

## Integración Económica y Rentabilidad en la Agricultura

En la lógica de una pujante sociedad en vías de industrializarse aparecen las corporaciones que monopolizan la producción y la tecnología y que son la expresión más clara de la existencia de un estado industrial, y las más abierta manifestación de una sociedad dividida en clases, así como una reestructuración productiva a escala internacional, donde la empresa se convierte en la unidad económica fundamental en cuanto a la asignación de los recursos y la coordinación de actividades del mercado. Asimismo, estas asumen la forma de la representación del modelo insumo-producto en la que las funciones del empresario ocupan el centro de toda la actividad económica expresada en sistemas cooperativos y con implicaciones para el desarrollo económico en todos los proceso de innovación de las organizaciones.

Los orígenes del empresariado en México de manera formal, se pueden rastrear en la primera etapa del México independiente, momento en que la burguesía hace su aparición en el escenario nacional y coincide con la fundación del banco de avío en 1930 y de la primera fábrica textil en Puebla por Don Esteban de Antuñano, un contexto caracterizado por la inestabilidad política en el país que se manifestó por la presencia efímera de gobernantes que se sucedían en poder sin un proyecto de nación claro y definido. De tal suerte que la primera mitad del siglo XIX fue decisiva tanto en la formación de la burguesía como por el papel protagónico que desempeñaría el empresario principalmente a finales del Porfiriato.



Francisco Pérez Soto | Esther Figueroa Hernández |  
Lucila Godínez Montoya | Rebeca Alejandra Pérez Figueroa  
(Editores)



Primera edición en español 2019

ISBN: 978-607-98589-1-9

D.R. © Asociación Mexicana de Investigación Interdisciplinaria A.C. (ASMIIA, A.C.)

Editado en México

D.R. © Ilustraciones de portada y contraportada: Felipe Camacho García

Para la reproducción total o parcial de esta publicación, por cualquier medio, requiere la autorización por escrito del autor de la ASMIIA, A.C.

## ÍNDICE

### Integración Económica y Rentabilidad en la Agricultura

<b>Capítulo I</b> <b>APLICACIÓN DE LAS REDES NEURONALES EN EL ANÁLISIS DEL PRECIO DEL MAÍZ</b> <i>Raquel Salazar Moreno; Oscar Zerecero Salazar; Esther Figueroa Hernández; Francisco Pérez Soto</i>	<b>9</b>
<b>Capítulo II</b> <b>ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD DE LA PRODUCCIÓN DE ESPARRAGO EN GUANAJUATO: CASO EJIDO TLANALAPA, EN ABASOLO</b> <i>J. Martín González Elías; Orsohe Ramírez Abarca; Esther Figueroa Hernández; Ma. De Lourdes Pérez Zavala</i>	<b>28</b>
<b>Capítulo III</b> <b>UN SISTEMA QUE SIMULA UNA BARRA EN EQUILIBRIO</b> <i>Guillermo Becerra Córdova</i>	<b>47</b>
<b>Capítulo IV</b> <b>CARACTERIZACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN Y COMPORTAMIENTO DEL COMERCIO DEL AGUACATE EN LOS PRINCIPALES PAÍSES EXPORTADORES</b> <i>Ignacio Caamal Cauich; Verna Grisel Pat Fernández; Felipe Jerónimo Ascencio</i>	<b>62</b>

<b>Capítulo V</b>	
<b>INTEGRACIÓN ECONÓMICA Y RENTABILIDAD. EL CASO DE LOS PRODUCTORES DE AGUACATE EN LAS SIERRAS NORTE Y NORESTE DE PUEBLA</b>	
<i>Laura Elena Garza Bueno; José Miguel Omaña Silvestre; Lourdes Gómez García</i>	77
<b>Capítulo VI</b>	
<b>CONCENTRACIÓN ESPACIAL DE LA PRODUCCIÓN Y MERCADEO HUEVO EN MÉXICO: UN ANÁLISIS DIFERENCIAL SOBRE EL EFECTO EN LA DINÁMICA DE LOS PRECIOS AL CONSUMIDOR</b>	
<i>Gabriela Rodríguez Licea</i>	95
<b>Capítulo VII</b>	
<b>EVALUACIÓN ECONÓMICA DE UNA UNIDAD GENERADORA DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE LA INCINERACIÓN DE RESIDUOS DE LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ</b>	
<i>Yesica María Domínguez Galicia; Pablo Emilio Escamilla García</i>	114
<b>Capítulo VIII</b>	
<b>TECNOLOGÍA DOMÉSTICA PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA LIMPIA</b>	
<i>María Elena Tavera Cortés; Guillermo Alexis Vergel Rangel; Xenia Mena Espino; Edmar Salinas Callejas</i>	132
<b>Capítulo IX</b>	
<b>AGRICULTURA POR CONTRATO EN LA INDUSTRIA AZUCARERA: CASO INGENIO MELCHOR OCAMPO, JALISCO</b>	
<i>Imelda Rosana Cih Dzul; Arturo Moreno Hernández; Evangelina Jasso Romero</i>	148
<b>Capítulo X</b>	
<b>ANÁLISIS DE LA AGROINDUSTRIA DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN JALISCO Y SAN LUIS POTOSÍ</b>	
<i>Sandra Laura Pérez Sánchez; María del Socorro Fernández Silva</i>	167
<b>Capítulo XI</b>	
<b>CONOCIMIENTOS Y DISPOSICIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS DE ESTUDIANTES DE SECUNDARIA EN TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO</b>	
<i>María Joaquina Sánchez Carrasco; Ameyali Hernández Hernández</i>	183

## **Presentación**

En este quinto libro se abordan los siguientes trabajos: *Aplicación de las redes neuronales en el análisis del precio del maíz*. Su propósito fue analizar el impacto del precio de otros productos relacionados a través de dos redes neuronales, las cuales demostraron tener un poder predictivo. Se realizó un análisis de sensibilidad y se pudo demostrar que el arroz, el cártamo y el sorgo son complementarios al maíz, siendo el precio del arroz la variable con mayor impacto sobre el mismo; el trigo, la soya y la cebada se comportan como productos sustitutos, siendo el precio del trigo el que mayor impacto tiene sobre el de maíz.

*Estudio de la factibilidad de la producción de esparrago...* Esta investigación analiza la factibilidad económica de cultivarlo; a través del cálculo de los indicadores de rentabilidad económica utilizados en la evaluación de proyectos de inversión para productores. Utilizando una proyección de ingresos y gastos para el cálculo de los indicadores, valor actual neto, relación beneficio-costos y la tasa interna de retorno, los resultados indican que el Agronegocio es rentable.

*Un sistema que simula una barra en equilibrio.* La Estática sirve para explicar el equilibrio de los cuerpos. En este trabajo se presenta un sistema que simula dos fuerzas que actúan sobre una barra horizontal. El sistema calcula las magnitudes de las fuerzas en las que esta se apoya. El usuario introduce los valores de las fuerzas y sus respectivas posiciones; también el valor del peso de la barra; el sistema calculará las fuerzas en las que está apoyada la barra.

*Caracterización de la distribución y comportamiento del comercio del aguacate en los principales países exportadores.* El objetivo del trabajo es caracterizar la distribución y el comportamiento de las variables de comercio de los países productores: exportaciones, importaciones y balanza comercial. México contribuye con el cuarenta y ocho por ciento de las exportaciones totales. A nivel mundial las variables del comercio del aguacate mostraron un incremento en el periodo analizado.

