

# UNA REVISIÓN SOBRE REDES NEURONALES ARTIFICIALES EN FINANZAS

**Jorge Rospide**

*Universidad Nacional de Tucumán*

*SUMARIO: 1. Introducción; 2. Antecedentes históricos; 3. ¿Qué son las redes neuronales artificiales (RNA)?; 4. Neuronas biológicas y redes; 5. Neurona artificial – Funcionamiento; 6. Redes Neuronales Artificiales (RNA); 7. Clasificación de las redes neuronales; 8. Aplicación de redes neuronales en finanzas; 9. Pasos para la construcción de una red neuronal artificial en Finanzas; 10. Conclusiones.*

Para comentarios: [jrospide@yahoo.com](mailto:jrospide@yahoo.com)

## **1. Introducción**

En las últimas décadas se ha incrementado notablemente la información y complejizado del procesamiento y análisis en particular por la globalización de las comunicaciones y la interacción de variables. Este fenómeno en el ámbito empresarial ha dado lugar a un nuevo paradigma para analizar, comprender y utilizar la información en el proceso de decisión.

Históricamente el análisis de la información financiera se concentró básicamente en la experiencia-intuición del decisor, esa dupla se caracteriza por su carácter personal basado en el conocimiento del negocio o de las situaciones con un carácter único e intransferible. Posteriormente con el advenimiento del método científico, la resolución de problemas financieros se basó en los modelos estadísticos tradicionales enfocándose principalmente en los factores cuantitativos. En ese sentido la evidencia empírica obtuvo importantes resultados e intensificó notablemente el conocimiento e interpretaciones de las variables exógenas y endógenas asociadas a problemas de asignación de financiamiento, predicción de precios entre otros muchos temas. Actualmente la evidencia empírica y la relación obtenida de las variables trascendentes en la situación financiera siguen siendo un aporte notable a la disciplina financiera y una contribución para el proceso de decisión.

Sin embargo los cambios mencionados y el aumento del flujo de información provocan que muchos problemas financieros y empresarios presenten dificultades para abordarse debido a la complejidad de la resolución y a la consideración de aspectos cualitativos o datos imprecisos. Por ejemplo, el precio de los activos financieros es el resultado de una infinidad de variables interrelacionadas muy difíciles de estudiar con precisión que incluso se encuentran afectadas por variables exógenas internacionales (la apertura de los mercados extranjeros). Otros ejemplos como la selección y clasificación de objetos por rasgos comunes, entre ellos la asignación de crédito bancario resultan de difícil resolución o explicación con los modelos clásicos y por lo tanto muchos gerentes y analistas resuelven con percepción.

La debilidad para la obtención de respuestas a ciertos problemas financieros y los avances de la computación para facilitar la resolución de problemas matemáticos complejos facilitan el abordaje y respuesta. Entre las herramientas surgieron un conjunto de alternativas en las ramas conocidas como inteligencia artificial donde se destacan las redes neuronales artificiales, el algoritmo genético, la lógica difusa y muchas variantes modernas que intentan emular características humanas. Dentro de esa categoría las redes neuronales artificiales son un nuevo sistema para el tratamiento de la información, inspirada en la neuronas biológicas que representa una herramienta de análisis para abordar situaciones financieras que incluye un sin número de aplicaciones en otros campos del conocimiento como la robótica o aplicaciones concretas como la visión artificial, la automatización de procesos productivos entre muchos otros temas.

El trabajo tiene por objeto revisar las herramientas de redes neuronales artificiales como parte del estudio de nuevas herramientas de gestión aplicada a la administración de empresas y en particular a las finanzas. El trabajo se conforma en primer lugar con la descripción de la evolución de las redes neuronales artificiales, el funcionamiento de las mismas y su comparación con las neuronas biológicas. En segundo lugar se profundiza sobre los diferentes tipos de redes y su clasificación para continuar con la revisión de los trabajos y la evidencia empírica existente sobre la aplicación de la herramienta en temas y problemas financieros. Finalmente como aporte se sugiere y sintetiza un conjunto de pasos para la construcción y aplicación de redes neuronales artificiales.

## **2. Antecedentes históricos**

Los primeros esfuerzos para estudiar los fundamentos básicos de las neuronas artificiales fue alrededor de 1943 en el trabajo de McCulloch y Walter Pitts quienes exponen a través de circuitos eléctricos la forma de trabajar de una neurona. Posteriormente hacia la mitad del siglo pasado Donald Hebb (1949) explica el proceso de aprendizaje que resulta el eje central de los modelos de redes neuronales artificiales. En ese sentido estableció las semejanzas con la actividad nerviosa y sus contribuciones forman la base de la teoría sobre redes neuronales.

