobre la demanda de artículos y el aprovisionamiento de los proveedores, con el fin de seleccionar la mejor política de gestión en los inventarios, teniendo en cuenta las metas y proyecciones de la empresa.
<i>XPR</i>	Michael,1988	Contabilidad de costo y de gestión	Sirve para el diagnóstico económico y financiero de los sistemas de control de gestión.

Nombre del Sistema	Referencias	Área de la Gestión Financiera Empresarial	Funcionalidad
<i>XVENTURE</i>	Sullivan y Revee, 1988	Contabilidad de costo y de gestión	Permite el análisis y posterior decisión en las inversiones en nuevas tecnología.
<i>AGGREGATE</i>	O'Leary, 1987 ^a	Contabilidad financiera	Ayuda a los contadores de las empresas en el diseño de sistemas de información contable y de los estados financieros.
<i>FSA (Financial Statement Analyzer)</i>	Mui y McCarthy, 1987; O'Leary, 1987b; Murria y Murria, 1988; Van Dijk y Williams, 1990; Keyes, 1991.	Contabilidad financiera	Realiza la revisión analítica de los registros de los estados financieros de una compañía.
<i>CONSOLIDEX</i>	Bonsón y Orta, 1991	Contabilidad financiera	Facilita la interpretación de las normas sobre las cuentas consolidadas de los grupos de sociedades, según las normas españolas.
<i>ANALYSIS</i>	D'hoeraene, 1990	Análisis contable y financiero	Clasifica funcionalmente el balance y las cuentas de resultado, calcula los flujos económicos-financieros, la rentabilidad, el potencial de crecimiento, la gestión del activo económico, la solvencia de la estructura financiera, etc.
<i>ANIBAL</i>	Eritel, 1991; Núñez, 1991; Fortuna et al. 1991	Análisis contable y financiero	Le facilita a los analistas financieros la evaluación de la gestión comercial y financiera de la empresa.
<i>FSA (Financial Statement Analyzer)</i>	Mui y McCarthy, 1987	Análisis contable y financiero	Realiza la revisión analítica de los estados financieros de una empresa en la fase de toma de decisiones.
<i>VENTUREEXPERT</i>	D'Hoeraene, 1990	Análisis contable y financiero	Realiza un diagnóstico financiero de la empresa, análisis de rentabilidad, análisis de estrategias financieras y de riesgo.

Nombre del Sistema	Referencias	Área de la Gestión Financiera Empresarial	Funcionalidad
CASHVALUE	Ash, 1985; Connell, 1987	Planificación y análisis financiero	Facilita la evaluación de los proyectos de inversión, ampliación de planta, programas de reducción de costos, valoración de compañías entre otros usos.
MANAGEMENT ADVISOR	Bailey, 1985; Michael-sen y Michie (1986)	Planificación y análisis financiero	Brinda asesoría a los directores de empresas y contadores sobre la planificación del análisis de inversiones y la asignación de capital, fusiones, adquisiciones, control de costos, método del flujo de caja descontado.
APEX	System, Inc.	Planificación y análisis financiero	Brinda asesoría en la toma de decisiones sobre inversiones, gestión de patrimonios, gestión de riesgo, gestión de tesorería y de créditos.

Fuente: Elaboración propia a partir de la información tomada de Sánchez Tomás (1996).

A la descripción anterior sobre las diversas aplicaciones o sistemas expertos creados para la resolución de algunos problemas generados en el área empresarial, se han sumado recientemente otras técnicas dentro de la categoría de sistemas expertos denominada “Sistemas Basados en Casos” (*Case Based Reasoning Systems*). Estos sistemas constituyen un nuevo paradigma para resolver problemas a través de analogías con situaciones pasadas. Así, con base en este sistema se busca el caso almacenado en la base de conocimiento que más se parezca al problema que se intenta resolver, y luego se adapta la decisión que se tomó para ese caso a la situación actual que se está analizando. A pesar de su potencial, esta técnica aún no se ha implementado lo suficiente para resolver problemas en el ámbito financiero, por esta razón es mucho más abundante la bibliografía relacionada con los sistemas expertos tradicionales.

El crecimiento acelerado de la programación computacional ha ampliado el repertorio de las técnicas de Inteligencia Artificial, especialmente en la categoría de sistemas expertos. Estas técnicas recientes están orientadas a la obtención o descubrimiento de conocimiento (*Knowledge Discovery in*

Database- KDD siglas en inglés), las cuales consisten en la extracción no trivial de información implícita, desconocida, y potencialmente útil a partir de grandes volúmenes de datos. Estas técnicas tienen como objetivo hallar patrones o relaciones en los resultados obtenidos, interpretar esos resultados y facilitar la toma de decisiones de los decisores, al convertir la información disponible en una ventaja competitiva.

Para extraer la información de grandes volúmenes de datos (almacenados en repositorios tales como bases de datos, *data warehouse*, etc.) se hace necesario emplear técnicas como la Minería de Datos o *Data Mining* mediante las cuales se intenta obtener patrones o modelos dentro de los datos recopilados. La utilidad de estos modelos depende de la valoración subjetiva de los usuarios. Las técnicas de búsqueda de conocimiento se puede efectuar a través de la inferencia de reglas de decisión a partir de los datos obtenidos en la base de datos (para ello se han diseñado algoritmos de inducción y árboles de decisión) y mediante técnicas para anticipar patrones en los datos (diversas arquitecturas de redes neuronal pueden servir para este propósito).

En la actualidad las técnicas de Minería de datos o *Data Mining* tienen muchas aplicaciones en el campo empresarial, tales como: identificación de clientes susceptibles de responder a ofertas de productos y servicios por correo, fidelidad de clientes, selección de sitios de tiendas, afinidad de productos, análisis de clientes, aprobación de préstamos, determinación de montos de crédito; detección de fraudes y comportamientos inusuales en los servicios telefónicos, seguros, en tarjetas de crédito, electricidad, problemas de evasión fiscal; segmentación de mercado (*clustering*), determinación de niveles de audiencia de programas televisivos y organización de tiendas (Varcárcel, Asencios, 2004).

4. REDES NEURONALES

Las primeras investigaciones sobre redes neuronales datan de principios del siglo XIX, pero fue hasta la década de los cuarenta y cincuenta, en el siglo XX, cuando el estudio de las redes neuronales cobró mayor fuerza, gracias al movimiento Conexionista. Este movimiento sostenía la premisa de que el secreto para el aprendizaje y el conocimiento se halla en axiomas

o verdades incuestionables y que el conocimiento es independiente de la estructura que maneje los símbolos, y la representación del conocimiento se hace desde el estrato más básico de la inteligencia: el cerebro, especialmente en las neuronas y las múltiples interconexiones entre ellas.

