

Aplicaciones de Redes Neuronales a Cadenas de Suministro: Revisión de Literatura 2000-2012

Neural Network's Applications to Supply Chains: Article Review 2000-2012

Daniel Silva-Barrera¹, Martha Carrillo-Ramírez²

¹ Maestría en Ingeniería Industrial, ² Dpto. de Ingeniería Industrial. Pontificia Universidad Javeriana, Colombia
daniel.silva@javeriana.edu.co, mcarill@javeriana.edu.co

Resumen

Un sistema se puede clasificar como complejo cuando presenta una o más de las siguientes características: poseer gran cantidad de elementos que interactúan entre ellos, relaciones internas complejas entre elementos individuales o subsistemas, algún grado de incertidumbre en su comportamiento general, comportamiento general no lineal, interacciones complejas con el medio ambiente u otros sistemas. Uno de los escenarios en los que se presentan estas características, son las cadenas de suministro que abarcan una serie de eventos interrelacionados, que si no se modelan de forma correcta puedan presentar problemas como el efecto látigo. Para solucionar estos inconvenientes, desde disciplinas como la ingeniería de sistemas se han desarrollado teorías y paradigmas para abordar problemas de complejidad, una de éstas alternativas son las redes neuronales artificiales que consisten en un paradigma de aprendizaje y procesamiento automático, basado en el funcionamiento del sistema nervioso animal. En este artículo se presenta una revisión de la producción científica en el periodo 2000-2012 referente a la aplicación de Redes Neuronales Artificiales (RNA) en procesos involucrados en cadenas de suministro, los artículos analizados se clasifican mediante diferentes criterios, entre ellos el tema de investigación y el tipo de red neuronal empleada.

Palabras Clave: Redes Neuronales Artificiales, Cadenas de Suministro

Abstract

A system can be classified as complex when having one or more of the following characteristics: having lots of elements that interact with each other, complex internal relationships between individual elements or subsystems, some degree of uncertainty in its general behavior, nonlinear general behavior complex interactions with the environment or other systems. One of the scenarios in which these features are present, supply chains are covering a number of interrelated events, if not modeled correctly can present problems as the bullwhip effect. To overcome these drawbacks, from disciplines such as systems engineering have developed theories and paradigms to address problems of complexity of these alternatives are artificial neural networks consisting of a learning paradigm and automatic processing, based on system operation nervous animal. This paper is a review of the scientific production in the period 2000-2012 of Artificial Neural Networks (ANN)'s applications in processes involved in supply chains, classified by various criteria, including the issue of research and the type of neural network used.

Key Words: Artificial Neural Network, Supply Chain

Introducción

Un sistema, se puede clasificar como complejo cuando presenta una o más características de complejidad. Entre estas características se encuentran (J. Huang, Feng, & Zhang, 2009)(Qingfeng, Zicai, Xudong, Shuai, & Tao, 2010):

- Poseer gran cantidad de elementos que interactúan entre ellos.
- Relaciones internas complejas entre elementos individuales o subsistemas.
- Algún grado de incertidumbre en su comportamiento general.
- Comportamiento general del sistema no lineal.

- Interacciones complejas con el medio ambiente u otros sistemas.

Partiendo de estas características, uno de los escenarios en los que se presentan son las cadenas de suministro que abarcan una serie de eventos interrelacionados y que les otorgan cualidades de sistema complejo, lo cual genera, que si no se modela de forma correcta se puedan presentar problemas como el efecto látigo (Moyaux, Chaib-draa, & Amours, 2003).

Para solucionar estos inconvenientes desde disciplinas como la ingeniería de sistemas se han desarrollado teorías y paradigmas para abordar problemas de complejidad, una de estas alternativas son las redes neuronales artificiales que consisten en un paradigma de aprendizaje y procesamiento automático, basado en el funcionamiento del sistema nervioso animal. Su forma de operar consiste en transformar las entradas en salidas mediante un conjunto de reglas predefinidas a través de una función de transferencia, que generalmente es una función matemática.