*Integración económica y rentabilidad. El caso de los productores de aguacate en las Sierras norte y noreste de Puebla.* El objetivo de este trabajo es mostrar la viabilidad de un proyecto de integración económica y la rentabilidad que permite alcanzar. La experiencia es de un grupo de productores, quienes decidieron realizar un proyecto de asociación e integración para conquistar dos eslabones de la cadena productiva mediante dos empresas: la de acopio y comercialización y

la financiera. Productores y técnicos elaboraron los planes de negocios de ambas empresas que dan evidencia de la factibilidad y conveniencia del proyecto.

*Concentración espacial de la producción y mercadeo huevo...* El trabajo tiene por objetivo determinar si la concentración de la producción y los mercados es un factor asociado a esa problemática. Al realizar el análisis se encontró evidencia de que el huevo blanco registró el precio promedio más bajo durante los años de análisis; mientras que, de las marcas comerciales, San Juan reportó el precio máximo promedio más alto. La comercialización en presentación de 12 piezas de huevo blanco es la que predomina en las cadenas de autoservicio y tiendas de conveniencia.

*Evaluación económica de una unidad generadora de energía...* El objetivo fue determinar la factibilidad de una propuesta para generar energía eléctrica a partir de la combustión de residuos sólidos peligrosos. La metodología parte de un estudio realizado en una empresa generadora de ellos, con este estudio se determina una disposición final de los lodos de pintura. A partir de este caso se detona un estudio exploratorio descriptivo de generadores grandes y pequeños y la cuantificación de las emisiones.

*Tecnología doméstica para generación de energía limpia.* El objetivo fue diseñar un prototipo de biodigestor de tecnología para el aprovechamiento energético de residuos del nopal; generando un impacto ambiental positivo en la producción. Se intenta sustituir el método tradicional de fertilización y reducir el impacto ambiental negativo aprovechando el metano contenido en el biogás, que dada su naturaleza con sus características puede ser empleado como combustible.

*Agricultura por contrato en la industria azucarera...* Este trabajo analizó los elementos que favorecen una agricultura por contrato en la Cadena Productiva de Caña de Azúcar a través del modelo organizacional estructuralista y como marco jurídico, la Ley de Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar. Se concluye que este esquema de organización para la producción es benéfico.

*Análisis de la agroindustria de la caña de azúcar en Jalisco y san Luis Potosí.* El objetivo fue analizar la agroindustria de la caña de azúcar, durante 2007-2016. Se compara el desempeño de 10 ingenios, de los cuales seis se ubican en Jalisco y cuatro en San Luis Potosí. Para medir la eficiencia se consideran tres indicadores: el rendimiento en campo, la eficiencia en fábrica y el rendimiento agroindustrial.

*Conocimientos y disposición de residuos sólidos urbanos de estudiantes de secundaria...* Son los resultados de investigación, vinculados a los conocimientos sobre los residuos sólidos urbanos de estudiantes de la comunidad de Tequexquihahuac en Texcoco, así como resultados de una estrategia de educación no formal, y el análisis de programas de estudio de asignaturas que se encuentran vinculadas a lo ambiental, particularmente Formación Cívico y Ética y Ciencias.

*Francisco Pérez Soto*

## APLICACIÓN DE LAS REDES NEURONALES EN EL ANÁLISIS DEL PRECIO DEL MAÍZ

*Raquel Salazar Moreno<sup>1</sup>, Oscar Zerecero Salazar<sup>1</sup>,  
Esther Figueroa Hernández<sup>2</sup>, Francisco Pérez Soto<sup>1</sup>*

---

<sup>1</sup> Universidad Autónoma Chapingo, Km 38.5 Carretera México-Texcoco Chapingo, Edo. México, C.P 56230. México, raquels60@hotmail.com

<sup>2</sup> Centro Universitario UAEM Texcoco, Universidad Autónoma del Estado de México. Av. Jardín Zumpango S/N Fracc. El Tejocote, Texcoco, Estado de México. C.P. 56259. E-mail: esfigure\_3@yahoo.com.mx

### RESUMEN

El propósito de este trabajo fue analizar el impacto del precio nacional de otros productos relacionados y del precio internacional del maíz sobre el comportamiento del precio interno del maíz a través de dos redes neuronales, las cuales demostraron tener un alto poder predictivo del precio nacional del maíz en 5 y 3 años hacia adelante. Se realizó un análisis de sensibilidad utilizando el algoritmo de Garson y se pudo demostrar que el arroz, el cártamo y el sorgo son productos complementarios al maíz, siendo el precio del arroz la variable con mayor impacto positivo sobre el precio del maíz; así como también que el trigo, la soya y la cebada se comportan como productos sustitutos del maíz, siendo el precio del trigo el que mayor impacto tiene sobre el precio del maíz. Incluyendo el precio internacional del maíz el comportamiento de las demás variables se mantuvo, y se obtuvo una sensibilidad positiva entre el precio nacional e internacional del maíz. Finalmente, el estudio mostró la aplicación de los modelos de RNA sobre el precio de un producto en particular, con la posibilidad de utilizarse en el proceso de toma de decisiones en las políticas públicas encaminadas al apoyo de los productores agrícolas.

**Palabras clave:** PROCAMPO, predicción, análisis de sensibilidad, políticas, impacto.

### ABSTRACT

The purpose of this paper was to analyze the impact of the price of other related products

and the international price of corn on the behavior of the domestic price of corn through two neural networks, which proved to have a high predictive power of the national price of corn in 5 and 3 years forward. A sensitivity analysis was carried out using the Garson algorithm and it was demonstrated that rice, safflower and sorghum are complementary products to corn, the price of rice being the variable with the greatest positive impact on the corn price; on the other hand wheat, soybeans and barley behave as corn substitute products, with the price of wheat having the greatest impact on the price of corn. Including the international price of corn, the behavior of the other variables was maintained, and a positive sensitivity was obtained between the national and international price of corn. Finally, the study showed the application of RNA models on the price of a particular product, with the possibility of being used in the decision-making process in public policies aimed at supporting agricultural producers.