Otra hallazgo importante en la génesis de la teoría de redes neuronales artificiales fueron las contribuciones de Frank Rosenblatt quien expone y describe la arquitectura de red Perceptron que permite reconocer patrones similares con ciertas limitaciones pero era capaz de generalizar a partir de datos no vistos en base al entrenamiento pasado e incluso sin un entrenamiento previo.

Alrededor de los años 70, los investigadores redujeron el interés por el estudio de las redes debido al avance de trabajos que demostraban matemáticamente la esterilidad del análisis con RNA. Pero a pesar de ello, en 1974 se desarrolló la idea del sistema de aprendizaje de propagación hacia atrás (método de propagación del error) y continuaron algunos investigadores entre ellos Hopfield (1985) con la aplicación a problemas de optimización y muchos otros con contribuciones al estudio y ampliación de la teoría de RNAs.

Posteriormente en los años 80 con los avances en la tecnología resurgió el interés por el estudio de las redes neuronales artificiales. Actualmente junto al desarrollo de soluciones inteligentes se avanzó fuertemente en el estudio, desarrollo y utilización. La evidencia actual sigue presentando resultados alentadores que incentiva su profundización.

## **3. ¿Qué son las redes neuronales artificiales (RNA)?**

Son algoritmos matemáticos que emulan la estructura de funcionamiento del cerebro humano. Las redes neuronales artificiales junto con la lógica difusa, el algoritmo genético y los sistemas expertos conforman ramas de la inteligencia artificial cuyo objetivo consiste en construir sistemas que sean capaces de reproducir ciertas características humanas.

Una de sus mayores fortalezas se basa en la capacidad de aprendizaje, es decir, a través de ejemplos ilustrativos durante el proceso de aprendizaje pueden resolver situaciones financieras

no vistas. El aprendizaje como se ilustrará mas adelante, se realiza mediante el ajuste de los pesos de las variables. Eso implica en la práctica que el estudio financiero no requiere la elaboración de modelos a priori, ni requiere especificar funciones de distribución aunque ello no significa desconocer el sustento teórico sobre las variables y sus interrelaciones. Esta característica presenta ventajas para aproximar cualquier función (lineal o no lineal) que mejor se adapta a los datos y consecuentemente obtener resultados más precisos para funciones subyacentes complejas. (Hill, Marques, O Connor (1994) y Hornik, Stinchcombe y White (1989).

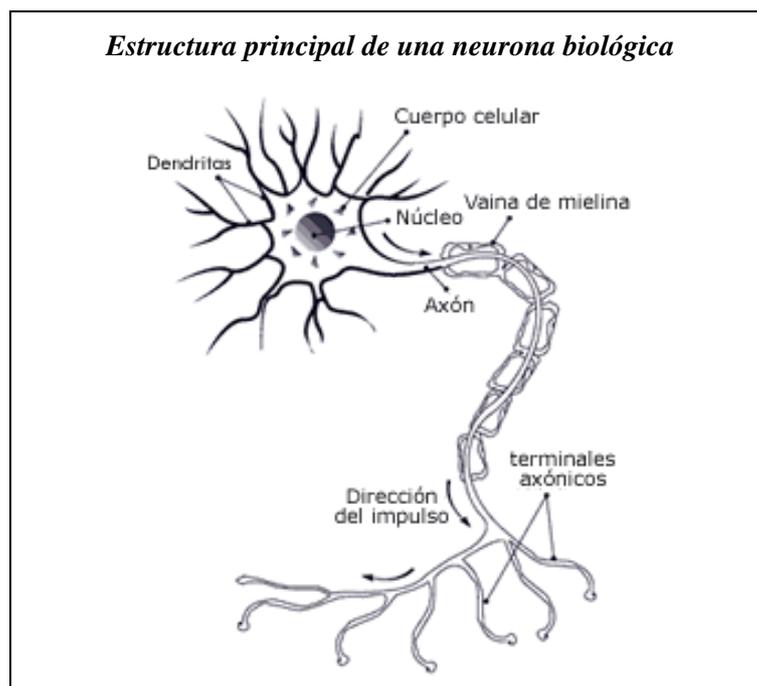
Otra de sus características distintivas es su tolerancia a fallos debido a la estructura interna de las redes que distribuyen la información en porciones de memoria y por consiguiente si una conexión se daña solo se pierde una pequeña parte de la información y ello no implica una ruptura de su procesamiento. Por esa razón, el procesamiento de información incompleta no limita a las redes neuronales artificiales.