Este notable interés por las redes neuronales se vio disminuido en los años setenta debido al surgimiento de autores como Minsky y Papert (1969), quienes manifestaron las limitaciones en el proceso de aprendizaje de las arquitecturas de las redes neuronales utilizadas hasta ese entonces. En su libro *Perceptrons*, que además de contener un análisis matemático detallado del Perceptrón¹, consideraba que la extensión a Perceptrones multinivel (el Perceptrón original solo poseía una capa) era completamente estéril. Las limitaciones del Perceptrón eran importantes, en especial su incapacidad para resolver muchos problemas interesantes. Esta fue una de las razones por la cual la investigación en redes neuronales quedó rezagada por más de 10 años.

No obstante, en los años ochenta los nuevos avances en el campo tecnológico y en el conocimiento de la estructura del cerebro provocaron un resurgimiento del interés por las redes neuronales, permitiendo hasta

¹ Perceptrón corresponde a unos de los primeros modelos de redes neuronales artificiales desarrollados por Frank Rosenblat (1959), el cual estaba constituido por un conjunto de sensores de entrada que reciben los patrones de entrada a reconocer o clasificar y una neurona de salida que se ocupa de clasificar a los patrones de entrada en dos clases, según que la salida de la misma sea 1 (activada) o 0 (desactivada). Sin embargo, dicho modelo tenía muchas limitaciones, como por ejemplo, no era capaz de aprender la función lógica XOR (operador de comparación). De esta forma, el perceptrón de Rosenblat no era capaz de indicar si sus entradas eran iguales o distintas. Fuente: <http://www.lcc.uma.es/~munozp/Tema4MC-05.pdf>. Posteriormente, se demostró que si se generaliza la estructura del perceptrón de Rosenblat a un Perceptrón Multicapa (con una segunda capa de neuronas, procesando la salida de la primera capa), es posible realizar cualquier tipo de operación lógica. Sin embargo, era necesario resolver el problema que se presenta cuando se intenta trabajar con redes multicapa y es que se desconocen los pesos de la neurona y la capa de neurona sobre la que recae la responsabilidad de los errores de la red. Por lo anterior, no existía posibilidad de entrenar este tipo de redes neuronales. En este eslabón se quedó la investigación en temas de redes neuronales a finales de los años sesenta. No obstante, a principios de los ochenta, esta disciplina resurgió del estancamiento en que se encontraba y apareció el algoritmo de retropropagación (David Rumelhart/G. Hinton, 1986), capaz de entrenar perceptrones multicapa, y con él un sinnúmero de nuevas arquitecturas de redes neuronales y algoritmos de entrenamiento basadas en diversas metodologías propuestas.

el día de hoy la creación de un número creciente de aplicaciones en distintos campos y con diversos propósitos.

Las redes neuronales artificiales se constituyen en una técnica de procesamiento masivo y paralelo de la información que emula las características esenciales de la estructura neuronal del cerebro biológico. Las principales diferencias y similitudes entre las redes neuronales biológicas y artificiales se pueden observar en el Cuadro 2.

La estructura de constitución y funcionamiento de las neuronas biológicas es la siguiente: El cuerpo o soma, las dendritas y el axón o cilindro eje. Esta estructura se asemeja a un proceso con sus respectivas entradas y salidas. Las dendritas reciben las señales de las neuronas adyacentes y las transmiten al cuerpo en forma de un potencial eléctrico. Estas señales eléctricas son integradas por el cuerpo celular (soma). Si el potencial eléctrico es superior a un valor umbral, el soma genera un corto impulso eléctrico. Este impulso se transmite por el axón, que es una fibra nerviosa con una longitud que varía entre unos milímetros y varios metros. El axón se ramifica y dirige el impulso a varias neuronas vía sinapsis (es la unión del axón con otras neuronas) (Díaz Adenzo et al., 1996).

El modelo de redes neuronales artificiales es muy parecido al modelo biológico y consiste básicamente de una serie de unidades de proceso, también llamadas neuronas artificiales, relacionadas mediante unas conexiones ponderadas. Cada unidad recibe señales a través de una serie de vías de entrada y responde a ese estímulo enviando una señal, que puede ser binaria (0,1) o real dentro de un intervalo continuo, a todas aquellas con las que a su vez tenga una conexión de salida.

La neurona artificial puede ser formulada matemáticamente como la composición de dos funciones: La función de estado, que es una función lineal de las variables de entrada de la neurona, ponderadas mediante unos coeficientes o pesos sinápticos que se determinan durante el proceso de aprendizaje y cuyo resultado es el nivel de estímulo alcanzado por la neurona. Luego tenemos la función de transferencia que tiene como variable independiente el potencial y proporciona como salida la respuesta que experimenta la neurona frente al estímulo proporcionado por la variable de entrada (De Andrés, 2000).

Cuadro 2
 Comparación de las redes neuronales biológicas y las
 redes neuronales artificiales

Características: Diferencias y similitudes	Redes Neuronales Biológicas	Redes Neuronales Artificiales
Sinápsis	Estos puntos de interconexión tienen miles de componentes y de procesos activos de propagación de los impulsos electro-químicos.	Conexiones relativamente simples en las que se realiza una suma ponderada de las entradas y se la aplica la función de umbral escogida previamente.
Comportamiento	Funcionamiento asíncrono el cual permite la reconfiguración de la red en cualquier tiempo y patrones temporales de forma continúa.	Los parámetros se actualizan de forma periódica, en intervalos de tiempo discreto, y por lo general todos a la vez, se presentan patrones en intervalos de tiempos prefijados.
Aprendizaje	<ul style="list-style-type: none"> • Aprenden a partir de unas pocas presentaciones de patrones (pequeño período de entrenamiento). • Aprenden simultáneamente un gran número de tareas de tipos muy diversos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Convergen muy lentamente y pueden necesitar cientos o miles de presentaciones de patrones para realizar una generalización. • El aprendizaje no se centra en una única tarea en concreto, no existe una red universal para cualquier tipo de problema.
Interconexiones de unidades de proceso	Estructura compleja por niveles: córtex, circunvoluciones, cerebelo, hipocampo las cuales se representan como una malla de conexiones densa.	Arquitecturas simples
Valores transferidos de unidad a unidad	Los impulsos no se presentan a una medida precisa de los valores implicados en las reacciones electro-químicas.	Se pueden calcular en forma relativamente precisa.
Representación y procesamiento de la información	En forma distribuida	En forma distribuida
Redundancia intrínseca de la información	Tolerancia a fallos	Tolerancia a fallos

Fuente: Elaboración propia a partir de la información tomada de Isasi y Galván (2004).