En este artículo se presenta una revisión de literatura científica de las aplicaciones de redes neuronales artificiales a cadenas de suministro. La búsqueda se restringió al período de tiempo comprendido entre el año 2000 y el 2012. Para comenzar se utilizaron 5 criterios de búsqueda (Neural Network AND Supply Chain, Neural Network AND Logistics, Neural Network AND Industrial Production, Neural Network AND Information flow, Neural Network AND Production flow) de los cuales, solo los que aparecen en la **Tabla 1** arrojaron resultados. Luego de realizar una depuración de los resultados obtenidos, cuyo objetivo consistió en eliminar los artículos resultantes de alguna de las búsquedas que no se relacionaban con cadenas de suministro (por ejemplo los relacionados con implementaciones de sistemas de información), se obtuvo un total de 219 resultados, que se distribuyen de la manera presentada en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Cantidad de resultados según criterios de búsqueda

Criterio de búsqueda	Cantidad de resultados
“Neural Network” AND “Logistics”	30
“Neural Network” AND “Production Flow”	1
“Neural Network” AND “Supply Chain”	188
Total	219

Clasificación y categorización de los artículos

Posteriormente, se leyeron los *abstracts* de los artículos encontrados y se procedió a clasificarlos y categorizarlos como se puede leer en las siguientes secciones.

Resultados por año de publicación

Con respecto a los años de publicación, en la **Figura 1** se presenta la cantidad de artículos que se publicaron en cada uno de los años del intervalo de tiempo estudiado.



Figura 1. Cantidad de resultados según año de publicación

Se puede observar que en los primeros años del periodo de tiempo analizado se tuvo una baja producción científica, luego un incremento marcado a partir del año 2007 que alcanzó su pico más alto en el 2008 y después del cual ha tenido una tendencia a la baja. Se puede pensar que a finales de la primera década del siglo XXI se incrementó la producción intelectual debido a que las redes neuronales se convirtieron en una nueva alternativa para abordar problemas relacionados con las cadenas de suministro y que ya había sido validada en otras áreas del conocimiento (Palmer & Montaña, 1999).

Resultados por autor

Con respecto a la cantidad de artículos publicados por investigador, los más prolíficos son Zhang, Z. (Jilin University); Chen, Y. (Shanghai University of Finance and Economics); Huang, L. (Jiangxi University of Finance and Economics); Choy, K. L. (Hong Kong Polytechnic University); Lau, H. C. W. (University of Western Sydney) con 5 participaciones cada uno. A continuación se encuentran Liu, Y.; Liu, D.; Mao, H.; Wang, S.; Lo, V.; Lee, W. B.; Zhang, D.; Rabelo, L.; Liu, Q.; Huang, Y.; Li, J., con 4 participaciones cada uno; con 3 autorías o coautorías están Wang, Y.; Wang, W.; Kovalchuk, Y.; Tien, F. C.; Shi, C. D.; Moraga, R.; Wu, J.; Chen, C. H.; Hong, S. R.; Kim, C. O. y Zarandi, M. H. F.

En total, 70 artículos contaron con la participación de estos 27 autores, de los cuales la mayoría son chinos, cabe aclarar que en algunos casos forman grupos de colaboración, como se puede observar por ejemplo en Chen y otros (2008), Liu y otros (2008) y Liu y otros (2008a). Se puede concluir que las investigaciones sobre las aplicaciones de redes neuronales a cadenas de suministro se han concentrado en grupos de trabajo independientes entre sí, lo cual indica que es un problema que ha sido abordado en más de una ocasión por investigadores o centros de investigación diferentes, lo que se puede entender como un indicio de la relevancia del tema a nivel mundial.

Categorías de los artículos

Para agrupar los artículos en categorías, se definieron tres grandes ramas: modelado, comparación de métodos y tutoriales. La primera de estas, engloba todos los artículos que proponen el modelado de algún comportamiento presente en una cadena de suministro mediante las redes neuronales, por ejemplo en Sun & Wu (2010) en el que se propone un modelo para realizar predicciones de demanda; en comparación de métodos, se agrupan los artículos cuyo tema central es la comparación de diferentes tipos de redes neuronales o de algún tipo de red neuronal con otros métodos en la solución de un problema específico, por ejemplo Kandananond (2012) en el que se presenta una comparación de diferentes técnicas para predecir demandas; por último en tutoriales se clasificaron los artículos cuyo objetivo es enseñar alguna aplicación de

redes neuronales, por ejemplo April y otros (2004). En la Tabla 2 se aprecia la cantidad de artículos por cada una de las categorías definidas.

