

---

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL PRECIO DEL MAÍZ UTILIZANDO UN  
MODELO DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES**

**TESIS  
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:  
DOCTOR EN ECONOMÍA AGRÍCOLA**

**PRESENTA:  
OSCAR ARIEL ZERECERO SALAZAR**



**DIRECCION GENERAL ACADEMICA  
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES  
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES**

**NOVIEMBRE DE 2017**

**Chapingo, Estado de México**

El presente trabajo de tesis "Análisis del comportamiento del precio del maíz utilizando un modelo de redes neuronales artificiales" fue elaborado por el M. C. Oscar Ariel Zerecero Salazar como requisito para obtener el grado de Doctor en Ciencias en Economía Agrícola por la Universidad Autónoma Chapingo.

La dirección del mismo estuvo a cargo de la Dra. Raquel Salazar Moreno del Posgrado en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua de la Universidad Autónoma Chapingo.

El consejo de tesis estuvo integrado de la siguiente manera:

DIRECTOR:  \_\_\_\_\_

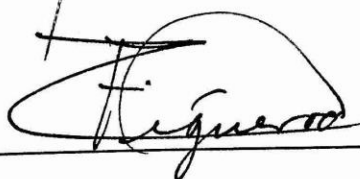
Dra. Raquel Salazar Moreno

ASESOR:  \_\_\_\_\_

Dr. Gerónimo Barrios Puente

ASESOR  \_\_\_\_\_

Dr. Francisco Pérez Soto

LECTOR EXTERNO  \_\_\_\_\_

Dra. Esther Figueroa Hernández

## **DEDICATORIA**

A Dios por darme la oportunidad de estudiar el Doctorado en Economía por ponerme en el lugar y momento indicado y por guiarme siempre.

A mi mamá Olga Salazar por ser mi compañera, cómplice y gran apoyo en todo momento, a mi papá Oscar Armando Zerecero (Q.E.P.D) por ser siempre mi inspiración para seguir creciendo y a mi hermana Brenda Carolina Zerecero por su apoyo incondicional..

A mis compañeros de Generación (2013-2017) por su amistad y entrega en estos años de aprendizaje y crecimiento personal, los aprecio mucho.

A la Dra. Raquel Salazar por su tiempo, disposición y enorme ayuda para la realización de este sueño.

A mis amigos y familiares que sé que siempre cuento con ellos, y por brindarme su apoyo en cualquier proyecto de vida.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico brindado el cual fue indispensable para concluir esta meta.

Al programa de posgrado de la División de Ciencias Económico Administrativas, por su disposición y apoyo en cada una de las actividades académicas que se llevaron a cabo.

A la Dra. Raquel Salazar Moreno por su tiempo, su disposición, su entrega y por compartirme su gran conocimiento para llevar a cabo este trabajo que fue clave para alcanzar un sueño que comenzó en 2013 y ahora se hace una realidad.

A mis asesores de tesis, Dr. Marcos Portillo Vázquez, Dr. Francisco Pérez Soto y Dra. Esther Figueroa Hernández, por su gran apoyo y disposición para la culminación de este trabajo.

A todos mis profesores del Posgrado en Economía de la Universidad Autónoma Chapingo, así como al personal administrativo que labora ahí, por su invaluable apoyo y conocimientos transmitidos que sin duda formaron parte vital para presentar este trabajo.



## **DATOS BIOGRÁFICOS**

### **Datos personales**

Nombre: Oscar Ariel Zerecero Salazar

Fecha de Nacimiento: 30 abril de 1979

Lugar de Nacimiento: Ciudad de México

CURP: ZESO790430HMCRLS03

Profesión: Lic. Comercio Internacional

Cédula Profesional 8322070

### **Desarrollo Académico**

Bachillerato: Universidad Autónoma Chapingo

Licenciatura: Universidad Autónoma Chapingo

Maestría: Colegio de Postgraduados

## **Experiencia Profesional**

SEDAGRO:

Gerente en programa de apoyo a productores de nopal y tuna del Estado de México

Federación Mexicana de Fútbol:

Coordinación de Selecciones Femeniles

Coordinación de Selecciones Menores Varoniles

## RESUMEN

(Análisis del comportamiento del precio del maíz utilizando un modelo de redes neuronales artificiales)

El contexto bajo el cual los productores mexicanos recibieron apoyo gubernamental de 1993-2013, respondió a la apertura de la economía nacional. El precio real del maíz disminuyó durante la existencia de este programa. El objetivo del presente estudio fue construir dos modelos de Redes Neuronales Artificiales (RNA) para predecir los precios nacionales del maíz usando datos de 1980-2014, uno incluyendo solamente precios internos de otros productos y el segundo tomando en cuenta también el precio internacional del maíz. El propósito 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. Ambos modelos demostraron tener un alto poder predictivo del precio nacional del maíz en 5 y 3 años hacia adelante. Se realizó el análisis de sensibilidad utilizando el algoritmo de Garson y se pudo demostrar que el arroz, el cártamo y el sorgo son productos complementarios del maíz, donde el precio del arroz fue 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, sin embargo se obtuvo una sensibilidad negativa entre el precio nacional e internacional del maíz, éste comportamiento se explica por el hecho de que durante la existencia del PROCAMPO, los precios nacionales reales fueron forzados a permanecer estables mientras que el precio internacional se incrementaba. 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 decisión de las políticas públicas encaminadas al apoyo de los productores agrícolas.

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

## ABSTRACT

(Analysis of corn price behavior using an artificial neural networks model)

The background under which Mexican producers were supported by the Government from 1993-2013 correspond to the opening of the national economy in Mexico. The real maize price was decreasing during the existence of this program. The objective of this study was to build two Artificial Neural Network Models (ANN) for prediction of the maize internal prices using data from 1980 to 2014 (available data), one including only internal prices of other products and the second takes into account also the international maize price. The purpose was to analyze the impact of internal related products and international maize price on the behaviour of internal maize price. Both models demonstrated the powerfull of the ANN for prediction of the maize prices 3 and 5 years ahead. Also a sensitivity analysis was performed using Garson's algorithm, through which was demonstrated that rice, the safflower and the sorghum are corn's complementary products, having the rice price as the variable with a major positive impact on the national corn price. On the other hand, wheat, soybean and barley behave as corn's substitute products, with wheat price being the variable with major impact on the corn price. Including the international corn price the behaviour of the other variables remains, however there was a negative sensibility between the international and national corn price; this behaviour is explained by the fact that during PROCAMPO existence, the national prices were forced to be stable while the international maize price was increasing. Finally, this study showed the application of the ANN models in a particular product price, with the possibility of being used in the decision making process for the application of subsidies to the agricultural producers in public policies.

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



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA</b>	<b>Título</b>	<b>Pág.</b>
FIGURA 1	Principales componentes de un perceptrón multicapa clásico.....	28
FIGURA 2	Ejemplo de una red neuronal totalmente conectada.....	33
FIGURA 3	Esquema de la red neuronal implementada para predecir el precio del maíz con el precio de 6 productos relacionados.....	46
FIGURA 4	Esquema de la red neuronal implementada para predecir el precio del maíz incluyendo el precio real internacional del maíz (PRIMA).....	47
FIGURA 5	Producción de maíz en México del año 1980 al 2012 (Ton.).....	51
FIGURA 6	Precio real nacional del maíz en México del año 1980 al 2012 (\$/ton).....	52
FIGURA 7	Precio nominal del maíz, 6 productos relacionados y precio internacional del maíz (1980-2014) \$/ton.....	53
FIGURA 8	Precios reales del maíz, 6 productos relacionados y precio internacional del maíz (1980-2014) \$/ton.....	54
FIGURA 9	Matriz de correlación del precio real del maíz, 6 productos relacionados y precio real internacional del maíz.....	56
FIGURA 10	Resultados del Entrenamiento, Validación y Prueba de la red sin incluir la variable del precio internacional del maíz.....	57
FIGURA 11	Resultados del Entrenamiento, Validación y Prueba de la red incluyendo la variable del precio internacional del maíz.....	58
FIGURA 12	Comparación del precio real observado y simulado por la red sin incluir la variable del precio internacional del maíz.....	58
FIGURA 13	Comparación del precio real observado y simulado por la red incluyendo la variable del precio internacional del maíz.....	59
FIGURA 14	Niveles de eficiencia de las dos redes en función del número de nodos en la capa oculta.....	60
FIGURA 15	Precio real y simulado del maíz para los años 2010 - 2014 sin incluir la variable del precio internacional del maíz.....	61
FIGURA 16	Precio real y simulado del maíz para los años 2010 - 2014 incluyendo la variable del precio internacional del maíz.....	62
FIGURA 17	Efecto de los precios de 6 productos relacionados en el precio real nacional del maíz evaluado con el Algoritmo de Garson.....	64

FIGURA 18 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.....

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>CUADRO</b>	<b>Título</b>	<b>Pág.</b>
CUADRO 1	Funciones de transferencia .....	30
CUADRO 2	Estadística básica de precios reales del maíz, 6 productos relacionados y precio internacional del maíz .....	55
CUADRO 3	Medidas de ajuste de la red obtenidas con el cambio en el número de nodos en la capa oculta sin incluir la variable del precio internacional del maíz .....	59
CUADRO 4	Medidas de ajuste de la red obtenidas con el cambio en el número de nodos en la capa oculta incluyendo la variable del precio internacional del maíz .....	60
CUADRO 5	Precio nacional del maíz real y predicho para los años 2010 - 2014 sin incluir la variable del precio internacional del maíz .....	62
CUADRO 6	Precio nacional del maíz real y predicho para los años 2010 - 2014 incluyendo la variable del precio internacional del maíz .....	63

## CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Antecedentes del maíz en México.....	1
1.2. Planteamiento del problema y justificación .....	4
1.3. Objetivos .....	11
1.4. Hipótesis .....	12
<b>2. REVISION BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>13</b>
2.1. Subsidios, el PROCAMPO y su relevancia en el sector agroalimentario de México.....	13
2.1.1. Los subsidios en la agricultura.....	15
2.1.2. Subsidios en países desarrollados y subdesarrollados.....	17
2.1.3. Política de subsidios agrícolas en México.....	19
2.1.4. PROCAMPO y sus objetivos.....	23
2.2. Redes Neuronales Artificiales.....	27
2.2.1. Qué son las redes neuronales artificiales?.....	27
2.2.2. Funciones de transferencia.....	29
2.2.3. Redes neuronales artificiales como instrumento de predicción.....	31
2.2.4. Criterios para definir el número de nodos en la capa oculta.....	40
2.2.5. Medidas de ajuste.....	40
2.2.6. Construcción de la red.....	42
2.2.7. Análisis de sensibilidad utilizando el algoritmo de Garson.....	43
<b>3. METODOLOGÍA</b> .....	<b>44</b>
3.1. Información sobre precios.....	44
3.2. Modelo de Redes Neuronales Artificiales.....	45
3.3. Fases de la metodología de redes neuronales.....	48
3.4. Análisis de sensibilidad utilizando el algoritmo de Garson.....	49
<b>4. RESULTADOS</b> .....	<b>51</b>

4.1. Producción y precio del maíz en México durante el periodo de PROCAMPO.....	51
4.2. Comportamiento de precios nacionales nominales y reales del maíz (1980-2014) .....	52
4.3. Matriz de correlación del precio nacional del maíz con precios de 6 productos relacionados y precio internacional del maíz .....	55
4.4. Entrenamiento, Prueba y Validación de la red .....	57
4.5. Precio del maíz observado y simulado por la red .....	58
4.6. Predicción de la red .....	61
4.7. Resultados del análisis de sensibilidad .....	63
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>67</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>70</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>75</b>
Anexo A. Procedimiento para deflactar precios.....	75
Anexo B. Programación en Matlab para la ejecución de las dos redes neuronales utilizadas y matriz de correlaciones.....	87
Anexo C. Algoritmo de Garson.....	95

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Antecedentes del Maíz en México

México es la décima cuarta economía mundial y el onceavo país exportador. Tiene fuerza laboral calificada y competitiva y tiene una ubicación geográfica estratégica, con acceso directo a muchos mercados. También se beneficia de la red más amplia de acuerdos de libre comercio en el mundo.

En México la economía está sustentada en el mercado libre orientado a las exportaciones. Es la 1.<sup>a</sup> potencia económica más grande de Hispanoamérica, la 2.<sup>a</sup> de América Latina y la 3.<sup>a</sup> economía de mayor tamaño de toda América, solo después de la de los Estados Unidos y la de Brasil. (González & Ávila, 2014).

A pesar de su estabilidad macroeconómica que ha reducido la inflación y las tasas de interés a mínimos históricos y que ha incrementado el ingreso per cápita, existen grandes brechas entre ricos y pobres, los estados del norte y los del sur, y entre la población urbana y rural. Algunos de los retos para México siguen siendo mejorar la infraestructura, modernizar el sistema tributario y las leyes laborales así como reducir la desigualdad del ingreso.

La agricultura es un actividad que realiza el hombre para poder atender la creciente demanda de alimentos que se requiere para satisfacer a la población que crece constantemente. Es por eso que es una actividad de suma importancia para México, ya que no solo es la que provee alimento a todas las personas que habitan el territorio nacional, también forma parte de la economía del país debido a que estos productos también se exportan a diferentes lugares del mundo.

Pero para poder cubrir las necesidades de los habitantes de México es necesario saber cuántas personas viven, cuáles son sus condiciones económicas, y en que parte del país se encuentran por mencionar algunas, por ello es de suma importancia basarse en organismos de demografía para saber estos datos, los cuales llegan a ser útiles en el sentido de que ya se sabe cuánto se tiene que

producir para cubrir las necesidades alimentarias de los mexicanos, y cuánto se tiene disponible para comercializar.

La agricultura en México ha ido evolucionando a través del tiempo adaptándose nuevas técnicas cuando no se cuenta con los recursos necesarios, o trayendo tecnología de otro país, que muchas veces solo ha perjudicado ya que por una parte ayuda a satisfacer la demanda pero por otra parte afecta a las personas que viven de esta actividad al desplazar una gran cantidad de mano de obra, la agricultura se ha topado con grandes inconvenientes que han amenazado con terminar con ella, siendo el más importante que el país no cuenta con los suficientes recursos para realizar satisfactoriamente esta actividad ,por lo que desde décadas pasadas el campo ha sido abandonado por los trabajadores que se han ido del campo en busca de una mejor vida para ellos y su familia.

Una de las características más importantes de la agricultura en México es la heterogeneidad que existe dentro del propio sector, ya que hay una gran polarización, puesto que prevalece por un lado, la agricultura de subsistencia o tradicional, donde el campesino depende de la lluvia para producir y utiliza mano de obra no asalariada generalmente para el autoconsumo. Por otro lado, se encuentra la agricultura comercial, donde mecanismos de irrigación, mano de obra asalariada y alta tecnología son empleados, y a diferencia de la agricultura de subsistencia, las cosechas se destinan principalmente al mercado para el comercio.

Dicha heterogeneidad también se manifiesta en términos regionales, siendo la región norte del país, la que en términos generales emplea las técnicas agrícolas más desarrolladas y la que recibe mayor porcentaje de inversión extranjera. La región sur, tiene una mayor presencia de agricultores tradicionales y contiene los estados más pobres; esto podría sugerir que existe un vínculo entre pobreza y agricultura tradicional; sin embargo, esto no es tan simple, pues existen una gran cantidad de factores que generan la pobreza o ruralidad, ya que no todo lo rural es agrícola, ni todo lo agrícola es rural (Herrera, 2004).

Lo que se puede afirmar es que la situación de marginalidad y pobreza se manifiesta en mayor medida en los pequeños productores agrícolas o campesinos, con respecto a los medianos y grandes productores comerciales.

La polarización y heterogeneidad que se refleja en los productores y en las regiones agrícolas, se ha intensificado con la apertura comercial a la que se ha sometido a dicho sector a través del TLCAN. Sin embargo, la situación de la agricultura en México no es producto únicamente de la apertura comercial sino de una serie de factores y circunstancias que se han presentado de manera histórica y que han afectado de manera importante al campo mexicano.

Hoy 8 de cada 10 productores del campo no tienen recursos para ser productivos bajo una lógica de eficiencia y productividad.

Generalmente la aplicación de subsidios específicos al consumo o a la producción de un producto cualquiera, tiene su origen en la intención de los países de alcanzar metas sociales, o bien favorecer a determinadas personas, actividades o zonas de un país. Dentro de este contexto, México en el año de 1993 instituyó el programa PROCAMPO, el cual se entendía como un apoyo directo al campo, para apoyar el ingreso de los productores sin distorsiones en los precios, propiciar la capitalización de los campesinos y favorecer la conversión productiva. Por primera vez en la historia se otorgaron apoyos directos al campesino que consistían en pagos por hectárea, y le aseguraba al productor un ingreso monetario independientemente de cuánto producía o de si consumía toda su producción o parte de ella. Este programa tuvo una gran aceptación entre los productores ya que lo veían como una alternativa para incrementar la producción en el campo y mejorar sus niveles de vida.

Los países desarrollados fomentan los subsidios ya que son aplicados para estimular artificialmente el consumo o la producción de un bien o servicio. Son los mecanismos contrarios a los impuestos.

Actualmente en México lo que más se siembra es el maíz en un porcentaje de más del cincuenta por ciento, por ser un alimento básico en la dieta del mexicano, del mismo modo que el frijol.



Los programas de subsidio al campo entonces, han sido una alternativa de crecimiento para muchos productores de bajos ingresos, y también para equilibrar un poco las ganancias de los agricultores, o al menos esa ha sido la intención.

El comercio internacional constituye un aspecto de relevancia en la economía de cada país, es por ello que con la apertura de los mercados, la producción nacional debe prepararse para ser más eficiente y competitiva con relación a la producción extranjera.

En las últimas décadas, el comercio mundial, ha evolucionado debido a las disminuciones arancelarias hechas por los diversos países de manera parcial, de manera conjunta a través de tratados de libre comercio y en forma multilateral.

Los productores e industriales nacionales tendrán que hacerse más competitivos para enfrentar los retos que se presenten tanto en precio, calidad y servicio de los bienes importados, de lo contrario se verán desplazados de su propio mercado ante la gran cantidad de competencia existente en el ámbito internacional.

## **1.2 Planteamiento del problema y justificación**

El maíz en Mesoamérica y el suroeste del actual Estados Unidos fue el alimento base, pues el maíz se cultivaba en tiempos prehispánicos en todo el continente americano. Diversos reportes comprueban su presencia en los pueblos agrícolas desde los 45° norte, cerca de Montreal, Canadá, hasta los 40° sur, mil km al sur de Santiago de Chile. Hoy en día se siembra maíz incluso cinco grados más al norte y al sur. Este grano es sumamente adaptable no sólo respecto a latitud; está también habituado a diversas altitudes y se le cultiva desde el nivel del mar, hasta los 3 500 m. En cuanto a precipitación pluvial en México se le cultiva desde el Altiplano Potosino, con una precipitación anual de 400 mm, hasta Chiapas con precipitaciones de más de 4000 mm al año (González & Ávila, 2014).

Los campesinos indígenas han sido ingenieros genéticos por milenios y generado, por selección y experiencia, un maíz adecuado para cada nicho ecológico: matas

de rápido crecimiento para las zonas con escasez de agua, hojas de color violeta en regiones frías para resistir las bajas temperaturas, y variedades pequeñas en las áreas con mucho viento.

El maíz fluye del campo a la ciudad y a pesar de que la modernidad y las comidas rápidas cada día son más cotidianas, en México se sigue consumiendo el maíz como un alimento en la dieta básica de toda la población. Además, cada vez se consumen más en el mundo guisados mexicanos con maíz, aunque en versiones adaptadas a cada país. En el campo el maíz desempeña un papel central en la vida cotidiana de los productores, su abundancia significa prosperidad, y su carencia pobreza y hambre. El maíz rige la vida de millones de personas en México, es el que marca el tiempo; los hombres del campo están vinculados al ciclo agrícola anual, las mujeres también marcan su día en base al maíz: desgrane, nixtamalización, molienda y preparación de las tortillas, el pozol y los diversos platillos ancestrales a base de este grano. Miles de hombres y mujeres basan su tiempo y están ligados a él cada día, cada año. Aunado a esto es importante decir que además el maíz se utiliza como insumo en la producción de ganado, almidones, féculas, botanas, etc., por lo cual los aumentos en su precio impactan en la inflación de productos pecuarios e industriales.

A pesar de toda la importancia del maíz en México y considerado históricamente como el país del maíz, de donde se originó este importante grano, actualmente no es autosuficiente en su producción. En el período 1988-2007 México fue el cuarto productor mundial de maíz (FAO, 2009); sin embargo, la producción sólo cubrió la demanda de maíz blanco, en tanto que el consumo de maíz amarillo fue abastecido con importaciones. Después del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), las importaciones de maíz aumentaron a más de siete millones de toneladas en 2007 (FAO, 2009), siendo México el tercer importador mundial. Esto propició un incremento en el índice de dependencia alimentaria, de 18 % en 1985 a 33 % en 2008 (Chauvet y González, 2009).

Se pronosticó que durante el ciclo comercial 2016-2017 se lograría el nivel de producción mundial de maíz más alto de la historia. Para este periodo se obtendrían 1,025.6 millones de toneladas de maíz. Lo anterior representa un aumento esperado de 6.9 por ciento con respecto a la producción de 2015-2016 (FIRA, 2016). En particular, se esperan crecimientos considerables en la producción de maíz en Estados Unidos, Brasil, Argentina y Ucrania, entre otros. Así, el mercado mundial de maíz pasa por un periodo de amplia disponibilidad, observada a través de volúmenes de producción e inventarios finales históricos, y por consecuencia, de precios a la baja. Asimismo, se espera un incremento anual de 3.2 por ciento en el consumo mundial, para totalizar 1,008.7 millones de toneladas en 2016-2017, de las cuales 61.9 por ciento corresponde a consumo forrajero y el restante 38.1 por ciento a consumo humano, industrial y semilla (FIRA, 2016). Siguiendo esta tendencia de crecimiento, las exportaciones mundiales de maíz observaron un incremento significativo durante los últimos ciclos comerciales, ante la marcada disponibilidad del grano. Así, éstas totalizaron 138.6 millones de toneladas en el ciclo 2015-2016. Las expectativas para el ciclo 2016-2017 estiman un incremento anual de 20.4 por ciento (FIRA, 2016). Con amplia disponibilidad de grano en el mundo, el precio internacional de referencia se encuentra en niveles bajos. En el entorno nacional, la producción de maíz grano en México en el año agrícola 2015 creció a una tasa anual de 6.1 por ciento para totalizar 24.69 millones de toneladas. Para este periodo, diez estados concentraron el 80 por ciento de la producción nacional. Destaca Sinaloa que se ubica como el principal productor de maíz en el país con una participación de 21.8 por ciento. En lo que a expectativas por ciclo comercial se refiere, para el ciclo septiembre 2016/octubre 2017 se esperó una producción nacional de 26.7 millones de toneladas, lo que significa un aumento a tasa anual de 3.1 por ciento. Por otro lado, se previó que el consumo nacional creciera para el ciclo comercial 2016-2017, es decir, que el consumo de maíz grano en nuestro país aumentó 0.4 por ciento a tasa anual, para ubicarse en 38.7 millones de toneladas (FIRA. 2016).

Al aumentar el consumo de maíz, la dependencia por importaciones de maíz coloca a México en una posición desfavorable ante el escenario internacional actual.

El Estado es el catalizador de los procesos organizativos en el territorio. Su rol es fundamental para que las organizaciones locales puedan consolidar los procesos de ocupación territorial y generación de empleo genuino en pos de lograr la soberanía y seguridad alimentarias, garantizando así un desarrollo productivo con equidad social y sostenibilidad ambiental.

Las políticas públicas para el desarrollo rural se construyen desde el Estado para dar respuestas a las aceleradas transformaciones generadas por estímulos externos y cómo estos son procesados internamente, cuyas consecuencias no son siempre deseables en términos de desarrollo integral. Frente a este panorama, el accionar del Estado es objeto de disputa entre diferentes concepciones, que si bien en la realidad se presentan bajo múltiples formas, pueden distinguirse a fines analíticos en dos posiciones: aquellos que sostienen que el contexto externo representa una oportunidad económica a aprovechar, independientemente de cómo se distribuyan los beneficios y qué impactos genera de cara al futuro en términos ambientales y sociales, y los que entienden que no existe desarrollo en tanto el crecimiento no repercuta en un mejoramiento de las condiciones de vida en los territorios ni se conserven las bases de reproducción del sistema para las generaciones venideras (Catalano & Mosse, 2013).

La primera posición es afín a una perspectiva en la que el Estado debe maximizar las oportunidades de crecimiento económico del sector rural como un todo, sin discriminar entre las posibilidades relativas de los distintos actores ni las consecuencias del crecimiento sobre los territorios más allá del aumento de la productividad en determinadas cadenas de valor.

El crecimiento por sí solo no garantiza un desarrollo equitativo. Un objetivo central de la política pública debe ser profundizar los procesos organizativos en la sociedad civil, como la vía que garantice el desarrollo productivo con equidad social y sostenibilidad ambiental. Así como también reestructurar todo el sistema desde sus

bases, para evitar así la corrupción que ha crecido como un cáncer dentro de todo el sistema productivo, de distribución y comercialización.