**Keywords:** PROCAMPO, prediction, sensibility analysis, policy, impact.

## INTRODUCCIÓN

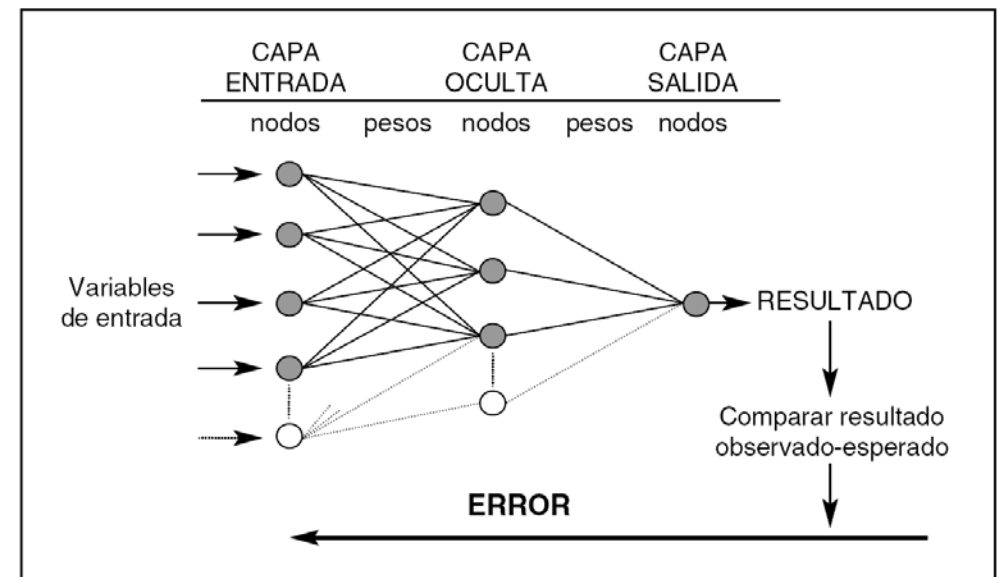
Uno de los objetivos para el cual fue creado el programa PROCAMPO fue el de lograr que los consumidores nacionales tuvieran acceso a alimentos a menor precio, lo que tendría un importante efecto sobre el bienestar de las familias de bajos ingresos, sobre todo las que viven en zonas rurales (Schwentesi *et al.*, 2007). La producción de maíz en nuestro país ocupa más del 30% de la superficie sembrada (González, 2014), el movimiento de los precios o descensos en la producción se convierte en un problema de interés nacional y que ocupa parte de la agenda de política pública, es por ello la importancia en incentivar la producción de maíz nacional por lo cual el precio interno del maíz juega un papel fundamental, como se ha podido comprobar antes y después de la implementación de PROCAMPO, sin embargo el precio del maíz también depende en gran medida de muchos otros factores, tales como los precios internacionales del maíz, y de los precios de otros productos relacionados. Por lo anterior, el presente artículo plantea los siguientes objetivos:

1. Implementar dos redes neuronales artificiales, la primera incluyendo únicamente los precios de productos relacionados y la segunda incluyendo además de lo anterior, los precios internacionales del maíz, con el fin de detectar si el comportamiento de los precios reales del maíz se puede simular únicamente con precios de productos relacionados y con el precio internacional del maíz.
2. Realizar el análisis de sensibilidad para determinar que tanto influyen los precios

de productos relacionados y el precio internacional del maíz, sobre el precio nacional del maíz.

Una de las herramientas más eficientes utilizada en los últimos años con éxito en la predicción de precios son las redes neuronales artificiales (RNA), que se definen como un sistema de aprendizaje inspirado en el funcionamiento del cerebro humano. De esta forma simulan e imitan sistemas permitiendo establecer relaciones no lineales entre las variables de entrada y salida. Su principal ventaja consiste en procesar información en paralelo en tiempo real lo cual ha permitido su aplicación en la clasificación y reconocimiento de patrones en sistemas complejos (Martínez, 2014). El principal potencial de las RNA es detectar no-linealidades en series temporales por lo que han sido de gran utilidad en la predicción de variables económicas y financieras. La estructura más utilizada para una red neuronal estática es el perceptrón multicapa, la figura 1 muestra los principales componentes de un perceptrón multicapa clásico, las capas de entrada dependen de la información disponible para ser clasificada, mientras que en las capas de salida se tiene un número de nodos igual a la cantidad de variables de respuesta al medio exterior. Las neuronas en una capa se conectan con las de la capa siguiente mediante conexiones y pesos (sinapsis), cuyo valor es diferente para cada una de las conexiones y se determina a través del proceso de entrenamiento (Villada *et al.*, 2016).

Figura 1. Principales componentes de un perceptrón multicapa clásico



La primera capa de la red es la capa de entrada, la cual recibe la información del ambiente externo. La última capa es la capa de salida y corresponde a la respuesta al estímulo de entrada o a la variable dependiente. Las capas intermedias son conocidas como capas ocultas y éstas son las que transforman progresivamente el estímulo de entrada original en la respuesta final. La red fluye en una sola dirección conectando a través de determinadas vías las capas de entradas con las capas de salida a través de las capas ocultas. La fuerza de conexión entre una célula o neurona a otra, está determinada por los pesos. Pesos positivos reflejan una influencia amplificada y pesos negativos implican una inhibición de esta influencia (Cooper, 1999).

Cada neurona aplica una función  $f$  conocida como la función de activación que transfiere información. El perceptrón multicapa genera un modelo predictivo para una o más variables dependientes basada en los valores de las variables predictoras (Hagan y Beale, 1996). Aunque las redes neuronales no son perfectas en sus predicciones, superan de manera radical todos los demás métodos de predicción existentes (Lawrence, 1997; Benedetti *et al.*, 2008). Muchos métodos de predicción enfocados en economía y finanzas frecuentemente comienzan con una serie de supuestos y esperan construir modelos confiables y racionales para el mundo a partir de éstos. Lo que es único de las redes neuronales es que la cantidad de supuestos que se tienen preconcebidos se minimizan, y solo se enfoca en los datos con los que se alimenta la red (Gryc, 2010). Los investigadores pueden evitar los supuestos que el ser humano racional usa, dada la hipótesis de mercados eficientes, y simplemente observar de que manera sus redes convergen. Teóricamente un diseño correcto de red neuronal, convergerá en un resultado óptimo (Gryc, 2010).

## **METODOLOGÍA**

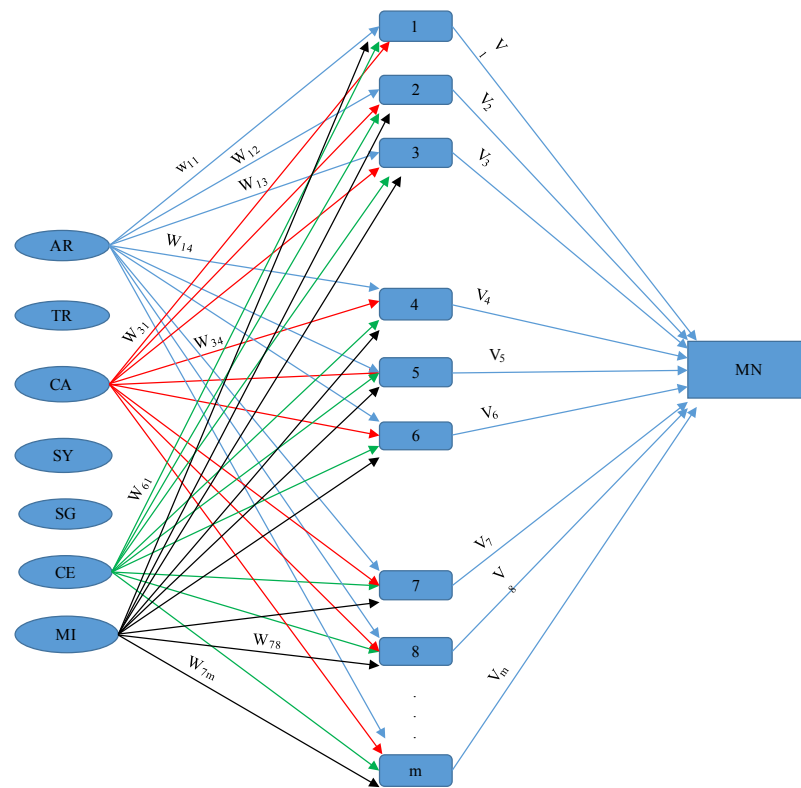
La información relacionada a los datos de precios internos del maíz y de cada uno de los productos relacionados que se incluyeron fueron arroz, trigo, cártamo, soya, sorgo y cebada, los cuales se tomaron del Sistema de Información Agroalimentaria y Consulta (SIACON, 2017) de la SAGARPA; los datos del precio internacional del maíz se obtuvieron de las series de datos de precios internacionales de productos básicos del banco mundial (World Bank Commodity Price Data). En la recopilación de la información se consideró el periodo de 1980 – 2014. Para conocer la tendencia de los precios de los productos durante el periodo de estudio, se graficó la información. También se obtuvo la estadística básica de los precios de todos los productos con el fin de conocer si tienen un comportamiento similar o muy diferente entre ellos. Asimismo, para tener una idea más precisa de la manera como se relacionan los precios con otros se obtuvo la matriz de correlaciones.