Tabla 2. Cantidad de resultados según categoría

Categoría	Cantidad de resultados
Modelado	204
Comparación de métodos	14
Tutoriales	1
Total	219

Es evidente la marcada tendencia hacia la categoría de Modelado, que representa el **93%** de la producción científica analizada, esto deja ver que los autores se han concentrado en explorar alternativas para aplicar la teoría de redes neuronales a diferentes problemas que se generan en los procesos asociados a las cadenas de suministro como por ejemplo predicciones de demanda (Xu, Wang, Tang, & Shi, 2006) (Miao & Xi, 2008) o reducción de costos asociados a un proceso (Wu & Hsu, 2008).

Para la categoría Modelado los años en los que más se publicaron artículos fueron 2009 y 2012, para la categoría Comparación de métodos los más productivos fueron el 2008 y el 2009, mientras que para la categoría Tutoriales el año en el que se publicó el artículo fue el 2004.

La aparición de artículos de la categoría “Comparación de métodos” en los últimos años, podría responder a que en los primeros años del período analizado se produjeron resultados en cuanto a modelado, que posteriormente pudieron ser comparados.

Por ejemplo para el caso de comparación de métodos en predicciones de demanda incluyendo redes neuronales, se encuentran artículos del año 2012 (Kandananond, 2012), mientras que artículos que abordan el modelado de esta misma problemática se escribieron desde el año 2002 (Thomassey, Happiette, Dewaele, & Castelain, 2002). Igual sucede para las problemáticas relacionadas con niveles de servicio, se encuentran publicaciones sobre su modelado desde el 2005 (Zhang & Yao, 2005) pero la comparación de métodos solo es abordada en el 2012 (Yang, Lee, & Lee, 2012).

Campos de investigación

En cuanto a los campos de investigación que son tratados en los artículos, se encontraron los que se observan en la Tabla 3, en la que adicionalmente se indican los criterios mediante los cuales se clasificó cada artículo en un campo de investigación determinado.

De estos campos de investigación los que presentan una mayor incidencia son: predicciones de demanda por ejemplo en cadenas de suministro regionales (Sun & Wu, 2010); evaluación del rendimiento y/o la eficiencia de uno o varios procesos involucrados en la cadena de suministro, por ejemplo en la industria *retail* (Bolat, Temur, & Gündüz, 2012); selección de proveedores, por ejemplo para PYMES chinas (Fan, Gao, Wang, Jang, & Sun, 2008); control de inventarios por ejemplo en ambientes estocásticos (Li & Tang, 2007) y programación de la producción, por ejemplo en cadenas de suministro colaborativas (Chiu & Lin, 2004), estos resultados se explican en que mediante las aplicaciones convencionales de redes neuronales se busca realizar pronósticos o predicciones de un fenómeno particular, para el cual se tiene un conjunto de datos de entrenamiento y otro de validación (Palmer & Montaña, 1999), características con las que cumplen los campos de investigación mencionados.