A pesar de las limitaciones de las redes neuronales artificiales en cuanto a representar todas las características del cerebro humano, tales como: La habilidad para desarrollar el aprendizaje adaptativo, la auto-organización, la tolerancia a fallos, las operaciones en tiempo real y otras cualidades, estas redes se constituyen en una herramienta tecnológica potente para el procesamiento de la información cuyos resultados permiten tomar decisiones eficientes y oportunas.

4.1. Arquitecturas de las redes neuronales

Una red neuronal artificial está formada por un conjunto de neuronas interconectadas y arregladas en forma de capas, las cuales están compuestas a su vez por un número de neuronas cada una. Existen capas de entrada (por donde se ingresan los datos), capas de salida (por donde se obtienen los resultados) y las capas ocultas (por donde pasan los datos). Teniendo en cuenta lo anterior, se puede decir que la arquitectura de las redes neuronales artificiales se basa en la organización y disposición de las neuronas formando capas más o menos alejadas de la entrada y salida de la red. En este sentido, los parámetros fundamentales de la red son: el número de capas, el número de neuronas por capa, el grado de conectividad y el tipo de conexiones entre neuronas.

Hay varias arquitecturas de redes y las más comunes son las siguientes:

- *Redes neuronales por capas*: Esta estructura de red está compuesta por capas de neuronas y cada capa recibe señales de las capas previas, por lo cual este tipo de redes se denominan redes *feed-forward* o perceptrón, y el perceptrón multicapa es el más común. Este tipo de red se caracteriza porque las neuronas se agrupan en diferentes niveles (capa de entrada, capas ocultas y capas de salida). Las neuronas se encargan de recibir señales del exterior y transmitir las a las siguientes capas, la última capa actúa como salida de la red, proporcionando la respuesta de la red para cada uno de los patrones de entrada. Usualmente este tipo de red se utiliza en problemas de reconocimiento o clasificación de patrones.
- *Redes neuronales recurrentes*: En este tipo de red cada neurona se conecta a todas las neuronas de la red, incluso consigo misma, lo que significa

que se tienen bucles en la arquitectura de la red. Esta clase de red se caracteriza por su dinámica debido a que evoluciona de un estado a otro. La red es estable cuando su estado permanece igual tras varias iteraciones; las llamadas redes de Hopfield² ilustran esta clasificación, las cuales se utilizan por lo general en tareas relacionadas con la auto-asociación.

- *Redes neuronales conectadas lateralmente*: En este tipo de red, las neuronas se disponen en los nodos de un retículo de aproximadamente 1 o 2 dimensiones. La red de esta clase más común es la Kohonen³.
- *Otro criterio suele considerar dos tipos de reglas de aprendizaje*: las de aprendizaje supervisado y las correspondientes a un aprendizaje no supervisado. Estas reglas originan una de las clasificaciones que se realizan de las redes neuronales con aprendizaje supervisado y redes neuronales con aprendizaje no supervisado. La diferencia fundamental entre ambos tipos estriba en la existencia o no de un agente externo (supervisor) que controle el aprendizaje de la red.
- *Redes con aprendizaje supervisado*. El proceso de aprendizaje se realiza mediante un entrenamiento controlado por un agente externo (supervisor o maestro) que determina la respuesta que debería generar la red a partir de una entrada determinada. El supervisor comprueba la salida de la red y en el caso de que ésta no coincida con la deseada, se procederá

² Una de las mayores contribuciones al área de las redes neuronales fue realizada en los años ochenta por John Hopfield, quien estableció un modelo de red neuronal artificial cuyas características son las siguientes: La operación de la red es totalmente diferente al sistema de perceptrón. En el modelo de Hopfield, la primera salida es tomada como entrada en el ciclo siguiente, produciendo una nueva salida. Adicionalmente, el aprendizaje es también diferente; en este sistema no se trata de ajustar pesos, ya que éstos se mantienen constantes desde el principio; se trata de encontrar dichos pesos, en función del problema, el conjunto total del sistema puede venir representado por una función denominada Función de Energía.

³ Teuvo Kohonen desarrolló en 1989 un tipo de red neuronal con base en la capacidad que tiene el cerebro para formar mapas característicos de la información recibida del exterior. Esta red contiene una capa de neuronas y una capa de entradas que se ramifica para todos los nodos. El objetivo de Kohonen era demostrar con este tipo de red que un estímulo externo era suficiente para forzar la formación de mapas de autoorganización.

a modificar los pesos de las conexiones, con el fin de conseguir que la salida se aproxime a la deseada.

- *Redes con aprendizaje no supervisado*. Estas redes no requieren influencia externa para ajustar los pesos de las conexiones entre neuronas. La red no recibe ninguna información por parte del entorno que le indique si la salida generada es o no correcta, así que existen varias posibilidades en cuanto a la interpretación de la salida de estas redes.
- Adicionalmente, existen *redes neuronales híbridas* que involucran aprendizaje supervisado y no supervisado. Los pesos se ajustan mediante aprendizaje supervisado y el resto se obtiene por medio de un aprendizaje no supervisado.
- *Mapas Auto-organizados* de Kohonen, también denominados SOM (*Self-Organizing Map*): Corresponde a una variación de las redes neuronales *feed-forward*, las cuales usan algoritmos de entrenamiento no supervisados o competitivo. Estas redes se basan en el principio de formación de mapas topológicos para establecer características comunes entre la información de entrada y las características de salida. Como se mencionó, los mapas auto-organizados son modelos de redes con conexiones hacia delante (*feedforward*), y conexiones laterales de inhibición implícitas, para que cada una de las neuronas de salida tenga influencia sobre sus vecinas. Esto permite el entrenamiento de este tipo de redes, en donde solo una de las neuronas de salida se activará dado un vector \mathbf{p} de atributos en la capa de entrada. Esta topología de neuronas tiene diversas aplicaciones en el campo de las finanzas, economía y marketing, tales como: Análisis de estados financieros, predicción financiera, predicción del fracaso, análisis de oportunidades de inversión, análisis de riesgo de crédito, análisis de riesgo país; en economía se aplican en la predicción de indicadores macroeconómicos; en marketing se usan para el análisis de la conducta, preferencias y perfiles de los clientes, etc.

