



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA DE SISTEMAS (INDUSTRIAL)

“ANÁLISIS DE LA DEMANDA DE MAÍZ EN MÉXICO (1981-2011)”

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERIA

PRESENTA:
ATALO TOBÓN CORTÉS

TUTORA
DRA. HÉRICA SÁNCHEZ LARIOS
INSTITUTO DE INGENIERIA

MÉXICO, D.F., ABRIL DE 2014



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: DR. JOSÉ JESÚS ACOSTA FLORES
Secretario: DRA. IDALIA FLORES DE LA MOTA
Vocal: DRA. HÉRICA SÁNCHEZ LARIOS
1^{er.} Suplente: DRA. ISABEL PATRICIA AGUILAR JUÁREZ
2^{d o.} Suplente: DR. SERVIO TULIO GUILLÉN BURGUETE

Lugar donde se realizó la tesis:

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA**

TUTORA DE TESIS:

DRA. HÉRICA SÁNCHEZ LARIOS

FIRMA

DEDICATORIA

A mi madre

Por su apoyo incondicional

A mi abuelo

Que siempre estará a mi lado

ANÁLISIS DE LA DEMANDA DE MAÍZ EN MÉXICO (1981-2011)

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVO GENERAL.....	3
OBJETIVOS PARTICULARES	3
ANTECEDENTES.....	4
METODOLOGIA SEGUIDA EN EL DESARROLLO DE ESTA TESIS.....	6
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO	8
1.1. Origen del maíz.....	8
1.1.1. Usos del maíz.....	9
1.2. Situación internacional de la producción y consumo de maíz.....	12
1.2.1. Países con mayor superficie cosechada de maíz.....	14
1.2.2. Principales productores	14
1.2.3. Países con mayor consumo	16
1.2.4. Principales exportadores	17
1.2.5. Principales importadores	19
1.3. Situación de la Producción y consumo nacional de maíz	20
1.3.1. Superficie nacional destinada al cultivo del maíz.....	21
1.3.2. Producción nacional	23
1.3.3. Consumo nacional.....	26
1.3.4. Precios internos.....	28
CAPÍTULO 2. EL SECTOR AGRÍCOLA EN MÉXICO EN EL SIGLO XX.....	30
2.1. Un breve recuento de la Reforma Agraria en México.....	31
2.2. Clasificación de los productores nacionales	35

2.3.	El fracaso de la revolución verde.....	37
2.4.	Los transgénicos.....	39
2.5.	Hacia una agricultura sustentable.....	41
2.6.	Importancia de la autosuficiencia alimentaria	45
CAPÍTULO 3. ECONOMETRÍA Y REGRESIÓN LINEAL		48
3.1.	La econometría y la teoría económica	48
3.1.1.	Etapas para la elaboración de un modelo econométrico	50
3.1.2.	Fines de la econometría	51
3.1.3.	Definición de demanda	52
3.1.4.	Principales variables que explican la demanda de un producto	54
3.2.	La regresión lineal simple	56
3.2.1.	El ajuste por mínimos cuadrados.....	56
3.2.2.	Supuestos del modelo clásico de regresión	57
3.2.3.	Ajuste de la recta por el método de mínimos cuadrados	59
3.2.4.	Prueba de hipótesis para b	62
3.2.5.	Prueba de hipótesis para a	65
3.2.6.	Intervalo de confianza para una predicción Y_0	65
3.2.7.	El coeficiente de determinación r^2	67
3.2.8.	El coeficiente de correlación muestral r	67
3.2.9.	Análisis de varianza (ANOVA): utilidad del modelo	68
3.3.	La regresión lineal múltiple	69
3.3.1.	El modelo de regresión lineal múltiple	70
3.3.2.	Supuestos del modelo clásico de regresión lineal múltiple.....	72

3.3.3. Estimación del vector β por mínimos cuadrados ordinarios (MCO).....	73
3.3.4. Prueba de hipótesis para β_j	75
3.3.5. Prueba de hipótesis global (ANOVA).....	75
3.3.6. El coeficiente de determinación múltiple R^2	76
CAPÍTULO 4. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO PARA EXPLICAR LA DEMANDA DE MAÍZ EN MÉXICO Y SU PRONÓSTICO PARA EL AÑO 2025.....	78
4.1. Especificación del modelo para explicar la demanda de maíz en México	79
4.2. Acopio de la información.....	83
4.3. Estimación	86
4.4. Validación del modelo.....	94
4.5. Presentación del modelo final.....	98
4.6. Interpretación de los resultados.....	100
4.7. Pronóstico de la demanda de maíz en México para el año 2025.....	101
CONCLUSIONES	107
BIBLIOGRAFÍA	110
ANEXOS	114