El primer modelo de redes neuronales artificiales para predecir el Precio Real del Maíz incluye los precios de productos relacionados tales como el Precio Real del Arroz (AR), Precio Real del Trigo (TR), Precio Real del Cártamo (CA), Precio Real de la Soya (SY), Precio Real del Sorgo (SG), Precio Real de la Cebada (CE), también se desarrolla una segunda red en donde se incluyó el Precio Real Internacional del Maíz (MI), además de los precios considerados en la primer red. Lo anterior fue con el fin de detectar si estas variables influyeron de manera sustancial en el comportamiento del Precio Real Nacional del Maíz (MN) en México, durante el periodo 1980 – 2014 y que pudieran servir de base para predecir el comportamiento del precio nacional del maíz.

Para obtener los datos reales, se deflactaron los precios nacionales nominales de los productos relacionados y el precio internacional del maíz, éste último convirtiéndolo previamente de dólares a pesos mexicanos. Para deflactar los precios se tomó un Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC) con base en la segunda quincena de diciembre del año 2010, elaborado por el Centro de Estudios de las Finanzas Públicas (CEFP) de la Ciudad de México, con datos del Instituto Nacional de Estadísticas, Geografía e Informática (CEFP, 2016). Se tomó este índice de precios ya que fue con el que mejores resultados se obtuvieron al manejar los datos, homogeneizándolos de manera más equilibrada.

Como se mencionó en los antecedentes, existen varios autores que han utilizado las redes neuronales en la predicción de precios, en este trabajo se utilizó una red neuronal estática (perceptrón multicapa), primero solamente corriendo la red con los precios reales nacionales de 6 productos relacionados, cuyo esquema se presenta en la figura 2.

**Figura 2. Esquema de la red neuronal implementada para predecir el precio del maíz con el precio de 6 productos relacionados**



AR: Precio Real del Arroz;  
 SG: Precio Real del Sorgo  
 MN: Precio Real Nacional del Maíz;  
 TR: Precio Real del Trigo  
 $V_n$ : Pesos de la capa oculta a la capa de salida

CA: Precio Real del Cártamo;  
 MI: Precio Real Internacional del Maíz  
 CE: Precio Real de la Cebada  
 SY: Precio Real de la Soya  
 $W_{nm}$ : Pesos de la capa de entrada a la capa oculta

En una segunda red además de considerar las variables de entrada de la Figura 2 se incluyó como variable de entrada el Precio Real Internacional del Maíz (MI), con el fin de detectar si esta variable tiene un efecto importante en la predicción del precio nacional del maíz.

Se utilizaron 3 criterios para definir el número de nodos en la capa oculta:

- a)  $h = 2n + 1$
- b)  $h = \sqrt{mn}$
- c)  $h = n$

El criterio  $h = 2n + 1$  propuesto por Hecht-Nielsen (1987); el segundo criterio  $h = \sqrt{mn}$  propuesto por Masters (1993). Finalmente, se probó un criterio adicional intermedio el cual es  $h = n$ ; donde  $h$  es el número máximo de neuronas en la capa oculta;  $n$  es el número de variables de entrada y  $m$  es el número de salidas.

Una vez seleccionado el modelo es importante medir su desempeño para conocer qué tan veraz es el modelo para representar los resultados del sistema o que tan bien se ajusta a la base de datos utilizada.

Las medidas de ajuste son indicadores que sirven para saber qué tan cercanos están los valores reales a los predichos por el modelo y pueden ser usadas para comparar modelos (Montgomery *et al.*, 2015).

Wallach *et al.*, (2013), menciona que el error cuadrado medio (MSE) es una de las medidas más usadas para evaluar la bondad de ajuste en los datos (Ecuación 1).

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad (1)$$

Dónde:  $\hat{Y}_i$  es el valor medido, es el correspondiente valor simulado, y  $n$  es número de mediciones. El MSE mide la variabilidad (Varianza) en los errores de predicción (Montgomery, *et al.*, 2011; p 50; Wallach, *et al.*, 2013).

Como el MSE es calculado con los errores al cuadrado de la predicción, será más sensible a grandes errores y valores atípicos en comparación con el error medio absoluto (MAE), descrito en la ecuación 2 (Wilks, 2011).

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i| \quad (2)$$

El MAE es una medida aritmética de valores absolutos de la diferencia entre los valores observados y predichos. El MAE es igual a cero si las predicciones son perfectas

o puede incrementarse si las diferencias entre los valores predichos y observados son grandes, por lo tanto, MAE es una magnitud típica para los errores de predicción en un conjunto de datos de verificación (Wilks, 2011).

Una de las medidas más importantes para determinar el comportamiento de un modelo es la eficiencia, definida en la ecuación 3.

$$EF = 1 - \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (3)$$

Si el modelo es perfecto, los valores predichos serán iguales a los valores observados o medidos ( $Y_i = \hat{Y}_i$ ), por ende, la eficiencia del modelo será  $EF = 1$ . Por el contrario, un modelo con  $EF = 0$  significa que el predictor no es mejor que la esperanza matemática ( $\hat{Y}_i = \bar{Y}$ ), y por lo tanto, no será un buen modelo, además si  $EF < 0$ , quiere decir que el predictor es peor estimador que la esperanza matemática.

*Construcción de la Red.* El proceso de construcción de la red consiste en tres pasos: entrenamiento, prueba y validación. En el entrenamiento es en donde se estiman los pesos de la red utilizando el algoritmo de “retropropagación de errores”, éste nombre resulta de la forma en que el error es propagado hacia atrás a través de la red neuronal, es decir, el error se trata de minimizar a través de un algoritmo de optimización en el cual los pesos de las conexiones son las variables de decisión que van cambiando hasta encontrar el MSE mínimo. El cambio de los pesos en las conexiones de las neuronas además de influir sobre la entrada global, influye en la activación y por consiguiente en la salida de una neurona (Matich, 2001). El 85% de los datos tomados para el aprendizaje de la red se toma como si fuera el 100% (el otro 15% se utiliza para simular la red) y de ese 85%, se utiliza el 50% para el entrenamiento, otro 25% para prueba y el 25% restante para validación. Una vez obtenidos los pesos en la fase de entrenamiento se utiliza otro conjunto de datos (25%) para realizar la validación de la red utilizando los mismos pesos generados en el entrenamiento, y finalmente con el otro 25% restante de los datos se hace la prueba, ya no con los mismos pesos que en el entrenamiento y la validación, sino que aquí se generan nuevos pesos.