4.2. Áreas de aplicación de las redes neuronales en la gestión financiera empresarial

En el campo de la gestión financiera empresarial, las redes neuronales intentan resolver en forma eficiente problemas que pueden encuadrarse

dentro de tres amplios grupos que son: optimización, reconocimiento y generalización (Serrano & Gallizo, 1996).

En los problemas de optimización se busca una solución óptima ante un problema determinado previamente. Dentro de estos problemas de optimización se pueden mencionar la búsqueda de niveles de tesorería óptimos en las empresas, al igual que los niveles óptimos de inventarios, producción, carteras, entre otros. En síntesis las redes neuronales empleadas para resolver este tipo de problemas tratan de optimizar una función objetivo.

En los problemas de reconocimiento por lo general se entrena una red neuronal con *inputs* (entradas), como sonidos, números, letras y se procede a la fase de prueba presentando esos mismos patrones con ruido (imprecisiones). Dentro de este tipo de resolución de problemas de reconocimiento en el campo de la gestión empresarial se encuentran el reconocimiento óptico de caracteres, escritos en los documentos de las empresas, el cual se ha aplicado en diversas entidades bancarias y financieras.

En los problemas de generalización se busca resolver, principalmente, problemas de clasificación y de predicción.

Los problemas de clasificación tratan de asignar a cada caso específico su clase correspondiente partiendo de un conjunto de ejemplos, es decir, que para este tipo de problemas se utilizan aquellas redes neuronales que ante un conjunto de patrones de entrada responderán con una clasificación de la situación que presente esos patrones en función de un conjunto finito de categorías (Suárez, 2000). En esta categoría se ubican los estudios de predicción sobre el fracaso empresarial partiendo de un conjunto de variables denominadas ratios financieros y utilizando modelos matemáticos que detecten los rasgos que caracterizan a las empresas que tienen éxitos de aquellas empresas que fracasan.

Dentro de los problemas de predicción generalmente abordados están la predicción de variables económicas, tales como las tasas de interés, tipos de cambio, índices bursátiles de distintos países, la predicción del comportamiento de las cotizaciones de las acciones a partir de la evolución

histórica de precios y volúmenes de negociación (análisis técnico), predicción de la evolución económico-financiera de las empresas teniendo en cuenta los factores económicos más importantes del entorno económico que afecta a estas empresas (análisis fundamental). Adicionalmente, se pueden mencionar estudios de predicción con redes neuronales sobre la volatilidad en el mercado de derivados, predicción del número de franquicias que una empresa debe explotar, etc.

En el Cuadro 3 se puede visualizar un breve resumen de los estudios y aplicaciones desarrolladas para resolver algunos de los tipos de problemas mencionados anteriormente utilizando distintos modelos de redes neuronales.

Cuadro 3

Redes neuronales artificiales en el dominio de la gestión financiera empresarial

Entidad	Tipo de Problema	Aplicación	Características
Instituto de Ingeniería del Conocimiento de la Universidad Autónoma de Madrid e IBM España, 1996.	Reconocimiento	Detección de fraudes en tarjetas de crédito	Sistema <i>on line</i> de recepción de información sobre transacciones, estimación de parámetros característicos de las mismas y evaluación de su potencial de riesgo.
Chase Manhattan Bank	Generalización-Clasificación	Una red neuronal del Chase Manhattan Bank para la concesión de préstamos	Es un sistema mixto que incorpora herramientas estadísticas y un perceptrón multicapa.
Instituto de Ingeniería del Conocimiento de la Universidad Autónoma de Madrid y KEON S.A.	Reconocimiento	Reconocimiento óptico de caracteres en letras de cambio, recibos y documentos.	Red neuronal para reconocimiento de óptico de caracteres en los campos de importes, fechas de libramiento y vencimiento, tanto de letras de cambio como recibos que forman la cartera del banco Bilbao Vizcaya.

Entidad	Tipo de Problema	Aplicación	Características
Altman et al.(1994)	Generalización-Clasificación	Aplicación para la Centrale dei Bilanci italiana	Aplica análisis discriminante, lógit y perceptrón multicapa. Los resultados de este modelo de red neuronal frente a las estadísticas son equilibrados e invitan a la realización de nuevos estudios empíricos.
Yoon et al. (1993)	Generalización-Clasificación	Estudios de evaluación del comportamiento de las acciones de las empresas en el mercado de valores.	Se trata de discriminar a las empresas en dos grupos, según las acciones hayan tenido o no un buen comportamiento en los mercados financieros. El estudio obtuvo resultados de un 76%.
Dutta et al. (1994)	Generalización-Clasificación	Red neuronal para calificar la emisión de bonos u obligaciones.	Aplican perceptrón multicapa y regresión lineal, comparando los resultados con los obtenidos por la agencia Standard & Poors. Su estudio muestra las limitaciones de los modelos lineales para abordar el problema de la clasificación de obligaciones.
Wong et al. (1992)	Generalización-Predicción-Análisis Fundamental	Red neuronal que combina diferentes herramientas de Inteligencia Artificial para obtener una cartera óptima de acciones.	Se utiliza un modelo de red neuronal fuzzy que emplea la información del mercado de valores (ratios financieros) para predecir las rentabilidades de las acciones obteniendo resultados satisfactorios.
Refenes et al. (1993)	Generalización-Predicción-Análisis Fundamental	Modelo de construcción de carteras eficientes y colocación de activos en siete mercados financieros.	Esta neuronal utiliza información de los mercados financieros, tipo de interés, precio del petróleo, del oro y una serie de parámetros a fin de predecir construcción de carteras eficientes. Los resultados son satisfactorios.

Entidad	Tipo de Problema	Aplicación	Características
Odom y Sharda, (1992)	Generalización-Clasificación	Estudio sobre predicción de quiebras analizando 5 ratios de veintinueve empresas estadounidenses.	Se utilizó red neuronal perceptrón simple, multicapa y red atenuada para estudiar el problema de la predicción del fracaso empresarial utilizando información de veintinueve empresas americanas correspondientes al período 1975-1982.

Fuente: Elaboración propia a partir de la información tomada de Serrano, y Gallizo. (1996).