RESUMEN

Abel Cruz dijo que el maíz es el *único cereal que ha sido inventado por el hombre* por no existir planta silvestre con características similares. Actualmente uno de cada cuatro productos del supermercado contiene algún derivado de maíz y es la planta que produce más calorías por unidad de superficie. De ser un centro de origen, México ha pasado a ser el segundo importador de maíz en el mundo, situación que vulnera seguridad alimentaria.

Se llevó a cabo la construcción del modelo para explicar la demanda de maíz en México en el periodo 1981-2011 y el modelo para pronosticar la demanda nacional de maíz para el año 2025. Modelos que junto a los antecedentes, ayudaron a entender y a formular recomendaciones que tiendan a llevar al país a alcanzar su autosuficiencia alimentaria nacional por lo menos en lo que se refiere al maíz. Se hizo uso del software Eviews 8.

Con un índice de confianza del 95%, las variables identificadas y que explicaron la demanda de maíz en México en el periodo (1981-2011) son: la demanda de carne y huevo, las importaciones de maíz, el precio internacional del maíz, el tamaño del mercado, el uso pecuario del maíz y otros usos; en contraste, las variables que resultaron irrelevantes fueron: el precio nacional interno (precio medio rural), la producción nacional de maíz, el precio nacional del sorgo, el uso de maíz para etanol (Estados Unidos) y el uso (consumo) humano del maíz.

De seguir con las políticas actuales, México estará importando unos 15 millones de toneladas para el año 2020 con la agravante de que los precios nacionales son dictados por los precios internacionales (la bolsa de Chicago).

De la producción de maíz depende la alimentación y el ingreso de 40 millones de mexicanos y los productores nacionales compiten con los precios del maíz importado el cual es 20% inferior al costo de producción.

INTRODUCCIÓN

Las mazorcas de maíz más antiguas, encontradas en el Valle de Tehuacán Puebla, con una antigüedad de 10 000 años; ya eran incapaces de reproducirse por sí mismas: necesitaban la intervención del hombre para prosperar. Fue domesticado paulatinamente hasta convertirse en la planta moderna de maíz que hoy conocemos y que fue en el pasado, el alimento base de culturas avanzadas como la Inca, la Maya y la Azteca, sobre el cual basaron su gran desarrollo, lo que le confirió una importancia que trascendió lo material.

El legado de sus domesticadores para el mundo, al inventar el *único cereal que ha sido inventado por el hombre*, como el mismo Abel Cruz ha mencionado; ha sido magnificado por la importancia que actualmente ocupa el grano ya que uno de cada cuatro productos del supermercado contiene algún derivado de maíz y ser la planta que produce más calorías por unidad de superficie.

Éste trabajo es motivado por la importancia que se magnifica para México ya que es un alimento básico proveedor de la mayor parte de las calorías disponibles para la mayor parte de su población (cerca del 50%)¹, sobre todo la más vulnerable que es la mayoría.

De ser un centro de origen, México ha pasado a ser el segundo importador de maíz en el mundo con 9.5 millones de toneladas en 2012, situación que vulnera totalmente su seguridad alimentaria, lo que a su vez, vulnera su seguridad nacional. La política de dejar a las fuerzas del mercado como las entes reguladoras que dicten las bases de su producción y comercialización, han producido situaciones contraproducentes para sus consumidores, pues la premisa de que “es más barato comprarlo que producirlo”, se vino abajo en enero de 2007 al pasar en un sólo día de 6 a 10 pesos el precio de la tortilla,

¹ Seefoó (2008:14).

situación provocada en gran medida por la intervención desleal de pocas empresas acaparadoras.

Si queremos construir un Estado fuerte y soberano, que no sea vulnerado por situaciones creadas por entes supranacionales, no se puede pasar por alto el tratar de lograr su autosuficiencia alimentaria como un elemento importante de su seguridad nacional. Una política de desarrollo adecuado puede ser utilizada como palanca importante para el desarrollo de sus habitantes más desfavorecidos que son precisamente la mayoría, por lo menos en el sector rural: los productores de maíz.