Otra gran ventaja que la diferencia es la posibilidad de auto-organizar la información, esta "habilidad" se asemeja al funcionamiento del cerebro humano mediante el cual agrupa información en espacios del cerebro. La autoorganización resulta muy importante cuando la información de entrada es imprecisa o incompleta.

Ahora bien, las ventajas de la aplicación de redes neuronales artificiales en determinados problemas respecto de los métodos tradicionales estadísticos todavía es un tema que persiste en el debate y la investigación. Algunos trabajos empíricos encuentran evidencia que soporta ventajas en la obtención de resultados y en otros casos obtienen resultados semejantes. En particular este debate se profundiza debido a que las redes neuronales no se basan en los parámetros tradicionales de la estadística tradicional, no existen un procedimiento de topología de red estandarizada para ciertos problemas, entre otros cuestiones que persisten como temas de investigación y profundización.

#### 4. Neuronas biológicas y redes

Para comprender el funcionamiento de una neurona artificial conviene entender en primer lugar como funciona la estructura de las neuronas biológicas y la interconexión de las mismas en el cerebro humano.



Las neuronas humanas reciben impulsos (información) del exterior que son recepcionados por múltiples dendritas en los extremos de las neuronas. En el cuerpo neuronal, la soma procesa ese impulso y si los estímulos son grandes se libera neurotransmisores y envía energía por el axón que las conecta con otras neuronas. Como consecuencia una neurona podrá estar activa (excitada) o inactiva (no excitada).

En ese sentido el cerebro no actúa como un único procesador sino por millones de microprocesadores en paralelo que resuelven problemas complejos en forma lenta como por ejemplo la visión. El ojo humano recibe una multitud de información y estímulos de luz que son procesados en el cerebro humano y representan la imagen. Incluso el volumen de información particionada se incrementa cuando la imagen esta en movimiento.

En ese sentido, los matemáticos siguen la lógica biológica tratando de establecer una relación respecto del funcionamiento de las mismas y transformando ese funcionamiento en un algoritmo matemático.

## 5. Neurona artificial - Funcionamiento

La neurona artificial se asemeja a la neurona biológica porque recibe información de diversas fuentes, las cuales en este caso se representan por la letra X y el subíndice correspondiente, por lo tanto existen desde la fuente X1 a la Xn. A su vez toda la información está ponderada (peso sináptico). Es decir, hay información de mayor importancia a otra que se puede representar con la letra Z y como existe un número finito de fuentes de información se tendrá tanto pesos sinápticos como fuentes de información es decir en este caso desde la Z1 a la Zn.

La información al ingresar en el cuerpo neuronal artificial se aplica una regla de propagación que en la mayoría de los casos es una suma ponderada de los valores de las fuentes de información por sus pesos sinápticos, matemáticamente puede representarse por una matriz. Ahora bien, si el valor resultante de la regla de propagación supera un valor predeterminado denominado umbral, el cuerpo neuronal genera una función de transferencia cuyo resultado luego será enviado como resultado.

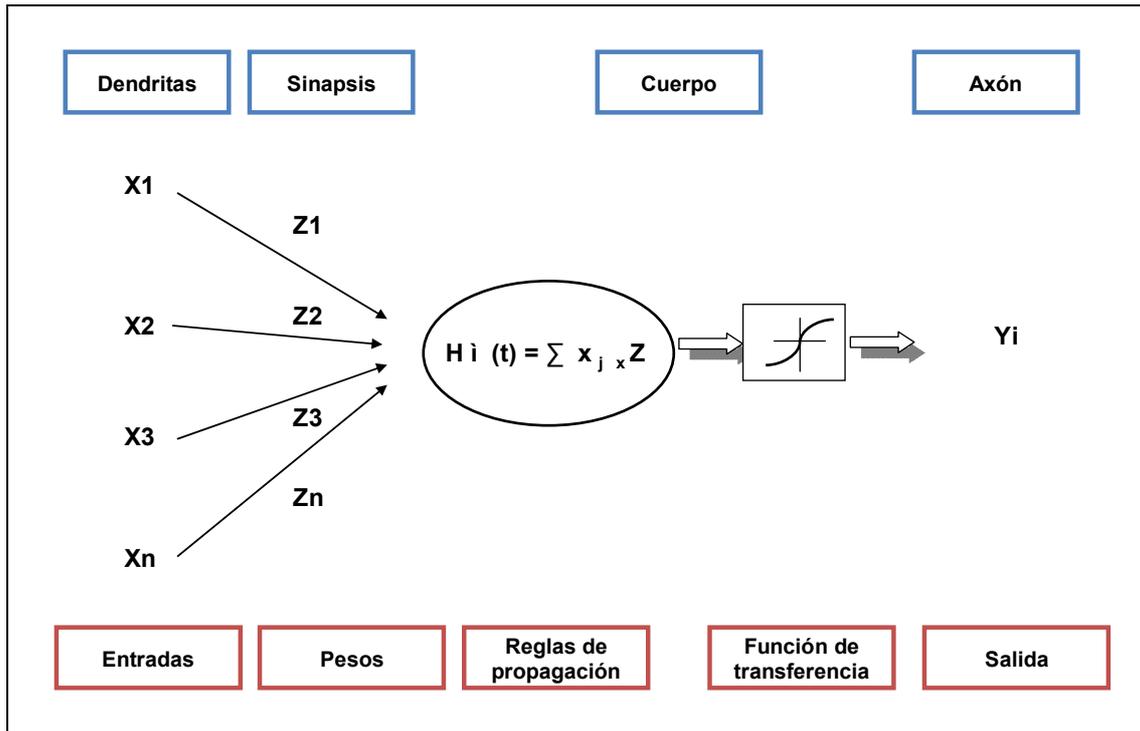
Existen diferentes funciones de transferencia, entre ellas, la función lineal o identidad, logarítmica, tangente o gaussiana. Según la predeterminación las funciones generan un resultado denominado salida.