Tabla 3. Cantidad de resultados por campo de investigación

Campo de investigación	Resultados
Predicciones de demanda: Investigaciones sobre las predicciones de los niveles de demanda del producto	45
Evaluaciones de rendimiento y/o eficiencia: Procesos que evalúan el rendimiento o la eficiencia de un aspecto de la cadena de suministro	40
Selección de proveedores: Procesos relacionados con la selección de los proveedores más adecuados en un momento determinado	32
Control de inventarios: Procesos relacionados con la cantidad y las políticas de inventario manejadas en la cadena de suministro	20
Programación de la producción: Procesos asociados con la determinación de planes y horarios para producir el producto	19
Distribución de productos: Procesos involucrados en las políticas de distribución de productos	16
Detección temprana de riesgos: Procesos que permiten detectar de manera temprana la posible materialización de un riesgo	10
Aseguramiento de calidad: Procesos que buscan satisfacer los requisitos de calidad del producto o servicio	8
Niveles de servicio: Temas relacionados con la satisfacción de los niveles de servicio internos o externos a la compañía	8
Efecto látigo: Investigaciones que buscan reducir el efecto látigo en la cadena de suministro	6
Predicción de precios: Investigaciones asociadas a la determinación del precio óptimo de venta de un producto	3
Compra de materias primas: Procesos que buscan determina la cantidad, proveedor o fecha en la que se adquirirán materias primas	2
Predicción de costos logísticos: Procesos que buscan determina los costos relacionados con la operación logística asociada a la cadena de suministro	2
Simulación de procesos: Investigaciones relacionadas con las simulaciones de procesos	2
Asignación de crédito: Procesos que buscan determinar la capacidad de un cliente para cumplir con un crédito de un monto determinado	1
Clasificación de cadenas de suministro: Temas relativos a la clasificación de las cadenas de suministro bajo diferentes criterios	1
Predicciones multiobjetivo: Investigaciones sobre predicciones que incluyen más de una variable de respuesta	1
Reducción de costos: Investigaciones relacionadas con la reducción de costos directos e indirectos a lo largo de la cadena de suministro	1
Reingeniería de procesos: Investigaciones asociadas al rediseño de procesos buscando lograr mejoras en costos, calidad u otro aspecto	1
Toma de decisiones: Procesos asociados al apoyo en la toma de decisiones sobre la cadena de suministro	1
Total	219

Es importante destacar que los tres campos de investigación con mayor número de apariciones en la categoría de modelado (predicciones de demanda, evaluaciones de rendimiento y/o eficiencia, selección de proveedores) representan el 51% de todos los artículos que proponen un modelo o técnica de modelado, de lo cual se puede concluir que estos temas concentran el mayor interés de los investigadores, por ejemplo Choy, K. L. quien han escrito 3 artículos (Choy, Tan, & Chan, 2007)(Choy, Lee, Lau, Lu, & Lo, 2004)(Choy, Lee, & Lo, 2003) de esta categoría, sobre el campo de investigación “Predicciones de demanda”.

En la **Figura 2**, se observa la tendencia para los seis campos con mayor número de artículos publicados, de la cual se puede concluir que “Evaluación de rendimiento y/o eficiencia” y “Distribución de productos” son los que presentan una tendencia creciente en los últimos años del periodo analizado, lo que puede indicar que estos dos campos de investigación ofrecen potencialidades para investigaciones futuras, para los otros cuatro campos se puede notar que alcanzaron su pico alrededor del año 2008 y desde entonces el número de artículos publicados ha decrecido.



Figura 2. Cantidad de resultados por campo de investigación

Con respecto a los tipos de redes neuronales artificiales empleadas por los autores en sus investigaciones, se destacan por su cantidad de apariciones la BP Neural Network y las Radial base function (RBF) neural network que han sido abordadas entre otros en (Shi & Ji, 2008), cabe aclarar que no en todos los artículos se identifica el tipo de red empleado.

En la Tabla 4 se aprecian los resultados para todos los tipos de redes, tal como son mencionadas en los artículos analizados.

Se puede resaltar la alta incidencia de las BP Neural Network, que están presentes en cerca de la mitad (47%) de los artículos que mencionan algún tipo de red neuronal, esto se explica en que este tipo de redes neuronales son las que presentan características que permiten optimizar el aprendizaje de la red (Zhu, 2010), condición explotada por ejemplo en (Y. Huang, Qiu, & Liu, 2008), esta característica contrasta con otros tipos de redes neuronales como por ejemplo Two hidden layers o Radial base function (RBF) neural network y que son mencionados en una menor cantidad de artículos.

Sectores empresariales y tipos de cadenas de suministro

Con respecto a los sectores empresariales a los cuales se enfocan los autores, basándose en lo descrito en los *abstracts* de los artículos, las empresas manufactureras (14 apariciones) son las que son tratadas en más ocasiones, en menor cantidad se encuentran las productoras de alimentos, las textiles y otras. De lo cual se concluye que no existe predilección para aplicar redes neuronales en un sector empresarial específico.

Los mismo sucede con los tipos de cadena de suministro que se mencionan, teniendo una mayor incidencia cadenas de suministro complejas (10 apariciones) seguidas por cadenas de suministro

sostenibles, cadenas de suministro ágiles y otras. Se resalta que las redes neuronales al ser un paradigma enmarcado en la inteligencia artificial constituyen una alternativa para describir procesos de las cadenas de suministro complejas (Cagliano, 2010). En cuanto a la localización geográfica de las empresas que tratan los artículos las empresas chinas se encuentran a la cabeza con 6 apariciones seguidas por empresas de Hong Kong e Irán; otras temáticas que son tratadas en más de 5 artículos son comercio electrónico y minería de datos.