De ahí la importancia de estudiar las variables más importantes que intervienen y que explican la demanda de maíz en México para llevar a cabo un análisis de tipo estructural y que junto a la estimación de la demanda de maíz en México para el año 2025, permitirá emitir recomendaciones y/o sugerencias de largo plazo tanto al Estado como a la sociedad en su conjunto que conlleven a la concientización del vital grano y tomar medidas tanto a los productores del importante grano como a las entidades del Estado, que tiendan a incrementar su producción nacional como mecanismo para alcanzar la seguridad alimentaria nacional y con ello, evitar la fuga de capitales, promover el empleo, combatir la pobreza y proveer de una vida digna a millones de productores que se aferran a seguir cultivando el tlayol (semilla de los dioses) como una estrategia para asegurar su propia alimentación.

OBJETIVO GENERAL

Analizar la demanda de maíz en México con el fin elaborar recomendaciones para alcanzar la autosuficiencia nacional del importante grano.

OBJETIVOS PARTICULARES

- a) Identificar las diversas variables que explican la demanda de maíz en México en el periodo (1981-2011).
- b) Realizar un pronóstico de la demanda de maíz en México para el año 2025.
- c) Identificar estrategias que ayuden a que el país tienda a alcanzar su autosuficiencia del vital grano.

ANTECEDENTES

En la bibliografía especializada en estrategias para combatir la pobreza y lograr una autosuficiencia alimentaria, existen dos enfoques en los planteamientos propuestos: el enfoque de las ciencias sociales, y el enfoque econométrico. Autores como, Esteva y Marielle (2003), Seefó (2008), Puyana y Romero (2008), Torregosa (2009), Gómez (2011), Villa (2011), entre otros, han formulado alternativas encaminadas a fortalecer el campo mexicano como una estrategia para reducir la pobreza, redistribuir la riqueza y lograr la autosuficiencia alimentaria en granos básicos. Esteva y Marielle (2003), Seefó (2008) y Gómez (2011), hacen hincapié en la importancia de la autosuficiencia alimentaria de maíz en México; pero se han apoyado casi exclusivamente en las ciencias sociales y desde ahí parten para vislumbrar el futuro y proponer alternativas que muchas veces suenan muy convincentes dada la situación real que impera en el sector agrícola nacional.

Encontré que muy pocos autores, utilizan la econometría como apoyo a sus investigaciones, ver por ejemplo Vega y Ramírez² (2008). En éste contexto, esta tesis, denominada “Análisis de la demanda de maíz en México (1981-2011)”, marca una gran diferencia con respecto a lo encontrado en la bibliografía porque las recomendaciones obtenidas para alcanzar una autosuficiencia de maíz se apoyan y hacen uso de la econometría, además de las ciencias sociales para tratar de cumplir su objetivo.

Respecto al pronóstico, cabe resaltar las diferencias que existen con las proyecciones realizadas por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) y con los de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), pues ambas instancias utilizan varias variables macroeconómicas. La SAGARPA utilizó seis variables macroeconómicas: el producto interno bruto, el tipo de cambio, el precio del petróleo, los precios al productor de maíz, la tasa de interés y la población, y en

² “Situación y perspectivas del maíz en México”. En Ávila, Puyana y Romero (2008).

éste trabajo sólo se utilizará la variable tamaño de mercado (población). Aunque parecería más limitado, la existencia de numerosos trabajos de demografía en México, le permitirá depender de pocos supuestos y ser menos dependiente de variables muy inciertas.

METODOLOGIA SEGUIDA EN EL DESARROLLO DE ESTA TESIS

En el capítulo uno, se describe la situación internacional y nacional de la producción y consumo del importante grano, que nos ayude a vislumbrar nuestra situación respecto del resto del mundo.

En el capítulo dos, se hace un recuento de la política agrícola en México en el siglo XX, para analizar cómo se ha intentado alcanzar la autosuficiencia alimentaria nacional, para conjeturar posibles soluciones al problema de la autosuficiencia nacional de maíz, como un alimento de seguridad nacional.

En el capítulo tres, se dan los conceptos básicos de la econometría y regresión lineal, que fundamentan el método a utilizar para construir nuestros modelos: uno para explicar la demanda nacional de maíz y otro para realizar nuestro pronóstico.