5. ALGORITMOS GENÉTICOS

Los algoritmos genéticos (*Genetic Algorithms-GA*) son el resultado de los recientes avances de la computación evolutiva y la genética y se constituyen en una de las principales herramientas tecnológicas de la Inteligencia Artificial. Estos algoritmos simulan la mecánica de la selección natural y de la genética y utilizan la información histórica para encontrar nuevos puntos de búsqueda de una solución óptima, lo cual permite obtener soluciones a un problema que por su complejidad no tiene ningún método de solución de forma precisa. Dicha solución exige cálculos complejos que de manera normal tomarían demasiado tiempo.

Los principios de la naturaleza en los cuales están inspirados los algoritmos genéticos son muy simples. De acuerdo con la teoría de C. Darwin, el principio de selección privilegia los individuos más aptos con mayor longevidad y, por lo tanto, con mayor probabilidad de reproducción. Los individuos con más descendientes tienen más oportunidades de transmitir sus códigos genéticos en las próximas generaciones. Tales códigos genéticos constituyen la identidad de cada individuo y están representados en los cromosomas (Cavalcanti, 2000).

Estos principios son imitados en la construcción de algoritmos computacionales que buscan la mejor solución para un determinado problema, a través de la evolución de poblaciones de soluciones codificadas a través de cromosomas artificiales.

- *El problema de optimización*: Son aquellos problemas con diversos parámetros o características que precisan ser combinadas en busca de la mejor solución; problemas con muchas restricciones o condiciones que no pueden ser representadas matemáticamente y problemas con grandes espacios de búsqueda.
- *Representación de la solución del problema*: La representación de las posibles soluciones dentro del espacio de búsqueda de un problema define la estructura del cromosoma que va a ser manipulado por el algoritmo. Normalmente, la representación binaria es la más empleada por ser más simple, fácil de manipular a través de los operadores genéticos, fácil de ser transformada en entero o real y, además, por facilitar la demostración de los teoremas.
- *Decodificación del cromosoma*: La decodificación del cromosoma consiste básicamente en la construcción de la solución real del problema. El proceso de decodificación construye la solución para que ésta sea evaluada por el problema. La ventaja de la representación binaria es la gran facilidad para ser transformada en entero o en real.
- *Evaluación*: La evaluación es la unión entre el algoritmo genético y el mundo externo. La evaluación se realiza a través de una función que representa de forma adecuada el problema y tiene como objetivo suministrar una medida de aptitud de cada individuo en la población actual. La función de evaluación es para un algoritmo genético lo que el medio ambiente es para los seres humanos. Las funciones de evaluación son específicas de cada problema.
- *Selección*: El proceso de selección en los algoritmos genéticos selecciona individuos para la reproducción. La selección está basada en la aptitud de los individuos: Individuos más aptos tienen mayor probabilidad de ser escogidos para la reproducción.
- *Operadores genéticos*: Los individuos seleccionados (y reproducidos en la siguiente población) son recombinados sexualmente a través del operador de *crossover*. El operador de *crossover* es considerado la característica fundamental de los algoritmos genéticos. Los pares de progenitores son

escogidos aleatoriamente y nuevos individuos son criados a partir del intercambio del material genético. Los descendientes serán diferentes de sus padres, pero con características genéticas de ambos progenitores

- *Inicialización de la población*: Proceso de creación de los individuos para el primer ciclo del algoritmo. Normalmente, la población inicial se forma a partir de individuos creados aleatoriamente. Las poblaciones iniciales creadas aleatoriamente pueden ser sembradas con cromosomas buenos para conseguir una evolución más rápida, si se conocen *a priori*, el valor de estas “semillas” buenas.
- *Parámetros y criterios de parada*: Son los parámetros que controlan el proceso de evolución entre los cuales se pueden mencionar: el tamaño de la población, tasa de *crossover*, tasa de mutaciones, número de generaciones, total de individuos.

Las principales aplicaciones de los algoritmos genéticos en el campo de la gestión financiera empresarial son: La predicción de la bancarrota de una empresa; evaluación y predicción de la capacidad financiera de una empresa para absorber un préstamo y con el fin de decidir el otorgamiento del mismo, la inferencia de reglas que indiquen las mejores decisiones sobre la asignación de recursos con base en información histórica de varios años.

Generalmente, los algoritmos genéticos se emplean con bastante éxito en la investigación de operaciones para resolver problemas de optimización numérica y combinatoria.

En conclusión, se puede afirmar que, en la búsqueda de soluciones óptimas, es importante combinar las ventajas de las redes neuronales con los algoritmos genéticos en una aproximación híbrida, esto con el fin de diseñar estructuras de redes neuronales óptimas. El objetivo es reducir la complejidad computacional y el tiempo requerido para diseñar una red neuronal.

6. LÓGICA DIFUSA

La lógica difusa se funda en el concepto de que todo es cuestión de grado, lo

cual permite manejar información vaga o de difícil especificación, importante para la resolución de un problema. Lo anterior se logra por medio de una serie de reglas de “sentido común” aprendidas con sistemas adaptativos que se nutren de la observación de las personas o de la formulación por parte del experto humano.

El aspecto central de las técnicas de lógica difusa es que, a diferencia de la lógica clásica, la lógica difusa tiene la capacidad de reproducir de manera aceptable y eficiente los modos usuales del razonamiento humano. Lo anterior se logra al considerar que la certeza de una proposición es una cuestión de grado, por esta razón surge de la base del razonamiento aproximado y no del razonamiento preciso como lo hace la lógica clásica. De esta forma las características más importantes de la lógica difusa son: La flexibilidad, la tolerancia con la imprecisión, la capacidad para moldear problemas no-lineales y su fundamento en el lenguaje de sentido común.

La lógica difusa es una de las disciplinas matemáticas que cuenta con mayor número de seguidores en la actualidad y un número creciente de aplicaciones entre las cuales se pueden mencionar: La construcción de artefactos electrónicos de uso doméstico y de entretenimiento, el diseño de dispositivos artificiales de deducción automática, el diseño de sistemas de diagnóstico y de control de complejos procesos industriales, etc. De esta manera, la lógica difusa se constituye en una herramienta con un gran potencial para el desarrollo de nuevos métodos o técnicas de la Inteligencia Artificial.