México necesita un cambio en la política pública, es necesario el reconocimiento de los pequeños y medianos productores como entes que pueden generar eficiencia y productividad; se debe realizar una inversión productiva pública para ese tipo de productores; se requiere un subsidio más progresivo y redistributivo, se requiere acceso al crédito, porque sólo el 6 por ciento de productores tiene acceso a FIRA a tasas competitivas, y es que las tasas de México son mayores a las tasas que tienen países como Estados Unidos o Brasil. Lo importante es iniciar y profundizar en la discusión de este tema necesario para combatir la pobreza en México.

Uno de los esfuerzos que se hicieron en el pasado para incentivar la producción de maíz en México fue el programa de apoyo PROCAMPO que se definió como un subsidio directo que el gobierno federal otorgó a través de la SAGARPA hasta 2013, el PROCAMPO comenzó su ejecución a finales de 1993, fecha que marca el inicio de labores del año agrícola 1994.

El contexto bajo el cual surgió el programa responde a la apertura de la economía nacional, derivado de este entorno se planteó la modernización del campo mexicano que, entre otras reformas, implicó modificar el esquema tradicional de apoyos al sector agropecuario y forestal.

Sustituyó al esquema de subsidios basado en los precios de garantía, el cual no beneficiaba a un número importante de productores.

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 (SARH, 1993; Schwentesius et al., 2007).

Sin duda este apoyo tuvo puntos positivos en cuanto a la producción y precios de algunos productos sin embargo se necesita que los apoyos sean mejores; invertir en infraestructura agrícola (investigación, capacitación, carreteras); y que los subsidios sean transparentes.

PROCAMPO ofreció una ayuda insuficiente, porque subsidio no significa oportunidad y productividad, PROCAMPO se define como un programa que da dinero al productor para que tenga una compensación de ingresos, eso no es otra cosa más que subsidio.

PROCAMPO, es un subsidio por hectárea, luego entonces, si el 80 por ciento de los campesinos tienen menos de cinco hectáreas, entonces el 20 por ciento de productores con grandes propiedades reciben enormes cantidades de subsidio; son los grandes productores los que pueden competir dados sus amplios recursos, pero además son los que mayor cantidad de subsidios reciben dadas las extensiones de tierra que poseen.

Dadas algunas reformas aprobadas por el Congreso, se aprobó una ley en la cual el tope de subsidio es de 100,000 mil pesos por agricultor, o sea sólo se recibe subsidio por la posesión de 100 hectáreas, esto es 1000 pesos por hectárea. No obstante el 20 por ciento de productores se lleva el 60 por ciento del subsidio y el 80 por ciento de productores recibe solamente el 40 por ciento de los recursos (Schwentenius et al., 2007).

De las 5.4 millones de unidades de productores, el 60 por ciento vive por abajo del nivel de pobreza, y es aquí cuando surge la pregunta ¿La solución de PROCAMPO fue para todos o para unos cuantos? Se podría decir que fue para unos cuantos, porque al resto sólo les sirve como ingreso para su consumo familiar. Sin embargo puede que haya sido el inicio para un verdadero cambio en cuanto a las políticas públicas que se deben seguir aplicando en el campo mexicano, y aprender de los errores que se han tenido.

Las políticas públicas de apoyo al campo van dirigidas particularmente a los que más tienen, por ello se debe pensar en una política agropecuaria que esté diferenciada, y es que no ha habido una verdadera política pública que busque sacar a este importante sector mexicano del hoyo en el cual se encuentra.

Dentro de las comunidades rurales, la política de subsidio al campo ha desmantelado la producción interna de alimentos, se acabó el auto consumo porque el gobierno dejó de invertir en el campo para pasar a depender de importaciones de alimentos en un 45 por ciento hoy en día.

Desde su aparición, PROCAMPO fue una de las principales herramientas de política pública sectorial, debido a sus asignaciones presupuestales y ha sido el programa federal con mayor población rural atendida.

Los países desarrollados fomentan los subsidios ya que son aplicados para estimular artificialmente el consumo o la producción de un bien o servicio. Son los mecanismos contrarios a los impuestos. Generalmente la aplicación de subsidios específicos al consumo o a la producción de un producto cualquiera, tiene su origen en la intención de los países de alcanzar metas sociales, o bien favorecer a determinadas personas, actividades o zonas de un país (Schmitz et al., 2006).

El comercio internacional constituye un aspecto de relevancia en la economía de cada país, es por ello que con la apertura de los mercados, la producción nacional tiene que prepararse para ser más eficiente y competitiva con relación a la producción extranjera. A través de importaciones y exportaciones, se influye en la cantidad disponible de alimentos, así como en la actividad económica de los países de la región, en el empleo y en el nivel de precios tanto internacional como de cada país internamente. Con el nivel de precios internacionales desfasado del precio interno se genera una dependencia internacional lo que en los países latinoamericanos ha sido una herencia histórica, en cuanto a la necesidad de importar ciertos alimentos y de productos básicos como el maíz, que forman parte de la canasta básica alimentaria.

Las fluctuaciones del precio internacional es una de las razones que hace que la dependencia pueda ser dañina para los habitantes. Durante muchos años, el sector agrario latinoamericano se ha visto afectado tanto por el comportamiento de los mercados de productos agrícolas a nivel mundial como por fenómenos climatológicos que han mermado en forma importante los volúmenes de producción, con consecuencias directas en los ingresos familiares, y en la oferta de bienes.

La producción de maíz en México tiene gran impacto sobre el panorama internacional; si además de esto se considera que la producción de maíz en nuestro país ocupa más del 30% de la superficie sembrada, 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 en 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. Para tal fin se utilizaron las redes neuronales, que es la herramienta que mejores resultados ha presentado para la predicción de precios, tomando en cuenta variables como el precio internacional del maíz y los precios de otros productos relacionados, los resultados nos ayudarán a poder sugerir alguna estrategia que permita tener precios competitivos con respecto a los precios internacionales. En el presente trabajo se plantean los siguientes objetivos:

#### **1.4 Objetivos**

1. Analizar el programa PROCAMPO con el fin de conocer su efectividad para incentivar la producción y estabilizar los precios del maíz.
2. 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 predecir los precios del maíz 3 y 5 años adelante.



3. Realizar el análisis de sensibilidad para determinar cuánto y de qué manera influyen los precios de productos relacionados y el precio internacional del maíz, sobre el precio nacional del maíz.

### **1.5 Hipótesis**

- a) Las redes neuronales artificiales son herramientas eficientes para poder predecir los precios nacionales del maíz con base en los precios de productos relacionados y en el precio internacional del maíz.
- b) Con la aplicación del programa PROCAMPO se obtuvieron resultados positivos en cuanto a incentivar la producción de maíz en México y estabilizar el precio interno del maíz, logrando hacerlo más competitivo a nivel internacional.
- c) El precio internacional del maíz y los precios internos de otros productos relacionados son variables importantes en la determinación del precio nacional del maíz.

## **2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Subsidios, el PROCAMPO y su relevancia en el sector agroalimentario de México.**

Los subsidios se podrían definir como acciones del gobierno que fomentan ciertas actividades específicas o mejoran la rentabilidad de determinados sectores de una economía (Goetzl, 2006). En el sentido más amplio, casi todos los programas gubernamentales podrían ser considerados como subsidios. No obstante, no todas las acciones del gobierno afectan la competitividad de sectores específicos de una economía. En la medida en que el gobierno presta apoyo financiero, directo o indirecto, para ayudar a un sector determinado de la economía, este apoyo financiero se puede considerar como un subsidio.

El término “subsidio” abarca una amplia gama de intervenciones y políticas económicas gubernamentales. Existen definiciones diversas y esquemas de clasificación para los subsidios. De manera general se puede decir que es un beneficio para los individuos o negocios como resultado de una política gubernamental que incrementa sus ingresos o reduce sus costos, afectando, en consecuencia, la producción, el consumo, el comercio, los ingresos y el medio ambiente. El beneficio que genera la política puede tomar formas distintas, como un incremento en el precio de producción total, una reducción en el precio de consumo, una disminución en los impuestos, una concesión en la tasa de interés, o una transferencia presupuestal directa (Portugal, 2002).

Los subsidios no siempre son transparentes y los datos sobre el valor de los mismos no se miden de manera coherente. La Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (O.E.C.D., 2004) estima que sus países miembros transfieren anualmente 400 mil millones de dólares a los diferentes sectores. Otros análisis calculan los subsidios a escala mundial en más de un billón de dólares, o el equivalente del 4% del producto interno bruto mundial (Knirsch et al., 2006). Si bien los subsidios de los países industrializados suelen estar destinados a la agricultura, el transporte y las manufacturas, los países en desarrollo suelen subsidiar

mayormente los sectores de energía, agua, pesca y, en menor medida, la agricultura (Pearce, 2003).

Los subsidios adquieren un carácter contencioso cuando favorecen a un sector de la economía en detrimento de otro, inhiben la competencia, causan impactos ambientales adversos o distorsionan el comercio. Los subsidios se cuentan entre las medidas no arancelarias más controvertidas del programa de la Organización Mundial del Comercio (OMC) y otras negociaciones comerciales, pues pueden, y suelen, afectar las estructuras del comercio al proteger los productos nacionales de la competencia de las importaciones o, de otro modo, fomentando las exportaciones.

Algunos subsidios son acusados de causar daños ambientales. Los grupos ambientalistas citan los subsidios como la causa principal de la degradación y destrucción de bosques. En consecuencia, se está prestando una atención considerable a los subsidios que distorsionan el comercio y provocan daños ambientales.

Desde una perspectiva analítica, la eficacia y las consecuencias de los subsidios pueden ser muy complicadas. Los subsidios pueden tener impactos tanto positivos como negativos en el desarrollo económico y el medio ambiente. Pueden estimular la producción agraria para garantizar el suministro estable de alimentos, alentando al mismo tiempo el mayor uso de plaguicidas, lo que puede causar efectos nocivos en la calidad del agua y el hábitat. Pueden brindar oportunidades de empleo y también aumentar la contaminación causada por la expansión industrial.

El gobierno, ya sea por iniciativa propia o por la presión de diversos grupos sociales, destina una parte de su gasto total a subsidiar a sectores de la población o a un bien en particular. La política de subsidios, que implica un gasto que el gobierno tiene que financiar y para el cual debe obtener ingresos de alguna fuente, representa un costo en el bienestar social. Ello se debe a que el estímulo otorgado a la producción del bien o bienes subsidiados obliga al gobierno a extraer recursos de

otros sectores de la producción. El subsidio abre una brecha entre el precio que recibe el productor y el que paga el consumidor.

Los subsidios han significado el reconocimiento implícito de que bajo las leyes económicas, políticas y sociales del capitalismo, se agudiza la polarización en la distribución del ingreso, la marginación, la pobreza y el atraso, aún en los países industrializados, situación que adquiere dimensiones dramáticas en los países dependientes y subdesarrollados como México.

Los subsidios se convierten en un instrumento de redistribución del ingreso, que debería buscar equilibrar las deficiencias del mercado y la polarización económica que genera, así como promover y reactivar la economía en los sectores en que estén incidiendo. Lamentablemente muchas veces han sido utilizados como instrumentos de compra de votos y corrupción, lo cual desvirtúa las características y el papel de subsidios en la economía.

### **2.1.1 Los subsidios en la agricultura**

Los subsidios generan potencialmente efectos económicos tanto directos como indirectos. En el ámbito agrícola, los efectos directos incluyen la influencia en patrones de crecimiento y ubicación, inversión y comercio. La teoría económica predice que los subsidios agrícolas pueden aumentar la producción, disminuir los precios mundiales, desequilibrar los mercados internacionales y reducir la eficiencia económica. Los subsidios agrícolas pueden también conducir a efectos indirectos tanto en las industrias con línea de producción ascendente como en las industrias con línea de producción descendente, como es el caso de las industrias de producción (por ejemplo, agroquímicos) y transformación (por ejemplo, alimentos procesados). A su vez, los subsidios directos para las industrias ascendentes y descendentes pueden también afectar la producción y el comercio agrícola.

El alto nivel de apoyo agrícola para algunos productos puede representar un impedimento grave para el comercio de estos productos. Podría también resultar perjudicial para algunos países, que serían competitivos si no tuviesen que

enfrentarse a barreras en la forma de aranceles o a la competencia con disponibilidad de subvención. Dependiendo del tipo de subsidio que se utilice, los altos niveles de un apoyo agrícola pueden también asociarse con injusticias, degradación ambiental y una deficiencia general en la productividad, lo cual podría dañar a un subsector agrícola a largo plazo.

La producción agrícola mantiene una estrecha relación con el medio ambiente y da cuenta de una parte significativa del uso de suelo y del consumo de agua en la mayoría de los países. En consecuencia, las políticas agrícolas pueden tener impactos ambientales importantes, ya sea positivos o negativos. El análisis de los impactos ambientales de los subsidios agrícolas no puede separarse de los contextos regulatorios ni ambientales, así como tampoco del vasto contexto de la liberalización comercial. Las prácticas en la producción agrícola conducen a factores ambientales externos, es decir, los costos ambientales de producción no se reflejan por completo en el precio de los bienes, ya que los productores no mantienen los costos totales del impacto ambiental de su producción. Los productores que cuentan con un subsidio para reducir los factores ambientales externos relacionados con su producción pueden contribuir en la reducción de los daños ambientales, en el aumento de conciencia de los productores respecto de su impacto en el medio ambiente y favorecer, en general, prácticas en pro de la ecología. No obstante, el hecho de recurrir a dichos subsidios convierte a los impactos ambientales en factores externos. En este contexto, los precios no reflejan los costos ambientales de la producción y los consumidores no se enfrentan al costo real de su consumo.

Una alternativa consiste en internalizar los costos ambientales a través de regulaciones e instrumentos basados en el mercado. La internalización impulsa a los productores para que adopten prácticas de producción que disminuyan los costos ambientales y aumenten la eficiencia económica global. La atención a factores ambientales externos requerirá entonces un conjunto de políticas complementarias, incluyendo regulaciones, instrumentos de mercado y subsidios (Maynard et al., 2003).

### **2.1.2 Subsidios en países desarrollados y subdesarrollados**

Los subsidios a la agricultura por parte de los países más ricos del planeta se han vuelto un asunto muy espinoso para las negociaciones de la OMC debido a que reflejan el doble discurso de éstos países en cuanto al libre comercio se refiere; pues por un lado exigen a las naciones en desarrollo que eliminen los aranceles y los subsidios a los productos industriales y por otro, ellos no eliminan los subsidios a las exportaciones de productos agropecuarios. Dentro de los productos con subsidios privilegiados se encuentran las vacas de la Unión Europea, los productores japoneses de arroz reciben subsidios que equivalen a siete veces el costo de producción, y en Estados Unidos el subsidio al algodón de millones de dólares les permite situarse como uno de los principales exportadores de este producto pese a que sus costos de producción son superiores que el de los productores africanos (Huerta, 2004). El mismo Banco Mundial años atrás ha estimado que eliminar la protección y los subsidios agrícolas en los países desarrollados incrementaría en 17 por ciento la producción agrícola mundial y sumaría miles de millones de dólares a los ingresos rurales de los países de ingresos bajos y medios (Huerta, 2004), es decir, sería un forma de mejorar los ingresos de esos países sin recurrir a préstamos o financiamiento para el desarrollo.

En las rondas del GATT (Acuerdo General sobre Aranceles Aduaneros y Comercio) ya se trataba el comercio de productos agropecuarios y se sabía que existían diversas fallas que permitían que los países utilizaran medidas no arancelarias para proteger a sus productores nacionales, por lo cual el comercio de estos productos término por estar muy distorsionado, principalmente por el uso de subvenciones a la exportación que normalmente no se autorizaban a los productos industriales. En la Ronda Uruguay (1986-94) se dio el primer paso importante hacia la normatividad de este sector, pues se produjo el primer Acuerdo Multilateral sobre Agricultura que tenía como finalidad reformar el comercio de productos agropecuarios y lograr que las políticas estuvieran más orientadas al mercado. A raíz del acuerdo sobre Agricultura empezó un proceso de arancelización de las medidas no arancelarias como las cuotas de importación y las subvenciones. Sin embargo a través de los

años siguientes la Organización Mundial de Comercio (OMC) ha fracasado en el intento por llegar a acuerdos importantes referentes a este tema, en el 2003 en la Conferencia Ministerial llevada a cabo en Cancún hubo presiones de organizaciones anti-globalización que argumentaban haber tenido impactos negativos sobre sus agriculturas, a raíz de los procesos de apertura de sus economías, además de que el grupo G-21 de países en desarrollo planteó en esta conferencia darle prioridad a la negociación de la reducción de los subsidios agropecuarios y después a otros temas, lo que al final de cuentas dejó sin máscara al grupo de los ricos y dejó al descubierto que el fracaso en las negociaciones, fue la intransigencia de un puñado de naciones desarrolladas en mantener altos subsidios agropecuarios, revelando además que la doctrina del libre comercio solo la utilizan para abrir los mercados de los países en desarrollo, mientras mantienen protegida su agricultura, sobre todo en productos en los cuales no son competitivos en el mercado mundial.

En el mundo se ha tomado mayor conciencia de que los países ricos en realidad no profesan el libre comercio y solo lo han utilizado, igual que a la OMC, para abrir los mercados, sobre todo de los países en desarrollo. Y que no les interesa en lo absoluto el desarrollo económico y social de los países atrasados. Considerando la estrategia que tienen los países ricos, sobre todo los Estados Unidos, de impulsar negociaciones bilaterales, no es difícil predecir que en el futuro se eleven los obstáculos en las negociaciones de libre comercio.

Si los países en desarrollo, específicamente los de América Latina, ya han realizado un amplio proceso de apertura, les es más conveniente llegar a acuerdos con los países ricos, sobre la base del libre comercio, ya que intentar competir por medio de subsidios es una carrera perdida, al no contar con la capacidad financiera para ello (Huerta, 2004) Sin embargo, la agricultura, pero sobre todo la alimentación, debe ser un asunto de soberanía nacional y debería salir de las negociaciones comerciales, cada país debe definir cuáles son sus alimentos básicos que le dan soberanía.

### **2.1.3 Política de subsidios agrícolas en México**

El diseño y evaluación de las políticas públicas agrícolas en México se ha visto afectado por un problema común en áreas complejas de política pública: la definición de múltiples objetivos, usualmente en conflicto entre sí, para un sólo instrumento de política pública. Esta situación con frecuencia empeora cuando los objetivos son confusos e implícitos, en lugar de estar claramente definidos.

Al mismo tiempo, en términos globales, la formulación, diseño y evaluación de políticas de desarrollo rural y agrícolas se ha caracterizado por una tajante división entre los objetivos de programas productivos y programas sociales, siendo los primeros programas que se preocupan exclusivamente por aumentar la productividad en el sector rural, y los segundos programas abocados a mitigar la pobreza rural. Históricamente, esta división se ha venido profundizando en la perspectiva de las administraciones federales y locales, con una estricta división entre secretarías responsables de los programas productivos (principalmente Sagarpa) y aquellas responsables de los programas sociales (principalmente Sedesol). Esta división se mantiene bajo la ley de desarrollo rural sustentable y el instrumento presupuestario asociado a esta normativa, el Programa Especial Concurrente para el Desarrollo Sustentable (PEC). A pesar de la intención original de hacer del PEC una institución integradora y coordinadora en la conducción de la política de desarrollo rural, en los hechos el PEC no ha sido más que un esquema para clasificar y agrupar el amplio conjunto de programas agrícolas y de desarrollo rural por funciones comunes (Scott, 2010).

Las consideraciones de eficiencia y equidad no pueden distinguirse tan fácilmente al momento de diseñar y evaluar subsidios agrícolas y políticas más generales de desarrollo agrícola y rural. Toda vez que el sector agrícola y rural tiene importantes fallas de mercado, la enorme desigualdad entre productores para acceder a insumos y mercados representa un obstáculo mayor para la productividad y el crecimiento. Para el caso de México, la interdependencia entre eficiencia y equidad puede ilustrarse con una amplia variedad de ejemplos específicos, apelando incluso a la extensa historia de reforma agraria y políticas de desarrollo agropecuario en



México a lo largo de los últimos cien años, la cual puede resumirse de la siguiente manera:

a) La reforma agraria generó un sistema atomizado de tenencia de la tierra, y limitó drásticamente el mercado de la tierra con el sistema ejidal.

b) Las principales políticas de apoyo agrícola en este período (precios de garantía, apoyo para sistemas de irrigación y otros subsidios directos a insumos para la producción) beneficiaron principalmente a productores de grano en gran escala, con uso intensivo de capital; pero fracasaron en el intento de llegar a la mayor parte de los productores de pequeña escala y de subsistencia que creó la reforma agraria, obligándolos a mantener unidades de producción de baja calidad, bajos niveles de inversión y tecnología primitiva. No fue sino hasta fin de siglo que se creó un programa importante de transferencias con la capacidad para alcanzar a la mayor parte de esos productores (PROCAMPO, 1993-1994), a pesar de que su porción de las transferencias estaba acotada por su porción de tenencia de la tierra cultivable.

c) Además de este sesgo histórico en la asignación de los subsidios agrícolas en contra de los productores de pequeña escala, agricultores de subsistencia y jornaleros agrícolas sin tierra; los hogares rurales en condiciones de pobreza también fueron excluidos de la mayoría de los programas sociales y de combate a la pobreza, condición que prevaleció también hasta el fin de siglo. Estos programas asignaban recursos sobre la base de un sesgo urbano considerable, que sólo se revirtió al ponerse en marcha esfuerzos para extender la cobertura rural de servicios de salud y educación básicos en la década de los noventa, especialmente por medio del innovador programa de transferencias condicionadas “Progresá” en 1997 rebautizado con el nombre “Oportunidades” en 2001 (Scott, 2010) .

Para atender la desigualdad rural, se desplegaron la reforma agraria, que repartió tierras, y algunos programas sociales, mientras que los subsidios agrícolas se concentraron en los grandes productores con base en consideraciones de eficiencia, estrictamente. El resultado de estas políticas, es un sector agrícola que es a la vez muy desigual y relativamente ineficiente, además de que es resistente

al cambio. Al cumplirse cien años de la revolución mexicana, y dos décadas después de la segunda reforma agraria, la economía rural sigue atrapada en un equilibrio de bajo crecimiento y alta desigualdad, en el que apenas subsisten los más pobres, mientras sostiene a algunos de los individuos más ricos y más generosamente subsidiados del país.

Este resultado refleja múltiples fallas en el diseño e instrumentación de las dos categorías más amplias de política pública (distributivas y productivas), pero también se explica por la separación histórica de estos instrumentos, que ha conducido, por una parte a un sector de subsistencia extenso y comercialmente inviable, que ha sobrevivido como un sistema implícito y mínimo de aseguramiento social; y por otra a que los productores de gran escala reciban la mayor parte de los subsidios sin evidencia de que éstos tengan un impacto significativo en la productividad o el empleo. Entre los dos extremos se encuentran los pequeños y medianos productores (de 5 a poco más de 20 hectáreas), con potencial sin desarrollar, y con muy limitado acceso a crédito, seguros, tecnología, apoyo para la comercialización y otros insumos fundamentales.

Estos productores por lo general no son tan pobres como para beneficiarse de los programas sociales, y no son suficientemente grandes como para beneficiarse de los subsidios agrícolas bajo los esquemas y criterios de asignación existentes; pero bien podrían ser los beneficiarios potenciales con mayor impacto, el apoyo dirigido a este segmento sería a la vez más equitativo y más productivo, y serviría para distender múltiples e importantes obstáculos que limitan actualmente la producción agrícola en contraste con los grandes productores, que están ya muy cerca de su frontera de posibilidades de producción, en parte gracias al efecto acumulativo de inversiones en su beneficio en el pasado.

PROCAMPO pudo asignar exitosamente recursos a los productores que atendió el programa, al menos de forma proporcional a su tenencia de la tierra cultivada, el resto de los insumos complementarios indispensables para el desarrollo del segmento no llegó por distintas razones, porque los programas de apoyo a los

insumos estaban severamente constreñidos, y porque los programas que en efecto existían se concentraron en los grandes productores (Scott, 2010).

Las principales políticas de Agricultura y Desarrollo Rural actualmente instrumentadas en México se originaron en el contexto de una amplia reforma orientada por la apertura de mercado, que buscaba modernizar al sector agropecuario, a principios y mediados de los noventa. La reforma tuvo lugar en un entorno con dos factores clave: la apertura de los mercados de bienes agrícolas al amparo del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) en 1994, que consideraba un periodo de transición de 15 años; y la reforma constitucional que transformó el sistema ejidal de tenencia de la tierra, en 1992.

La reforma agraria que siguió a la revolución mexicana fue acompañada de dos formas de apoyo agrícola desde la administración de Cárdenas en la década de los cuarenta hasta su final formal en 1992: apoyo para la adquisición de insumos (irrigación, fertilizante y bienes de capital), y Apoyos al Precio de Mercado (APM) o esquema de precios de garantía. Por su diseño, estas políticas de apoyo eran altamente distorsionantes e inequitativas, y no podían llegar a los pequeños productores y agricultores de subsistencia creados por la reforma agraria.