Finalmente en el capítulo cuatro, se lleva a cabo la construcción del modelo para explicar la demanda de maíz en México en el periodo 1981-2011 y el modelo para pronosticar la demanda nacional de maíz para el año 2025. Modelos que junto a los antecedentes, nos ayudarán a entender y a formular recomendaciones que tiendan a llevar al país a alcanzar su autosuficiencia alimentaria nacional por lo menos en lo que se refiere al maíz. En este apartado se hará uso del software ampliamente utilizado en econometría: Eviews 8.

Como resumen de la metodología expuesta anteriormente, se presenta el diagrama siguiente como un resumen de los pasos más importantes a seguir para conseguir nuestro objetivo.

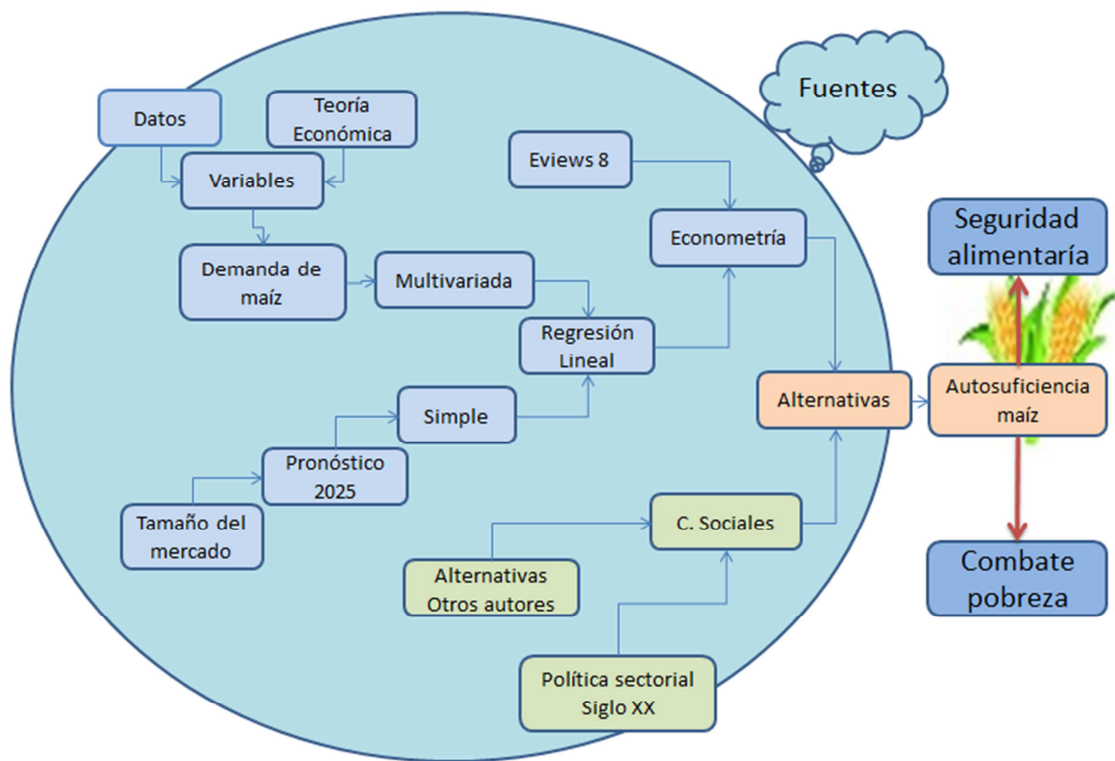


Figura 1. Diagrama de la metodología a seguir.

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO

Desde su origen mesoamericano, el maíz se extendió a todas partes del mundo. Por la superficie cultivada, es hoy el segundo producto agrícola después del trigo y primero en cuanto al volumen cosechado. Se cosechan cerca de 160 millones de hectáreas (Mhas), con una producción mundial que supera las 850 millones de toneladas (Mton); además de suministrar elementos nutritivos a los seres humanos y a los animales, es utilizado como una materia prima básica en la industria de la transformación, ya que después del petróleo, el maíz es el producto natural que más usos posee.

1.1. ORIGEN DEL MAÍZ

El vocablo *maíz* se deriva de la palabra taína (lengua indígena que se hablaba en las Antillas) *mahís* que significa “lo que sustenta la vida”, en náhuatl se denomina *tlayol* que significa “semilla de los dioses”.