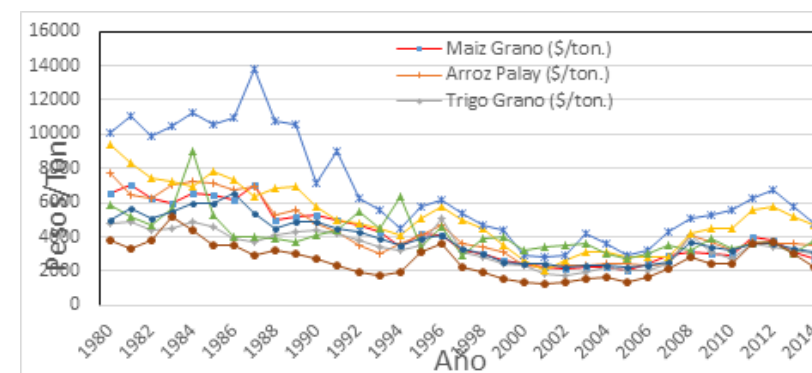
*Análisis de Sensibilidad.* Para realizar el análisis de sensibilidad se utilizó el Algoritmo de Garson, propuesto en el año de 1991 (Garson, 1991). Consiste en repartir los pesos de conexión de la red neuronal con el fin de determinar la importancia relativa de cada variable de entrada en la red. El Algoritmo de Garson utiliza los valores absolutos de los pesos de conexión cuando está calculando la contribución de cada variable (Olden y

Jackson, 2002), y nos arroja un claro panorama de cuales variables de entrada tienen un mayor efecto en la variable de salida cuando todo lo demás se mantiene constante.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el fin de obtener datos reales, los precios se deflactaron con el Índice Nacional de Precios al Consumidor utilizado por el Centro de Estudios de las Finanzas Públicas (CEFP) utilizando datos desde 1980 hasta 2015, y tomando como base la segunda quincena de diciembre del año 2010, se utilizó este índice de precios que tomó datos de precios oficiales de diversos productos de la canasta básica, y que al tener base 2010 los precios se homogeneizaron obteniendo los resultados de la figura 3.

Figura 3. Precios reales del maíz, 6 productos relacionados y precio internacional real del maíz, 1980-2014 en (\$/ton)



Los precios reales sufrieron una tendencia a la baja hasta el año 2001 aproximadamente, después se mantuvieron con pocas variaciones hasta el año 2007 donde comenzaron a incrementarse nuevamente. El precio real internacional del maíz estuvo por debajo del precio nacional pero gradualmente se fueron igualando hasta llegar al año 2012 donde finalmente se mantuvieron casi iguales, lo cual nos muestra una relación negativa entre ambos, es decir, mientras el precio nacional bajaba, el internacional subía hasta el momento de casi igualarse, demostrando que uno de los objetivos de PROCAMPO en cuanto al maíz se alcanzó, que fue el de mantener el precio real nacional sin aumentar con el fin de hacerlo más competitivo a nivel internacional.

De acuerdo a los resultados del Cuadro 1, los precios de la soya son los que tienen una mayor variabilidad en este periodo, a diferencia del precio del trigo que tuvo menores cambios a través del tiempo entre los años 1980 y 2014, junto con el precio internacional del maíz que fue la variable con menor variabilidad de todas.

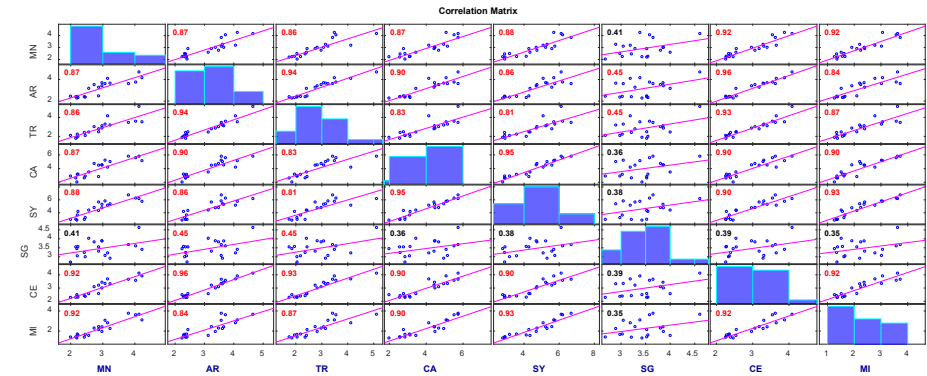


**Cuadro 1. Estadística básica de precios reales del maíz, 6 productos relacionados y precio internacional del maíz**

Precios Reales del Producto	ESTADÍSTICA BÁSICA		
	MEDIA	STD	CV
Maíz	3793.77	1586.27	0.39
Arroz	3941.07	1677.61	0.39
Trigo	3279.12	969.47	0.28
Cártamo	4768.23	1818.39	0.36
Soya	6045.84	3010.15	0.45
Sorgo	4009.43	1207.64	0.29
Cebada	3668.05	1221.89	0.32
Precio Internacional del Maíz	2461.95	963.24	0.37

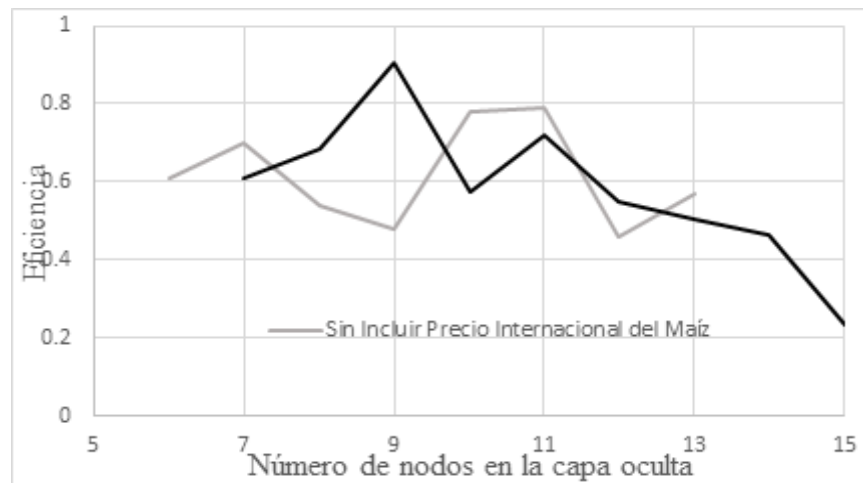
Con el fin de conocer la relación que existe entre los precios de estos productos entre sí, se obtuvo la matriz de correlación de los precios reales del maíz con 6 productos relacionados (Fig. 4). Las correlaciones más altas fueron entre el precio real del maíz con los precios de la cebada (96%), la soya (95%) y el arroz (94%). Si bien los usos del maíz, la cebada y la soya son distintos, existen puntos en común que generan conexiones entre los precios de los mismos. El destino principal del maíz es el forrajero. Sin embargo a los animales puede alimentárselos también con harina de soya y con cebada forrajera. En el primer caso el problema es que si bien la harina de soya aporta mucha proteína, no contiene energía, por lo que la sustitución no es perfecta. En el caso de la cebada, al ser un producto más caro, en general su uso se destina a procesos que generan un mayor valor agregado, como lo es la producción de cerveza. En el caso del arroz, existe una relación fuerte ya que tanto el maíz como el arroz son productos básicos en la dieta del mexicano que no pueden faltar en los hogares. Es interesante ver que la correlación entre el precio del maíz interno y el precio internacional es tan solo del 76%, no de las más altas, sin embargo si esta correlacionado de manera importante.