Para hacer frente a la reducción gradual de APM y precios de garantía bajo el TLCAN, se compensó a los campesinos con tres programas de apoyo, principalmente: a) el Programa de Apoyos a la Comercialización, que era un programa de subsidios basados en la producción, creado en 1991; b) el Programa de Apoyos Directos al Campo (PROCAMPO), un programa de transferencias directas por hectárea, desvinculado de la producción y comercialización, creado en 1994; y c) Alianza para el Campo, un programa, o grupo de programas, de apoyo a la inversión que ofrecía subvenciones equivalentes a la inversión realizada por el beneficiario y otros servicios de apoyo directo a la adquisición de insumos, creado en 1996. La expectativa generalizada asociada a estos programas era que no sólo jugarían un rol compensatorio en un entorno de mayor competencia externa, sino además, especialmente en el caso de PROCAMPO y Alianza, otorgarían el apoyo necesario a los campesinos para modernizar la producción y cambiar a cultivos de

mayor valor comercial en el contexto de la liberalización de los mercados de tierra y productos agrícolas (Scott, 2010).

En el entorno prevaleciente en México, con un sector agrícola bipolar y dadas las políticas de apoyo previas, el diseño desvinculado de PROCAMPO fue revolucionario en términos de eficiencia y en términos de equidad. Al disociar las transferencias de objetivos de producción y comercialización, el programa debía minimizar las distorsiones en las decisiones de qué producir, y transferiría recursos directamente a los agricultores de subsistencia por primera vez en el México post-revolucionario. La reforma en las políticas de apoyo agrícola estuvo acompañada de una reforma en las políticas de combate a la pobreza y desarrollo rural.

#### **2.1.4 PROCAMPO y sus objetivos**

PROCAMPO fue un programa de apoyo directo a los productores rurales. Fue un complemento de las reformas a la legislación agraria y de los programas como Apoyo a la Producción y Empresas de Solidaridad, PROCEDE, Reestructuración del Sistema Financiero y los programas de ASERCA. Todos formaron parte de la reforma integral del campo que se propuso para producir mejor y cuidar los recursos naturales. Esta reforma se basó en el principio de que los productores dirigieran su propia transformación con libertad y que el progreso fuera con justicia y equidad.

PROCAMPO responde a los reclamos de los campesinos y sus organizaciones para, con su participación, modernizar los instrumentos de fomento a la producción agropecuaria y forestal.

Se formuló como parte de una reforma del campo para alcanzar un desarrollo sostenible, en beneficio directo de los productores y de toda la sociedad. PROCAMPO representa un esfuerzo adicional de todos los mexicanos en esa dirección.

PROCAMPO se puso en marcha de manera plena en el ciclo otoño- invierno 94/95. Para los ciclos otoño-invierno 93/94 y primavera-verano 94 se diseñó un esquema

transitorio apoyado en los servicios que entonces ofrecían CONASUPO y ASERCA (SARH, 1993).

El Gobierno Federal mantuvo en el pasado una política de precios de garantía para granos y oleaginosas, que después solo se mantuvo para maíz y frijol, esto respondía al contexto de una economía protegida, basada en el mercado interno y en una fuerte intervención estatal. El sistema de precios de garantía permite que el productor reciba un precio alto por su cosecha, en algunos casos sustancialmente mayor al internacional. Parte de la transferencia que a través de este medio se hace al agricultor lo cubren los consumidores, especialmente los de bajos ingresos de las zonas rurales que no tienen acceso a los sistemas de subsidios y que dedican más del 60% de su ingreso al consumo de alimentos. Así, este sistema de apoyo afecta de manera regresiva a grupos de la población de más bajos ingresos del país.

Otro efecto del sistema de precios de garantía es que las cadenas productivas, por ejemplo forrajes-pecuarios, se ven seriamente afectadas al tener insumos a precios altos lo que impacta su dinamismo.

Cuando el gobierno compra a un precio superior al que realiza sus ventas, no estimula la participación de los sectores social y privado en la comercialización de estos cultivos. Adicionalmente, cuando el precio garantizado es uniforme en todas las regiones del país, la distribución geográfica de la producción no es producto de las ventajas comparativas en la localización. .

La respuesta a ésta problemática implica que el gobierno otorgue un apoyo directo a la cadena productiva para que los precios se determinen en el mercado en base a sus referencias internacionales. Por ello, entre diciembre de 1988 y diciembre de 1989 se eliminaron los precios de garantía para el arroz, el trigo, el sorgo, la soya y demás oleaginosas. Para estos productos se adoptó un esquema de precios que resolvió los problemas de comercialización originados por el retiro de CONASUPO.

ASERCA, que fue creada el 16 de abril de 1991, contribuyó a mejorar este esquema de precios de concertación mediante apoyos a la comercialización, pero sin

intervenir directamente en el proceso de compra-venta. Esta mecánica ha sido utilizada por ASERCA, en los casos de trigo, sorgo, arroz, cártamo, algodón y soya.

Los apoyos a la comercialización fueron aplicados por primera vez a los productores de sorgo. A partir de esta experiencia, se instrumentó un sistema que permite que el productor reciba un apoyo directo del Gobierno y que los consumidores adquieran la cosecha a un precio equivalente al costo del producto importado.

Los cambios sustantivos de la década de los ochenta, tanto en el contexto internacional como en las condiciones macroeconómicas de nuestro país, han planteado la necesidad de reforzar la estrategia de desarrollo basada en la apertura comercial para recuperar el crecimiento económico sostenido y elevar el bienestar de la sociedad. Al mismo tiempo se ha modificado el papel del Estado en la economía, generando una participación mayor de los sectores social y privado en la definición del proceso de desarrollo. El diseño de la política agropecuaria debe adecuarse a estos cambios.

Desde el inicio del proceso de reformas tendientes a modernizar el campo, se señaló que no bastaba un nuevo marco legal o mejores instituciones para servir al productor. Estas reformas eran indispensables, pero se requería aún más una política de apoyos nueva, efectiva, justa, equitativa y que otorgará mayor libertad al productor, y es por todo esto que nació PROCAMPO (SARH, 1993).

Los objetivos para los cuales fue creado PROCAMPO, tal y como están en el documento de su creación (SARH, 1993) fueron los siguientes:

- a) Brindar apoyo directo a más de 3.3 millones de productores rurales, de los cuales 2.2 millones están al margen de los sistemas actuales. Estos últimos destinan una parte significativa de su producción al autoconsumo, por lo que no los beneficia el hecho de que los precios de garantía sean superiores a los que prevalecerían en un mercado no intervenido.
- b) Fomentar la reconversión de aquellas superficies en las que sea posible establecer actividades que tengan una mayor rentabilidad, dando

certidumbre a los productores en lo referente a la política agropecuaria durante los siguientes años.

- c) Compensar los subsidios que en otros países, especialmente los desarrollados, otorgan a algunos productores agrícolas.
- d) Estimular la organización de los productores del sector para modernizar la comercialización de productos agropecuarios.
- e) Lograr que los consumidores nacionales tengan acceso a alimentos a menor precio, lo que tendrá un importante efecto sobre el bienestar de las familias de bajos ingresos, sobre todo las que viven en zonas rurales.
- f) Incrementar la competitividad de las cadenas productivas relacionadas con el sector agrícola, en especial la actividad pecuaria.
- g) Frenar la degradación del medio ambiente, propiciando la conservación y recuperación de bosques y selvas, así como coadyuvar a reducir la erosión de suelos y la contaminación de las aguas causada por el uso excesivo de agroquímicos, en beneficio del ambiente y del desarrollo sustentable.

Desde su aparición, PROCAMPO fue una de las principales herramientas de política pública sectorial, debido a sus asignaciones presupuestales y ha sido el programa federal con mayor población rural atendida.

El presupuesto federal autorizado para PROCAMPO productivo para el año 2013 fue de 14,000 millones de pesos, cifra que incluye 252 millones de pesos destinados a cubrir los gastos de operación e indirectos del programa, por lo que para subsidios se estableció la cifra de 13,748 millones de pesos (SAGARPA, 2013).

La superficie elegible para este apoyo es la que se cultivó con maíz, sorgo, frijol, trigo, cebada, algodón, cártamo, soya y arroz.

Como tal el programa PROCAMPO finalizó en 2013 y se ha transformado en PROAGRO.

El problema de inequidad ha llevado a muchos mexicanos a abandonar el campo y dirigirse a Estados Unidos, o pasar a engrosar los datos de subempleo o desempleo en México, pero en el peor escenario pasan a engrosar las filas de la delincuencia organizada.

La agricultura pequeña y mediana aporta 6 de cada 10 empleos contratados, el 39 por ciento de granos básicos lo aporta este sector; la agroindustria trabaja con productores pequeños. Pero queda claro que son los grandes agricultores quienes fijan la política agraria.

## **2.2 Redes Neuronales Artificiales**

### **2.2.1 Qué son las redes neuronales artificiales?**

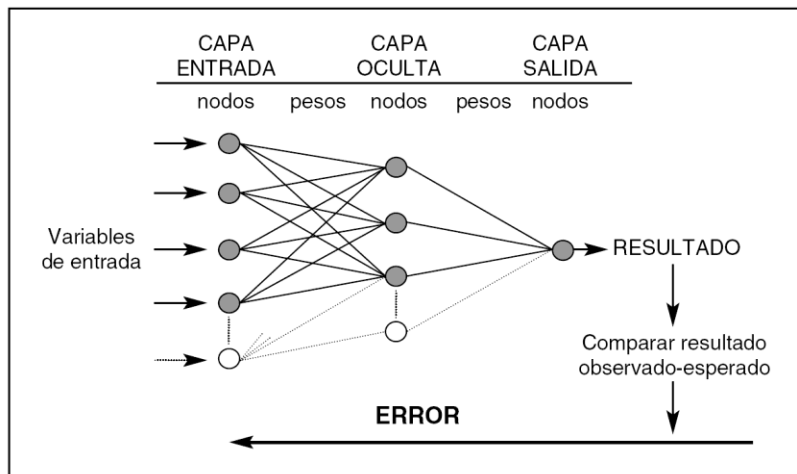
Una de las herramientas más eficientes utilizada en los últimos años con éxito en la predicción de precios son las redes neuronales artificiales (RNA), que se definen como un sistema de aprendizaje inspirado en el funcionamiento del cerebro humano. De esta forma simulan e imitan sistemas permitiendo establecer relaciones no lineales entre las variables de entrada y salida. Su principal ventaja consiste en procesar información en paralelo en tiempo real 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.

Se puede decir que una red neuronal es un modelo matemático compuesto por un gran número de elementos procesales organizados en niveles. Un sistema de computación compuesto por un gran número de elementos interconectados. Es una nueva forma de computación, inspirada en modelos biológicos (Matich, 2001).

La estructura más utilizada para una red neuronal estática es el perceptrón multicapa, la Fig. 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, 2016).



**Figura 1. Principales componentes de un perceptrón multicapa clásico.**

La distribución de neuronas dentro de la red se realiza formando niveles o capas, con un número determinado de dichas neuronas en cada una de ellas. A partir de su situación dentro de la red, se pueden distinguir tres tipos de capas (Matich, 2001):

- *De entrada*: es la capa que recibe directamente la información proveniente de las fuentes externas de la red.
- *Ocultas*: son internas a la red y no tienen contacto directo con el entorno exterior. El número de niveles ocultos puede estar entre cero y un número elevado. Las neuronas de las capas ocultas pueden estar interconectadas de distintas maneras, lo que determina, junto con su número, las distintas topologías de redes neuronales.
- *De salidas*: transfieren información de la red hacia el exterior.

En la Figura 1 se puede ver el ejemplo de la estructura de una posible red en la que cada nodo o neurona únicamente está conectada con neuronas de un nivel superior. Notar que hay más conexiones que neuronas en sí; en este sentido, se dice que

una red esta totalmente conectada si todas las salidas desde un nivel llegan a todos y cada uno de los nodos del nivel siguiente.

La primera capa de la red es la capa de entrada, la cual recibe la información del ambiente externo, esta corresponde a los cinco sentidos en el caso del cerebro humano, o de variables independientes seleccionadas por el investigador en el caso de una red artificial. La última capa es la capa de salida y corresponde a la respuesta del ser humano 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).

En la Fig. 1, se muestran las variables de entrada que van hacia la capa de entrada, esta capa contiene los predictores de éstas variables predictivas, también se observan los pesos sinápticos de las neuronas de entrada a las neuronas de la capa oculta.

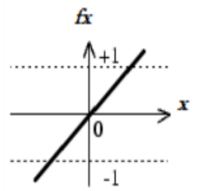
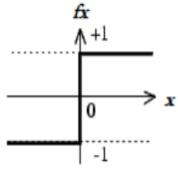
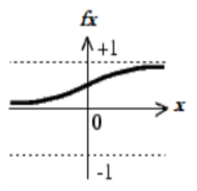
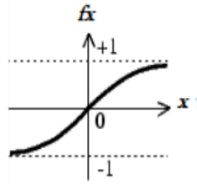
### **2.2.2 Funciones de Transferencia.**

Cada neurona aplica una función  $f$  conocida como la función de activación o función de transferencia, se busca que la red neuronal con un determinado número de nodos alcance un alto nivel de eficiencia para tener un resultado confiable que se obtiene a través de la capa de salida. El perceptrón multicapa genera un modelo predictivo para una o más variables dependientes basada en los valores de las variables predictoras.

La función de salida global de la neurona depende de la función de transferencia empleada, ya que ésta función define la variable de salida. La función de transferencia proporciona el estado de activación actual de una neurona, en función de sus pesos, entradas y su potencial postsináptico actual (Hagan et al., 1996). En

el Cuadro 1 se describen los tipos de funciones de transferencia que se pueden utilizar.

**Cuadro 1. Funciones de transferencia.**

Funciones de Transferencia	Función	Rango	Gráfica
• IDENTIDAD	$f = x$	$[-\infty, +\infty]$	
• ESCALON	$f = \text{signo}(x)$	$[-1, +1]$	
• SIGMOIDEA	$f = \frac{1}{1+e^{-x}}$	$[0, +1]$	
• SIGMOIDEA TANGENTE HIPERBÓLICA	$f = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$	$[-1, +1]$	

Se ha demostrado que las redes neuronales han sido usadas para probar la *hipótesis de mercados eficientes*, la cual afirma que el precio de un activo refleja toda la información que se puede obtener a partir de los precios pasados del activo y como éste método a través de su desempeño estadístico y técnicas de regresión predice de manera confiable los precios. 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). En la práctica se realizan estrategias de compra y venta en base a datos históricos. Estas decisiones se toman con la premisa de que los patrones que existen en los datos pasados pueden indicar futuros movimientos. Si efectivamente existen éstas tendencias,

cobra sentido aplicar técnicas automatizadas de reconocimiento de patrones, como las redes neuronales (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).

### **2.2.3 Las Redes Neuronales como instrumento de clasificación y predicción**

Debido a su constitución y a sus fundamentos, las redes neuronales artificiales presentan un gran número de características semejantes a las del cerebro. Por ejemplo, son capaces de aprender de la experiencia, de generalizar de casos anteriores a nuevos casos, de abstraer características esenciales a partir de entradas que representan información irrelevante, etc. Esto hace que ofrezcan numerosas ventajas y que este tipo de tecnología se esté aplicando en múltiples áreas. Entre las ventajas se incluyen (Matich, 2001):

- Aprendizaje Adaptativo. Capacidad de aprender a realizar tareas basadas en un entrenamiento o en una experiencia inicial.
- Auto-organización. Una red neuronal puede crear su propia organización o representación de la información que recibe mediante su etapa de aprendizaje.

- Tolerancia a fallas. La destrucción parcial de una red conduce a una degradación de su estructura; sin embargo, algunas capacidades de la red se pueden retener, incluso sufriendo un gran daño.
- Operación en tiempo real. Las redes neuronales pueden ser utilizadas en paralelo; para esto se diseñan y fabrican máquinas con hardware especial para obtener esta capacidad.
- Fácil inserción dentro de la tecnología existente. Se pueden obtener chips especializados para redes neuronales que mejoran su capacidad en ciertas tareas. Ello facilitará la integración modular en los sistemas existentes.

La capacidad de aprendizaje adaptativo es una de las características más atractivas de redes neuronales. Esto es, aprenden a llevar a cabo ciertas tareas mediante un entrenamiento con ejemplos ilustrativos.

Como las redes neuronales pueden aprender a diferenciar patrones mediante ejemplos y entrenamientos, no es necesario elaborar modelos a priori ni necesidad de especificar funciones de distribución de probabilidad.

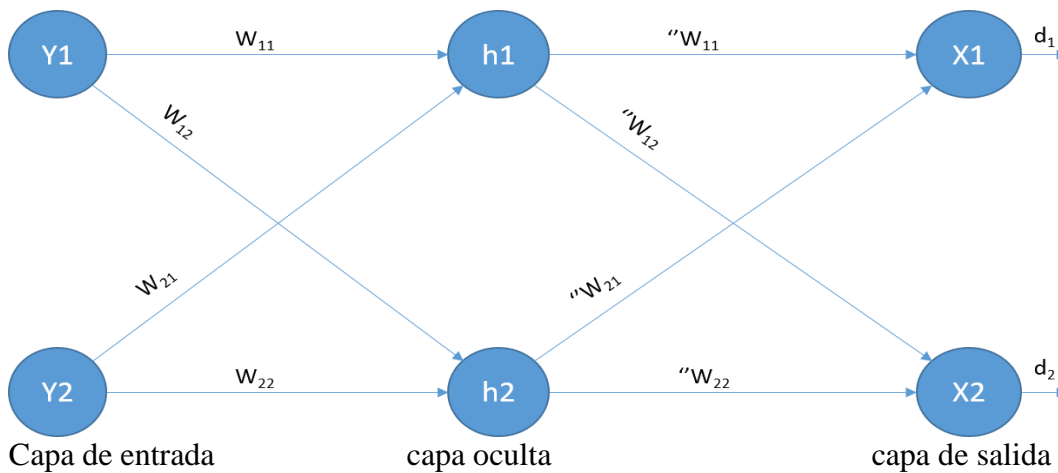
Las redes neuronales son sistemas dinámicos autoadaptativos. Son adaptables debido a la capacidad de autoajuste de los elementos procesales (neuronas) que componen el sistema. Son dinámicos, pues son capaces de estar constantemente cambiando para adaptarse a las nuevas condiciones (Larrañaga et al., 1997).

Las redes neuronales fueron los primeros métodos computacionales con la capacidad inherente de tolerancia a fallas. Comparados con los sistemas computacionales tradicionales, los cuales pierden su funcionalidad cuando sufren un pequeño error de memoria, en las redes neuronales, si se produce una falla en un número no muy grande de neuronas y aunque el comportamiento del sistema se ve influenciado, no sufre una caída repentina.

Hay dos aspectos distintos respecto a la tolerancia a fallas (Matich, 2001):

- a) Las redes pueden aprender a reconocer patrones con ruido, distorsionados o incompletos. Esta es una tolerancia a fallas respecto a los datos.
- b) Las redes pueden seguir realizando su función (con cierta degradación) aunque se destruya parte de la red.

La razón por la que las redes neuronales son tolerantes a las fallas es que tienen su información distribuida en las conexiones entre neuronas, existiendo cierto grado de redundancia en este tipo de almacenamiento. La mayoría de los ordenadores algorítmicos y sistemas de recuperación de datos almacenan cada pieza de información en un espacio único, localizado y direccionable. En cambio, las redes neuronales almacenan información no localizada. Por lo tanto, la mayoría de las interconexiones entre los nodos de la red tendrán sus valores en función de los estímulos recibidos, y se generará un patrón de salida que represente la información almacenada. A continuación se puede ver, en la Figura 2, un esquema de una red neuronal:



**Figura 2: ejemplo de una red neuronal totalmente conectada.**

La misma está constituida por neuronas interconectadas y arregladas en dos capas (esto último puede variar). Los datos ingresan por medio de la “capa de entrada”,

pasan a través de la “*capa oculta*” y salen por la “*capa de salida*”. Cabe mencionar que la capa oculta puede estar constituida por varias capas (Matich, 2001).

Se puede comparar una neurona biológica con una neurona artificial. Ya que se pueden observar las similitudes entre ambas (tienen entradas, utilizan pesos y generan salidas). Mientras una neurona es muy pequeña en sí misma, cuando se combinan cientos, miles o millones de ellas pueden resolver problemas muy complejos. Por ejemplo el cerebro humano se compone de billones de tales neuronas (Nacelle, 2009).

La topología o arquitectura de una red neuronal consiste en la organización y disposición de las neuronas en la misma, formando capas o agrupaciones de neuronas más o menos lejanas de la entrada y salida de dicha red. En este sentido, los parámetros fundamentales de la red son: el número de capas, el número de neuronas por capa, el grado de conectividad y el tipo de conexiones entre neuronas (Duarte, 2003).

Si la topología de la red y las diferentes funciones de cada neurona (entrada, activación y salida) no pueden cambiar durante el aprendizaje, mientras que los pesos sobre cada una de las conexiones si pueden hacerlo; el aprendizaje de una red neuronal significa: *adaptación de los pesos*.

En otras palabras el aprendizaje es el proceso por el cual una red neuronal modifica sus pesos en respuesta a una información de entrada. Los cambios que se producen durante el mismo se reducen a la destrucción, modificación y creación de conexiones entre las neuronas. En los sistemas biológicos existe una continua destrucción y creación de conexiones entre las neuronas. En los modelos de redes neuronales artificiales, la creación de una nueva conexión implica que el peso de la misma pasa a tener un valor distinto de cero. De la misma manera, una conexión se destruye cuando su peso pasa a ser cero (Matich, 2001).

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 propaga hacia atrás desde la capa de salida. Esto permite que los pesos sobre las conexiones de las neuronas ubicadas en las capas ocultas cambien durante el entrenamiento y se vayan ajustando para un mejor resultado. 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).

Entrenamiento de la red neuronal.

Los datos de entrada se procesan a través de la red neuronal con el propósito de lograr una salida. Las redes neuronales extraen generalizaciones desde un conjunto determinado de ejemplos anteriores de tales problemas de decisión. Una red neuronal debe aprender a calcular la salida correcta para cada constelación (arreglo o vector) de entrada en el conjunto de ejemplos. Este proceso de aprendizaje se denomina: *proceso de entrenamiento o acondicionamiento*. El conjunto de datos (o conjunto de ejemplos) sobre el cual este proceso se basa es, por ende, llamado: *conjunto de datos de entrenamiento* (Duarte, 2003).

Validación de la red neuronal.

Después del proceso de entrenamiento los pesos de las conexiones en la red neuronal quedan fijos. Como paso siguiente se debe comprobar si la red neuronal puede resolver nuevos problemas, del tipo general, para los que ha sido entrenada. Por lo tanto, con el propósito de validar la red neuronal se requiere de otro conjunto de datos, denominado *conjunto de validación o testeo*.

Prueba de la red neuronal.

Cada ejemplo del conjunto de evaluación contiene los valores de las variables de entrada, con su correspondiente solución tomada; pero ahora esta solución no se le



es otorgada a la red neuronal. Luego se compara la solución calculada para cada ejemplo de validación con la solución conocida (Matich, 2001).

#### Redes monocapa.

En las redes monocapa, se establecen conexiones entre las neuronas que pertenecen a la única capa que constituye la red. Las redes monocapas se utilizan generalmente en tareas relacionadas con lo que se conoce como autoasociación (regenerar información de entrada que se presenta a la red de forma incompleta o distorsionada) (Duarte, 2003).

#### Redes multicapa.

Las redes multicapas son aquellas que disponen de un conjunto de neuronas agrupadas en varios (2, 3, etc.) niveles o capas. En estos casos, una forma para distinguir la capa a la que pertenece una neurona, consistiría en fijarse en el origen de las señales que recibe a la entrada y el destino de la señal de salida. Normalmente, todas las neuronas de una capa reciben señales de entrada desde otra capa anterior (la cual está más cerca a la entrada de la red), y envían señales de salida a una capa posterior (que está más cerca a la salida de la red). A estas conexiones se las denomina *conexiones hacia adelante o feedforward* (Duarte, 2003).

Sin embargo, en un gran número de estas redes también existe la posibilidad de conectar la salida de las neuronas de capas posteriores a la entrada de capas anteriores; a estas conexiones se las denomina *conexiones hacia atrás o feedback*. Estas dos posibilidades permiten distinguir entre dos tipos de redes con múltiples capas: las redes con conexiones hacia adelante o *redes feedforward*, y las redes que disponen de conexiones tanto hacia adelante como hacia atrás o *redes feedforward/feedback*.

Conexión entre neuronas.

La conectividad entre los nodos de una red neuronal está relacionada con la forma en que las salidas de las neuronas están canalizadas para convertirse en entradas de otras neuronas. La señal de salida de un nodo puede ser una entrada de otro elemento de proceso, o incluso ser una entrada de sí mismo (*conexión autorrecurrente*) (Duarte, 2003).

Cuando ninguna salida de las neuronas es entrada de neuronas del mismo nivel o de niveles precedentes, la red se describe como de *conexión hacia delante*. Cuando las salidas pueden ser conectadas como entradas de neuronas de niveles previos o del mismo nivel, incluyéndose ellas mismas, la red es de *conexión hacia atrás*. Las redes de propagación hacia atrás que tienen lazos cerrados son llamadas: *sistemas recurrentes*.

Redes de propagación hacia atrás (*backpropagation*).