Las primeras plantas de maíz se encontraron en el valle de Tehuacán, Puebla; datan del 7900 a.c (González: 2011: 80) y tenían mazorcas de apenas unos tres centímetros de largo, pocos granos y prácticamente sin totomoxtle (hojas modificadas que envuelven al elote del maíz), que ya dependían del hombre para su supervivencia y eventual reproducción.

La teoría más aceptada en nuestros días es que el maíz, tlayol fue domesticada a partir del *teocintle* (maíz de dios) desde hace 10000 años, como resultado de mutaciones acumulativas que le permitieron evolucionar en hábitats variados bajo selección natural y humana. Abel Muñoz, dijo que el maíz es el único cereal que ha sido inventado por el hombre.

En la actualidad se han identificado 59 razas nativas de México, pero según especialistas podrían existir unas 70 razas, que pueden cultivarse desde el nivel del mar hasta 3000 msnm (metros sobre el nivel del mar).

El maíz (*Zea mays*) se originó en México, con posibles centros secundarios en toda Mesoamérica, fue el alimento básico de culturas y civilizaciones precolombinas avanzadas, como la Inca, la Maya y la Azteca, por mencionar algunas.

La mayoría de las cualidades modernas del maíz son derivadas de prototipos desarrollados por los agricultores nativos de Mesoamérica y actualmente es uno de los tres principales cultivos del mundo junto con el trigo y el arroz, y es la planta que produce más calorías por unidad de superficie, su versatilidad han hecho que uno de cada productos del supermercado contiene algún derivado del maíz lo que da una dimensión de su importancia a nivel mundial. Importancia que adquiere una dimensión de seguridad nacional para las naciones como la nuestra que destina una gran cantidad de su consumo interno del grano para satisfacer las necesidades calóricas de su población.

1.1.1. Usos del maíz

A diferencia de otros cereales, el maíz se adapta en casi todos los climas, altitudes y tipos de suelos, lo que le ha permitido su difusión en todo el mundo. Debido a sus propiedades se pueden obtener múltiples derivados a partir de éste, después del petróleo, el maíz es el producto natural con más usos; de igual modo constituye el recurso renovable más importante del mundo.

Las diferencias entre el maíz blanco y el maíz amarillo son muy pocas, aunque no se puede suponer una sustitución perfecta uno del otro. En el Cuadro 1.1 se muestra que ambos maíces, contienen los mismos elementos y sus diferencias son muy pocas. Sólo se diferencian por el contenido de vitamina A y E, que se consideran esenciales para la alimentación humana y animal, por lo que se puede afirmar que el maíz amarillo es de mejor calidad. Razón por lo que no se consideran sustitutos perfectos.

En el medio rural se utiliza toda la planta, nada se desperdicia en nuestra cultura del maíz: las hojas secas o verdes, el elote, la caña tierna, los tallos, la espiga, el grano, incluso sus plagas como el gusano del elote o el hongo que ataca al maíz (huitlacoche).

Cuadro 1. 1. Comparación del contenido nutrimental del maíz blanco y amarillo.

	<i>Maíz blanco (100 gramos)</i>	<i>Maíz amarillo (100 gramos)</i>
Grupo de alimentos	Cereal: grano y pasta	Cereal: grano y pasta
Calorías	365 kcal	365 kcal
Proteínas	9.42 g	9.42 g
Hidratos de carbono	74.26 g	74.26 g
Grasas	4.74 g	4.74 g
Colesterol	0 mg	1mg
Fibra	0.0 g	0.0 g
Agua	10.37 g	10.37 g
<i>No hay diferencia en el contenido de nutrientes inorgánicos (minerales)</i>		
Respecto a las vitaminas hay una diferencia considerable entre la A y la E		
Vitamina A	0 IU	469 IU
Vitamina E	0.00 mg_ATE	0.75 mg_ATE
<i>No hay diferencia en el contenido de lípidos</i>		

Fuente: Ávila, Puyana y Romero (2008).p 82.

El objetivo principal del cultivo del maíz es la producción del grano el cual no solo suministra elementos nutritivos a los seres humanos y a los animales, sino que es una materia prima básica en la industria de la transformación.

Siendo el cultivo de la dieta mesoamericana, fue utilizado para hacer tamales, tortillas y atoles, los cuales agruparon unos 250 platillos.