**Figura 4. Matriz de correlación del precio real del maíz, 6 productos relacionados y precio real internacional del maíz**



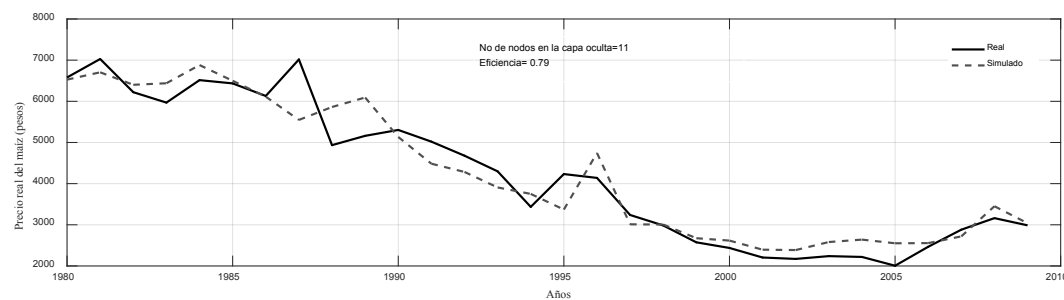
Todos los precios de los productos relacionados tienen una correlación alta con el precio del maíz a excepción del precio del sorgo, sin embargo todos los precios fueron considerados para la construcción de la red. Para la implementación de la red se utilizó el software Matlab que cuenta con una amplia utilería de redes neuronales, el número de datos utilizados para construir la red fueron los precios registrados desde el año 1980 hasta el 2014, el 85% se utilizó para entrenamiento, prueba y validación de la red y el otro 15% para propósitos de predicción. Las funciones de transferencia que se utilizaron fueron dos, entre la capa de entrada y la capa oculta fue la función sigmoidea tangente hiperbólica, y entre la capa oculta y la capa de salida fue una función lineal o de identidad. Se probó la red neuronal con los criterios propuestos en materiales y métodos para definir el número de nodos en la capa oculta, sin embargo al ir cambiando el número de nodos en la capa oculta, la red con la mayor eficiencia fue cuando se utilizaron 9 nodos en la capa oculta incluyendo la variable del precio internacional del maíz, y de 11 nodos sin incluir dicha variable, como se muestra en la Figura 5. La mayor eficiencia en la red estática sin incluir la variable del precio internacional del maíz se obtuvo utilizando 11 nodos en la capa oculta, y cuando se incluyó la variable del precio internacional del maíz la mayor eficiencia se obtuvo utilizando 9 nodos en la capa oculta, por lo tanto fueron el número de nodos utilizados para construir las redes.

**Figura 5. Niveles de eficiencia de las dos redes en función del número de nodos en la capa oculta**

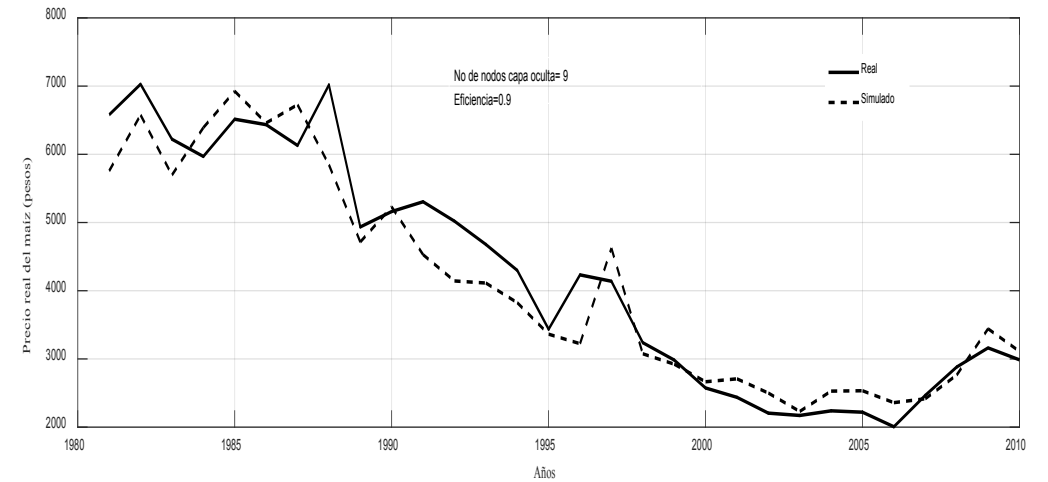


Utilizando el número de nodos con mayor eficiencia en ambas redes, se obtuvieron los resultados de la simulación de la red para los dos modelos con y sin el PIM (Figuras 6 y 7).

**Figura 6. Comparación del precio real observado y simulado por la red, sin incluir la variable del precio internacional del maíz**

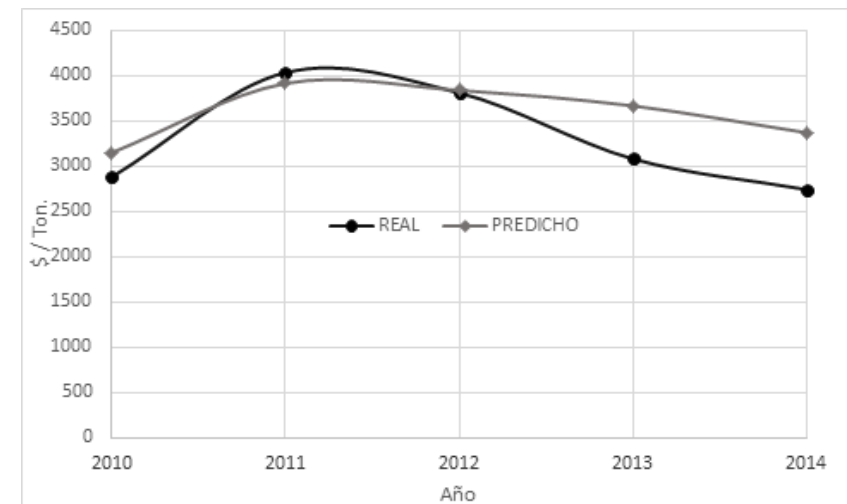


**Figura 7. Comparación del precio real observado y simulado por la red, incluyendo la variable del precio internacional del maíz.uy**

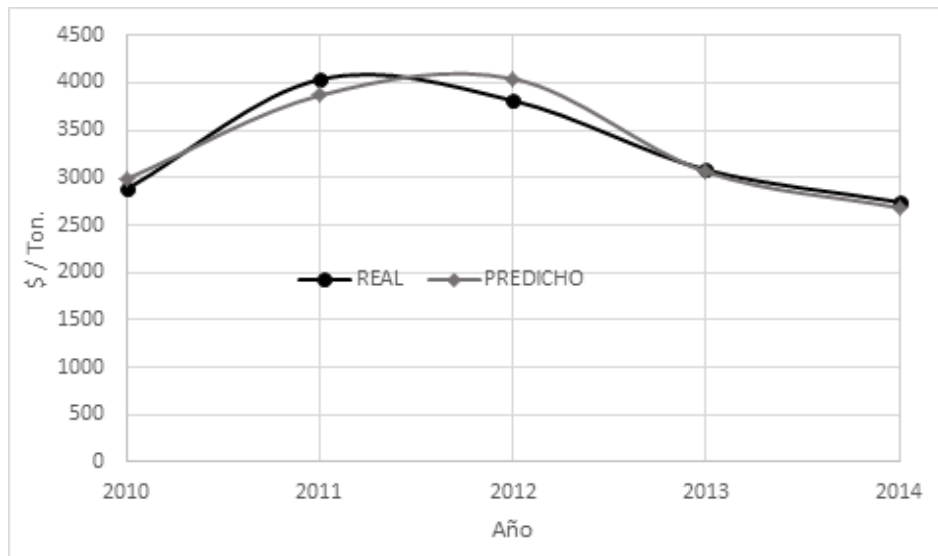


Una vez entrenada y validada la red se utilizó para fines predictivos, usando solo las entradas sin proveer las salidas, para los años 2010 – 2014 (Figuras 8 y 9).