El nombre de backpropagation resulta de la forma en que el error es propagado hacia atrás a través de la red neuronal, y es un método de aprendizaje, el error se propaga hacia atrás desde la capa de salida. Esto permite que los pesos sobre las conexiones de las neuronas ubicadas en las capas ocultas cambien durante el entrenamiento.

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. Por lo tanto, es de gran utilidad considerar las variaciones de la función activación al modificarse el valor de los pesos. Esto se llama *sensibilidad* de la función activación, de acuerdo al cambio en los pesos (Matich, 2001).

Aplicaciones de las redes neuronales.

Las redes neuronales pueden utilizarse en un gran número y variedad de aplicaciones, tanto comerciales como militares. Se pueden desarrollar redes neuronales en un periodo de tiempo razonable, con la capacidad de realizar tareas

concretas mejor que otras tecnologías. Cuando se implementan mediante hardware, presentan una alta tolerancia a fallos del sistema y proporcionan un alto grado de paralelismo en el procesamiento de datos. Esto posibilita la inserción de redes neuronales de bajo coste en sistemas existentes y recientemente desarrollados.

Hay muchos tipos diferentes de redes neuronales; cada uno de los cuales tiene una aplicación particular más apropiada (Larrañaga et al., 1997). Algunas aplicaciones comerciales son:

#### Biología:

- Aprender más acerca del cerebro y otros sistemas.
- Obtención de modelos de la retina.

#### Empresa:

- Evaluación de probabilidad de formaciones geológicas y petrolíferas.
- Identificación de candidatos para posiciones específicas.
- Explotación de bases de datos.
- Optimización de plazas y horarios en líneas de vuelo.
- Optimización del flujo del tránsito controlando convenientemente la temporización de los semáforos.
- Reconocimiento de caracteres escritos.
- Modelado de sistemas para automatización y control.

#### Medio ambiente:

- Analizar tendencias y patrones.
- Previsión del tiempo.

#### Finanzas:

- Previsión de la evolución de los precios.
- Valoración del riesgo de los créditos.

- Identificación de falsificaciones.
- Interpretación de firmas.

#### Manufacturación:

- Robots automatizados y sistemas de control (visión artificial y sensores de presión, temperatura, gas, etc.).
- Control de producción en líneas de procesos.
- Inspección de la calidad.

#### Medicina:

- Analizadores del habla para ayudar en la audición de sordos profundos.
- Diagnóstico y tratamiento a partir de síntomas y/o de datos analíticos (electrocardiograma, encefalogramas, análisis sanguíneo, etc.).
- Monitorización en cirugías.
- Predicción de reacciones adversas en los medicamentos.
- Entendimiento de la causa de los ataques cardíacos.

#### Militares:

- Clasificación de las señales de radar.
- Creación de armas inteligentes.
- Optimización del uso de recursos escasos.
- Reconocimiento y seguimiento en el tiro al blanco.

La mayoría de estas aplicaciones consisten en realizar un reconocimiento de patrones, como buscar un patrón en una serie de ejemplos, clasificar patrones, completar una señal a partir de valores parciales o reconstruir el patrón correcto partiendo de uno distorsionado. Sin embargo, está creciendo el uso de redes neuronales en distintos tipos de sistemas de control.

Desde el punto de vista de los casos de aplicación, la ventaja de las redes neuronales reside en el procesado paralelo, adaptativo y no lineal. El dominio de

aplicación de las redes neuronales también se lo puede clasificar de la siguiente forma: asociación y clasificación, regeneración de patrones, regresión y generalización, y optimización (Matich. 2001).

#### **2.2.4 Criterios para definir el número de nodos de la capa oculta**

Existen 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.

#### **2.2.5 Medidas de Ajuste**

Las medidas de ajuste son indicadores que nos describen que tan cercanos están los valores predichos de los reales, las medidas de desempeño pueden también ser usadas para decidir qué modelo es mejor que otro (Montgomery et al., 2015). Sirven para saber qué tan bueno es el resultado del modelo con relación a las variables medidas.

El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) es un criterio estadístico, en el cual el denominador es la suma total al cuadrado de las observaciones con respecto a la esperanza matemática, por ende, es constante y no depende del modelo. El numerador es la suma de los residuales al cuadrado, por lo tanto, seleccionar el modelo que maximiza el  $R^2$ , equivale a seleccionar el modelo que minimiza la suma al cuadrado de los residuales, por tanto, un valor alto del  $R^2$ , sugiere un buen ajuste

de los datos históricos (Ecuación 1); pero un valor alto del  $R^2$ , no asegura que los errores de predicción hacia adelante fuera de la muestra serán pequeños (Montgomery *et. al.*, 2015).

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

Wallach et al., (2013), menciona que las figuras son ayudas visuales invaluable en la evaluación del modelo, pero se necesita un resumen cuantitativo de la bondad de ajuste de los datos, se puede decir que el error cuadrático medio (MSE) es una de las medidas más usadas para estos casos (Ecuación 2).

El error cuadrado medio (MSE) es la media al cuadrado de la diferencia entre el valor observado y el valor simulado o predicho, ésta medida es similar a la del error absoluto medio (MAE), a excepción de que la función cuadrática es utilizada en lugar de la función del valor absoluto.

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

Dónde:  $Y_i$  es el valor medido,  $\hat{Y}_i$  es el correspondiente valor simulado, y  $n$  es número de mediciones. El MSE mide la variabilidad (Varianza) en los errores de predicción, lo que se busca es obtener la menor variabilidad en los errores de predicción (Montgomery, et al., 2015; 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 MAE. (Wilks, 2011).

Otra medida alternativa para determinar el error del modelo, que al igual que el MSE evitan la compensación entre la sub o sobre predicción, es el error absoluto medio (MAE) (Ecuación 3) (Wallach, et al., 2013).

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

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 incrementar 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, ésta se define como la habilidad para utilizar los medios disponibles de forma racional con el fin de llegar a una meta, en este caso un mejor desempeño del modelo minimizando los errores. Es la capacidad de alcanzar un objetivo definido con anterioridad en el menor tiempo posible y con el mínimo uso de los recursos, lo cual supone una optimización, por ésta razón se puede decir que el predictor más utilizado y con mayor peso probablemente es el que determina la eficiencia del modelo (EF), (Wallach et al., 2013), que se define de la siguiente manera en la Ecuación 4:

$$EF = 1 - \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (4)$$

Si el modelo es perfecto, los valores predichos serán iguales a los valores observados o medidos ( $\hat{Y}_i = Y_i$ ), 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 ( $\bar{Y} = Y_i$ ), 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.

### 2.2.6 Construcción de la red

El 85% (de acuerdo al criterio del investigador que generalmente va del 80 al 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 prueba de la red utilizando los mismos pesos generados en el entrenamiento, y finalmente con el otro 25% restante de los datos se hace la

validación, ya no con los mismos pesos que en el entrenamiento y la prueba, sino que aquí se generan nuevos pesos.

### **2.2.7 Análisis de Sensibilidad**

El análisis de sensibilidad está basado en la medición del efecto que se observa en una salida  $y_k$  debido al cambio que se produce en una entrada  $x_i$ . Cuanto mayor efecto se observe sobre la salida, mayor sensibilidad se puede deducir que presenta respecto a la entrada. Un método común consiste en fijar el valor de todas las variables de entrada a su valor medio e ir variando el valor de una de ellas a lo largo de todo su rango, registrando el valor de salida de la red. Otro método para realizar el análisis de sensibilidad es el Algoritmo de Garson, éste método fue 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 & 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.



### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1 Información sobre precios.

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) 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 a través del programa Excel 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.

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 (INEGI, 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.

La matriz de correlación es una matriz simétrica; es decir, que los valores de los elementos  $a_{ij}$  son los mismos que los elementos  $a_{ji}$  de la matriz.

La matriz de correlación nos explica cómo se encuentran relacionadas cada una de las variables con las otras variables. Su diagonal siempre contendrá el valor de 1.

Si tiene un valor 0, nos indicará que no tiene ninguna relación con esa variable, por lo menos no lineal; es decir, puede que tenga una relación cuadrática o de otro grado.

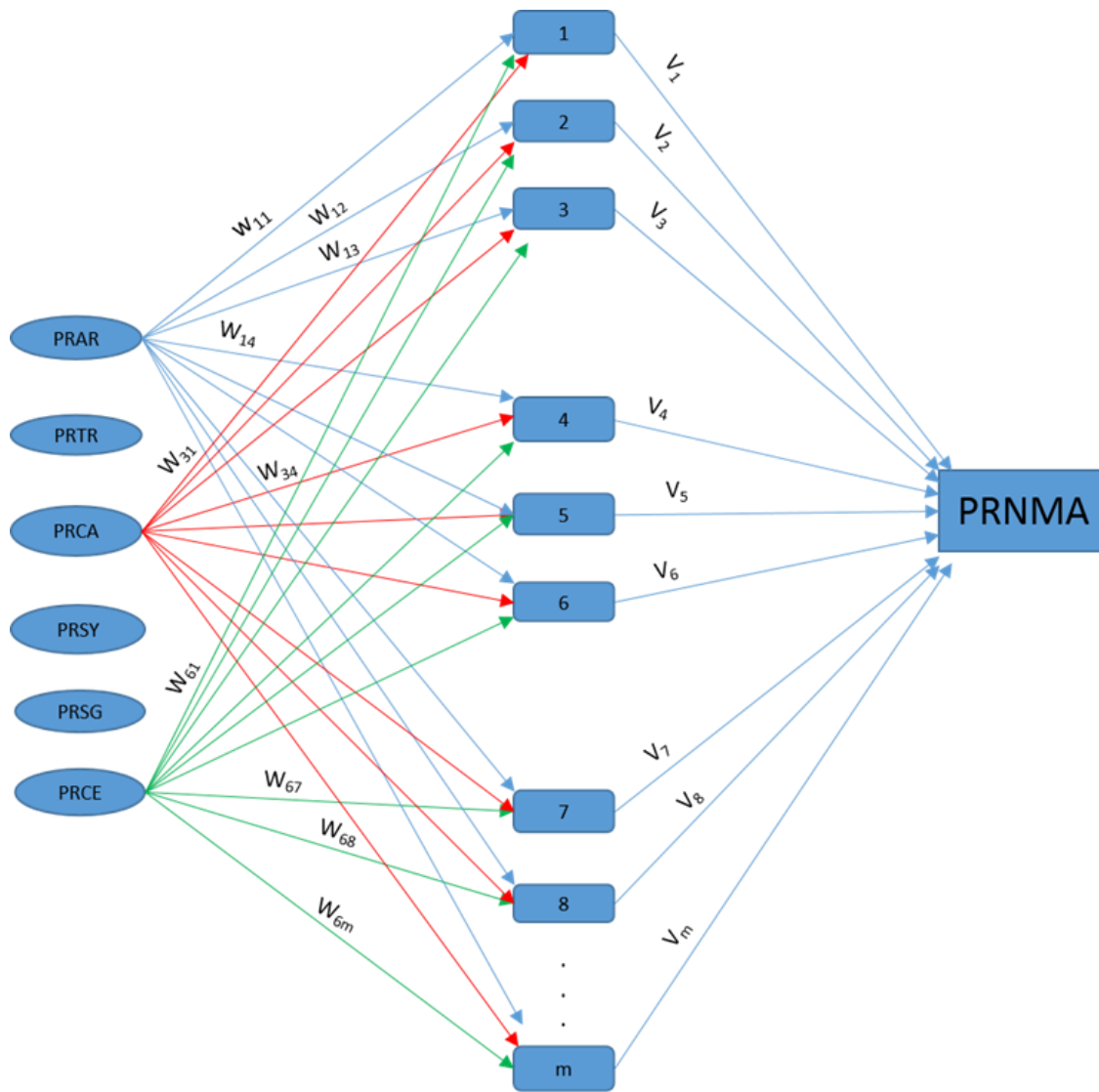
Cuando la correlación es positiva, esto nos indica que su proyección de la regresión lineal va a tender a crecer conjuntamente con la contra variable. Cuando la correlación es negativa, esto nos indica que su proyección de la regresión lineal va a tender a decrecer conjuntamente con la contra variable.

Para obtener la matriz de correlación se utilizó el programa estadístico Matlab en donde se ingresaron las variables del precio del maíz, el precio de los 6 productos relacionados (arroz, trigo, cártamo, soya, sorgo y cebada) y el precio internacional del maíz. En el Anexo B se describe la programación en Matlab para obtenerla.

### **3.2 Modelo de redes neuronales artificiales**

Se desarrolló un modelo de redes neuronales artificiales para predecir el precio interno del maíz con base en los precios de productos relacionados tales como el Precio Real del Arroz (PRAR), Precio Real del Trigo (PRTR), Precio Real del Cártamo (PRCA), Precio Real de la Soya (PRSY), Precio Real del Sorgo (PRSG), Precio Real de la Cebada (PRCE), también se desarrolló una segunda red en donde se incluyó el Precio Real Internacional del Maíz (PRIMA), lo anterior fue con el fin de detectar si estas variables influyeron de manera sustancial en el comportamiento del Precio Real Nacional del Maíz (PRNMA) en México, durante el periodo 1980 – 2014 y que pudieran servir de base para predecir el comportamiento del precio nacional del maíz.

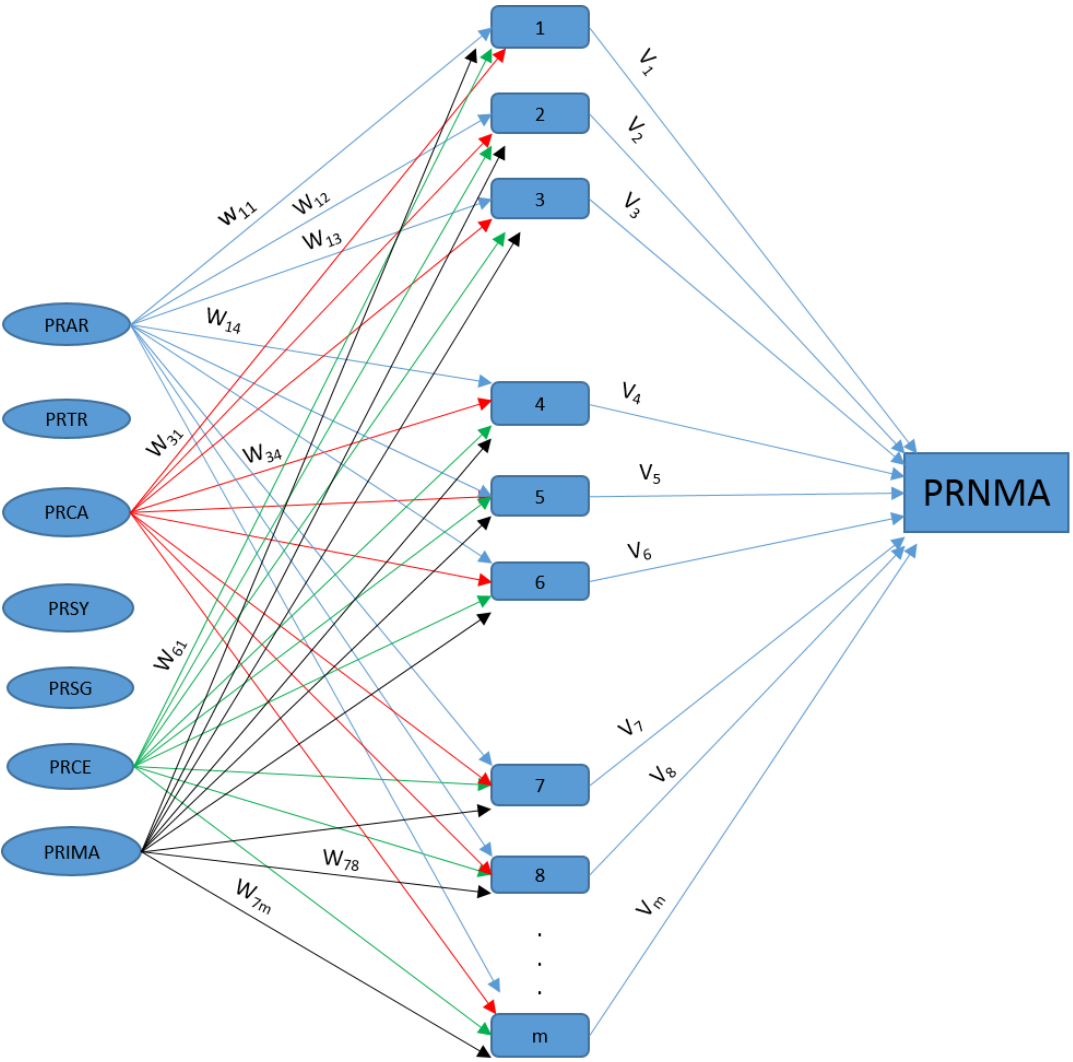
Existen varios autores que han utilizado las redes neuronales en la predicción de precios, en este trabajo se utilizó una red neuronal estática (perceptrón multicapa), primero solamente corriendo la red con los precios reales de 6 productos relacionados, descrito en la Fig. 3. Posteriormente en una segunda red se incluyó además de los precios de productos relacionados, el precio internacional del maíz, descrito en la Fig. 4.



PRAR: Precio Real del Arroz  
 PRTR: Precio Real del Trigo  
 PRCA: Precio Real del Cártamo  
 PRSY: Precio Real de la Soya  
 PRSG: Precio Real del Sorgo  
 PRCE: Precio Real de la Cebada  
 PRNMA: Precio Real Nacional del Maíz  
 $W_{nm}$ : Pesos de la capa de entrada a la capa oculta  
 $V_n$ : Pesos de la capa oculta a la capa de salida

**Figura 3. Esquema de la red neuronal implementada para predecir el precio del maíz con el precio de 6 productos relacionados.**

En una segunda red se incluyó como variable de entrada el Precio Real Internacional del Maíz (PRIMA), para poder también ver el efecto de esta variable en el precio nacional del maíz (Fig. 4).



PRAR: Precio Real del Arroz  
 PRTR: Precio Real del Trigo  
 PRCA: Precio Real del Cártamo  
 PRSY: Precio Real de la Soya  
 PRSG: Precio Real del Sorgo  
 PRCE: Precio Real de la Cebada  
 PRNMA: Precio Real Nacional del Maíz  
 $W_{nm}$ : Pesos de la capa de entrada a la capa oculta  
 $V_n$ : Pesos de la capa oculta a la capa de salida

**Figura 4. Esquema de la red neuronal implementada para predecir el precio del maíz incluyendo PRIMA.**

### 3.3 Fases de la metodología de redes neuronales

En este trabajo se utilizara la red neuronal para la predicción del precio nacional del maíz a 5 años hacia adelante. Las fases de la metodología de redes neuronales serán:

Para determinar el número de nodos en la capa oculta se utilizaron:

$$a) h = 2n + 1$$

$$b) h = \sqrt{mn}$$

$$c) h = n$$

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, en nuestro caso se utilizó el primer criterio para poner un rango de nodos y después se compararon los resultados de eficiencia y se eligió el número de nodos que mayor eficiencia mostro en la red. En esta fase también se determinan las diferentes funciones de activación que se utilizarán en las neuronas de la capa oculta y salida, 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 o intermedia y la capa de salida fue una función lineal o de identidad.

Entrenamiento de la red neuronal.- En esta etapa se define el tipo de entrenamiento que se realizará, y también se determinan los algoritmos de entrenamiento. 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.

El número total de datos fue de 35, abarcando datos de precios desde el año de 1980 hasta el año 2014, el 85% de los datos tomados para el aprendizaje fueron los precios de 1980 al 2009 de los cuales se realizó el entrenamiento, la prueba y validación. El 15% restante de los datos que se utilizó para la simulación fueron los precios de los años 2010 al 2014.

### **3.4 Análisis de sensibilidad utilizando el algoritmo de Garson**

A partir de los pesos ajustados en cada una de las Redes Neuronales Artificiales (RNA) se procedió a la aplicación del algoritmo de Garson (1991) para el análisis de sensibilidad.

Garson (1991) propuso un método, para particionar los pesos de conexión de la red neuronal con el fin de determinar la importancia relativa de cada variable de entrada de la red. Es importante que se tenga en cuenta que el algoritmo de Garson utiliza el valor absoluto de los pesos de conexión al calcular las contribuciones de las variables (Olden & Jackson, 2002).

El algoritmo de Garson nos arroja la magnitud del impacto que tiene cada una de las variables de entrada de la red neuronal sobre la variable de salida, en este caso, el precio real nacional del maíz; así como también si el impacto sobre esta variable es positivo o negativo, es decir, cuánto aumentará o disminuirá la variable de salida por cada unidad que aumente o disminuya la variable de entrada, esto dependerá de la relación negativa o positiva que haya entre ellas.

A través del análisis de sensibilidad usando el algoritmo de Garson se determinará cuáles de los productos incluidos en las variables son sustitutos, cuales son

complementarios y cuál de éstas variables tiene un mayor impacto en el precio nacional del maíz.

El procedimiento del algoritmo de Garson se describe de la siguiente manera: se procedió a obtener el valor de los pesos que van de la capa entrada a la capa oculta y los pesos de la capa oculta a la capa de salida, estos datos se arrojan al momento de correr la red neuronal en Matlab.

Cada peso que va de la capa de entrada a la capa oculta se multiplicó por el peso que va de la capa oculta a la capa de salida en cada uno de los nodos (en nuestro caso fueron dos redes, por lo que se realizaron dos análisis de sensibilidad, en la primera utilizando 11 nodos en la capa oculta y en la segunda tan solo 9 nodos) generando un valor "a" que refleja la contribución de cada entrada sobre la variable de salida (en nuestro caso el Precio Real Nacional del Maíz). Se obtiene la sumatoria de los valores "a" de cada variable de entrada obteniendo un valor "b" por cada nodo.

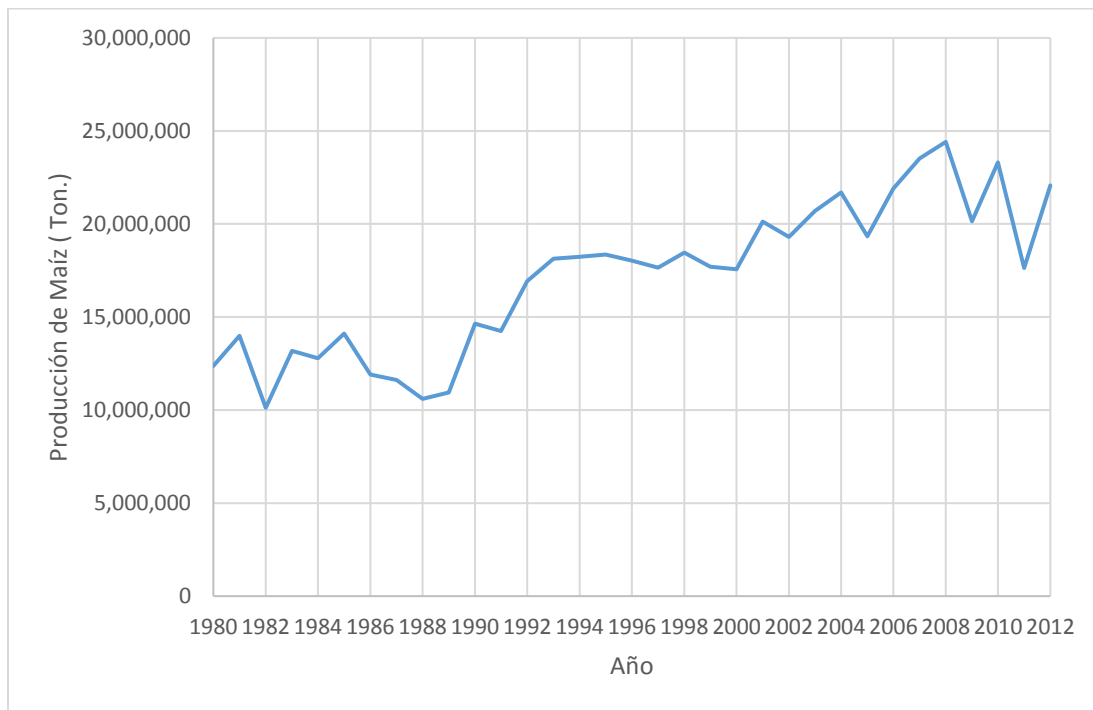
Posteriormente se divide el valor "a" entre el valor "b" generando un nuevo valor "c" que refleja la contribución relativa de cada variable de entrada sobre la variable de salida, también se obtiene la sumatoria de los valores "c" de los nodos por cada variable de entrada teniendo como resultado un valor "d", habrán tantos valores "d" como número de variables de entrada.

Finalmente para obtener el porcentaje de la contribución real de cada variable de entrada sobre la variable de salida (Precio Real Nacional del Maíz) se divide el valor "c" entre el valor "d" y se multiplica por 100 para generar el valor "e" por cada variable de entrada.

