

## ARTÍCULO INVITADO

# Redes Neuronales Artificiales para Calificar la Capacidad de Crédito de Entidades Mexicanas de Gobierno

por **María del Pilar Gómez Gil** y **Alfonso Mendoza Velázquez**

## Introducción

La rama de la inteligencia artificial conocida como Inteligencia Computacional trata con la teoría, diseño, aplicación y desarrollo de modelos computacionales inspirados en modelos biológicos. La inteligencia computacional incluye a las redes neuronales artificiales, los algoritmos genéticos, la programación evolutiva, los sistemas difusos y combinaciones híbridas de estos paradigmas. Algunos de los sistemas basados en inteligencia computacional son capaces de aprender, esto es, pueden adecuar su comportamiento en respuesta a lo que sucede en el medio ambiente en que se encuentran inmersos, con el fin de ajustarse correctamente a la actividad para la que fueron creados. Este medio ambiente es “informado” al sistema a través de una buena cantidad de ejemplos que contienen características que el sistema debe conocer para realizar correctamente su actividad. Este conocimiento adquirido a través de la observación, puede ser utilizado para tomar decisiones certeras cuando el sistema es enfrentado a un ejemplo aparentemente diferente a los que le fueron “enseñados,” pero con características esenciales similares a las almacenadas en la base de conocimiento del sistema, esto es, el sistema adquiere la capacidad de “generalizar”. Estas habilidades de aprendizaje y generalización permiten usar a los sistemas basados en inteligencia computacional en una gran variedad de aplicaciones asociadas con actividades que requieran optimización, clasificación, pronóstico o toma de decisiones.

Dentro del área financiera, las redes neuronales artificiales (RNA) han sido muy utilizadas. Por ejemplo, se han usado para modelar el comportamiento del mercado cambiario y de mercados de capitales, para la evaluación de créditos e inversiones, para simular problemas macroeconómicos o para realizar pronósticos de bancarrota y de calidad crediticia. En una importante cantidad de estas aplicaciones se ha encontrado que las RNA tienden a obtener mejores resultados que otras técnicas estadísticas o matemáticas usadas comúnmente en estas disciplinas, tales como el Análisis Discriminante Múltiple, los modelos de variables categóricas o de variable dependiente limitada (Probit y Logit), los algoritmos genéticos o la programación lineal.

Una aplicación donde las RNA y otros modelos de inteligencia computacional han mostrado ser particular-

mente útiles es en la estimación de calificaciones crediticias. Una calificación de crédito es una opinión acerca de la solidez financiera del ente que está siendo calificado, que puede ser una emisión de deuda, la estructura financiera de una compañía o las finanzas públicas de una entidad gubernamental. Entre otras cosas, estas calificaciones permiten estimar la probabilidad de que una organización no pueda cumplir con sus compromisos financieros, lo cual es muy útil para la administración de riesgos. Las calificaciones crediticias son otorgadas por una entidad evaluadora reconocida, en base a una serie de estudios realizados sobre indicadores financieros del sujeto en cuestión; en México operan desde 2001 las calificadoras Standard & Poor's, Moodys y FitchRatings. Las calificaciones crediticias son representadas a través de una escala de valores; por ejemplo, la escala de calificaciones que otorga la organización FitchRatings va desde “AAA”, que representa la más alta calidad crediticia, hasta “E”, que implica el peor caso posible donde la calificación ha sido suspendida, habiendo otras 19 posibilidades más entre estos valores extremos. Entre los productos que se pueden calificar se encuentran las finanzas, las emisiones de certificados bursátiles, los créditos bancarios, etc. No sólo las entidades particulares buscan obtener una calificación crediticia, sino también los gobiernos y entidades públicas. Desde 2001, la calificación crediticia fue implantada como un requisito opcional para los gobiernos estatales y municipales de México que busquen buenas condiciones para sus financiamientos comerciales. Actualmente, todos los estados de la República Mexicana cuentan con al menos dos calificaciones crediticias otorgadas por agencias reconocidas internacionalmente. Dada la importancia de estas calificaciones en el sistema financiero y en las finanzas públicas estatales, puede ser de gran utilidad contar con sistemas que permitan estimar estas calificaciones de manera objetiva y con la mejor probabilidad de éxito.