La tendencia en la actualidad es el diseño de sistemas borrosos o “*fuzzy systems*”, los cuales explotan ampliamente los conceptos de lógica, conjunto y control borroso o difuso cuando las técnicas tradicionales no trabajan bien para explotar el conocimiento borroso, lo cual da inicio a la ingeniería de software *fuzzy*, bases de datos *fuzzy*, recuperación de la información *fuzzy*, modelos de reconocimiento de señales visuales o de audio *fuzzy*, etc. Todas estas aplicaciones son adecuadas para aquellos casos en que existe un razonamiento aproximado o incierto.

En el campo de las empresas, la teoría sobre la borrosidad se ha extendido en general a las áreas de decisión, en las cuales se manejan estimaciones

subjetivas basadas en la información disponible y en su propia experiencia, tales como: Modelos de decisión utilizados con criterios de optimización, modelo de producción, inventario, seguro de vida, localización de plantas industriales, selección de carteras, estrategia de entrada a mercados extranjeros, valoración de intangibles en empresas de Internet, etc. Asimismo, la utilización de las técnicas de lógica difusa es aconsejable para resolver procesos muy complejos, es decir, cuando se carece de un modelo matemático simple o para procesos altamente no lineales, o si el procesamiento del conocimiento experto (lingüísticamente formulado) puede ser desempeñado.

En conclusión, vale la pena señalar que la tendencia futura de las investigaciones sobre predicción financiera, mediante las técnicas de la Inteligencia Artificial, está orientada a la creación de sistemas híbridos que integren las habilidades de las redes neuronales y las posibilidades de la lógica difusa, algoritmos genéticos y lógica de conjunto. La creación e implementación de estos sistemas mixtos permite resolver problemas complejos y de difícil solución mediante las técnicas convencionales.

7. TEORÍA DE LOS CONJUNTOS APROXIMADOS- *ROUGH SETS*

Es una técnica de cuantificación y mapeo que sirve para tratar la incertidumbre inherente a un proceso de decisión. Esta técnica de la Inteligencia Artificial es de reciente aparición y fue desarrollada por Zdzislaw Pawla. El término *rough sets* significa conjuntos aproximados debido a que, en esencia, esta teoría está basada en la equivalencia de relaciones y particiones de conjuntos finitos. Lo anterior la hace adecuada para el razonamiento y descubrimiento de relaciones en la información, dado un conjunto de elementos y atributos de valor asociados a estos elementos, algunos de los cuales pueden ser imprecisos e incompletos (Munakata, 1998).

De acuerdo con Segovia, M. et al. (2003), la filosofía de la teoría o metodología de *Rough sets* se basa en la suposición de que con cada objeto del universo que se considera en el estudio se le puede asociar alguna información (datos, conocimiento, etc). Los objetos caracterizados por la misma información no son discernibles teniendo en cuenta dicha información

disponible. La relación de no-diferenciación generó de este modo la base matemática para esta teoría o metodología. La “no-diferenciación” de los objetos en términos de datos disponibles se origina porque la información acerca de los mismos es imprecisa y evita, en consecuencia, su asignación precisa a un conjunto. “*Rough*” podría traducirse por “vago, impreciso”; de aquí en adelante se utiliza el término *Rough sets*. Por tanto, y de manera intuitiva, un *rough set* es un conjunto de objetos que, en general, no pueden ser caracterizados de manera precisa en términos de la información disponible. Si esta información consiste en un conjunto de objetos descrito por otro conjunto, en este caso, de atributos, se dice que un *rough set* es un conjunto de objetos que, en general, no pueden ser caracterizados de manera precisa en términos de valores de un conjunto de atributos.

La teoría de *Rough sets* asume la representación de los objetos y de sus atributos en forma de una tabla de información, que es un caso especial de un sistema de información. En las filas de la tabla se indican los objetos (acciones, alternativas, candidatos, empresas, etc.), mientras que las columnas se corresponden con los atributos. Las entradas en la tabla son los valores del atributo. Es decir, la entrada en columna q y en fila x tiene el valor $f(x, q)$. Por tanto, para cada par (objeto, atributo) se conoce un valor denominado descriptor. Cada fila de la tabla contiene descriptores que representan información correspondiente a un objeto del universo.

La teoría de *rough sets* ofrece, fundamentalmente, cierta ventaja en comparación con las redes neuronales, *fuzzy logic* y algoritmos genéticos debido a que no se requiere conocimiento previo o dominio de un experto para generar las reglas que la rigen, sino que se pueden usar algoritmos conocidos. Adicionalmente, las reglas que se generan al aplicar esta técnica se traducen en lógica proposicional, las cuales pueden ser evaluadas por un experto.

Otras ventajas que se obtienen con la aplicación de este método son:

- Utilización de información original por lo cual no se necesita de información externa.
- El conjunto de reglas de decisión derivadas de la aplicación de este método, da una idea generalizada del conocimiento contenido en la

base de dato de la cual se extrae la información. Lo anterior elimina la redundancia típica de la información original.

- Puede analizar información cuantitativa y cualitativa.
- Las reglas de decisión se basan en hechos pues están soportadas por un conjunto real de ejemplos y los resultados son más fáciles de obtener.

Como todas las técnicas de la Inteligencia Artificial tienen sus ventajas y desventajas para darle mayor granularidad, consistencia y precisión, los investigadores en este campo están combinando la técnica de *rough sets* con las redes neuronales y *fuzzy logic*.

La teoría o metodología de *rough sets* se compara con las técnicas de Aprendizaje de máquina de la Inteligencia Artificial (tales como la Minería de datos o *Data Mining* y Generación de conocimiento-KDD) y los análisis estadísticos, particularmente los análisis discriminantes.

Dentro de las aplicaciones en el campo empresarial para esta técnica se puede mencionar la predicción en el mercado accionario para el uso de los inversionistas en sus decisiones de compra y venta, predicción del fracaso financiero, *database marketing* (búsqueda de patrones en el consumo de los clientes). Estas tres aplicaciones requieren de la predicción exacta de futuros estados basados en la identificación de patrones en el universo de los datos históricos. Los datos históricos se encuentran en un formato de tabla multi-atributos, por lo cual la técnica de *rough sets* se adecua para resolver problemas de clasificación multi-atributos.

8. CONCLUSIONES

En este artículo se presenta una revisión de las principales técnicas de la Inteligencia Artificial y sus aplicaciones a la gestión financiera empresarial. Estas herramientas tecnológicas constituyen un soporte muy importante para la toma de decisiones eficaces y oportunas en la gestión empresarial.