## 4. RESULTADOS

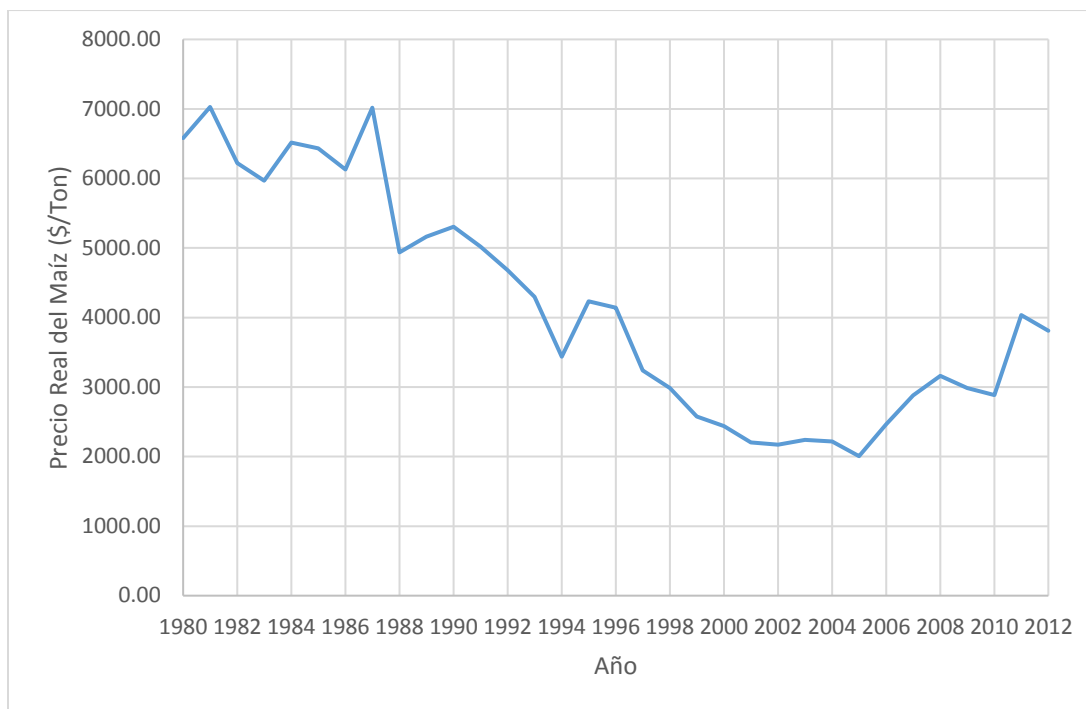
### 4.1 Producción y precio del maíz en México durante el período de PROCAMPO

Tomando en cuenta el período en que se instituyó el programa PROCAMPO que fue de 1993 a 2012 en las Fig. 5 y 6 se compara la producción del maíz desde 1980 incluyendo el periodo del programa, con el comportamiento de los precios reales (deflactados) del maíz a nivel interno también en esos años.



**Figura 5. Producción de maíz en México del año 1980 al 2012 (Ton).**





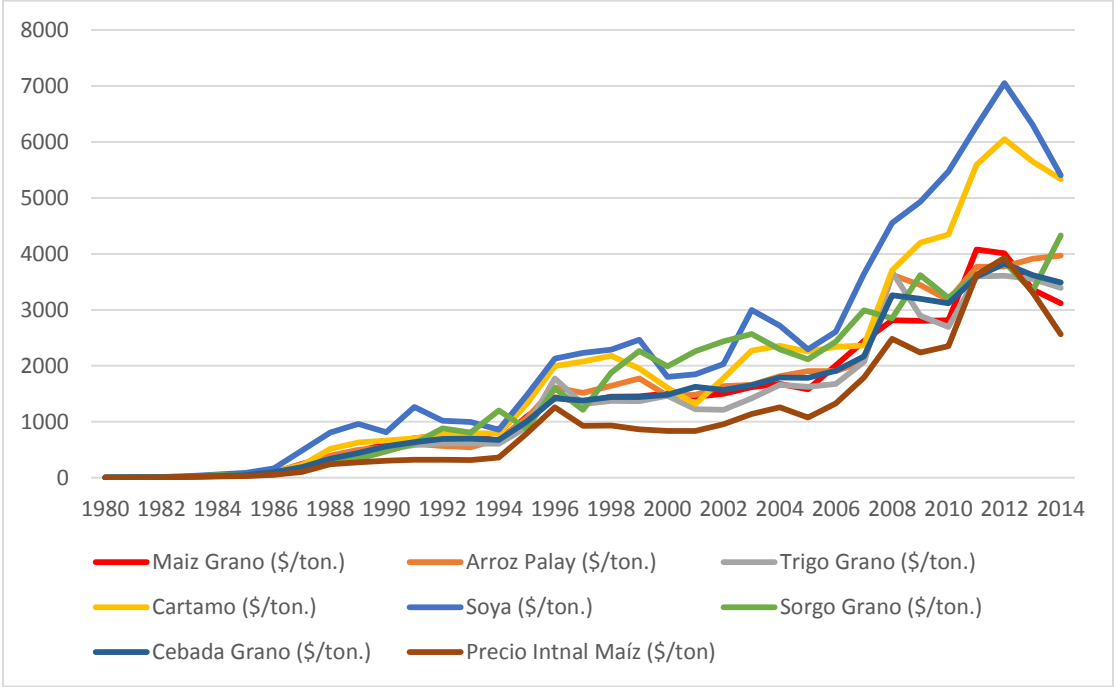
**Figura 6. Precio real nacional del maíz en México del año 1980 al 2012 (\$/ton)**

Se puede observar que durante el periodo en que se llevó a cabo el programa PROCAMPO la producción se incrementó de manera notable y se mantuvo así hasta que finalizó el programa, también se puede apreciar que el precio real nacional del maíz se mantuvo a la baja y aunque a partir del año 2005 se comenzó a elevar se mantuvo estable hasta finalizar el programa en el 2012 sin alcanzar los niveles que se tenían antes del programa. Con lo cual podemos demostrar que a pesar de las innumerables críticas que tuvo este programa de apoyo al campo, tuvo un impacto positivo en cuanto a niveles de producción y precios reales del Maíz en México.

#### **4.2 Comportamiento de precios nacionales nominales y reales del maíz (1980 – 2014).**

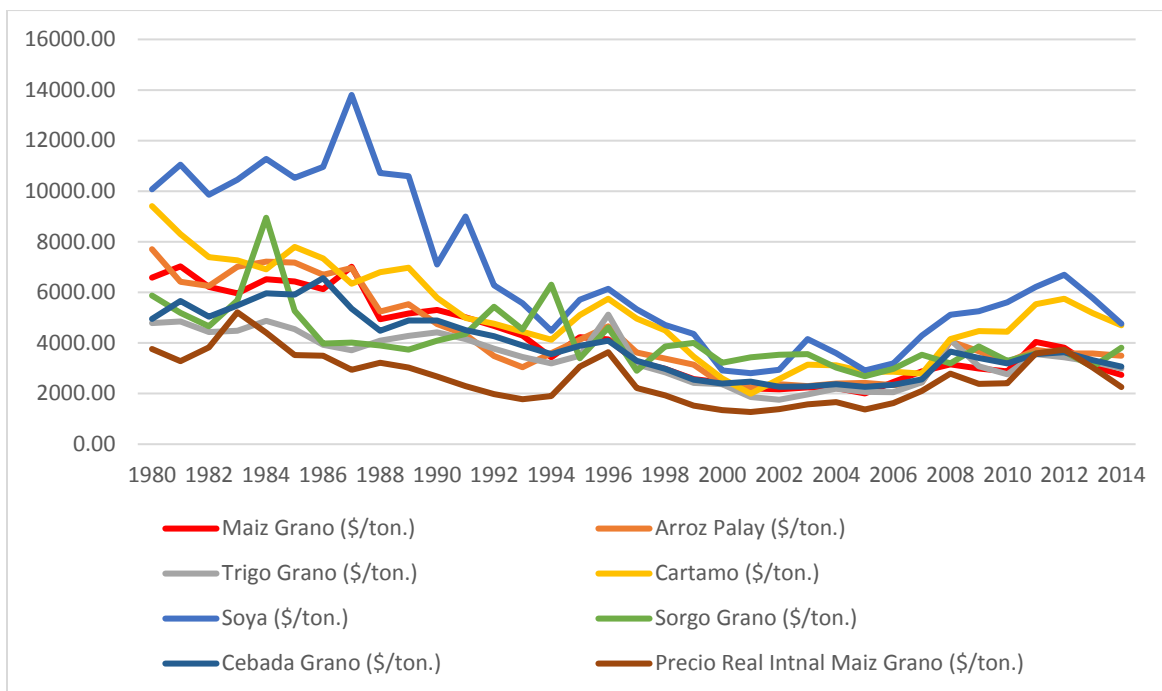
La Fig. 7 despliega el comportamiento de los precios nominales durante el periodo 1980 - 2014. En general se tiene una tendencia a la alta, siendo la soya y el cártamo los productos que alcanzaron mayores precios, aunque la cebada fue el producto con un mayor incremento porcentual en sus precios alcanzando un 16%, mientras

que los demás productos solo se incrementaron en promedio en un 14%. En cuanto al precio internacional nominal del maíz se observa manteniendo la misma tendencia pero por debajo del precio nacional.



**Figura 7. Precio nominal del maíz, 6 productos relacionados y precio internacional nominal del maíz (1980-2014) en \$/ton.**

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 de una manera más homogénea y equilibrada. Obteniendo los resultados mostrados en la Fig. 8.



**Figura 8. 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 2 los precios de la soya son los que tienen una mayor variabilidad en este periodo, a diferencia del trigo que fue de los precios de los productos, el 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 2. Estadística básica de precios reales del maíz, 6 productos relacionados y precio internacional del maíz**

<b>ESTADÍSTICA BÁSICA</b>			
<b>Precios Reales del Producto</b>	<b>MEDIA</b>	<b>STD</b>	<b>CV</b>
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
PIM	2461.95	963.24	0.37

STD: Desviación estándar

CV: Coeficiente de Variación

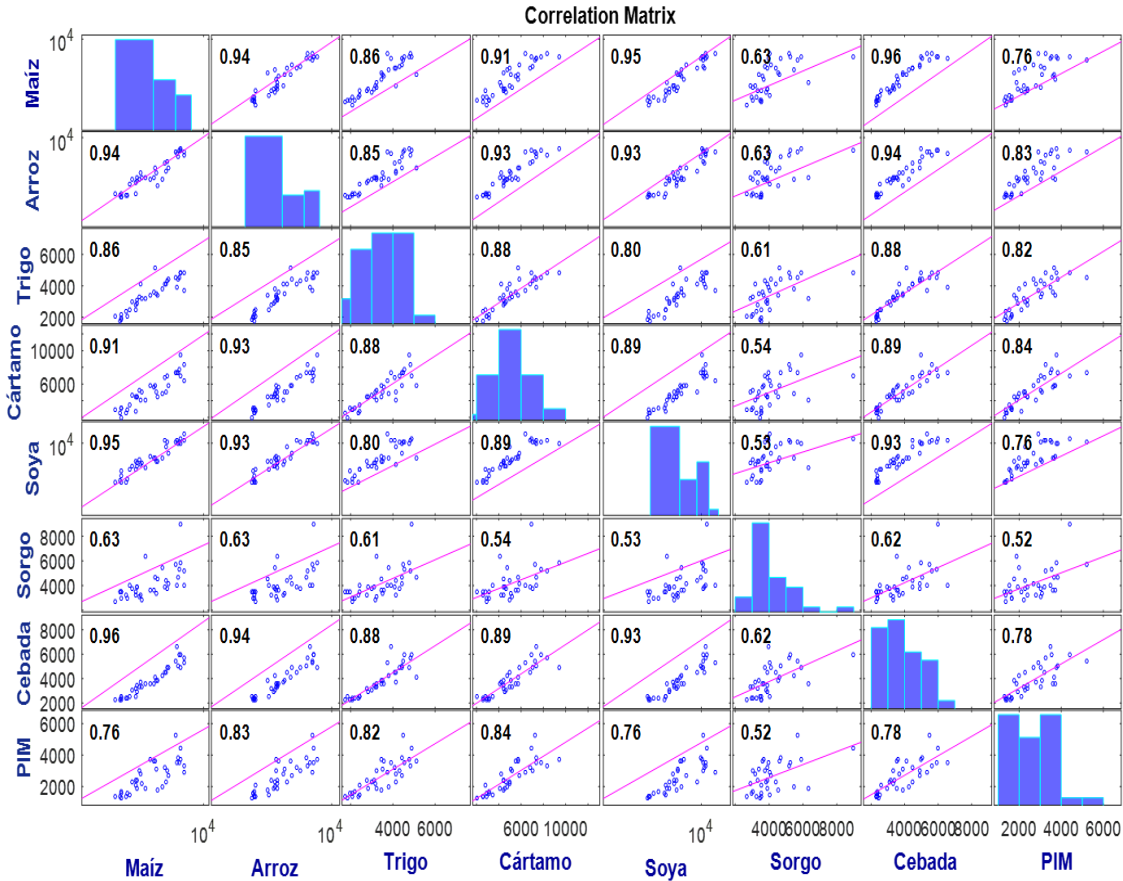
PIM: Precio Internacional del Maíz

### **4.3 Matriz de correlación del precio nacional del maíz con precios de 6 productos relacionados y precio internacional del maíz.**

Con el fin de conocer la relación que existe entre los precios de estos productos entre sí, se obtuvo la matriz de correlación, la cual refleja la relación entre dos variables y su rango de valores es de -1 a 1, siendo 0 una nula correlación, 1 una correlación positiva perfecta y -1 una correlación negativa perfecta.

En la matriz de correlaciones (Fig. 9) de los precios reales del maíz con 6 productos relacionados se puede observar que las correlaciones más altas del precio real del maíz son 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.



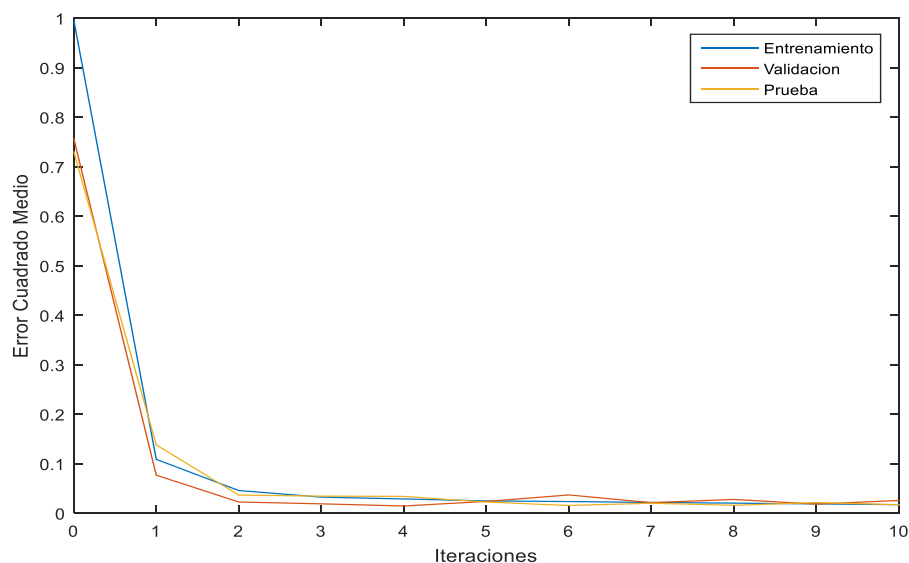
**Figura 9. Matriz de correlación del precio real del maíz, 6 productos relacionados y precio real internacional del maíz.**

Dado que todos los precios de los productos relacionados tienen una correlación mayor a 0.5 con el precio nacional del maíz, todos ellos se consideraron para la construcción de la red. Para la implementación de la red se utilizó el software Matlab

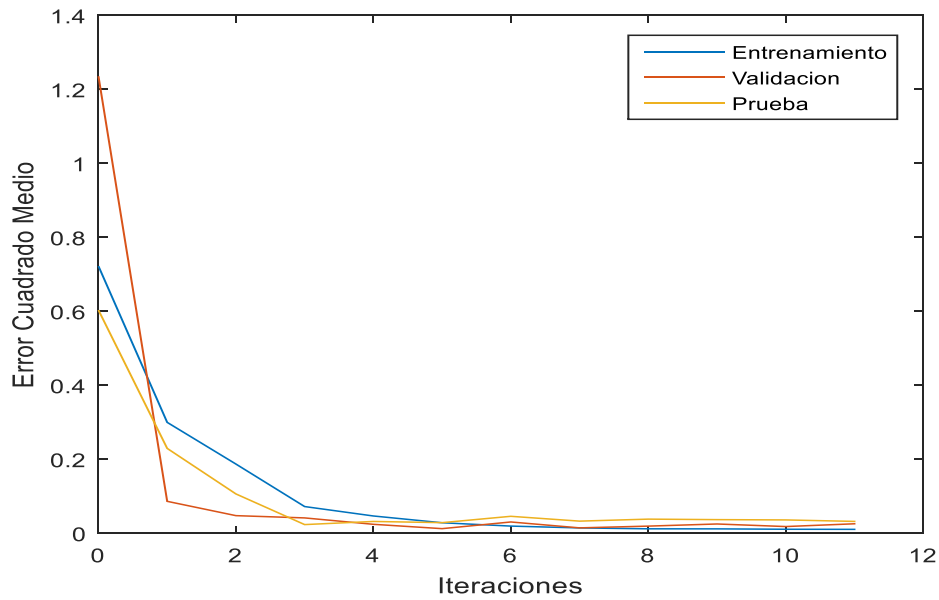
que cuenta con una amplia utilería de redes neuronales, el número de datos utilizados para construir la red fueron los precios registrados desde el año 1980 hasta el 2014, el 85% se utilizó para entrenamiento, prueba y validación de la red (1980-2009) y el otro 15% para propósitos de predicción (2010-2014). 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.

#### 4.4 Entrenamiento, Prueba y Validación de la red.

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 menor error cuadrado medio (MSE) 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. Estos resultados del entrenamiento, prueba y validación de la red se muestran en las Figs. 10 y 11; así mismo, las Figs. 12 y 13 muestran el comportamiento entre el precio real y simulado por la red.

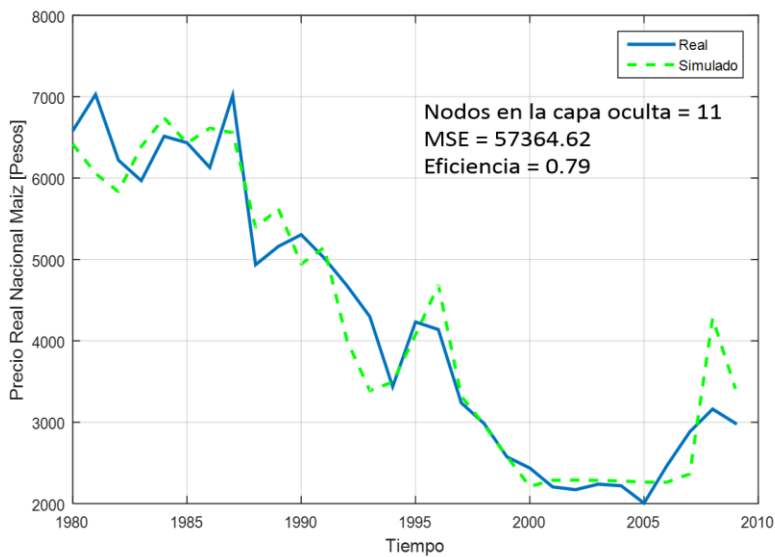


**Figura 10. Resultados del Entrenamiento, Validación y Prueba de la red sin incluir la variable del precio internacional del maíz.**

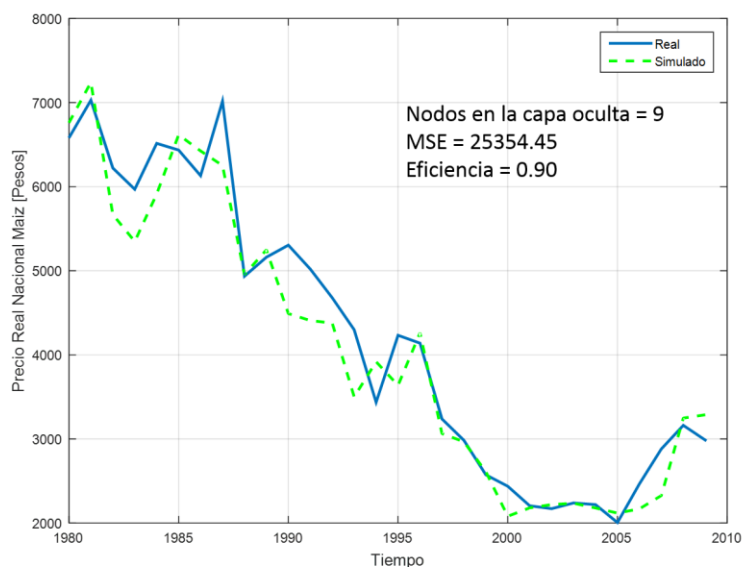


**Figura 11. Resultados del Entrenamiento, Validación y Prueba de la red incluyendo la variable del precio internacional del maíz.**

#### 4.5 Precio nacional del maíz observado y simulado por la red.



**Figura 12. Comparación del precio real observado y simulado por la red, sin incluir la variable del precio internacional del maíz.**



**Figura 13. Comparación del precio real observado y simulado por la red, incluyendo la variable del precio internacional del maíz.**

**Cuadro 3. Medidas de ajuste de la red obtenidas con el cambio en el número de nodos en la capa oculta sin incluir la variable del precio internacional del maíz.**

Núm. de neuronas en la capa oculta	MSE	RMSE	MAE	EF	No Iteraciones
6	102895.75	320.77	299.14	0.61	8
7	79956.64	282.77	239.98	0.70	9
8	123212.01	351.02	266.89	0.54	11
9	138557.29	372.23	324.94	0.48	8
10	58236.62	241.32	212.88	0.78	12
11	57364.36	239.51	195.12	0.79	11
12	143456.03	378.76	332.87	0.46	10
13	115417.37	339.73	268.90	0.57	15

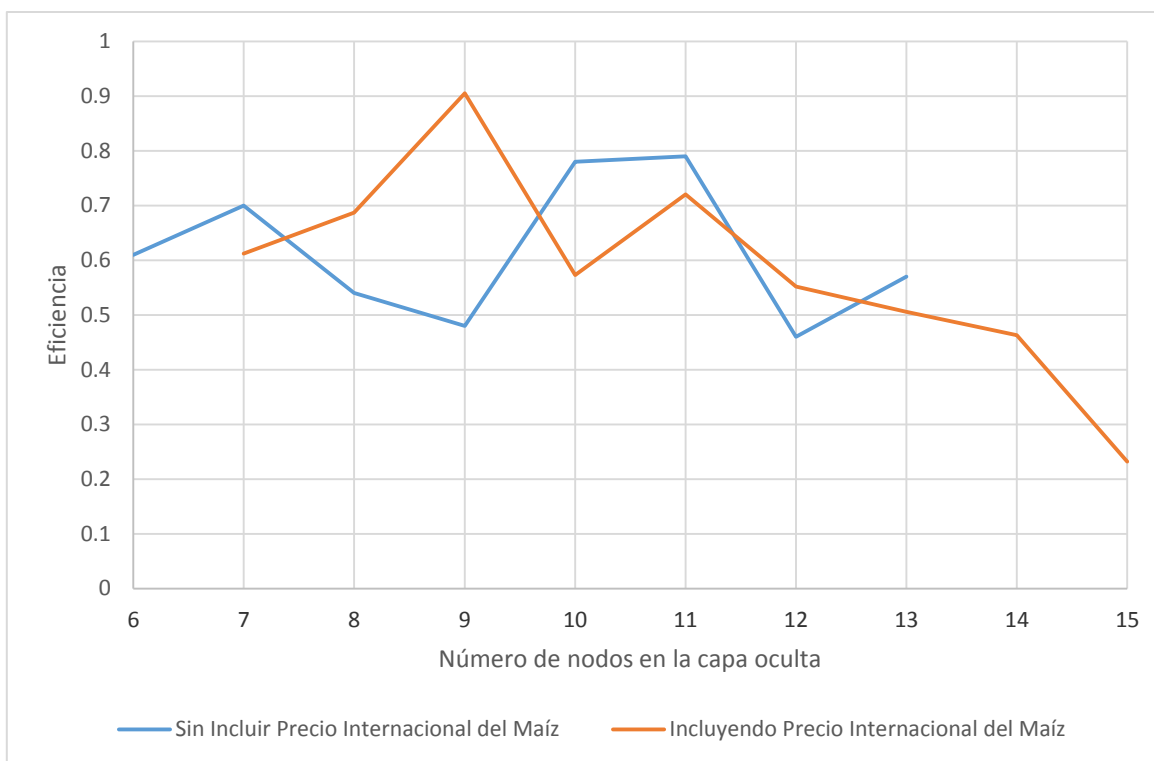
MSE: Error Cuadrado Medio  
 RMSE: Desviación Estándar  
 MAE: Error Absoluto Medio  
 EF: Eficiencia

**Cuadro 4. Medidas de ajuste de la red obtenidas con el cambio en el número de nodos en la capa oculta incluyendo la variable del precio internacional del maíz.**



Núm. de neuronas en la capa oculta	MSE	RMSE	MAE	EF	No Iteraciones
7	103482.11	321.69	269.42	0.61	11
8	83526.06	289.01	262.48	0.69	19
9	25354.45	159.23	125.09	0.90	10
10	113994.15	337.63	259.35	0.57	21
11	74589.10	273.11	160.59	0.72	12
12	119636.26	345.88	296.91	0.55	15
13	131932.68	363.23	328.95	0.51	11
14	143336.50	378.60	302.06	0.46	12
15	204905.90	452.67	309.63	0.23	7

MSE: Error Cuadrado Medio  
RMSE: Desviación Estándar  
MAE: Error Absoluto Medio  
EF: Eficiencia



**Figura 14. Niveles de eficiencia de las dos redes en función del número de nodos en la capa oculta.**

De acuerdo a la Fig. 14, se observa que 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 correr cada red.