## Un modelo para estimación de calificaciones crediticias

Los modelos matemáticos usados para estimar calificaciones crediticias pueden construirse a través del uso de clasificadores o de estimadores de funciones; una RNA puede utilizarse para el diseño de cualquiera de éstos. Las RNA reciben información del medio ambiente exterior,

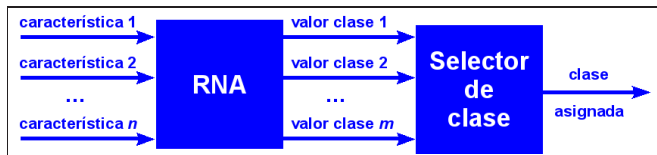


Figura 1. Una RNA usada como clasificador

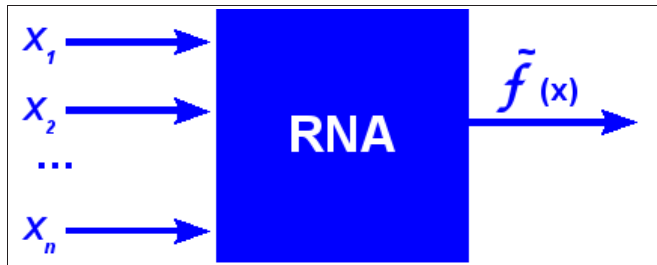


Figura 2. Una RNA usada como estimador de funciones

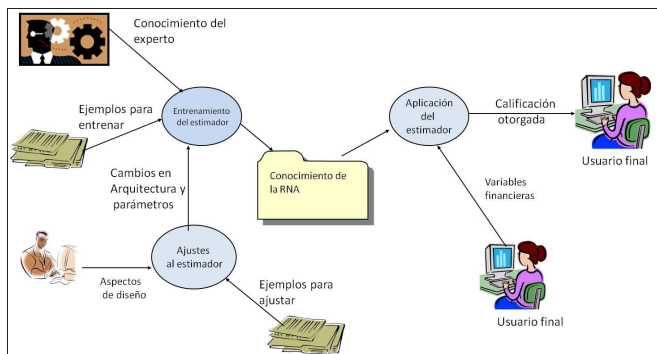


Figura 3. Un sistema basado en redes neuronales artificiales (RNA) para estimar calificaciones crediticias

la cual procesan de acuerdo a una serie de reglas de evaluación y producen salidas, que pueden representar entre otras cosas, una clase asignada o el valor estimado de una función real. La Figura 1 muestra un diagrama de cómo se usaría una RNA como clasificador. La red recibe valores (características) que representan al objeto que se desea clasificar, los evalúa y produce tantas salidas como posibles clases de objetos conozca la red. Posteriormente, a través de alguna estrategia se evalúan dichos valores y se escoge la clase que mejor representa al objeto. La figura 2 muestra un diagrama de cómo se usaría una RNA para simular a una función matemática. La red recibe como entrada los valores de las variables involucradas en la función y produce como salida un número real que estima la función. Las RNA están formadas de componentes básicos de procesamiento, llamados neuronas, que se conectan unos a otros a través de valores numéricos reales llamados pesos. Las neuronas pueden estar organizadas en diferentes grupos conectados entre sí, conocidos como niveles, o seguir alguna otra estrategia de conexión. Dependiendo de la estrategia de conexión de las neuronas y de los algoritmos utilizados para entrenar los pesos se

pueden crear diferentes modelos de RNA. Actualmente existen un sinnúmero de modelos de RNA y algoritmos para entrenarlas.

La Figura 3 muestra los componentes principales de un sistema estimador de calificaciones crediticias basado en una RNA. El sistema contiene tres componentes principales: entrenamiento, ajustes y evaluación, que se describen a continuación.