**Figura 8. Precio real y simulado del maíz para el tiempo de predicción de la red sin incluir la variable del precio internacional del maíz**



**Figura 9. Precio real y simulado del maíz para el tiempo de predicción de la red incluyendo la variable del precio internacional del maíz**

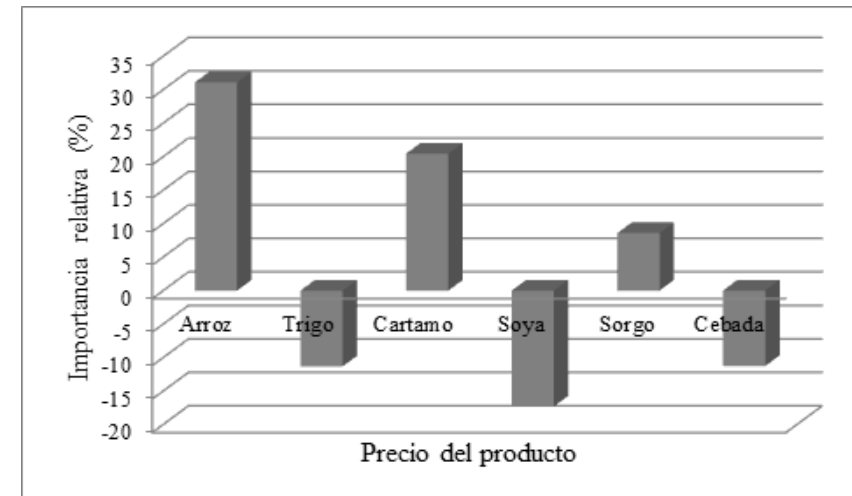


Existe muy poca diferencia entre los datos reales y los predichos en ambas redes (incluyendo o no la variable del precio internacional del maíz). Sin incluir la variable del precio internacional del maíz se observa que para el año 2012 la diferencia entre el precio real y el predicho es mínima (diferencia del 0.75%), mientras que para los otros años el porcentaje de cambio entre los precios reales y predichos esta entre un 3 y un 15% aproximadamente. Incluyendo la variable del precio internacional del maíz es aún menor la diferencia entre los datos reales observados y los predichos, en el año 2013 existe un porcentaje de diferencia mínimo de tan solo 0.72%, mientras que para los otros años el porcentaje de cambio también es bajo y va entre 2 y 4%, lo cual nos indica una muy buena respuesta de la red neuronal para fines predictivos.

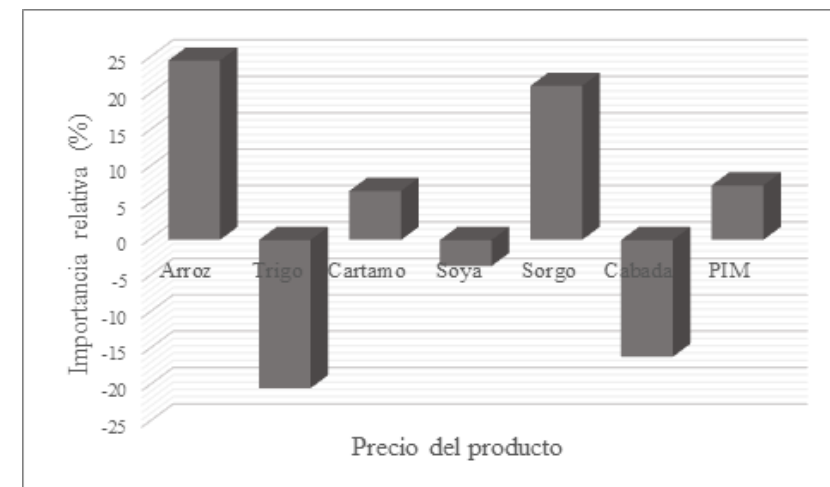
El análisis de sensibilidad se realizó utilizando el algoritmo de Garson, los resultados sin incluir e incluyendo el precio internacional se muestran en las Figuras 10 y 11 respectivamente. El precio del producto con mayor sensibilidad positiva fue el del arroz, es decir, que el efecto positivo en el precio nacional del maíz será mayor cuanto más grande sea el cambio que se produce en el precio nacional del arroz, mientras que el precio de la soya tuvo la mayor sensibilidad negativa, lo cual quiere decir que el efecto negativo en el precio nacional del maíz será mayor cuanto más grande sea el cambio que se produce en el precio nacional de la soya. Resulta coherente ver que los productos

con efectos negativos sobre el precio nacional del maíz, son los productos sustitutos (trigo, soya y cebada) y los que tienen un efecto positivo son aquellos productos que son complementarios (arroz, cártamo y sorgo).

**Figura 10. Efecto de los precios de 6 productos relacionados en el precio real nacional del maíz evaluado con el algoritmo de Garson**



**Figura 11. Efecto de los precios de 6 productos relacionados y del precio internacional del maíz (PIM) en el precio real nacional del maíz evaluado con el algoritmo de Garson**



En la figura 11 si se incluyó la variable del precio internacional del maíz y el análisis solamente cambio en la proporción del efecto de cada variable, ya que el precio de los productos sustitutos como el trigo, la soya y la cebada mantuvieron un efecto positivo sobre el precio nacional del maíz, mientras que el precio de los productos complementarios como el arroz, el cártamo y el sorgo siguieron teniendo un efecto negativo sobre el precio nacional del maíz, siendo el precio nacional del arroz la variable con mayor sensibilidad positiva sobre el precio nacional del maíz, es decir, que el efecto positivo en el precio nacional del maíz será mayor cuanto más grande sea el cambio que se produce en el precio nacional del arroz; mientras que el precio nacional del trigo fue la variable con mayor sensibilidad negativa, es decir, que el efecto negativo en el precio nacional del maíz será mayor cuanto más grande sea el cambio que se produce en el precio nacional del trigo. También se pudo comprobar que el precio internacional del maíz tuvo una sensibilidad positiva con el precio nacional del maíz (aunque en menor proporción que el precio nacional del trigo y la cebada), es decir un incremento del precio internacional del maíz, tiene efectos positivos sobre el precio real nacional.