#### 4.6 Predicción de la red.

Una vez entrenada y validada la red se utilizó para fines predictivos, usando solo las entradas sin proveer las salidas, se simuló para los años 2010 – 2014 (Figs. 15 y 16).

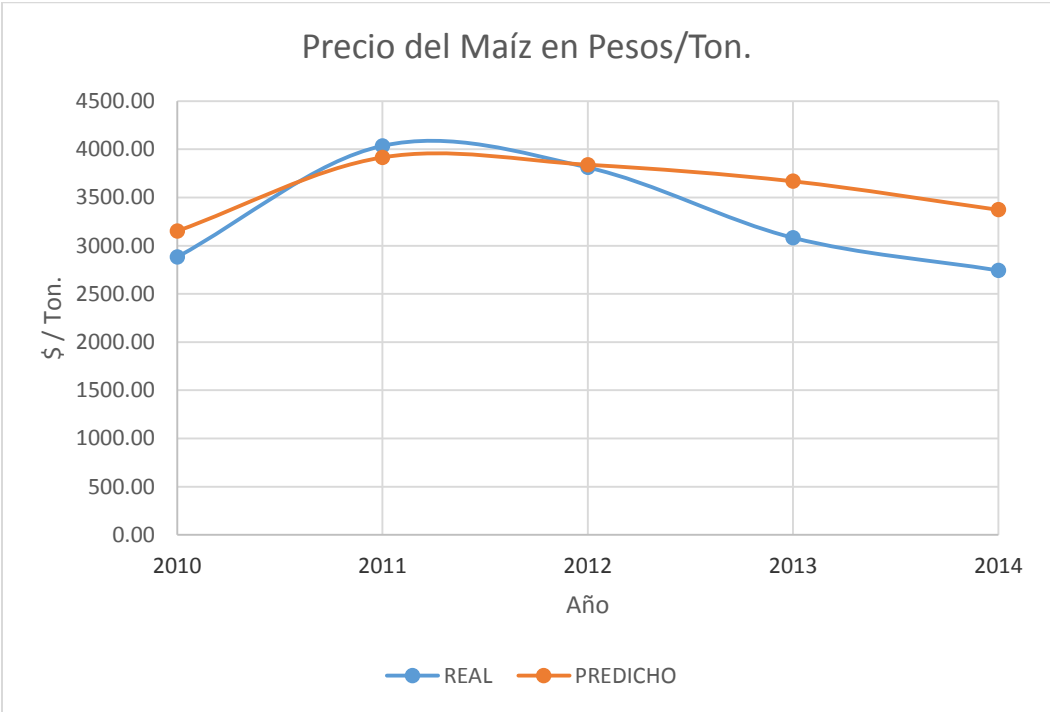
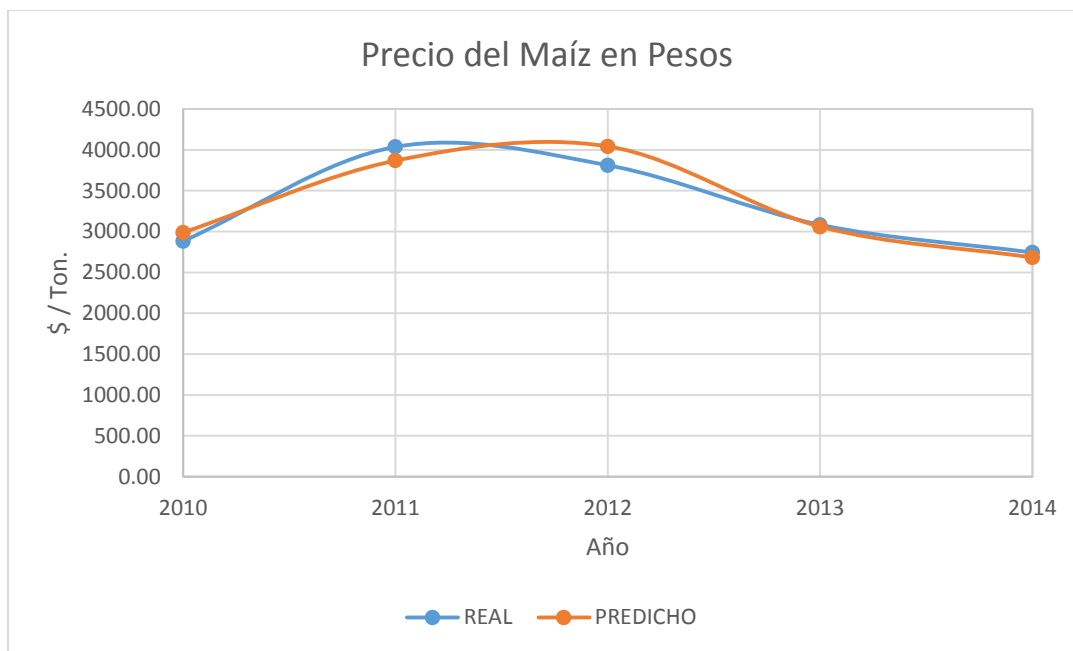


Figura 15. Precio real y simulado del maíz para el tiempo de predicción de la red sin incluir la variable del precio internacional del maíz.



**Figura 16. Precio real y simulado del maíz para el tiempo de predicción de la red incluyendo la variable del precio internacional del maíz.**

**Cuadro 5. Precio nacional del maíz real y predicho para los años 2010 - 2014 sin incluir la variable del precio internacional del maíz.**

Precio del Maíz en Pesos			
Año	REAL	PREDICHO	% DE CAMBIO
2010	2882.49	3151.57	8.54%
2011	4035.84	3916.28	-3.05%
2012	3811.44	3840.10	0.75%
2013	3082.20	3668.03	15.97%
2014	2743.20	3372.24	18.65%

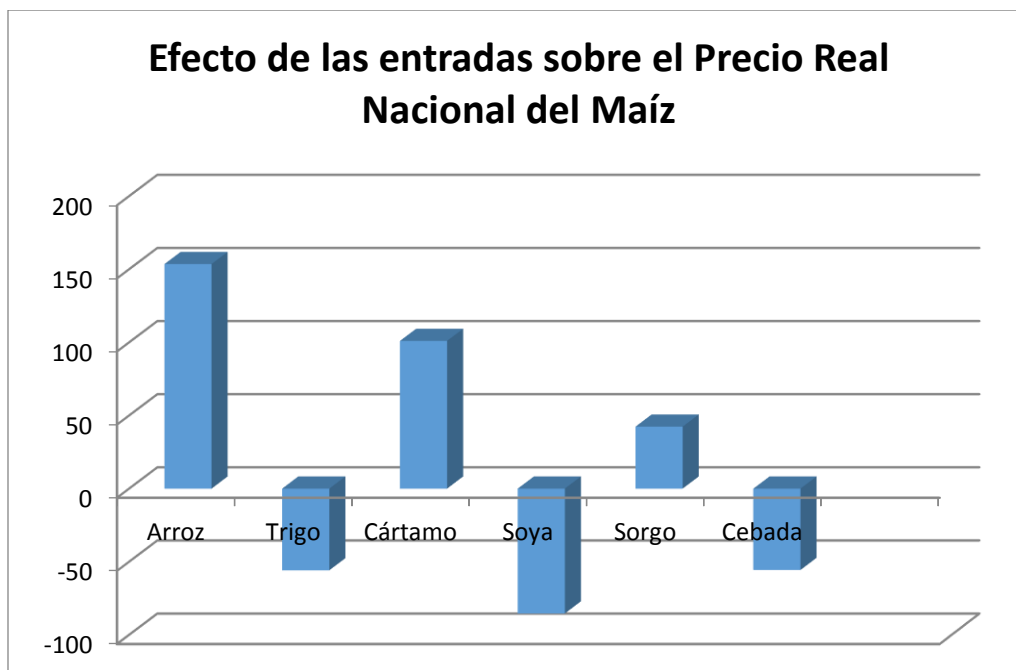
**Cuadro 6. Precio nacional del maíz real y predicho para los años 2010 - 2014 incluyendo la variable del precio internacional del maíz.**

Precio del Maíz en Pesos			
Año	REAL	PREDICHO	% DE CAMBIO
2010	2882.49	2987.8	3.52%
2011	4035.84	3867.4	-4.36%
2012	3811.44	4042.1	5.71%
2013	3082.20	3060.2	-0.72%
2014	2743.20	2682.4	-2.27%

Los Cuadros 5 y 6 reflejan los datos del precio real y el predicho para los años 2010 al 2014 que fue el periodo de predicción, se puede apreciar que entre los datos reales y los predichos existe muy poca diferencia 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 incluso para el año 2012 es mínima la variación entre los 2 datos con un porcentaje de cambio del 0.75% entre el precio real y el predicho para ese año, mientras que para los otros años el porcentaje de cambio entre los precios reales y predichos va 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.

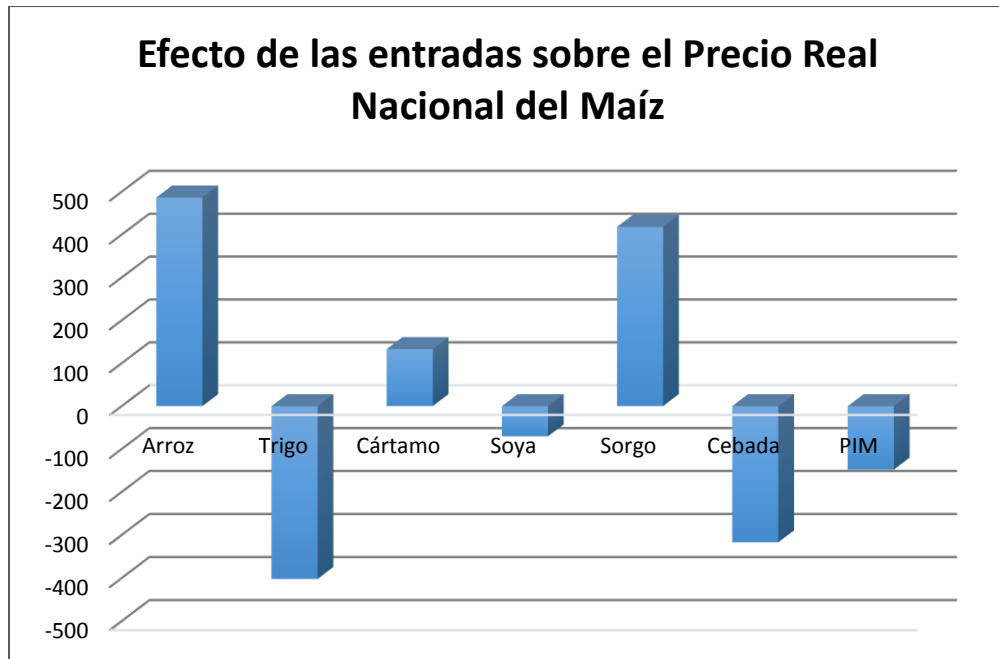
#### **4.7 Análisis de sensibilidad.**

Para el análisis de sensibilidad se utilizó el algoritmo de Garson, el cual nos arrojó los resultados de las Fig. 17 y 18.



**Figura 17. Efecto de los precios de 6 productos relacionados en el precio real nacional del maíz evaluado con el algoritmo de Garson.**

En la Fig. 17 no se incluyó la variable del precio internacional del maíz en el análisis donde se puede apreciar el grado de sensibilidad de cada uno de los precios de los 6 productos relacionados que se utilizaron, 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 del producto con mayor sensibilidad negativa fue el de la soya, 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 18. 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 Fig. 18 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 nacional del maíz tiene una sensibilidad negativa con el precio internacional del maíz (aunque en menor proporción que el precio nacional del trigo y la cebada), esto quiere decir, que el efecto negativo en el precio nacional del maíz será mayor entre más grande sea el cambio que se produce en el precio

internacional del maíz, esto se justifica ya que el apoyo que el programa PROCAMPO estuvo dando a los productores de maíz evitó que el precio real nacional del maíz se incrementara, e incluso disminuyera, ya que después de 1993 empezó a tener un comportamiento aún más hacia la baja, mientras que el precio internacional del maíz en términos reales subía gradualmente, hasta el punto en que ambos precios casi llegan a la par en el año 2012 y después ahí se mantienen más estables.

## CONCLUSIONES

En el presente trabajo se hizo un análisis de la evolución del precio del maíz en México, la primer parte corresponde a la revisión bibliográfica de los hallazgos encontrados en el programa PROCAMPO, en donde uno de los principales objetivos de dicho programa era el de disminuir los precios de productos básicos tales como el maíz. Se pudo notar que en el período de vigencia de este programa de apoyo al campo (1993-2013) los precios reales del maíz se mantuvieron estables, únicamente el precio del sorgo y la soya tuvieron un pequeño incremento. Lo cual nos demuestra que a pesar de todas las críticas a dicho programa, en cuanto a los precios tuvo 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 de 3 productos relacionados, la cebada, la soya y el arroz. 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 en este caso particular se puede observar 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, lo cual nos arroja información más relevante.

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 de la gráfica al igual que la variable del precio internacional del maíz, lo cual nos indica que el efecto negativo en el precio nacional del maíz será mayor cuanto más grande sea el cambio en el precio de estos productos y en el precio internacional del maíz. En cuanto a la relación negativa entre el precio nacional del maíz y el precio internacional, se justifica por el apoyo que PROCAMPO dió a los productores de maíz en el periodo 1993 – 2013, en donde el precio nacional del maíz en términos reales no se incrementó, incluso su tendencia fue a la baja y después se estabilizó, mientras que el precio internacional del maíz en términos reales a través del tiempo

fue aumentando gradualmente hasta llegar a un punto en el que casi se mantuvieron iguales en el año 2012.

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.

## BIBLIOGRAFIA:

- Aguilar Villanueva, L. F., Lowi, T. J. A., Linblon, G. T., Dror, C. E., Etzioni, Y., Goodln, A. & Lowi, A. J. T. J. (2003). *La hechura de las políticas* (No. 351). Miguel Angel Porrúa
- Arellano Hernández, M. (1999) *Las teorías motivacionales, una herramienta para incrementar la productividad/por Mauricio Arellano Hernández* (No. Tesis 1330.). Universidad Autónoma Chapingo.
- Arias Galicia, F. (1994). *Administración de recursos humanos*. Trillas.
- Ariza, M., & Gandini, L. (2012). El análisis comparativo cualitativo como estrategia metodológica. *Ariza, Marina y Velasco, Laura (Coords.), Métodos cualitativos y su aplicación empírica. Por los caminos de la investigación sobre la migración internacional. México: Instituto de Investigaciones Sociales y Colegio de la Frontera Norte.*
- Bacilio, S. (1998). Diagnóstico y análisis del programa Alianza para el Campo y su impacto en cuatro municipios del Valle de Nochistlán, Oaxaca 1996-1997.
- Benedetti, F., Baigún, A., Yanguas, M., Heymann, D., Perazzo, R., & Zimmermann, M. (2008). Predicciones de Series de Tiempo con Redes Neuronales: Trading usando el Índice Merval.
- Brue, S. L. (2009). *Historia del pensamiento económico* (No. 330.109 B7y.).
- Catalano, J., & Mosse, L. (2013). Agricultura familiar y el rol del Estado: Organizarse para crecer, desarrollarse para transformar la realidad. *Francia. Disponible en: <http://www.vocesenelfenix.com/content/agricultura-familiar-y-el-rol-del-estadoorganizarse-para-crecer-desarrollarse-para-transfor>.*
- 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)
- Chauvet S., M., y R. L. González A. (2009). Alimentos, biocombustibles y desigualdad social en México. <http://www.observatorylatinamerica.org/pdf/articulos/Chauvetesp.pdf>
- Cooper, J. C. (1999). Artificial neural networks versus multivariate statistics: an application from economics. *Journal of Applied Statistics*, 26(8), 909-921.
- Duarte, J. V. C. (2003). Predicción con redes neuronales: comparación con las metodologías de Box y Jenkins.
- El Universal (2013). El programa perdió credibilidad. Nota publicada el 17 de noviembre de 2013.
- FAO (Food Agriculture Organization). 2009. Statistical databases. <http://faostat.fao.org/DesktopDefault.aspx?PageID=291&lang=es>

- Fernández L., G. (2010) Economía y organización de la empresa. UDG: Productividad, eficiencia e innovación. Agustinos recoletos. Guadalajara <http://riconomia.aprenderapensar.net/files/2010/01/06-Productividad-eficiencia-e-innovacion1.pdf>
- FIRA (2015). Panorama Agroalimentario: Maíz 2015. Dirección de investigación y evaluación económica y sectorial. FIRA, México.
- FIRA (2016). Panorama Agroalimentario: Maíz 2016. Dirección de investigación y evaluación económica y sectorial. FIRA, México. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200637/Panorama\\_Agroalimentario\\_Ma\\_z\\_2016.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200637/Panorama_Agroalimentario_Ma_z_2016.pdf)
- Franco Corzo, J. (2012). Diseño de políticas públicas. Una guía práctica para transformar las ideas en proyectos viables. IEXE.
- Garson, G. D. (1991). Interpreting neural-network connection weights. *AI Expert*, 6(4), 46-51.
- Goetzl, A. (2006). ¿ Subsidios o incentivos?. *Actualidad Forestal Tropical*, 3.
- Gómez-Oliver, L. (1995). *El papel de la agricultura en el desarrollo de México* (No. HC131 G63). Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe.
- 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.
- Herrera Tapia, F. (2004). Los paradigmas actuales del desarrollo rural en México. *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, (27). <http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/mx/2004/fht-rural.htm>
- Herrerías, A. (1991). *Fundamentos para la historia del pensamiento económico*, Editorial Limusa.
- Huerta, I. A. (2004). *Los subsidios agropecuarios de los países ricos, causa del fracaso de la OMC*. Red Aportes.
- Johnston, B. F., & Mellor, J. W. (1972). El papel de la agricultura en el desarrollo económico. *Lecturas sobre desarrollo agrícola*.
- Juárez-Sánchez, J. P., & Ramírez-Valverde, B. (2006). El programa de subsidios directos a la agricultura (PROCAMPO) y el incremento de la producción de maíz en una región campesina de México. *Ra Ximhai*, 2(2).

- Knirsch, J., Mittler, D., Kaiser, M., Sack, K., Thies, C., & Edwards, L. (2006). Deadly subsidies: how government funds are killing oceans and forests and why the CBD rather than the WTO should stop this perverse use of public money.
- Larrañaga, P., Inza, I., & Moujahid, A. (1997). Tema 8. Redes Neuronales. *Redes Neuronales, U. del P. Vasco*, 12-17.
- Lawrence, R. (1997). Using neural networks to forecast stock market prices. University of Manitoba.
- Martínez Guerrero, M.V. (2006). Intervención estatal en el campo mexicano. Instituto de Investigaciones Jurídicas de la UNAM. Circuito Maes <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/5/2458/25.pdf>
- 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.
- Matich, D. J. (2001). Redes Neuronales: Conceptos básicos y aplicaciones. Cátedra de Informática Aplicada a la Ingeniería de Procesos–Orientación I.
- Matich, D. J. (2001). Redes Neuronales: Conceptos básicos y aplicaciones. Cátedra de Informática Aplicada a la Ingeniería de Procesos–Orientación I.
- Maynard, V. K., Dionne, S., Paquin, M., & Pageot-Lebel, I. (2003). The Economic and Environmental Impacts of Agricultural Subsidies: An Assessment of the 2002 US Farm Bill and the Doha Round (Montreal, Canada: North American Commission for Environmental Cooperation, 2003); y Joseph Cooper et al. *Some Domestic Environmental Effects of US Agricultural Adjustments under Liberalized Trade: A Preliminary Analysis*.
- Mendoza Pérez, J. (2005). *Políticas públicas: cambio social e institucional/coord. Juan Mendoza Pérez* (No. 350 M44.).
- Montgomery, D. C., Jennings, C. L., & Kulahci, M. (2015). Introduction to time series analysis and forecasting. John Wiley & Sons.
- Moreno, R., Irigoyen, A. I., & Studdert, G. A. (2014). Carbono orgánico del suelo: extracción de conocimiento desde redes neuronales artificiales.
- Nacelle, A. (2009). Redes neuronales artificiales, Núcleo de ingeniería biomédica – Universidad de la Republica Uruguay.
- O. E. C. D. (2004) Consumer support estimates, OECD database

- 1986–2003. Agricultural policies in OECD countries: at a glance (edición 2004). Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, París, Francia.
- 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.
- Parsons, W. (2013). *Políticas públicas: una introducción a la teoría y la práctica del análisis de políticas públicas*. FLACSO Mexico.
- Pearce, D. (2003). Environmentally harmful subsidies: barriers to sustainable development. *Environmentally Harmful Subsidies: Policy Issues and Challenges*. OECD, Paris, 9-32.
- Pektaş, A. O., & Cigizoglu, H. K. (2013). ANN hybrid model versus ARIMA and ARIMAX models of runoff coefficient. *Journal of hydrology*, 500, 21-36.
- Portugal, L. (2002). *OECD Work on Defining and Measuring Subsidies in Agriculture*. Informe presentado en el Taller sobre subsidios ambientalmente dañinos de la OCDE, París, OCDE, 7–9 Noviembre.
- Prescott, W. H. (1874). *Historia de la conquista de México* tomo 1, Imprenta Poliglota. México.
- Rangel Couto, H., & Couto, H. R. (1979). *Guía para el estudio de la historia del pensamiento económico* (No. 330.1 R3). Porrúa.
- SAGARPA (2013). PROCAMPO – Productivo: Reporte de avances al mes de septiembre de 2013. 3er Trimestre.  
[http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/Programas/proagro/procampo/Resultados-Indicadores/Documents/2013/Reporte\\_de\\_avance\\_al\\_3er\\_trimestre.pdf](http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/Programas/proagro/procampo/Resultados-Indicadores/Documents/2013/Reporte_de_avance_al_3er_trimestre.pdf)
- SARH, P. (1993). *Vamos al grano para progresar*. México, s/f,.
- Scott-Andretta, J. (2010). *The Incidence of Agricultural Subsidies in Mexico* (No. DTE 473).
- Schmitz, A., Schmitz, T. G., & Rossi, F. (2006). Agricultural subsidies in developed countries: Impact on global welfare. *Review of Agricultural Economics*, 28(3), 416-425.
- Schwentenius 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.
- Shelton, A. M. (2015). ¿Por qué México está rezagado en la producción de maíz?. *Forbes México*. <https://www.forbes.com.mx/por-que-mexico-esta-rezagado-en-la-produccion-de-maiz/>

- Siliceo Aguilar, A. (1992). *Liderazgo para la productividad en México/por Alfonso Siliceo Aguilar* (No. 658.3 S55.). Limusa.
- Sistema de Información Agropecuaria de Consulta (SIACON) (2017). Precios de productos nacionales por año. SAGARPA, México.
- Suárez Carrera, V. (2011). Políticas públicas para la agricultura mexicana. *Anecdotica, México*.
- The World Bank Commodity Prices.  
<http://www.worldbank.org/en/research/commodity-markets>
- Torres Torres, V. (1993). La intervención del estado en la agricultura mexicana (época actual y perspectivas).
- Vega, J. J. (1969). *Nuestra América: capítulos olvidados de nuestra historia*. Mexico, DF.
- 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.
- Villalba, P., & del Moral, E. B. (2004). *Análisis de políticas públicas para el desarrollo agrícola y rural* (No. 320.972 A5).
- 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.

## ANEXOS

### ANEXO A. Procedimiento para la deflactar de precios.

Para la deflactación de los precios nacionales del maíz, los 6 productos relacionados y el precio internacional del maíz se utilizó el índice de precios al consumidor elaborado por el CEFP (Centro de Estudios de las Finanzas Públicas) de México, con base en la segunda quincena de diciembre de 2010, la fórmula utilizada para deflactar los precios fue la siguiente:

$$\text{Precio Real del año } n = \frac{\text{precio nominal del año } n}{\text{valor del INP del año } n} * 100$$

Se describen en los siguientes cuadros los precios nominales del maíz, 6 productos relacionados y precio internacional del maíz, después un cuadro de deflactación por producto, el cuadro ya con todos los precios reales y finalmente el índice nacional de precios al consumidor elaborado por el CEFP que se utilizó.

El índice nacional de precios utilizado tuvo como base la segunda quincena de diciembre de 2010 ya que fue el valor que mejor ajustaba los datos, haciéndolos más homogéneos.