### Entrenamiento del estimador

Como todo modelo basado en inteligencia computacional con capacidad de aprendizaje, el sistema de calificación crediticia debe ser expuesto a ejemplos representativos a fin de extraer el conocimiento necesario para realizar su función de estimación. A esta etapa se le conoce como “entrenamiento” y debe realizarse antes de que el sistema pueda ser utilizado por sus usuarios finales. El entrenamiento requiere que el experto humano proporcione los datos que ha considerado pertinentes para realizar la estimación de la escala crediticia. Por ejemplo, en el trabajo desarrollado por los autores titulado “Herramientas para el Pronóstico de la Calificación Crediticia de las Finanzas Públicas Estatales en México: Redes Neuronales Artificiales, Modelo Probit Ordenado y Análisis Discriminante” el cual obtuvo el segundo lugar en la Categoría de Investigación del Premio Nacional Bolsa Mexicana de Valores 2009, se utilizaron 34 variables financieras de entrada, seleccionadas con base en un análisis minucioso de la información proporcionada por las organizaciones calificadoras y con base en resultados obtenidos de investigaciones anteriores. Estas variables incluyeron mediciones relacionadas a la dimensión estatal, generación de ingreso e inversión, gasto ordinario, apalancamiento, sostenibilidad de deuda y resultados financieros. Para el estimador de calificaciones crediticias se utiliza una red de perceptrones con un nivel escondido que recibe 34 entradas y genera una salida. Las entradas son las variables financieras y la salida es un valor numérico real que aproxima la calificación crediticia. A su vez este último valor es aproximado a un número entero en el intervalo de los valores numéricos de las calificaciones presentes en los datos de entrenamiento.

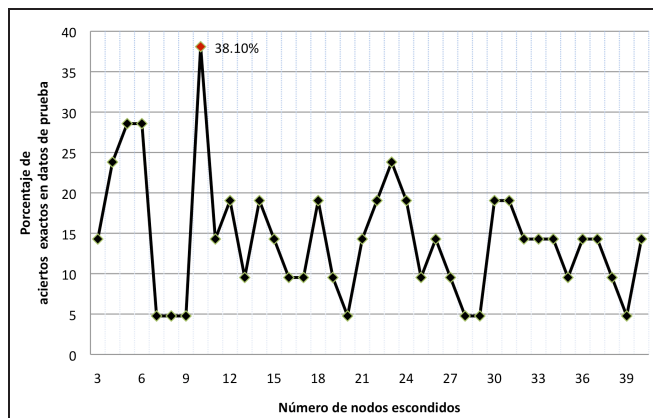
La red se entrenó utilizando un algoritmo conocido como Retropropagación, el cual se dice que es “supervisado”, pues funciona utilizando un conjunto de ejemplos que contienen las salidas esperadas de la red, además de los valores que se usarán para alimentarla. Retropropagación busca disminuir progresivamente el error de salida de la red que se genera al evaluarla con los ejemplos de entrenamiento. Este error es la suma de todas las diferencias generadas entre el valor deseado y el valor que realmente obtiene la red para cada uno los ejemplos disponibles para el entrenamiento. En base a este error, el algoritmo define un valor de incremento o decremento para cada peso de la red; este proceso se repite una gran

cantidad de veces por cada uno de los ejemplos, hasta que el error es muy pequeño o hasta que ya no es posible disminuir más dicho error. Al final del entrenamiento, el conocimiento de la red está inmerso en los valores de sus pesos, los cuales son números reales, por lo que no es posible interpretar de manera semántica su significado. Retropropagación es ampliamente utilizado en aplicaciones de entrenamiento supervisado, dada su versatilidad y disponibilidad en la mayoría de los paquetes de software comerciales para el uso de RNA.