En el gráfico siguiente se muestra el proceso de funcionamiento de la neurona artificial en comparación al funcionamiento biológico.

## 6. Redes Neuronales Artificiales (RNA)

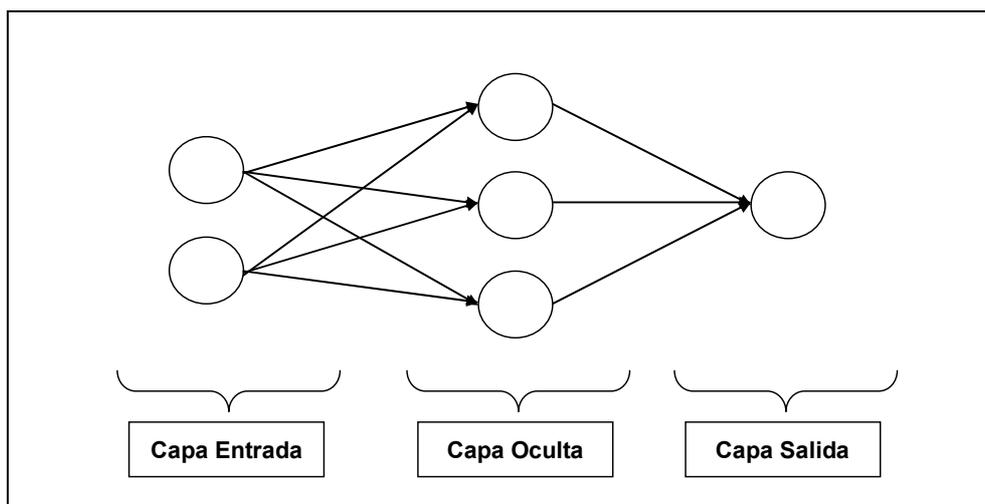
Al igual que el proceso biológico, las neuronas artificiales no puede por sí misma realizar un proceso lógico, para ello necesita “asociarse” o agruparse en redes que se forman por un conjunto de neuronas individuales interconectadas y agrupadas en capas. Las redes generalmente poseen tres capas una denominada una capa de entrada, una capa oculta y una capa de salida. A su vez cada capa podrá constituirse por un número variable de neuronas artificiales. Ambas definiciones de número de capas y formación de las mismas así como también las múltiples interconexiones serán definidas para la realización y aplicación de las redes neuronales artificiales.

En la capa de entrada los valores ingresan en forma global y se multiplican por sus pesos y son transformados por una función de entrada definida previamente por el usuario de la RNA y generalmente es una suma ponderada de los datos por sus pesos específicos. Sin embargo una neurona puede estar inactiva o activa (excitada o no excitada) cuando el valor de las entrada supera un umbral está neurona acciona una función de activación. Esta función constituye la



forma en la cual los datos serán procesados y serán asignados a cada capa por el usuario. El estado del valor de activación puede ser binario o puede ser un valor entre dos rangos. Las funciones de activación más comunes como se anticipara son la lineal, sigmoidea, tangente hiperbólica y gaussiana. Por ejemplo, la función gaussiana o conocida como normal será usada cuando la información sobre la media es la más relevante.