De las técnicas de Inteligencia Artificial los sistemas expertos se constituyen en la técnica o herramienta más tradicionalmente aplicada a la gestión financiera empresarial debido a que permite la implementación de

sistemas transaccionales, flexibles e innovadores para las empresas. La gran mayoría de los sistemas expertos están basados en reglas de clasificación que son obtenidas partiendo de la experiencia y del conocimiento de especialistas expertos en la solución de un problema particular. Sin embargo, recientemente se ha venido desarrollando otras técnicas adscritas a los Sistemas expertos, tales como: Los Sistemas Basados en Casos (*Case Based Reasoning*) y las técnicas automáticas de generación de conocimiento (*Knowledge Discovery in Database-KDD*). Los Sistemas basados en Casos permiten resolver un problema a través del empleo de otros problemas resueltos en el pasado mediante la utilización de reglas de secuenciación adecuadas al caso en estudio. Por otra parte, las técnicas de generación o descubrimiento de conocimiento permiten obtener información potencialmente útil a partir de la extracción no trivial de los datos almacenados en grandes repositorios o bases de datos.

En la búsqueda de nuevas técnicas de Inteligencia Artificial se han implementado estructuras auto-organizativas que simulen o imiten el funcionamiento de la vida biológica, tal es el caso de las redes neuronales artificiales las cuales intentan representar el conocimiento desde el estrato más básico de la inteligencia (el estrato físico) que es el cerebro humano. Estas estructuras autoorganizativas se constituyen en sistemas robustos para el tratamiento de la información, cuya potencialidad aún es objeto de investigación. Las características fundamentales de las redes neuronales artificiales son entre otras: La capacidad de autoaprendizaje a partir del procesamiento de patrones, flexibilidad ante cambios en nuevos ambientes, y la tolerancia a fallos.

Por otra parte, las redes neuronales se están combinando con otras técnicas de reciente aparición tales como: La lógica difusa, los algoritmos genéticos y la técnica *rough sets*, las cuales proporcionan en conjunto herramientas potentes para la resolución de problemas complejos para los cuales el sistema algorítmico tradicional no es eficiente.

La evolución y constante desarrollo y aplicación de estas técnicas de la Inteligencia Artificial invitan a continuar realizando estudios empíricos que permitan determinar en qué tipo de problemas y bajo qué condiciones estas herramientas pueden ser una solución más eficiente que los modelos utilizados habitualmente.

Los avances tanto en *hardware* y en *software* utilizando las distintas técnicas de la Inteligencia Artificial ya sea individual o en conjunto han traído oportunidades imprevistas para la investigación de nuevas aplicaciones y metodologías en el área de la gestión financiera empresarial. El uso de estas herramientas facilita la toma de decisiones oportunas en una economía altamente competitiva y globalizada cuyos objetivos básicos para la supervivencia de las empresas se centran en la sostenibilidad en el tiempo y creación de valor.

En conclusión, la aplicación de las herramientas anteriormente mencionadas al campo empresarial permite contar con metodologías que sirven de soporte a los complejos procesos de análisis. Dichos procesos se requieren en el descubrimiento de las tendencias del negocio a fin de tomar decisiones eficientes y oportunas, y poder afrontar los retos que impone el mundo globalizado, en donde el conocimiento y su correcta aplicación aparecen como un factor esencial para el desarrollo de las organizaciones y de la economía en general.

Referencias

- Arias, J., Fabián M. (2005): “Pronóstico del tipo de cambio colombiano: Una aproximación desde las redes neuronales”. Tesis de grado del programa de Ingeniería de Sistemas y Computación, Universidad de los Andes, Bogotá (Colombia), p4-31.
<http://www.uniandes.edu.co>.
- Bracamonte R.C. & Villamizar, J.G. (2002): “Diseño e Implementación de un sistema inteligente utilizando redes neuronales”. Tesis de grado del programa de Ingeniería Electrónica, Universidad del Norte, Barranquilla (Colombia), p 6-18.
- Boucier, D. y Casanova, P. (2003): *Inteligencia Artificial y Derecho*, Madrid: Editorial UOC, p 54-72.
- Cavalcanti, M. A. (2000): *Algoritmos Genéticos: Principios e Aplicacoes*. ICA: Núcleo de Pesquisa em Inteligência Computacional Aplicada. Departamento de Engenharia Elétrica. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (Brasil), p 2-7.
<http://www.ica.ele.puc-rio.br/cursos/download/CE-Apostila-Comp-Evol.pdf>
- Chen, Zhengxin (2007). *Computational Intelligence for Decision Support*. Capítulo 10: “From Machine Learning Data Mining”.

- http://www.engnetbase.com/books/482/1799_PDF_c10.pdf
- Del Castillo, E., Gutiérrez, J. & Hadi, A. (1997): *Expert systems and probabilistic network models*. Springer, p 1-22,
- <http://books.google.com/books>.
- Díaz Adenzo, et al. (1996): *Optimización Heurística y Redes Neuronales*. Madrid (España), Paraninfo, p 1-50.
- Fayyad, U., Piatetsky-Shapiro G., & Smyth P. (1997): "From Data Mining to knowledge discovery in Database. *AI Magazine*, p 37-54.
- <http://www.aaai.org/AITopics/assets/PDF/AIMag17-03-2-article.pdf>.
- Flores, M. (n.d): *La Inteligencia Artificial en la gestión empresarial*. <http://www.monografias.com/trabajos28/inteligencia-artificial-gestion-empresarial/inteligencia-artificial-gestion-empresarial.shtml>
- Giatarrano, J. & Riley, G. (2001): *Principios y Programación*, México: Internacional Thomson Editores, p 1-50.
- Graubard, S.R. (1993): *El nuevo debate sobre la Inteligencia Artificial-Sistemas simbólicos y redes neuronales*, Barcelona: Gedisa, p 29-96.
- Guy, B., Pierre, L & Pomerol, J.C. (1990): *Los sistemas expertos en la empresa*, México: Macrobit Corporation, p 9-189.
- Hai, J. & Kamber, M. (2000): *Data Mining: Concepts and techniques*. Morgan Kaufmann, p3-5.
- http://books.google.com.co/books?id=6hKR_ixby08C&pg=RA1-PA226&lpg=RA1-PA226&dq=data+mining&sig=173sDuIwmar0bENqbvJ3I0Wpx5o#PPP1,M1.
- Harmon, P. & King, D. (1985): *Artificial Intelligence In business Expert System*, New York: A Wiley Press Book, p 1-21.
- Hilera J. & Martínez, V. (1995): *Redes neuronales artificiales. Fundamentos, modelos y aplicaciones*, Madrid: RA-MA/Addison Wesley Iberoamericana.
- Holsapple, C., Yan Tam, K., & Whinston, A. (1988): Adapting Expert System Technology to Financial Management. *Financial Management*, 17 (2) Autumn, p12-22.
- <http://www.jstor.org>.
- Isasi, P. & Galván Inés. (2004). *Redes de Neuronas Artificiales Un enfoque práctico*. Madrid: Pearson Prentice Hall, p 1-41.
- Konar, Amit (n.d): "*Artificial Intelligence and Soft Computing: Behavioral and Cognitive Modeling of the Human Brain*". Capítulo 1: "Introduction to Artificial Intelligence and Soft Computing".
- http://www.engnetbase.com/books/499/1385_PDF_C01.pdf.
- Konar, Amit (2005): "*Computational Intelligence: Principles, Techniques and Applications*". Springer, p1-4.
- <http://books.google.com/books>