### Ajustes al estimador

La mayoría de los modelos basados en inteligencia computacional y aprendizaje por ejemplos contienen una serie de parámetros numéricos cuyos valores deben ajustarse de manera experimental a las características del problema en que se están aplicando. En el caso de las RNA, el diseñador del sistema requiere realizar varios experimentos usando los datos disponibles a fin de determinar cuál es la arquitectura de red más adecuada. Cuando se utiliza una red de perceptrones con un nivel escondido para aproximar funciones, debe determinarse cuál es el número óptimo de neuronas que deben definirse en el nivel escondido. Desgraciadamente, a la fecha no existe un método confiable y fácil de aplicar para determinar este número, por lo que el diseñador(a) de la RNA utiliza su intuición y experiencia realizando una serie de pruebas con diferentes arquitecturas hasta encontrar alguna que le satisfaga. La Figura 4 muestra el comportamiento de diferentes redes neuronales para el caso de la estimación crediticia de los estados de la Republica Mexicana que fueron entrenadas con exactamente los mismos datos, pero con una arquitectura diferente en cuanto al número de neuronas en su nivel escondido. Puede notarse en la Figura 4 la fuerte diferencia presente en el desempeño de las RNA, debida solamente al número de neuronas en el nivel escondido. Esta diferencia se debe al hecho de que, entre más neuronas tenga la red en el nivel escondido, tiene mayor capacidad de aprendizaje, pero al mismo tiempo, tiene un mayor número de pesos que ajustar a través de su algoritmo de aprendizaje. Por otro lado, entre más pesos tenga una red, requiere más ejemplos de entrenamiento para encontrar valores adecuados de sus pesos. La capacidad de los algoritmos de entrenamiento para ajustar adecuadamente los pesos de una RNA también depende fuertemente de la calidad de datos disponibles para entrenarla, esto es, de qué tan bien representan todo el universo que se desea que la red conozca.

La información utilizada para entrenar y probar las redes neuronales sobre las finanzas públicas de las entidades federativas en México presentadas en la Figura 4 fue recolectada de la base de datos provista por la calificadora FitchRatings disponible en la sección de finanzas públicas de su página web ([www.fitchmexico.com](http://www.fitchmexico.com)). Esta



**Figura 4. Desempeño de diferentes RNA para estimación crediticia de Estados de la República Mexicana (Mendoza-Velázquez y Gómez-Gil 2010)**

base de datos se compone de 133 casos de las 22 entidades federativas calificadas en México por FitchRatings desde el año 2001 al año 2007.

### Aplicación del estimador

Una vez que se ha ajustado la arquitectura de la RNA, el sistema estimador está listo para usarse. La eficiencia de este tipo de sistemas suele medirse a través de un análisis de su comportamiento al enfrentarse a datos que no fueron utilizados para su entrenamiento y ajuste. Es costumbre probar la eficiencia de estos estimadores crediticios contando el número de veces que obtienen la misma calificación que la organización calificadora y dividiendo este número entre el número total de ejemplos analizados, a fin de obtener un porcentaje de acierto. De manera similar, se calcula el porcentaje de acierto con respecto al número de veces que el sistema obtiene una calificación que queda a una, dos y tres escalas del valor que obtuvo la empresa calificadora. La Tabla 1 contiene los porcentajes de acierto obtenidos por una RNA con 10 nodos escondidos para un conjunto de pruebas de los estados de la Republica Mexicana. Se incluyen en esa tabla los resultados obtenidos por otros dos métodos comúnmente utilizados para este tipo de aplicaciones. Puede notarse en la Tabla 1 que la RNA obtiene un mejor porcentaje de aciertos exactos que los otros métodos, así como un mejor porcentaje de aciertos a una escala de distancia del valor esperado; esto no ocurre para dos y tres escalas de distancia del valor esperado, donde la red queda en segundo lugar.

### Comentarios finales

La aplicación de RNA en el área financiera que se comenta aquí obtuvo mejores resultados que otros métodos que no utilizan inteligencia computacional para realizar sus estimaciones, al compararse con los resultados obtenidos por expertos humanos. Esto es cierto cuando se consideran estimaciones exactas de la calificación

crediticia o estimaciones a una escala de distancia; para los casos donde se aceptan estimaciones a 2 y 3 escalas de distancia, otros métodos convencionales resultan más eficientes. Esto nos demuestra que las RNA, como cualquier otra herramienta, son adecuadas para solucionar algún tipo de problemas, pero no para todos. Otro punto importante a observar es el hecho de que los porcentajes de acierto exactos obtenidos tanto por las RNA como por los otros métodos convencionales parecen muy bajos, comparados con los obtenidos por sistemas automáticos en otros problemas de estimación o clasificación. Sin embargo, estos porcentajes de eficacia son comunes en este tipo de problema, debido probablemente a la compleji-