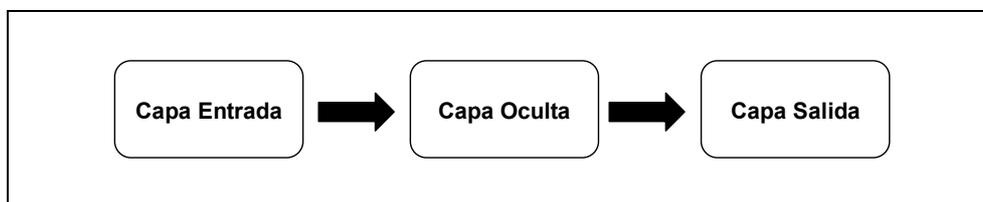
Finalmente el valor de salida es el resultado que se transmite a las neuronas interconectadas. Es común obtener una función identidad donde los valores de salida son iguales a los de entrada o un resultado binario.



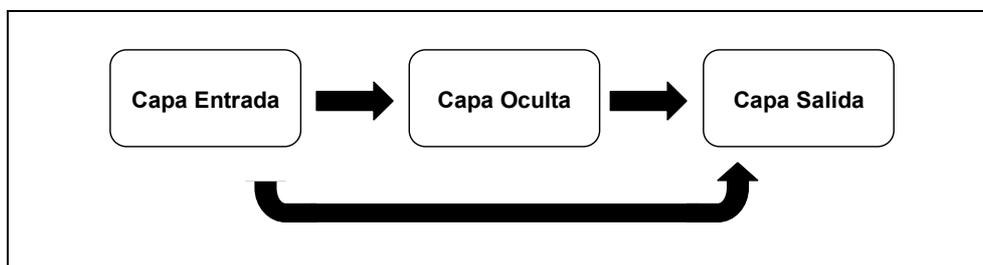
## 7. Clasificación de las redes neuronales

Debido a la multiplicidad de redes neuronales artificiales existen diferentes criterios para su clasificación. Habitualmente se agrupan según dos criterios, su arquitectura interna o el proceso de aprendizaje. También existen otros criterios como por ejemplo si las redes emiten valores binarios o continuos y también otras variantes intermedias o combinadas.

**Arquitectura.** Las RNA están conformadas por una arquitectura interna que define la forma como fluye la información a través de la red, es decir, define cómo las neuronas están distribuidas, el número de capas y las interconexiones existentes. La estructura interna de construcción de la red permite distinguir tres grupos en base a la característica de la conexiones entre capas, en primer lugar, las RNAs unidireccional o denominada feedforward en algunos casos conocidas por redes estándares donde la neuronas que conforman la capa de entrada se conectan en un sentido con la capa oculta y esta sucesivamente con la capa de salida.



También se pueden enunciar las redes “jump” que interconectan la capa de entrada con las capa oculta e igualmente con la capa de salida.



En otro extremo se puede enunciar a las redes con conexión recurrente donde las capas de salida se conectan con las capas de entrada retroalimentando con su propia información.



Así mismo existe una combinación de conexiones entre las diferentes capas que incluyen conexiones paralelas y recurrentes o combinaciones de diferentes conexiones alternadas con mayor o menor precisión. Sin embargo la literatura aun no es contundente con respecto a una metodología para selección la red que mejor se adapta a problemas financieros en forma específica.

**Entrenamiento.** Otro criterio habitual para identificar y agrupar redes neuronales artificiales es a través de los procesos de entrenamiento y aprendizaje que definen cómo se relacionan distintas variables a partir de patrones observados en el pasado.

Al principio, las redes no poseen ningún conocimiento útil almacenado y para conseguir la asociación no lineal entre un conjunto de datos es necesario entrenar a la neurona artificial. Este mecanismo es posible mediante la incorporación de los datos de entrada y el resultado buscado. En este proceso básicamente la neurona comenzará a reacomodar los pesos sinápticos en primer lugar en forma aleatoria y posteriormente acomodándolos para obtener el resultado esperado, el aumento o reducción de los pesos implica en la práctica un aumento o disminución de la intensidad de la interacción entre las neuronas. Ese mecanismo se denomina aprendizaje y por lo tanto una vez entrenada se realiza un test de bondad para confirmar el ajuste a los datos y el resultado esperado. Solo deberá tenerse cuidado con el posible sobre-aprendizaje en la etapa de entrenamiento que termine desvirtuando el resultado.