## CONCLUSIONES

Durante el período de vigencia de PROCAMPO (1993-2013) los precios reales del maíz se mantuvieron estables, únicamente el precio del sorgo y la soya tuvieron un pequeño incremento, teniendo un efecto positivo para el consumidor. Dentro del análisis de correlaciones, se encontró una fuerte correlación entre el precio nacional del maíz y el precio productos relacionados a excepción del sorgo. Debido a que los datos obtenidos del precio del maíz no hacen distinción entre maíz forrajero o para fines alimenticios, se supone la fuerte relación con la cebada y la soya, ya que son productos también para fines forrajeros. En el caso del arroz se puede presumir la fuerte relación ya que ambos productos pertenecen a la canasta básica del mexicano como productos de primera necesidad.

Asimismo se utilizaron dos modelos de redes neuronales artificiales, la primera únicamente considerando como entradas los precios nacionales de 6 productos relacionados con el maíz que son el arroz, el trigo, el cártamo, la soya, el sorgo y la cebada, los resultados obtenidos en el entrenamiento, validación y prueba de esta red, mostraron que el precio simulado es muy cercano al precio real obteniéndose la mayor eficiencia con 11 nodos en la capa oculta. Sin embargo, la aplicación más importante de la red neuronal consiste en qué tan precisas son las predicciones a futuro, y se pudo constatar que la red predice con alta precisión tres años adelante con un porcentaje de cambio entre lo real y lo predicho muy bajo, que para el año 2012 fue de tan solo 0.75%

mientras que para los otros años el porcentaje de cambio entre los precios observados y predichos va entre un 3 y un 15% aproximadamente. La segunda red neuronal incluye además de los precios anteriores, el precio real internacional del maíz, la predicción fue mucho más precisa, abarcando hasta 5 años adelante, en esta red la mayor eficiencia se obtuvo con 9 nodos en la capa oculta y la precisión en la predicción fue incluso más alta que cuando no se incluyó ésta variable, ya que en el año 2013 existe un porcentaje de diferencia entre lo observado y lo predicho de tan solo 0.72%, mientras que para los otros años el porcentaje de cambio también es muy bajo y va entre 2 y 4%. Lo valioso de las redes neuronales es que la cantidad de supuestos que se tienen preconcebidos se minimizan, y solo se enfoca en los datos con los que se alimenta la red.

En cuanto al análisis de sensibilidad también se realizó en dos partes, la primera sin incluir el precio internacional del maíz, y se observó que el precio nacional del maíz presenta una alta sensibilidad a cambios en el precio del arroz, lo cual es un resultado lógico siendo que ambos productos forman parte de la canasta básica en México y además son productos complementarios, junto con el cártamo y el sorgo que se encuentran en la parte positiva de la gráfica de sensibilidad. Por otro lado el trigo, la soya y la cebada se ubican en la parte negativa de la gráfica de sensibilidad ya que su relación con el maíz es como productos sustitutos. En el segundo análisis de sensibilidad se incluyó el precio internacional del maíz y se pudo comprobar que el precio de los productos complementarios como el arroz, el cártamo y el sorgo se mantuvieron en la parte positiva de la gráfica de sensibilidad, lo cual quiere decir que el precio nacional del maíz presenta una sensibilidad positiva ante el cambio en el precio de estos productos, y que el precio de los productos complementarios tales como el trigo, la soya y la cebada se mantuvieron en la parte negativa, mientras que la sensibilidad entre el precio nacional del maíz y la variable del precio internacional del maíz fue positiva.

Finalmente se pudo corroborar la utilidad de los modelos de redes neuronales artificiales para la predicción de precios reales a futuro, en donde se obtuvieron resultados muy aproximados a la realidad, así como su capacidad para ponderar el impacto de otras variables de precio tanto de productos relacionados como de precios internacionales, toda esta información se puede considerar de gran importancia para el proceso de toma de decisiones dentro del ámbito de las políticas públicas encaminadas al apoyo de los productores agrícolas nacionales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Centro de Estudios de las Finanzas Públicas (CEFP) (2016). Índice de precios al consumidor con base en la segunda quincena de diciembre del año 2010 con datos del INEGI. Ciudad de México, México.

[www.cefp.gob.mx/intr/e-stadisticas/esta25.xls](http://www.cefp.gob.mx/intr/e-stadisticas/esta25.xls)

Cooper, J. C. (1999). Artificial neural networks versus multivariate statistics: an application from economics. *Journal of Applied Statistics*, 26(8), 909-921.

Garson, G. D. (1991). Interpreting neural-network connection weights. *AI Expert*, 6(4), 46-51.

González Merino, A., & Ávila Castañeda, J. F. (2014). El maíz en Estados Unidos y en México: Hegemonía en la producción de un cultivo. *Argumentos (México, DF)*, 27(75), 215-237.

Gryc, W. (2010). Neural network predictions of stock price fluctuations. Tech. Rep., 2010, <http://i2r.org/nnstocks.pdf>.

Hagan, M. T., Demuth, H. B., & Beale, M. H. (1996). *Neural network design*. Boston: Pws Pub. 19-21 p

Hecht-Nielsen, R. (1987). Nearest matched filter classification of spatiotemporal patterns. *Applied Optics*, 26(10), 1892-1899.

Lawrence, R. (1997). *Using neural networks to forecast stock market prices*. University of Manitoba.

Martínez Lozano, M. (2014). Metodología basada en redes neurales para interpretación de la resistividad del suelo en zonas urbanas. *Ingeniería Energética*, 35(1), 59-69.

Masters, T. (1993). *Practical neural network recipes in C++*. Morgan Kaufmann.

Montgomery, D. C., Jennings, C. L., & Kulahci, M. (2015). *Introduction to time series analysis and forecasting*. John Wiley & Sons.

Olden, J. D., & Jackson, D. A. (2002). Illuminating the “black box”: a randomization approach for understanding variable contributions in artificial neural networks. *Ecological modelling*, 154(1), 135-150.

Schwentesi Rindermann, R., Gómez Cruz, M. Á., Trujillo, J. D. D., & Durán Ferman, P. (2007). Metaevaluación de tres evaluaciones oficiales de la SAGARPA del programa de pagos directos (PROCAMPO) a la agricultura mexicana. *Estudios sociales (Hermosillo, Son.)*, 15(30), 104-134.

Sistema de Información Agropecuaria de Consulta (SIACON) (2017). *Precios de productos nacionales por año*. SAGARPA, México.

The World Bank Commodity Prices. <http://www.worldbank.org/en/research/commodity-markets>

Villada, F., Muñoz, N., & García-Quintero, E. (2016). Redes Neuronales Artificiales aplicadas a la Predicción del Precio del Oro. *Información tecnológica*, 27(5), 143-150.

Wallach, D., Makowski, D., Jones, J. W., & Brun, F. (2013). *Working with Dynamic Crop Models: Methods, Tools and Examples for Agriculture and Environment*. Academic Press.

Wilks, D. S. (2011). *Statistical methods in the atmospheric sciences*(Vol. 100). Academic press.

*Integración Económica y Rentabilidad en la Agricultura*  
se publicó en septiembre de 2019.  
Para su composición se emplearon las fuentes  
Times New Roman de 9 y 12 pts y  
Soberana Sans Condensada 12 y 18 pts.  
Diseño editorial: [linkverde2004@yahoo.com.mx](mailto:linkverde2004@yahoo.com.mx)  
El cuidado de la edición estuvo a cargo  
de Francisco Pérez Soto