Tabla 4. Cantidad de resultados por tipo de red neuronal

Tipo de red neuronal	Cantidad de resultados
BP Neural Network	49
Radial base function (RBF) neural network	17
Fuzzy neural network	9
SOFM neural network	5
Adaptive Neural Network; Feedforward Neural Networks; Hopfield neural network; Probabilistic neural network	3
Trained neural network; Chaotic Neural Network; Direct neural network controller; Multilayer perceptron; Optimal neural network; Wavelet neural network	2
ANN with quarterly unit; Annealing neural network; ANN-MADA; Cooperative neural network; Elman ANN; GA-neural network; General regression neural network; Generalized regression neural network model; Grey Neural Network; GRNN; Kohonen' SOM neural network; Neural Network Metamodels; Nonlinear neural networks; Product-unit neural networks; Recurrent neural networks; Redes neuronales híbridas; SAMANN; Two hidden layers; Hybrid artificial network	1
(No se menciona)	96
Total	219

Conclusiones

Si bien se encuentra literatura científica referente a la aplicación de redes neuronales a cadenas de suministro, se aprecia que hasta el momento se han abordado procesos aislados, por lo cual entender la cadena de suministro desde una concepción sistémica permitiría explotar las características del paradigma de redes neuronales en situaciones complejas que presenten comportamientos emergentes.

Existen campos de investigación tales como la simulación de los procesos de cadenas de suministro, en los cuales se puede investigar desde la teoría de redes neuronales y encontrar alternativas complementarias a las técnicas de simulación más difundidas actualmente.

Las redes neuronales artificiales constituyen un paradigma de aprendizaje que puede ser aplicado a diversos campos de investigación que tienen relación con cadenas de suministro, sin embargo aún hay campos por explorar como los flujos de información para los cuales no se han publicado resultados de investigaciones.

Al realizar investigaciones relacionadas con redes neuronales aplicadas a cadenas de suministro de diferentes sectores empresariales, desde la academia se podrían hallar soluciones a problemáticas de sectores productivos; además se fomentaría la interdisciplinariedad potenciando la generación de nuevo conocimiento.