Existen dos métodos de aprendizaje los cuales pueden ser supervisados o no supervisados a su vez estas pueden estar off line u online. Es primer lugar las redes supervisadas requieren de un supervisor externo que controla la salida. Este tipo de aprendizaje consiste en proporcionar a la RNA una serie de ejemplos con determinados patrones de entrada, junto con la salida que debería obtener la red. El proceso de entrenamiento consiste en el ajuste de los pesos para que la salida de la red sea lo más parecida posible a la salida deseada. Es por ello que en cada iteración se use alguna función que nos de cuenta del error o el grado de acierto que esta cometiendo la red mientras en el segundo caso la red encuentra las regularidades, correlaciones y categorías.

En las redes no supervisadas, en este tipo de aprendizaje se presenta a la red una serie de ejemplos pero no se presenta la respuesta deseada. Lo que hace la RNA es reconocer regularidades en el conjunto de entradas, es decir, estimar una función densidad de probabilidad  $p(x)$  que describe la distribución de patrones  $x$  en el espacio de entrada.

## 8. Aplicación de redes neuronales en finanzas

Las RNA pueden aplicarse a un sin número de problemas asociados a diferentes ciencias y disciplinas, entre ellas, se ha difundido ampliamente en modelos de automatización y control, evaluación de probabilidad de formaciones geológicas y petrolíferas, el reconocimiento de firmas o imágenes, la predicción meteorológica, el reconocimiento de ondas de radares, entre otras aplicaciones.

En la literatura financiera en los últimos años se han publicado importantes trabajos sobre la utilización de redes neuronales. En particular los trabajos aplicados se orientan a fracasos financieros y la predicción de precios en mercados financieros. La realización de trabajos de predicción posiblemente sea el tema de estudio más amplio en la bibliografía.

En particular en las finanzas de empresas y en los mercados de capitales en términos generales las redes neuronales se enfocan a tres resolver problemas básicos relacionados con la optimización por ejemplo en la administración de carteras de inversión, en problemas de reconocimiento y problemas de generalización destinados a clasificación de grupos y predicción. (Serrano & Gallizo, 1996)

**Predicción.** Probablemente la predicción sea el área de estudios en la cual existe mayor evidencia de la utilización de RNA. En ese sentido el primer trabajo fue desarrollado por White en 1988 donde utiliza un modelo perceptrón multicapa utilizando series de precios y volúmenes de la empresa IBM donde obtiene resultados comparados con un modelo lineal autorregresivo. En el trabajo obtiene evidencia que sustenta mejores resultados a partir del uso de las RNA como herramienta de análisis técnico. También se pueden enunciarse otros trabajos que profundizan las investigación sobre capacidad predictiva (Hawley, Johnson, & Raina, 1990) o (Refenes, 1995).

En la literatura también se encuentra evidencia en mercados más volátiles como por ejemplo el mercado Asiático (Hawley, Johnson, & Raina, 1990) (Parisi, Parisi, & Diaz, 2006) y algunos trabajos también analizan mercados en Latinoamérica (Parisi, Parisi, & Guerrero) donde evalu-

an la capacidad de redes neuronales para predecir el signo de las variaciones semanales del IP-SA obteniendo evidencia que una estrategia activa basada en predicción neuronal permite mayores ganancias que estrategias pasivas “buy and hold”. En ese sentido comparando diferentes arquitecturas de redes obtienen evidencia de la superioridad de la red Ward recursiva para el mercado chileno. En igual sentido se puede citar (Zhang, Jiang, & Li, 2004) quienes obtienen evidencia sobre el uso de las redes neuronales back propagation para pronosticar señales de compra y venta en base a predicción de tendencias futuras en el mercado de valores.

Los estudios de predicción también se han enfocado al pronóstico de variables macroeconómicas, entre ellas, tipo de cambio, inflación, PBI e índices industriales. En ese sentido se obtienen evidencias sobre la utilización de RNA para el pronóstico de inflación en Colombia (Misas Aragon, Lopez Enciso, & Querubin Borrero, 2002) y en Jamaica (Serju, 2000). Recientemente (Solera Ramirez, 2005) aplica una RNA para pronosticar la inflación en Costa Rica basado en un modelo que incluye agregados monetarios. La evidencia comparada con otros modelos de análisis de series de tiempo es consistente y en algunos casos los resultados de las redes son superiores a métodos tradicionales de predicción.

**Clasificación.** En este sentido existe también un grupo importante de trabajos orientados a identificar las capacidades y aplicación de las RNA en problemas de clasificación y encontrar a partir de un conjunto de ejemplos la clase a la cual pertenecen esos datos. Los problemas de clasificación se utilizan principalmente a través de mapas autoorganizados. La mayoría de los trabajos en este objetivo se enfocan a identificar empresas con probabilidad de fracaso o riesgo de deuda.