## Precios nominales (1980 -2014)

Año	Maiz Grano (\$/ton.)	Arroz Palay (\$/ton.)	Trigo Grano (\$/ton.)	Cartamo (\$/ton.)	Soya (\$/ton.)	Sorgo Grano (\$/ton.)	Cebada Grano (\$/ton.)	Precio Intnal Maíz (\$/ton)
1980	5.02	5.88	3.65	7.18	7.69	4.48	3.78	2.87
1981	6.86	6.27	4.74	8.11	10.79	5.07	5.52	3.20
1982	9.65	9.71	6.88	11.47	15.29	7.23	7.82	5.93
1983	18.69	21.95	14.03	22.76	32.75	17.81	17.16	16.32
1984	33.75	37.39	25.26	35.84	58.43	46.37	30.87	22.81
1985	52.59	58.66	37.16	63.75	86.06	43.05	48.34	28.78
1986	93.3	101.87	59.72	111.82	166.85	60.55	99.89	53.23
1987	247.69	245.71	131.18	223.73	487.28	141.79	189.07	103.66
1988	373.09	396.15	309.75	513.78	810.6	295.27	339.32	242.91
1989	468.11	501.75	388.86	633.2	960.25	338.70	443.91	274.54
1990	609.47	545.6	507.21	665.47	815.74	470.84	562.01	307.35
1991	707.31	610.52	586.21	703.57	1,267.57	614.60	634.51	324.18
1992	761.23	567.29	615.07	774.02	1,022.17	883.87	694.70	322.58
1993	767.73	544.33	614.93	794.89	994.84	809.44	696.98	318.03
1994	656.22	687.8	610.79	788.26	857.45	1,204.56	678.89	362.99
1995	1,091.57	1,066.10	902.56	1,316.18	1,473.61	874.67	1,002.60	792.67
1996	1,434.61	1,616.62	1,774.95	1,994.40	2,126.89	1,598.09	1,419.83	1260.06
1997	1,353.75	1,516.13	1,319.51	2,077.74	2,228.67	1,211.99	1,378.26	927.19
1998	1,446.18	1,640.47	1,374.66	2,179.01	2,286.17	1,875.46	1,443.05	931.72
1999	1,454.48	1,775.71	1,368.58	1,953.60	2,464.42	2,264.44	1,439.93	862.52
2000	1,507.78	1,467.37	1,467.46	1,610.32	1,803.31	1,990.90	1,483.69	837.14
2001	1,451.07	1,481.03	1,224.92	1,314.42	1,847.23	2,259.46	1,626.71	837.47
2002	1,500.56	1,639.20	1,214.52	1,781.53	2,031.97	2,439.66	1,571.07	958.56
2003	1,618.01	1,661.70	1,417.96	2,271.85	2,998.11	2,568.65	1,651.81	1136.84
2004	1,678.59	1,816.61	1,659.33	2,354.42	2,719.15	2,294.54	1,790.28	1261.81
2005	1,577.93	1,903.65	1,623.46	2,254.79	2,295.98	2,114.41	1,783.17	1075.31
2006	2,010.55	1,906.23	1,676.60	2,337.68	2,606.73	2,432.64	1,912.08	1328.08
2007	2,441.99	2,076.20	2,073.18	2,361.46	3,642.05	2,992.24	2,167.92	1788.56
2008	2,817.04	3,626.64	3,679.90	3,706.09	4,553.35	2,847.04	3,260.73	2483.23
2009	2,802.05	3,442.32	2,892.27	4,196.74	4,928.51	3,623.08	3,197.29	2236.61
2010	2,816.48	3,176.20	2,695.19	4,343.94	5,475.55	3,216.64	3,115.69	2349.21
2011	4,077.81	3,767.38	3,595.66	5,592.47	6,281.97	3,625.16	3,591.94	3623.69
2012	4,009.63	3,774.95	3,608.10	6,052.32	7,051.87	3,848.85	3,824.18	3929.99
2013	3,365.77	3,914.19	3,551.56	5,651.48	6,306.77	3,334.19	3,622.41	3312.92
2014	3,115.96	3,968.16	3,393.91	5,333.49	5,404.37	4,327.84	3,489.84	2563.86

Precios obtenidos del Sistema de Información Agropecuaria de Consulta (SIACON) 2017 de la SAGARPA

## Índice Nacional de Precios al Consumidor utilizado (el promedio)

Índice Nacional de Precios al Consumidor, 1980 - 2015													
(base segunda quincena de diciembre de 2010 = 100)													
AÑO	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Oct	Nov	Dic	Promedio
1979	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.06
1980	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
1981	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.11	0.10
1982	0.11	0.12	0.12	0.13	0.14	0.14	0.15	0.17	0.18	0.19	0.20	0.22	0.16
1983	0.24	0.25	0.27	0.28	0.29	0.31	0.32	0.33	0.34	0.35	0.38	0.39	0.31
1984	0.42	0.44	0.46	0.48	0.49	0.51	0.53	0.54	0.56	0.58	0.60	0.62	0.52
1985	0.67	0.70	0.72	0.75	0.76	0.78	0.81	0.85	0.88	0.91	0.96	1.02	0.82
1986	1.11	1.16	1.21	1.28	1.35	1.43	1.51	1.63	1.72	1.82	1.95	2.10	1.52
1987	2.27	2.43	2.59	2.82	3.03	3.25	3.52	3.80	4.05	4.39	4.74	5.44	3.53
1988	6.28	6.80	7.15	7.37	7.52	7.67	7.80	7.87	7.91	7.97	8.08	8.25	7.56
1989	8.45	8.57	8.66	8.79	8.91	9.02	9.11	9.19	9.28	9.42	9.55	9.87	9.07
1990	10.35	10.59	10.77	10.94	11.13	11.37	11.58	11.78	11.94	12.12	12.44	12.83	11.49
1991	13.16	13.39	13.58	13.72	13.85	14.00	14.12	14.22	14.36	14.53	14.89	15.24	14.09
1992	15.52	15.70	15.86	16.00	16.11	16.22	16.32	16.42	16.56	16.68	16.82	17.06	16.27
1993	17.27	17.42	17.52	17.62	17.72	17.82	17.90	18.00	18.13	18.21	18.29	18.43	17.86
1994	18.57	18.67	18.76	18.85	18.94	19.04	19.12	19.21	19.35	19.45	19.55	19.73	19.10
1995	20.47	21.34	22.59	24.39	25.41	26.22	26.75	27.20	27.76	28.33	29.03	29.98	25.79
1996	31.05	31.78	32.48	33.40	34.01	34.57	35.06	35.52	36.09	36.54	37.09	38.28	34.66
1997	39.27	39.93	40.42	40.86	41.23	41.60	41.96	42.33	42.86	43.20	43.69	44.30	41.80
1998	45.26	46.06	46.60	47.03	47.41	47.97	48.43	48.89	49.69	50.40	51.29	52.54	48.46
1999	53.87	54.59	55.10	55.61	55.94	56.31	56.68	57.00	57.55	57.92	58.43	59.02	56.50
2000	59.81	60.34	60.67	61.02	61.25	61.61	61.85	62.19	62.64	63.08	63.61	64.30	61.86
2001	64.66	64.62	65.03	65.35	65.50	65.66	65.49	65.88	66.49	66.79	67.04	67.13	65.80
2002	67.75	67.71	68.06	68.43	68.57	68.90	69.10	69.36	69.78	70.09	70.65	70.96	69.11
2003	71.25	71.45	71.90	72.02	71.79	71.85	71.95	72.17	72.60	72.86	73.47	73.78	72.26
2004	74.24	74.69	74.94	75.05	74.86	74.98	75.18	75.64	76.27	76.80	77.45	77.61	75.64
2005	77.62	77.88	78.23	78.50	78.31	78.23	78.54	78.63	78.95	79.14	79.71	80.20	78.66
2006	80.67	80.79	80.90	81.01	80.65	80.72	80.94	81.36	82.18	82.54	82.97	83.45	81.52
2007	83.88	84.12	84.30	84.25	83.84	83.94	84.29	84.64	85.30	85.63	86.23	86.59	84.75
2008	86.99	87.25	87.88	88.08	87.99	88.35	88.84	89.35	89.96	90.58	91.61	92.24	89.09
2009	92.45	92.66	93.19	93.52	93.25	93.42	93.67	93.90	94.37	94.65	95.14	95.54	93.81
2010	96.58	97.13	97.82	97.51	96.90	96.87	97.08	97.35	97.86	98.46	99.25	99.74	97.71
2011	100.23	100.60	100.80	100.79	100.05	100.04	100.52	100.68	100.93	101.61	102.71	103.55	101.04
2012	104.28	104.50	104.56	104.23	103.90	104.38	104.96	105.28	105.74	106.28	107.00	107.25	105.20
2013	107.68	108.21	109.00	109.07	108.71	108.65	108.61	108.92	109.33	109.85	110.87	111.51	109.20
2014	112.51	112.79	113.10	112.89	112.53	112.72	113.03	113.44	113.94	114.57	115.49	116.06	113.59
2015	115.95	116.17	116.65	116.35	115.76	115.96	116.13	116.37	116.81	117.41	118.05		116.51

Fuente: Elaborado por el CEFP con datos del INEGI.

### Precio nacional del maíz deflactado con el INPC base 2010

Año	Maiz Grano (\$/ton.)	IPC (base 2010)	Precio Real Maíz (\$/ton)
1980	5.02	0.08	6579.61
1981	6.86	0.10	7028.06
1982	9.65	0.16	6221.26
1983	18.69	0.31	5968.67
1984	33.75	0.52	6514.46
1985	52.59	0.82	6434.92
1986	93.3	1.52	6130.05
1987	247.69	3.53	7016.71
1988	373.09	7.56	4935.05
1989	468.11	9.07	5161.08
1990	609.47	11.49	5304.35
1991	707.31	14.09	5019.94
1992	761.23	16.27	4678.73
1993	767.73	17.86	4298.60
1994	656.22	19.1	3435.71
1995	1,091.57	25.79	4232.53
1996	1,434.61	34.66	4139.09
1997	1,353.75	41.8	3238.64
1998	1,446.18	48.46	2984.28
1999	1,454.48	56.5	2574.30
2000	1,507.78	61.86	2437.41
2001	1,451.07	65.8	2205.27
2002	1,500.56	69.11	2171.26
2003	1,618.01	72.26	2239.15
2004	1,678.59	75.64	2219.18
2005	1,577.93	78.66	2006.01
2006	2,010.55	81.52	2466.33
2007	2,441.99	84.75	2881.40
2008	2,817.04	89.09	3162.02
2009	2,802.05	93.81	2986.94
2010	2,816.48	97.71	2882.49
2011	4,077.81	101.04	4035.84
2012	4,009.63	105.2	3811.44
2013	3,365.77	109.20	3082.20
2014	3,115.96	113.59	2743.20

**Precio nacional del arroz deflactado con el INPC base 2010**

<b>Año</b>	<b>Arroz Palay (\$/ton.)</b>	<b>IPC (base 2010)</b>	<b>Precio Real Arroz (\$/ton)</b>
1980	5.88	0.08	7706.80
1981	6.27	0.10	6423.61
1982	9.71	0.16	6259.94
1983	21.95	0.31	7009.76
1984	37.39	0.52	7217.06
1985	58.66	0.82	7177.64
1986	101.87	1.52	6693.12
1987	245.71	3.53	6960.62
1988	396.15	7.56	5240.08
1989	501.75	9.07	5531.97
1990	545.6	11.49	4748.48
1991	610.52	14.09	4333.00
1992	567.29	16.27	3486.72
1993	544.33	17.86	3047.76
1994	687.8	19.1	3601.05
1995	1,066.10	25.79	4133.77
1996	1,616.62	34.66	4664.22
1997	1,516.13	41.8	3627.11
1998	1,640.47	48.46	3385.20
1999	1,775.71	56.5	3142.85
2000	1,467.37	61.86	2372.08
2001	1,481.03	65.8	2250.81
2002	1,639.20	69.11	2371.87
2003	1,661.70	72.26	2299.61
2004	1,816.61	75.64	2401.65
2005	1,903.65	78.66	2420.10
2006	1,906.23	81.52	2338.36
2007	2,076.20	84.75	2449.79
2008	3,626.64	89.09	4070.76
2009	3,442.32	93.81	3669.46
2010	3,176.20	97.71	3250.64
2011	3,767.38	101.04	3728.60
2012	3,774.95	105.2	3588.36
2013	3,914.19	109.20	3584.42
2014	3,968.16	113.59	3493.45

### Precio nacional del trigo deflactado con el INPC base 2010

Año	Trigo Grano (\$/ton.)	IPC (base 2010)	Precio Real Trigo (\$/ton)
1980	3.65	0.08	4783.98
1981	4.74	0.10	4856.12
1982	6.88	0.16	4435.47
1983	14.03	0.31	4480.50
1984	25.26	0.52	4875.71
1985	37.16	0.82	4546.90
1986	59.72	1.52	3923.76
1987	131.18	3.53	3716.15
1988	309.75	7.56	4097.22
1989	388.86	9.07	4287.32
1990	507.21	11.49	4414.36
1991	586.21	14.09	4160.47
1992	615.07	16.27	3780.39
1993	614.93	17.86	3443.06
1994	610.79	19.1	3197.85
1995	902.56	25.79	3499.65
1996	1,774.95	34.66	5121.03
1997	1,319.51	41.8	3156.72
1998	1,374.66	48.46	2836.69
1999	1,368.58	56.5	2422.27
2000	1,467.46	61.86	2372.23
2001	1,224.92	65.8	1861.58
2002	1,214.52	69.11	1757.37
2003	1,417.96	72.26	1962.30
2004	1,659.33	75.64	2193.72
2005	1,623.46	78.66	2063.90
2006	1,676.60	81.52	2056.67
2007	2,073.18	84.75	2446.23
2008	3,679.90	89.09	4130.54
2009	2,892.27	93.81	3083.11
2010	2,695.19	97.71	2758.36
2011	3,595.66	101.04	3558.65
2012	3,608.10	105.2	3429.75
2013	3,551.56	109.20	3252.34
2014	3,393.91	113.59	2987.90

**Precio nacional del cártamo deflactado con el INPC base 2010**

<b>Año</b>	<b>Cartamo (\$/ton.)</b>	<b>IPC (base 2010)</b>	<b>Precio Real Cártamo (\$/ton)</b>
1980	7.18	0.08	9410.68
1981	8.11	0.10	8308.68
1982	11.47	0.16	7394.59
1983	22.76	0.31	7268.43
1984	35.84	0.52	6917.88
1985	63.75	0.82	7800.45
1986	111.82	1.52	7346.86
1987	223.73	3.53	6337.96
1988	513.78	7.56	6796.03
1989	633.2	9.07	6981.26
1990	665.47	11.49	5791.73
1991	703.57	14.09	4993.40
1992	774.02	16.27	4757.34
1993	794.89	17.86	4450.67
1994	788.26	19.1	4127.02
1995	1,316.18	25.79	5103.45
1996	1,994.40	34.66	5754.18
1997	2,077.74	41.8	4970.67
1998	2,179.01	48.46	4496.51
1999	1,953.60	56.5	3457.70
2000	1,610.32	61.86	2603.17
2001	1,314.42	65.8	1997.60
2002	1,781.53	69.11	2577.82
2003	2,271.85	72.26	3143.99
2004	2,354.42	75.64	3112.67
2005	2,254.79	78.66	2866.50
2006	2,337.68	81.52	2867.62
2007	2,361.46	84.75	2786.38
2008	3,706.09	89.09	4159.94
2009	4,196.74	93.81	4473.66
2010	4,343.94	97.71	4445.75
2011	5,592.47	101.04	5534.91
2012	6,052.32	105.2	5753.16
2013	5,651.48	109.20	5175.34
2014	5,333.49	113.59	4695.45

### Precio nacional de la soya deflactado con el INPC base 2010

Año	Soya (\$/ton.)	IPC (base 2010)	Precio Real Soya (\$/ton)
1980	7.69	0.08	10079.13
1981	10.79	0.10	11054.34
1982	15.29	0.16	9857.31
1983	32.75	0.31	10458.75
1984	58.43	0.52	11278.22
1985	86.06	0.82	10530.31
1986	166.85	1.52	10962.47
1987	487.28	3.53	13803.97
1988	810.6	7.56	10722.22
1989	960.25	9.07	10587.10
1990	815.74	11.49	7099.56
1991	1,267.57	14.09	8996.24
1992	1,022.17	16.27	6282.54
1993	994.84	17.86	5570.21
1994	857.45	19.1	4489.27
1995	1,473.61	25.79	5713.88
1996	2,126.89	34.66	6136.44
1997	2,228.67	41.8	5331.75
1998	2,286.17	48.46	4717.64
1999	2,464.42	56.5	4361.81
2000	1,803.31	61.86	2915.15
2001	1,847.23	65.8	2807.34
2002	2,031.97	69.11	2940.20
2003	2,998.11	72.26	4149.06
2004	2,719.15	75.64	3594.86
2005	2,295.98	78.66	2918.87
2006	2,606.73	81.52	3197.66
2007	3,642.05	84.75	4297.40
2008	4,553.35	89.09	5110.96
2009	4,928.51	93.81	5253.71
2010	5,475.55	97.71	5603.88
2011	6,281.97	101.04	6217.31
2012	7,051.87	105.2	6703.30
2013	6,306.77	109.20	5775.43
2014	5,404.37	113.59	4757.85

### Precio nacional del sorgo deflactado con el INPC base 2010

Año	Sorgo Grano (\$/ton.)	IPC (base 2010)	Precio Real Sorgo (\$/ton)
1980	4.48	0.08	5871.85
1981	5.07	0.10	5194.21
1982	7.23	0.16	4661.11
1983	17.81	0.31	5687.64
1984	46.37	0.52	8950.39
1985	43.05	0.82	5267.60
1986	60.55	1.52	3978.29
1987	141.79	3.53	4016.71
1988	295.27	7.56	3905.69
1989	338.70	9.07	3734.29
1990	470.84	11.49	4097.82
1991	614.60	14.09	4361.96
1992	883.87	16.27	5432.51
1993	809.44	17.86	4532.14
1994	1,204.56	19.1	6306.60
1995	874.67	25.79	3391.51
1996	1,598.09	34.66	4610.76
1997	1,211.99	41.8	2899.50
1998	1,875.46	48.46	3870.12
1999	2,264.44	56.5	4007.86
2000	1,990.90	61.86	3218.40
2001	2,259.46	65.8	3433.83
2002	2,439.66	69.11	3530.11
2003	2,568.65	72.26	3554.73
2004	2,294.54	75.64	3033.50
2005	2,114.41	78.66	2688.04
2006	2,432.64	81.52	2984.10
2007	2,992.24	84.75	3530.67
2008	2,847.04	89.09	3195.69
2009	3,623.08	93.81	3862.15
2010	3,216.64	97.71	3292.03
2011	3,625.16	101.04	3587.85
2012	3,848.85	105.2	3658.60
2013	3,334.19	109.20	3053.29
2014	4,327.84	113.59	3810.11



**Precio nacional de la cebada deflactado con el INPC base 2010**

<b>Año</b>	<b>Cebada Grano (\$/ton.)</b>	<b>IPC (base 2010)</b>	<b>Precio Real Cebada (\$/ton)</b>
1980	3.78	0.08	4954.37
1981	5.52	0.10	5655.23
1982	7.82	0.16	5041.47
1983	17.16	0.31	5480.06
1984	30.87	0.52	5958.56
1985	48.34	0.82	5914.89
1986	99.89	1.52	6563.03
1987	189.07	3.53	5356.09
1988	339.32	7.56	4488.36
1989	443.91	9.07	4894.27
1990	562.01	11.49	4891.30
1991	634.51	14.09	4503.26
1992	694.70	16.27	4269.82
1993	696.98	17.86	3902.46
1994	678.89	19.1	3554.40
1995	1,002.60	25.79	3887.55
1996	1,419.83	34.66	4096.45
1997	1,378.26	41.8	3297.27
1998	1,443.05	48.46	2977.82
1999	1,439.93	56.5	2548.55
2000	1,483.69	61.86	2398.46
2001	1,626.71	65.8	2472.20
2002	1,571.07	69.11	2273.29
2003	1,651.81	72.26	2285.93
2004	1,790.28	75.64	2366.84
2005	1,783.17	78.66	2266.93
2006	1,912.08	81.52	2345.53
2007	2,167.92	84.75	2558.02
2008	3,260.73	89.09	3660.04
2009	3,197.29	93.81	3408.26
2010	3,115.69	97.71	3188.71
2011	3,591.94	101.04	3554.97
2012	3,824.18	105.2	3635.15
2013	3,622.41	109.20	3317.22
2014	3,489.84	113.59	3072.36

### Precio internacional del maíz deflactado con el INPC base 2010

Año	Precio Internacional del Maíz (Dls/ton)	Tipo de Cambio	Precio Internacional del Maíz (Pesos/Ton)	INPC base 2010	Precio Real Internacional (pesos/ton)
1980	125.26	0.0229	2.8737	0.08	3766.54
1981	130.78	0.0245	3.2020	0.10	3280.39
1982	109.26	0.0543	5.9348	0.16	3826.09
1983	136.02	0.1200	16.3231	0.31	5212.81
1984	135.94	0.1678	22.8066	0.52	4402.16
1985	112.23	0.2564	28.7813	0.82	3521.68
1986	87.56	0.6079	53.2296	1.52	3497.32
1987	75.70	1.3694	103.6578	3.53	2936.48
1988	106.89	2.2725	242.9112	7.56	3213.11
1989	111.52	2.4617	274.5428	9.07	3026.93
1990	109.28	2.8126	307.3492	11.49	2674.93
1991	107.42	3.0179	324.1819	14.09	2300.79
1992	104.25	3.0945	322.5844	16.27	1982.69
1993	102.09	3.1152	318.0342	17.86	1780.71
1994	107.55	3.3751	362.9938	19.10	1900.49
1995	123.49	6.4190	792.6673	25.79	3073.55
1996	165.81	7.5994	1260.0571	34.66	3635.48
1997	117.09	7.9185	927.1855	41.80	2218.15
1998	101.99	9.1357	931.7153	48.46	1922.65
1999	90.22	9.5605	862.5194	56.50	1526.58
2000	88.53	9.4556	837.1407	61.86	1353.28
2001	89.64	9.3425	837.4658	65.80	1272.74
2002	99.27	9.6560	958.5550	69.11	1387.00
2003	105.37	10.7890	1136.8395	72.26	1573.26
2004	111.80	11.2860	1261.8103	75.64	1668.18
2005	98.67	10.8979	1075.3145	78.66	1367.04
2006	121.85	10.8992	1328.0837	81.52	1629.15
2007	163.66	10.9282	1788.5616	84.75	2110.40
2008	223.12	11.1297	2483.2271	89.09	2787.32
2009	165.51	13.5135	2236.6103	93.81	2384.19
2010	185.91	12.6360	2349.2135	97.71	2404.27
2011	291.68	12.4233	3623.6860	101.04	3586.39
2012	298.42	13.1695	3929.9898	105.20	3735.73
2013	259.39	12.7720	3312.9170	109.20	3033.80
2014	192.88	13.2925	2563.8640	113.59	2257.15

### Precios Reales (1980-2014) ya deflactados

Año	Maiz Grano (\$/ton.)	Arroz Palay (\$/ton.)	Trigo Grano (\$/ton.)	Cartamo (\$/ton.)	Soya (\$/ton.)	Sorgo Grano (\$/ton.)	Cebada Grano (\$/ton.)	Precio Real Intnal Maiz Grano (\$/ton.)
1980	6579.61	7706.80	4783.98	9410.68	10079.13	5871.85	4954.37	3766.54
1981	7028.06	6423.61	4856.12	8308.68	11054.34	5194.21	5655.23	3280.39
1982	6221.26	6259.94	4435.47	7394.59	9857.31	4661.11	5041.47	3826.09
1983	5968.67	7009.76	4480.50	7268.43	10458.75	5687.64	5480.06	5212.81
1984	6514.46	7217.06	4875.71	6917.88	11278.22	8950.39	5958.56	4402.16
1985	6434.92	7177.64	4546.90	7800.45	10530.31	5267.60	5914.89	3521.68
1986	6130.05	6693.12	3923.76	7346.86	10962.47	3978.29	6563.03	3497.32
1987	7016.71	6960.62	3716.15	6337.96	13803.97	4016.71	5356.09	2936.48
1988	4935.05	5240.08	4097.22	6796.03	10722.22	3905.69	4488.36	3213.11
1989	5161.08	5531.97	4287.32	6981.26	10587.10	3734.29	4894.27	3026.93
1990	5304.35	4748.48	4414.36	5791.73	7099.56	4097.82	4891.30	2674.93
1991	5019.94	4333.00	4160.47	4993.40	8996.24	4361.96	4503.26	2300.79
1992	4678.73	3486.72	3780.39	4757.34	6282.54	5432.51	4269.82	1982.69
1993	4298.60	3047.76	3443.06	4450.67	5570.21	4532.14	3902.46	1780.71
1994	3435.71	3601.05	3197.85	4127.02	4489.27	6306.60	3554.40	1900.49
1995	4232.53	4133.77	3499.65	5103.45	5713.88	3391.51	3887.55	3073.55
1996	4139.09	4664.22	5121.03	5754.18	6136.44	4610.76	4096.45	3635.48
1997	3238.64	3627.11	3156.72	4970.67	5331.75	2899.50	3297.27	2218.15
1998	2984.28	3385.20	2836.69	4496.51	4717.64	3870.12	2977.82	1922.65
1999	2574.30	3142.85	2422.27	3457.70	4361.81	4007.86	2548.55	1526.58
2000	2437.41	2372.08	2372.23	2603.17	2915.15	3218.40	2398.46	1353.28
2001	2205.27	2250.81	1861.58	1997.60	2807.34	3433.83	2472.20	1272.74
2002	2171.26	2371.87	1757.37	2577.82	2940.20	3530.11	2273.29	1387.00
2003	2239.15	2299.61	1962.30	3143.99	4149.06	3554.73	2285.93	1573.26
2004	2219.18	2401.65	2193.72	3112.67	3594.86	3033.50	2366.84	1668.18
2005	2006.01	2420.10	2063.90	2866.50	2918.87	2688.04	2266.93	1367.04
2006	2466.33	2338.36	2056.67	2867.62	3197.66	2984.10	2345.53	1629.15
2007	2881.40	2449.79	2446.23	2786.38	4297.40	3530.67	2558.02	2110.40
2008	3162.02	4070.76	4130.54	4159.94	5110.96	3195.69	3660.04	2787.32
2009	2986.94	3669.46	3083.11	4473.66	5253.71	3862.15	3408.26	2384.19
2010	2882.49	3250.64	2758.36	4445.75	5603.88	3292.03	3188.71	2404.27
2011	4035.84	3728.60	3558.65	5534.91	6217.31	3587.85	3554.97	3586.39
2012	3811.44	3588.36	3429.75	5753.16	6703.30	3658.60	3635.15	3735.73
2013	3082.20	3584.42	3252.34	5175.34	5775.43	3053.29	3317.22	3033.80
2014	2743.20	3493.45	2987.90	4695.45	4757.85	3810.11	3072.36	2257.15