- Lozano, M.C., Fuentes, F. (2003): "Interdisciplinaridad y Multidisciplinaridad en aplicaciones a las finanzas". *Revista de Economía y Empresa*, No.49, Vol.XX, (2a. Época). Tercer Cuatrimestre, España, p 4,8-19.
- Lozano, M.C.; Fuentes, F. (2003): "*Tratamiento borroso del intangible en la valoración de empresas en internet*".
<http://www.eumed.net/coursecon/libreria/clg-ffm/index.htm>.
- Martín Del Paso, Mónica. (2005): "*Aplicaciones de las redes neuronales artificiales a problemas de predicción y clasificación financiera*". Departamento de Economía financiera y Contabilidad, Universidad Rey Juan Carlos, p: 24-56.
<http://www.ebrary.com>.
- Munakata, Toshinori (1998): "*Fundamentals of the New Artificial Intelligence: beyond Traditional Paradigms*", Springer, p1-5.
<http://books.google.com/books>
- Nilsson, Nils. (2005): "*Inteligencia Artificial: Una Nueva Síntesis*", Madrid (España), Editorial McGraw Hill, 1ª, p 1-9 y 33-34.
- Ozturk, Nursel. (2003) "Use of genetic algorithm to design optimal network structure" *Engineering Computations, Bradford, Tomo 20, no.7/8*, pg. 979, 19 pgs.
<http://proquest.umi.com/pqdweb?did=508022051&sid=1&Fmt=4&clientId=28054&RQT=309&VName=PQD>
- Polkowski, L.& Skowron, A., (1998): "*Rough Sets in Knowledge Discovery 2: Applications, Case Studies and Software Systems*", Springer, p1-7.
<http://books.google.com/books?vid=ISBN3790811203&id=UMjUTtCX6g8C&pg=PA566&lpg=PA566&ots=d8JnIr4oKm&dq=sets+rough++in+finance&sig=iqklk0k9r4ySpfMGUzipMbeUwz0#PPA7,M1>
- Rojas, Raúl. (1996): "*Neural Networks-A systematic Introduction*", New York (Estados Unidos), Springer, p 3, 51.
- Rusell, S. & Norvig, P. (2004): "*Inteligencia Artificial Un enfoque Moderno*", Madrid (España), Editorial Pearson Prentice May, p 2- 3.
- Sánchez Tomás, A. (1996): "*Aplicación de los sistemas expertos en contabilidad*". Departamento de Contabilidad, Universidad de Valencia. <http://ciberconta.unizar.es/Biblioteca/0002/Sanchez95.html>.
- Segovia M., Gil, J., Heras, A. & Vilar, J.: "*Metodología Rough Set frente al Análisis Discriminante en la Predicción de Insolvencias en Empresas Aseguradoras*". Departamento de Economía Financiera y Contabilidad I, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad de Complutense de Madrid, p157-158. <http://www.actuarios.org/esp/anales/2003/Segovia%20Vargas2003.pdf>.
- Shen, L., & Tong, H.L. (2003): "Applying rough sets to market timing decisions". *Decision Support Systems*, p1-15. <http://www.dti.nus.edu.sg/research/doc/Applying%20rough%20sets%20to%20market%20timing%20decisions.pdf>.

- Serrano, C. & Gallizo, J.L.(1996): " *Las redes neuronales artificiales en el tratamiento de la información financiera*". Departamento de Contabilidad y Finanzas, Universidad de Zaragoza.
<http://ciberconta.unizar.es/Biblioteca/0004/SerGall96.html>.
- Suárez. J. (2000): " *Técnicas de Inteligencia Artificial aplicadas al análisis de la solvencia empresarial*", Universidad de Oviedo.
http://www.uniovi.es/econo/DocumentosTrabajo/2000/206_00.pdf.
- Sutcliffe, Geoff (2006): "Report on the Nineteenth International FLAIRS Conference". *Al Magazine*, V.27, no.4 (Winter 2006), p111-112.
<http://vnweb.hwwilsonweb.com>.
- Tolmos, R. Piedad.(n.d): " *Introducción a los algoritmos genéticos y sus aplicaciones*".
<http://www.uv.es/asepuma/jornadas/madrid/J24C.pdf>.
- Tremba, Joseph.(1997):" *An application of rough sets to economic and stock market data*". Tesis de grado para optar al título de Master of Science, San José State University (California –Estados Unidos), p1-10.
<http://proquest.umi.com/pqdweb?did=738234841&sid=4&Fmt=2&clientId=28054&RQT=309&VName=PQD>.
- Tsang, E. & Martínez-Jaramillo, S. (2004):" *Computacional Finance*". Centre for Computacional Finance and Economic Agent (CCFEA), University of Essex, United Kindong, p8-13.
<http://www.econ.iastate.edu/tesfatsi/CompFinance.Tsang.pdf>.
- Universidad Nacional Autónoma de México." *Redes Neuronales para la minería de Datos y Textos: aplicación análisis exploratorio y descubrimiento de conocimiento en grandes bases de datos de información biomédica*".
<http://www.dynamics.unam.edu/DinamicaNoLineal/Proyectos/MineriaDatos/ProyectoMexicoCuba2003.pdf>.
- Valcárcel, V. (2004):" *Data Mining y el Descubrimiento del Conocimiento*". *Industrial Data*. Vol.7 no.2, Lima (Perú), p 83-86.
http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-99932004000200013&lng=es&nrm=iso.