En esta categoría las líneas de investigación sobre el otorgamiento de créditos para la aceptación o rechazo de un solicitud o identificación del tipo de clientes fueron iniciadas por Marose, (1990) quien desarrolla un sistema híbrido con RNA para la categorización de los clientes del Chase Manhattan Bank en base a un conjunto de variables de desempeño. (Altman, Marco, & Varetto, 1994) donde aplican tres técnicas estadísticas diferentes para la clasificación de créditos en la Centrale di Bilanci Italiana y obtienen resultados equilibrados sobre redes neuronales respecto de otras técnicas pero la evidencia no es absoluta.

La probabilidad de quiebra ha sido estudiada también en diferentes trabajos con la utilización de RNA por ejemplo en (Odom & Sharda, 1992) donde estudian la posibilidad de quiebra de empresas americanas utilizando cinco ratios económicos financieros de las empresas de alrededor de 29 empresas en un periodo de 8 años o en la evidencia presentada por Baesens, Setiono, Mues, & Vanthienen (2003) quienes elaboran una metodología basada en redes neuronales para la evaluación de riesgo de crédito, clasificación e identificación de avisos de insolvencia. La evidencia sobre clasificación de empresas también ha sido estudiada en mercados españoles (Martin del Brio & Serrano, 1995) quienes obtienen las empresas semejantes a través del análisis de información sobre las características financieras.

**Optimización.** Otro conjunto de investigaciones apuntan a encontrar ante diferentes alternativas de inversión una cartera que optimice el riesgo y el rendimiento. Entre ellos, Wong, Wang, Goh y Quek (1992) profundizan sobre la utilización de redes neuronales para la elección de carteras óptimas mediante una red neuronal fuzzy para predecir mediante ratios financieros la rentabilidad de las acciones. Refemes. Azema-Barac y Treleaven (1993) obtienen igualmente carteras eficientes considerando información técnica y fundamental, en este caso el análisis también se considera la posibilidad de invertir en diferentes mercados con restricción en montos. En los resultados comparativos las carteras formadas mediante la aplicación de RAN obtiene beneficios satisfactorios.

## 9. Pasos para la construcción de una red neuronal artificial en Finanzas

En general la construcción de una RNA requiere algunos pasos básicos, muchos de los cuales están definidos y estandarizados en programas de computación como ejemplo Neuroshell, o pueden programarse con las herramientas de MATLAB. A continuación se sugieren algunas consideraciones para las etapas requeridas para el estudio de problemas financieros.

**Definición de los datos financieros.** El primer paso consiste en la elección del conjunto de datos, su obtención y codificación. Durante esta etapa deberá definirse las variables financieras relevantes y el conjunto de datos que servirá para el aprendizaje, el conjunto de datos para evitar el sobre-aprendizaje y finalmente el conjunto de datos para obtener el resultado.

En el caso particular de los estudios de predicción se utilizarán datos de mercado, información del mercado e información fundamental de la empresa. Podrán incorporarse información sobre precios y volúmenes pero también adicionar otras variables por ejemplo la apertura del mercado americano.

**Definición de la topología de la red.** Esta etapa consiste en diseñar la arquitectura de la red mas adecuada para el proceso de aprendizaje eso implica definir el número de capas, la cantidad de neuronas y el mecanismo de conexión entre las diferentes capa. En particular para problemas financieros se utiliza ampliamente las redes de propagación hacia atrás. La conexión entre las diferentes capas determinará el comportamiento de la red. Existen múltiples formas entre las mas populares se encuentra la clásica estándar compuesta por 3 capas conectadas sucesivamente. Para problemas financieros se utiliza ampliamente las redes con conexión recurrente donde las capas ocultas retroalimentan a la capa de entrada. También se pueden enunciar las redes "jump" que interconectan la capa de entrada con las capa oculta e igualmente con la capa de salida.

Actualmente no existe una definición clara en la literatura sobre el mejor tipo de arquitectura de red. Por esa razón, los trabajos de investigación apuntan a obtener evidencia empírica sobre la utilización y los resultados.

**Definición de la función de activación.** Las funciones clásicas son la función lineal, escalonada, sigmoidea, gaussiana, entre otras. En el relevamiento de trabajos previos se obtiene evidencia que sustenta la utilización principalmente de funciones sigmoidea y lineal. En el caso de variables binarias se utiliza ampliamente la función escalonada.

**Definición del criterio de aprendizaje.** Otro aspecto para decidir durante la construcción de una red neuronal artificial es la definición del proceso de aprendizaje. Eso implica en la práctica definir el proceso de asignación de los pesos específicos de los datos de entrada. También un ítem muy importante será definir la regla de aprendizaje indicando los pesos específicos iniciales.