dad inherente en las relaciones de las diferentes variables financieras y sociales involucradas en la evaluación, y a la subjetividad que está asociada con los métodos manuales que siguen los expertos de las empresas calificadoras. De cualquier manera, definitivamente aún es necesario realizar más análisis e investigación relacionados con la selección de las variables involucradas en el entrenamiento, los modelos de aprendizaje y arquitecturas de RNA utilizadas para modelar al estimador y sobre la manera de entrenar estos modelos, a fin de mejorar los resultados y conseguir sistemas automáticos confiables en las actividades económicas del país.☞

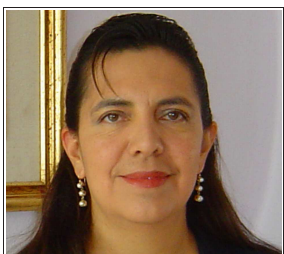
**Tabla 1. Desempeño de una RNA con 10 nodos escondidos en la asignación de calificaciones crediticias a Estados de la República Mexicana, comparada con otros métodos convencionales (Mendoza-Velázquez y Gómez-Gil 2010)**

Criterio	Red neronal	Análisis discriminante	Probit ordenando
aciertos en el conjunto de pruebas	38.10 %	28.57 %	28.57 %
aciertos a una escala de distancia	61.90 %	61.90 %	47.62 %
aciertos a dos escalas de distancia	71.43 %	76.19 %	9.5 %
aciertos a tres escalas de distancia	76.19 %	95.24 %	9.5 %

## INFORMACIÓN ADICIONAL

- Este artículo está basado en los resultados obtenidos en el trabajo “Herramientas para el Pronóstico de la Calificación Crediticia de las Finanzas Públicas Estatales en México: Redes Neuronales Artificiales, Modelo Probit Ordenado y Análisis Discriminante”, el cual obtuvo el 2<sup>o</sup> lugar en la Categoría de Investigación del Premio Nacional Bolsa Mexicana de Valores 2009. Disponible en: [www.mexder.com/MEX/Premio\\_Nacional\\_de\\_Derivados.html](http://www.mexder.com/MEX/Premio_Nacional_de_Derivados.html)
- Para saber más, consultar trabajo citado previamente a publicarse en “Herramientas de Diagnóstico y Respuesta de las Finanzas Públicas Locales en México en un Entorno de Crisis” Editor: Mendoza, A. Editorial Porrúa 2010. Winston, Patrick H. Inteligencia Artificial, tercera edición. Editorial Adison-Wesley Iberoamericana, Washington 1994. Sierra Araujo, B. Aprendizaje Automático: conceptos básicos y avanzados. Pearson Prentice Hall, Madrid 2006.

## SOBRE LOS AUTORES



**María del Pilar Gómez Gil** obtuvo su doctorado en Ciencias de la Computación en Texas Tech University, Estados Unidos. Actualmente es investigadora asociada de la Coordinación de Computación del Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, ubicado en Tonantzintla, Puebla. Es miembro nivel senior de la IEEE, de la sección de inteligencia computacional de la IEEE, de la ACM y del SMIA. Sus intereses profesionales y de investigación giran alrededor de la solución de problemas complejos a través del uso de las Redes Neuronales Artificiales, el Reconocimiento de Patrones y la Ingeniería de Software.



**Alfonso Mendoza Velázquez** obtuvo el doctorado y maestría en Economía por The University of York, UK. Realizó también estudios de maestría en Finanzas en el ITAM y cuenta con una licenciatura en Economía por la UAEM. Es Profesor Investigador en la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla y Director del Centro de Investigación e Inteligencia Económica. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores, nivel I. Ha sido consultor para el Banco Interamericano de Desarrollo, el Programa de Desarrollo de Naciones Unidas, el Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos S.N.C., y la Secretaría de Hacienda y Crédito Público. Sus líneas de investigación comprenden las finanzas públicas de gobiernos locales y su calidad crediticia, finanzas internacionales, y aplicaciones en econometría de series de tiempo.