Referencias

- Bolat, B., Temur, G. T., & Gündüz, U. (2012). A comparative study for differences on Information System success perceptions: A study of retailing industry. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 11(2), 253–269. doi:10.1504/IJLSM.2012.045426
- Cagliano, A. C. (2010). *Understanding Supply Chain Complexity: An approach integrating performance measurement and System Dynamics* (p. 275). Saarbrücken: VDM Verlag. Retrieved from http://www.amazon.com/Understanding-Supply-Chain-Complexity-integrating/dp/3639244354/ref=sr_1_5?ie=UTF8&qid=1352506425&sr=8-5&keywords=anna+corinna
- Chiu, M., & Lin, G. (2004). Collaborative supply chain planning using the artificial neural network approach. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 15(8), 787–796. doi:10.1108/17410380410565375
- Choy, K. L., Lee, W. B., Lau, H. C. W., Lu, D., & Lo, V. (2004). Design of an intelligent supplier relationship management system for new product development. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 17(8), 692–715. doi:10.1080/0951192042000237483
- Choy, K. L., Lee, W. B., & Lo, V. (2003). Design of an intelligent supplier relationship management system: A hybrid case based neural network approach. *Expert Systems with Applications*, 24(2), 225–237. doi:10.1016/S0957-4174(02)00151-3
- Choy, K. L., Tan, K. H., & Chan, F. T. S. (2007). Design of an intelligent supplier knowledge management system - An integrative approach. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 221(2), 195–211. doi:10.1243/09544054JEM627
- Fan, H., Gao, P., Wang, J., Jang, M., & Sun, M. (2008). Research on partners choice of virtual logistics business for small and medium shipping enterprises of China. In *Proceedings of the International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering, ICIII 2008* (Vol. 2, pp. 190–194). Taipei. doi:10.1109/ICIII.2008.290
- Huang, J., Feng, Y., & Zhang, S. (2009). Research of Complex System Theory Application on Reliability Analysis of Network System, 1141–1145.
- Huang, Y., Qiu, Z., & Liu, Q. (2008). Fuzzy BP neural network optimized by PSO for performance evaluation of the whole ecotype supply chain. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Automation and Logistics, ICAL 2008* (pp. 1598–1603). Qingdao. doi:10.1109/ICAL.2008.4636409
- Kandananond, K. (2012). A comparison of various forecasting methods for autocorrelated time series. *International Journal of Engineering Business Management*, 4(1), 1–6. doi:10.5772/51088
- Li, Y., & Tang, D. (2007). Predictive control of inventory in supply chain under stochastic customer demand. In *International Conference on Transportation Engineering 2007, ICTE 2007* (pp. 1058–1063). Chengdu. doi:10.1061/40932(246)174
- Miao, X., & Xi, B. (2008). Agile forecasting of dynamic logistics demand. *Transport*, 23(1), 26–30. doi:10.3846/1648-4142.2008.23.26-30
- Moyaux, T., Chaib-draa, B., & Amours, S. D. (2003). Multi-Agent Coordination Based on Tokens : Reduction of the Bullwhip Effect in a Forest Supply Chain, 670–677.
- Palmer, A., & Montaña, J. J. (1999). ¿Qué son las redes neuronales artificiales? Aplicaciones realizadas en el ámbito de las adicciones. *Adicciones*, 11(3), 243–256.
- Qingfeng, S., Zicai, W., Xudong, C., Shuai, F., & Tao, C. (2010). Research on Complex System Quantitative and Qualitative Synthetic M&S and Evaluation Technology, 1437–1442.
- Shi, C.-D., & Ji, H. (2008). Manufacturing supply chain performance evaluation based on heuristic attribute reduction and neural network. In *Proceedings - 4th International Conference on Natural Computation, ICNC 2008* (Vol. 3, pp. 246–250). Jinan: Ieee. doi:10.1109/ICNC.2008.765

- Sun, J. M., & Wu, J. (2010). Forecasting methods and application of regional logistics demand based on wavelet neural network. In *2010 International Conference on Logistics Systems and Intelligent Management, ICLSIM 2010* (Vol. 2, pp. 922–926). Harbin. doi:10.1109/ICLSIM.2010.5461046
- Thomassey, S., Happiette, M., Dewaele, N., & Castelain, J. M. (2002). A short and mean term forecasting system adapted to textile items' sales. *Journal of the Textile Institute Part 1: Fibre Science and Textile Technology*, 93(3), 95–104. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-24744456145&partnerID=40&md5=08f793d7ce9eb9b0089630507a420e72>
- Wu, M.-C., & Hsu, Y.-K. (2008). Design of BOM configuration for reducing spare parts logistic costs. *Expert Systems with Applications*, 34(4), 2417–2423. doi:10.1016/j.eswa.2007.04.001
- Xu, X., Wang, S., Tang, P., & Shi, G. (2006). Algorithm of multi-objective prediction on logistics volume of combined transportation. *Beijing Hangkong Hangtian Daxue Xuebao/Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics*, 32(10), 1209–1214. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-33845726699&partnerID=40&md5=be51abf0c89dcbadb9268b942ce03c2f>
- Yang, S.-C., Lee, C.-S., & Lee, H.-S. (2012). Evaluation of logistic flow service satisfaction using the evolutionary computation technique and general regression neural network technique. *International Journal of Advancements in Computing Technology*, 4(11), 326–335. doi:10.4156/ijact.vol4.issue 11.35
- Zhang, D., & Yao, J. (2005). Quality of service evaluation system in customer-oriented E-commerce. *Jisuanji Gongcheng/Computer Engineering*, 31(6), 66–67+224. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-16644396880&partnerID=40&md5=adce5d6861d52687472c1a5e247643ca>
- Zhu, J. (2010). Evaluation of supply chain performance based on BP neural network. In *ICCET 2010 - 2010 International Conference on Computer Engineering and Technology, Proceedings* (Vol. 1, pp. V1495–V1499). Chengdu: Ieee. doi:10.1109/ICCET.2010.5486013