Para el aprendizaje se escoge un conjunto de datos que sea representativo del tipo de problema a resolver. Para evitar el sobre-aprendizaje debe establecerse claramente los parámetros para la detección del proceso de aprendizaje a través de los indicadores de error. El error obtenido es una comparación entre las salidas de la red y las salidas deseadas. Normalmente se detiene cuando el error cuadrado sobre los ejemplos del entrenamiento es mínimo o cuando previamente se estableció un valor óptimo (umbral) y consecuentemente el error observado está debajo del óptimo.

**Definición de los resultados de salidas.** La salida será un valor resultante que se transfiere a las neuronas con las cuales están interconectadas en función a la arquitectura definida.

Las salidas más comunes es el resultante de una función identidad donde la entrada es igual a la salida o una salida binaria. Sin embargo también es posible que las neuronas puedan estar activas o no activas y consecuentemente transferirán o no un resultado a la neurona subsiguiente.

## 10. Conclusiones

La aplicación de las redes neuronales artificiales vislumbrar un importante avance para el abordaje de problemas financieros complejos. La evidencia en la literatura encuentra gran aceptación aunque persiste la identificación clara de los procedimientos adecuados para situaciones particulares. En los últimos años el avance en los sistemas informáticos también contribuye al incremento de la investigación y aplicación en el ámbito de los negocios. El panorama hacia el futuro es muy alentador porque la herramienta de inteligencia artificial tiene un gran ventaja para abordar y solucionar problemas multivariantes y no lineales y consecuentemente para ejemplificar la realidad de los negocios y las finanzas.

## REFERENCIAS

- Altman, E. I., Marco, G., & Varetto, F. (1994). Corporate Distress Diagnosis: Comparisons using Linear Discriminant Analysis and Neural networks (the Italian Experience). *Journal of Banking and Finance*, volumen 18, 505-529.
- Baesens, B., Setiono, R., Mues, C., & Vanthienen, J. (2003). Using neural network rule extraction and decision tables for credit risk evaluation. *Management Science Vol 49*, 312-329.
- García Estevez, P. (2002). Aplicaciones de la Redes Neuronales en las Finanzas. *Documento Trabajo Universidad Complutense de Madrid*.
- Hawley, D., Johnson, J., & Raina, D. (1990). Artificial Neural System: A new tool for financial decision-making. *Financial Analysts Journal Vol 23*, 63-72.
- Hill, T., Marquez, L., O Connor, M., & Remus, W. (s.f.). Artificial neural network models forecasting and decision making. *International Journal of Forecasting*.
- Hornik, K., Sinchcombe, M., & White, H. (1989). Multilayer feedforward networks are universal approximators. *Neural Networks*, Volumen 2, 359-366.
- Marose, R. A. (1990). A Financial Neural network Application. En *Neural Networks in Finance and Investing* (págs. 50-53). Trippi y Turban.
- Martin del Brío, B., & Sanz Molina, A. (1997). En *Redes Neuronales y sistemas borrosos*. Madrid: Editorial RA-MA.
- Mcnelis, P. D. (2005). *Neural Networks in Finance: Gaining Predictive Edge in teh Market*. Advanced Finances Series Elsevier Academic Press.
- Parisi, A., Parisi, F., & Diaz, D. (2006). Modelos de Algoritmos Genéticos y Redes Neuronales en la Predicción de Índices Bursátiles Asiáticos. *Cuadernos de Economía Vol 43*, 251-284.
- Refenes, A. N., Azema-Barac, M., & Treleaven, P. C. (1993). Financial modelling using neural networks.
- Refenes, A. (1995). *Neural networks in the capital markets*. New York: New York Wiley.
- Sanchez, J. (2003). Dos aplicaciones empíricas de las Redes Neuronales Artificiales a la clasificación y la predicción financiera en el Mercado español. *Revista Asturiana de Economía*, p- 61-87.
- Serrano, C., & Gallizo, J. (1996). "Las redes neuronales artificiales en el tratamiento de la información financiera". Departamento de Contabilidad y Finanzas. Universidad de Zaragoza.
- Sosa Sierra, M. C. (2006). Introducción a las técnicas de inteligencia artificial aplicadas a la gestión financiera empresarial. *Contribuciones a la Economía*.
- White, H. (1988). *Economic Prediction using Neural Networks: The case of IBM Daily Stock returns*. Neural Networks in Finance and Investing, Ed. Trippi y Turban.
- Zhang, D., Jiang, Q., & Li, X. (2004). Application of Neural Networks in Financial Data Mining. *International Journal of Computational Intelligence*, Volume1, Number 2, P. 116-119.