Precios deflactados con el INPC del Centro de Estudios de las Finanzas Públicas con base en la segunda quincena del año 2010

## **ANEXO B. Programación en Matlab para matriz de correlaciones y para la ejecución de las dos redes neuronales utilizadas.**

- a) Programación para obtener la Matriz de Correlaciones entre el precio real nacional del maíz, precio de 6 productos relacionados (Arroz, Trigo, Cártamo, Soya, Sorgo y Cebada) y precio real internacional del maíz.**

```
datapre=xlsread('datossaf.xlsx',1,'K4:R38');  
pnrmaiz=datapre(:,1);  
pnrarro=datapre(:,2);  
pnrtrig=datapre(:,3);  
pnrcart=datapre(:,4);  
pnrsoya=datapre(:,5);  
pnrorg=datapre(:,6);  
pnrceba=datapre(:,7);  
pirmaiz=datapre(:,8);
```

```
Coeffcorr=corrcoef(datapre);  
[R, PValue]=corrplot(datapre);
```

- b) Programación de la red neuronal sin incluir la variable del precio internacional del maíz con 11 nodos en la capa oculta.**

### **MODELO DE REDES NEURONALES PARA LA PREDICCIÓN DEL PRECIO DEL MAÍZ**

Programa elaborado por la Dra. Raquel Salazar Moreno

Adaptado por Oscar Ariel Zerecero Salazar

Tesis de Doctorado Oscar Ariel Zerecero Salazar

Posgrado DICEA, Universidad Autónoma Chapingo

Chapingo, Texcoco Edo. Méx. México, Noviembre de 2017

```
clear all; close all; clc;
```

```
%85% de datos
```

```
%Cargando Datos desde excel
```

```
FAO= xlsread('datos.xlsx',1,'A4:S38'); % Cargando la Base de Datos
```

```
%Asignación de Valores
```

```

TIEM = FAO(1:30,1);
PNNMA = FAO(1:30,2);
PNNAR = FAO(1:30,3);
PNNTR = FAO(1:30,4);
PNNCA = FAO(1:30,5);
PNNSY = FAO(1:30,6);
PNNSG = FAO(1:30,7);
PNNAL = FAO(1:30,8);
PNNCE = FAO(1:30,9);
PNNFR = FAO(1:30,10);
PRNMA = FAO(1:30,11);
PRNAR = FAO(1:30,12);
PRNTR = FAO(1:30,13);
PRNCA = FAO(1:30,14);
PRNSY = FAO(1:30,15);
PRNSG = FAO(1:30,16);
PRNAL = FAO(1:30,17);
PRNCE = FAO(1:30,18);
PRNFR = FAO(1:30,19);

p=[PRNAR PRNTR PRNCA PRNSY PRNSG PRNCE]'; %input variables
t=[PRNMA]'; %Output Variables

[pn,ps] = mapminmax(p);
[tn,ts] = mapminmax(t);
[R,Q] = size(pn);
[S,G] = size(tn);

[trainP,valP,testP,trainInd,valInd,testInd] = dividerand(pn,50,25,25);
[trainT,valT,testT] = divideind(tn,trainInd,valInd,testInd);

net = newff([trainP,valP,testP],[trainT,valT,testT],[11],{'tansig'
'purelin'},'trainbfg','learnngdm','mse');
net.trainParam.show=50;
net.trainParam.epochs= 10000;
net.trainParam.goal =0.00001;
[net,tr]=train(net,pn,tn);
net.iw{1,1};
net.b{1};
net.LW{2,1};

A = net.iw{1,1};
B = net.LW{2,1};
C = net.b{1};

Ysim = sim(net,pn);

Ynet = mapminmax('reverse',Ysim,ts); % Devuelve la normalizacion a
valores originales

plot(tr.epoch,tr.perf,tr.epoch,tr.vperf,tr.epoch,tr.tperf)
legend('Entrenamiento','Validacion','Prueba',-1);

```

```

ylabel('Error Cuadrado');
xlabel('Epoch');

plot(TIEM,PRNMA',TIEM,Ynet(1,:), '--g', 'Linewidth',2);
title('Simulacion');
legend('Real', 'Simulado');
xlabel('Tiempo');
ylabel('Precio Real Nacional Maiz [Pesos]');
grid

FAO= xlsread('datos.xlsx',1,'A4:S38');

TIEMn = FAO(31:35,1);
PNNMAn = FAO(31:35,2);
PNNARn = FAO(31:35,3);
PNNTRn = FAO(31:35,4);
PNNCAn = FAO(31:35,5);
PNNSYn = FAO(31:35,6);
PNNSGn = FAO(31:35,7);
PNNALn = FAO(31:35,8);
PNNCEn = FAO(31:35,9);
PNNFRn = FAO(31:35,10);
PRNMAn = FAO(31:35,11);
PRNARn = FAO(31:35,12);
PRNTRn = FAO(31:35,13);
PRNCAn = FAO(31:35,14);
PRNSYn = FAO(31:35,15);
PRNSGn = FAO(31:35,16);
PRNALn = FAO(31:35,17);
PRNCEn = FAO(31:35,18);
PRNFRn = FAO(31:35,19);

pp=[PRNARn PRNTRn PRNCAn PRNSYn PRNSGn PRNCEn]';
tt=[PRNMAn]';

[pn1 ps1]=mapminmax(pp);
[tn1,ts1] = mapminmax(tt);
Ysim1 = sim(net,pn1);
Ynet1 = mapminmax('reverse',Ysim1,ts1)

TIEM=[1:30];

plot(TIEM,PRNMA',TIEM,Ynet(1,:), '--g', 'Linewidth',2);
title('Entrenamiento Validacion y Prueba');
legend('Real', 'Simulado');
xlabel('Tiempo');
ylabel('Precio Real Nacional Maiz [Pesos]');
grid

pause

TIEMn=[31:35];
plot(TIEMn,PRNMA',TIEMn,Ynet1(1,:), '--g', 'Linewidth',2);

```

```

title('Simulacion');
legend('Real','Simulado');
xlabel('Tiempo');
ylabel('Precio Real Nacional Maiz [Pesos]');
grid

pause

subplot(1,1,1);
[mt,bt,rt]=postreg(PRNMAN',Ynet1(1,:)); %perform regression between
predicted and measured temperatures time t+1
title('Regresi3n Lineal');
xlabel('Precio Medido');
ylabel('Precio Predicho');
grid

pause

disp('ESTADISTICAS');

MSEP=(Ynet1(1,:)'-PRNMAN) *(Ynet1(1,:)'-PRNMAN)/numel(PRNMAN)
RMSEP=sqrt(MSEP)
MAEP=sum(abs((Ynet1(1,:)'-PRNMAN)))/numel(PRNMAN)
ymedP=mean(PRNMAN);
ymedestP=mean(Ynet1(1,:)');
EFP=1-((Ynet1(1,:)'-PRNMAN) *(Ynet1(1,:)'-PRNMAN))/((PRNMAN-
ymedP) *(PRNMAN-ymedP))

A = net.iw{1,1};
B = net.LW{2,1};
C = net.b{1};
save w11segundai.out A -ASCII
save W11segundai.out B -ASCII
save Bias11segundai.out C -ASCII

save 'PR11segundai.mat' net

D=[MSEP,RMSEP, MAEP, EFP];

xlswrite('ESTADISTICAS',D, 'B5:E5');

```

**c) Programación de la red neuronal incluyendo la variable del precio internacional del maíz con 9 nodos en la capa oculta.**

MODELO DE REDES NEURONALES PARA LA PREDICCIÓN DEL PRECIO DEL MAÍZ

Programa elaborado por la Dra. Raquel Salazar Moreno

Adaptado por Oscar Ariel Zerecero Salazar

Tesis de Doctorado Oscar Ariel Zerecero Salazar

Posgrado DICEA, Universidad Autónoma Chapingo

Chapingo, Texcoco Edo. Méx. México, Noviembre de 2017

```
clear all; close all; clc;

%85% de datos

%Cargando Datos desde excel

FAO= xlsread('datos.xlsx',1,'A4:T38'); % Cargando la Base de Datos

%Asignación de Valores

TIEM = FAO(1:30,1);
PNNMA = FAO(1:30,2);
PNNAR = FAO(1:30,3);
PNNTR = FAO(1:30,4);
PNNCA = FAO(1:30,5);
PNNSY = FAO(1:30,6);
PNNSG = FAO(1:30,7);
PNNAL = FAO(1:30,8);
PNNCE = FAO(1:30,9);
PNNFR = FAO(1:30,10);
PRNMA = FAO(1:30,11);
PRNAR = FAO(1:30,12);
PRNTR = FAO(1:30,13);
PRNCA = FAO(1:30,14);
PRNSY = FAO(1:30,15);
PRNSG = FAO(1:30,16);
PRNAL = FAO(1:30,17);
PRNCE = FAO(1:30,18);
PRNFR = FAO(1:30,19);
PRIMA = FAO(1:30,20);

p=[PRNAR PRNTR PRNCA PRNSY PRNSG PRNCE PRIMA]';
t=[PRNMA]';
```



```

[pn,ps] = mapminmax(p);
[tn,ts] = mapminmax(t);
[R,Q] = size(pn);
[S,G] = size(tn);

[trainP,valP,testP,trainInd,valInd,testInd] = dividerand(pn,50,25,25);
[trainT,valT,testT] = divideind(tn,trainInd,valInd,testInd);

net = newff([trainP,valP,testP],[trainT,valT,testT],[9],{'tansig'
'purelin'},'trainbfg','learngdm','mse');
net.trainParam.show=50;
net.trainParam.epochs= 10000;
net.trainParam.goal =0.00001; [net,tr]=train(net,pn,tn);
net.iw{1,1};
net.b{1};
net.LW{2,1};

A = net.iw{1,1};
B = net.LW{2,1};
C = net.b{1};

Ysim = sim(net,pn);

Ynet = mapminmax('reverse',Ysim,ts);

plot(tr.epoch,tr.perf,tr.epoch,tr.vperf,tr.epoch,tr.tperf)
legend('Entrenamiento','Validacion','Prueba',-1);
ylabel('Error Cuadrado');
xlabel('Epoch');

plot(TIEM,PRNMA',TIEM,Ynet(1,:),'--g','Linewidth',2);
title('Simulacion');
legend('Real','Simulado');
xlabel('Tiempo');
ylabel('Precio Real Nacional Maiz [Pesos]');
grid

pause

FAO= xlsread('datos.xlsx',1,'A4:T38');

TIEMn = FAO(31:35,1);
PNNMAn = FAO(31:35,2);
PNNARn = FAO(31:35,3);
PNNTRn = FAO(31:35,4);
PNNCAn = FAO(31:35,5);
PNNSYn = FAO(31:35,6);
PNNNGn = FAO(31:35,7);
PNNALn = FAO(31:35,8);
PNNCEn = FAO(31:35,9);
PNNFRn = FAO(31:35,10);
PRNMAn = FAO(31:35,11);

```

```

PRNARn = FAO(31:35,12);
PRNTRn = FAO(31:35,13);
PRNCAn = FAO(31:35,14);
PRNSYn = FAO(31:35,15);
PRNSGn = FAO(31:35,16);
PRNALn = FAO(31:35,17);
PRNCEn = FAO(31:35,18);
PRNFRn = FAO(31:35,19);
PRIMAn = FAO(31:35,20);

pp=[PRNARn PRNTRn PRNCAn PRNSYn PRNSGn PRNCEn PRIMAn]';
tt=[PRNMAAn]';

[pn1 ps1]=mapminmax(pp);
[tn1,ts1] = mapminmax(tt);
Ysim1 = sim(net,pn1);
Ynet1 = mapminmax('reverse',Ysim1,ts1)

TIEM=[1:30];

plot(TIEM,PRNMA',TIEM,Ynet(1,:), '--g', 'Linewidth',2);
title('Entrenamiento Validacion y Prueba');
legend('Real', 'Simulado');
xlabel('Tiempo');
ylabel('Precio Real Nacional Maiz [Pesos]');
grid

pause

TIEMn=[31:35];
plot(TIEMn,PRNMAAn',TIEMn,Ynet1(1,:), '--g', 'Linewidth',2);
title('Simulacion');
legend('Real', 'Simulado');
xlabel('Tiempo');
ylabel('Precio Real Nacional Maiz [Pesos]');
grid

pause

subplot(1,1,1);
[mt,bt,rt]=postreg(PRNMAAn',Ynet1(1,:)); %perform regression between
predicted and measured temperatures time t+1
title('Regresión Lineal');
xlabel('Precio Medido');
ylabel('Precio Predicho');
grid

pause

disp('ESTADISTICAS2');

MSEP=((Ynet1(1,:)'-PRNMAAn)*(Ynet1(1,:)'-PRNMAAn))/numel(PRNMAAn)
RMSEP=sqrt(MSEP)

```

```

MAEP=sum(abs((Ynet1(1,:)'-PRNMA)))/numel(PRNMA)
ymedP=mean(PRNMA);
ymedestP=mean(Ynet1(1,:)');
EFP=1-((Ynet1(1,:)'-PRNMA)'*(Ynet1(1,:)'-PRNMA))/((PRNMA-ymedP)'*(PRNMA-ymedP))

A = net.iw{1,1};
B = net.LW{2,1};
C = net.b{1};
save w9segundai.out A -ASCII
save W9segundai.out B -ASCII
save Bias9segundai.out C -ASCII

save 'PR9segundai.mat' net

D=[MSEP, RMSEP, MAEP, EFP];

xlswrite('ESTADISTICAS2',D, 'B5:E5');

```

### **ANEXO C. Algoritmo de Garson.**

Para obtener los resultados del algoritmo de Garson se utilizó el programa Excel en donde se metieron los pesos de la capa de entrada a la capa oculta (pesos de entrada) y los pesos de la capa oculta a la capa de salida (pesos de salida), y posteriormente se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$\text{Peso de entrada del nodo } n * \text{Peso de salida del nodo } n = a_n$$

Se hace la sumatoria de todos los valores “a” de cada uno de los nodos y se obtiene el valor “b”:

$$\sum a_n = b$$

Se divide para cada nodo el valor “a” entre el valor “b” y se genera el valor “c” que refleja la contribución relativa de cada variable de entrada sobre la variable de salida:

$$\frac{a_n}{b} = c_n$$

Se obtiene la sumatoria de los valores “c” de los nodos por cada variable de entrada generando un valor “d” (habrá tantos valores “d” como variables de entrada m):

$$\sum c_n = d_m$$

Finalmente se divide cada valor “c” entre el valor “d” y se multiplica por 100 para obtener el porcentaje de la contribución que tiene cada variable de entrada sobre la variable de salida:

$$\frac{c_n}{d_m} * 100 = \% \text{ contribución de cada var. de entrada sobre la var. de salida}$$

Donde “n” es el número de nodo y “m” el número de variable de entrada.

Se anexa la hoja de Excel de los 2 análisis de sensibilidad que se hicieron, el primero sin incluir la variable de precio internacional del maíz y la segunda ya incluyéndola:

1) Sin incluir precio internacional del maíz y con 11 nodos en capa oculta

	wi1	wi2	wi3	wi4	wi5	wi6	wi7	wi8	wi9	wi10	wi11	
Arroz	0.74364512	-1.22646593	-0.64424913	-1.48329924	-1.18635366	1.01330011	0.79936326	-0.61489	1.37219655	-1.23699608	-0.22184609	
Trigo	-0.40135161	0.6835365	0.65499314	-1.12060399	-0.31261708	-0.04410992	0.44311694	0.718722	0.73856348	-0.58487419	0.5317274	
Cártamo	0.557112808	-0.88407019	-1.07769796	0.00431129	1.21763664	-0.46971917	0.32161414	-0.9316	0.76015421	-0.64830528	-0.01107071	
Soya	0.711814534	1.01628019	1.10230055	0.19437886	-1.12050704	-1.10764378	-0.80990886	1.156935	-0.74282225	0.83869857	-0.86012204	
Sorgo	1.526569118	-0.38536495	-0.86753272	-0.79586932	0.44485189	-0.17334618	-0.4272388	1.11692	0.26643025	0.13041413	1.30907786	
Cebada	-0.74362375	0.66870617	0.54562502	-0.37774605	0.05526355	-1.30345571	-1.56576243	0.109105	0.83367432	1.16055874	-1.25025133	
	Wi1	Wi2	Wi3	Wi4	Wi5	Wi6	Wi7	Wi8	Wi9	Wi10	Wi11	
PRNMA	-0.05181039	0.03056341	-0.80643404	-0.11465236	-0.43177718	0.09667352	-0.25779617	-0.02936	0.36112626	0.16009078	-0.52689883	
<b>Contribución de las entradas sobre el precio real nacional del maíz (PRNAM)</b>												
Arroz	-0.03852855	-0.03748498	0.51954443	0.17006376	0.51224044	0.09795929	-0.20607279	0.01805	0.49553621	-0.19803167	0.11689045	
Trigo	0.020794185	0.02089121	-0.52820876	0.12847989	0.13498092	-0.00426426	-0.11423385	-0.0211	0.26671467	-0.09363296	-0.28016655	
Cártamo	-0.02886423	-0.0270202	0.86909232	-0.0004943	-0.52574772	-0.0454094	-0.08291089	0.027347	0.27451165	-0.1037877	0.00583315	
Soya	-0.03687939	0.03106099	-0.88893269	-0.022286	0.48380937	-0.10707982	0.2087914	-0.03396	-0.26825262	0.13426791	0.4531973	
Sorgo	-0.07909215	-0.01177807	0.69960792	0.0912483	-0.19207689	-0.01675798	0.11014053	-0.03279	0.09621496	0.0208781	-0.68975159	
Cebada	0.038527439	0.02043794	-0.44001059	0.04330948	-0.02386154	-0.12600965	0.40364756	-0.0032	0.30106169	0.18579475	0.65875596	
Suma	-0.12404269	-0.00389311	0.23109263	0.41032113	0.38934458	-0.20156183	0.31936196	-0.04565	1.16578655	-0.05451157	0.26475872	
<b>Contribución relativa sobre el precio real nacional del maíz (PRNAM)</b>												
												Sum
Arroz	0.31060714	9.62853752	2.24820859	0.41446503	1.31564806	-0.48600117	-0.64526404	-0.39538	0.42506599	3.63283742	0.441498	16.8902254
Trigo	-0.16763732	-5.36619625	-2.28570151	0.31312034	0.34668756	0.0211561	-0.35769398	0.462143	0.22878516	1.71767144	-1.05819574	-6.14586123
Cártamo	0.232695961	6.94051327	3.76079642	-0.00120466	-1.35034041	0.22528771	-0.25961419	-0.59903	0.23547333	1.90395727	0.02203193	11.1105711
Soya	0.297312079	-7.9784458	-3.84665103	-0.05431354	1.24262516	0.53125048	0.65377669	0.743917	-0.23010441	-2.46310848	1.71173702	-9.39200493
Sorgo	0.637620358	3.02535998	3.02739179	0.22238264	-0.49333394	0.08314067	0.34487679	0.718187	0.08253223	-0.38300311	-2.60520823	4.65994656
Cebada	-0.31059822	-5.24976873	-1.90404426	0.1055502	-0.06128644	0.62516622	1.26391873	0.070155	0.2582477	-3.40835454	2.48813702	-6.12287689
Sum	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11
Entradas	Contribución sobre PRNMA											
Arroz	153.5475033											
Trigo	-55.8714658											
Cártamo	101.0051921											
Soya	-85.381863											
Sorgo	42.36315055											
Cebada	-55.6625172											

2) Incluyendo precio internacional del maíz y con 9 nodos en capa oculta:

	wi1	wi2	wi3	wi4	wi5	wi6	wi7	wi8	wi9	
Arroz	-0.161464808	-1.0205367	-1.00404495	1.10789059	1.22235758	0.25326158	-1.07884651	-0.68469354	-0.35667279	
Trigo	0.889154688	-1.18060682	-1.17609656	-0.93043369	0.43044947	0.89334796	0.37845484	-0.12127452	0.14448437	
Cártamo	-0.454510702	0.5238746	-0.82103199	0.43391096	-0.83988099	-0.59162785	0.2895718	0.72739838	-1.03146596	
Soya	1.204847788	0.59561312	-0.1267769	-0.27750341	-0.13907097	-0.87683901	-0.00055138	0.02581122	0.76003534	
Sorgo	0.856831332	0.39621026	-0.25782373	0.80632693	0.03636906	-0.54232526	1.01004625	0.96471532	0.1092613	
Cebada	0.405598539	0.16157113	-0.81146333	-0.60324289	-0.06976617	-1.16302186	0.81885494	-0.78918041	-0.6797738	
PIM	-0.77210511	-0.57771599	-0.10904852	-0.51326046	1.10573239	-0.22711701	-0.79869582	1.03850117	1.2076155	
	Wi1	Wi2	Wi3	Wi4	Wi5	Wi6	Wi7	Wi8	Wi9	
PRNMA	0.270973534	-0.16855261	-0.36579763	-0.29664773	-0.07773241	-0.41011852	0.2031682	0.15230385	-0.80677967	
	Contribución de las entradas sobre el precio real nacional del maíz (PRNAM)									
Arroz	-0.04375269	0.17201412	0.36727726	-0.32865323	-0.0950168	-0.10386727	-0.21918731	-0.10428146	0.28775636	
Trigo	0.240937388	0.19899436	0.43021334	0.27601104	-0.03345987	-0.36637855	0.07688999	-0.01847058	-0.11656705	
Cártamo	-0.123160371	-0.08830043	0.30033156	-0.1287187	0.06528597	0.24263754	0.05883178	0.11078557	0.83216577	
Soya	0.326481863	-0.10039214	0.04637469	0.08232076	0.01081032	0.35960792	-0.00011202	0.00393115	-0.61318107	
Sorgo	0.232178614	-0.06678227	0.09431131	-0.23919505	-0.00282705	0.22241763	0.20520928	0.14692985	-0.0881498	
Cebada	0.10990647	-0.02723324	0.29683136	0.17895063	0.00542309	0.4769768	0.16636529	-0.12019521	0.54842768	
PIM	-0.209220051	0.09737554	0.03988969	0.15225755	-0.08595124	0.09314489	-0.16226959	0.15816772	-0.97427964	
Suma	0.533371224	0.18567594	1.57522921	-0.007027	-0.13573558	0.92453898	0.12572742	0.17686704	-0.12382775	
	Contribución relativa sobre el precio real nacional del maíz (PRNAM)									
Arroz	-0.082030466	0.92642119	0.23315798	46.7700613	0.70001393	-0.11234493	-1.74335331	-0.58960368	-2.32384391	43.7784781
Trigo	0.45172551	1.0717294	0.27311158	-39.2786448	0.24650776	-0.39628242	0.61156104	-0.10443198	0.94136454	-36.1833594
Cártamo	-0.230909291	-0.47556206	0.19065896	18.3177315	-0.48097905	0.26244166	0.46793122	0.62637769	-6.72034969	11.9573409
Soya	0.612110007	-0.54068474	0.02943996	-11.7149216	-0.0796425	0.38895918	-0.000891	0.02222657	4.95188741	-6.33151667
Sorgo	0.435303976	-0.35967112	0.05987148	34.0394262	0.02082766	0.2405714	1.63217607	0.83073618	0.71187435	37.6111162
Cebada	0.206059991	-0.14667078	0.18843693	-25.4661492	-0.03995336	0.51590773	1.32322203	-0.67957946	-4.42895627	-28.5276824
PIM	-0.392259727	0.52443811	0.0253231	-21.6675034	0.63322557	0.10074739	-1.29064606	0.89427469	7.86802358	-13.3043768
Sum	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
	Contribución sobre PRNMA									
Entradas										
Arroz	486.4275347									
Trigo	-402.0373267									
Cártamo	132.8593436									
Soya	-70.3501852									
Sorgo	417.9012908									
Cebada	-316.9742487									
PIM	-147.8264085									