La planta de maíz es utilizada como forraje para el ganado, para la preparación de ensilaje para el mismo propósito. El maíz amarillo es el preferido para alimentar el ganado.

La industria obtiene del maíz la mayor cantidad de derivados químicos que se pueda obtener de un producto vegetal y el maíz amarillo se coloca principalmente como un agente estratégico en la economía mundial inmediatamente después de los hidrocarburos, es uno de los recursos naturales renovables más importantes por la cantidad de derivados que obtienen de él y que sirven de insumos en la industria.

En la Figura 1.1 se muestran los usos del maíz, destacando entre sus derivados químicos el etanol, ya que su producción ha impuesto en la actualidad grandes

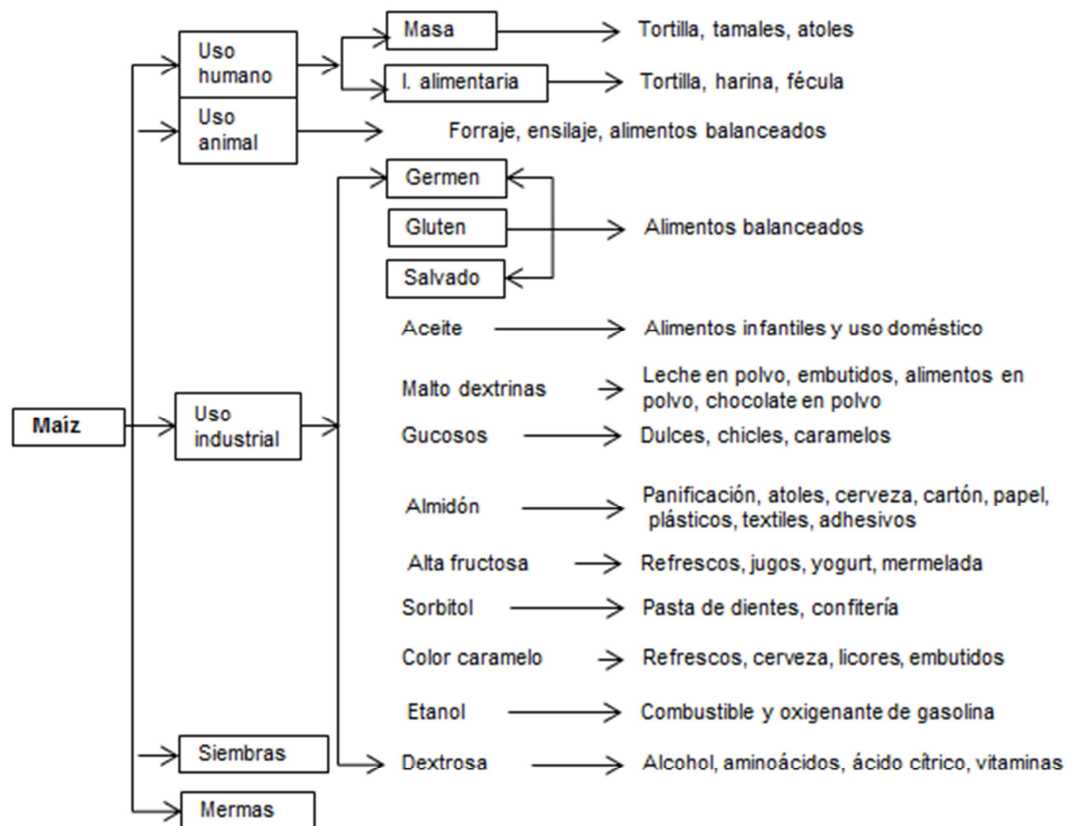


Figura 1. 1. Algunos usos del maíz

presiones en el mercado internacional por ser un producto que se utiliza principalmente como combustible de autos y camiones.

1.2. SITUACIÓN INTERNACIONAL DE LA PRODUCCIÓN Y CONSUMO DE MAÍZ

La demanda mundial de maíz registra un incremento continuo ya que además de usarse como alimento humano y animal, tiene importantes usos industriales destacando entre ellos, sobre todo en los últimos años, su uso para la producción de biocombustibles. La demanda del grano para la alimentación del ganado y para uso industrial, constituyen una competencia directa a su uso como alimento humano.

La demanda internacional de maíz ha tenido un incremento brusco debido a que el mayor productor, los EUA han decidido producir etanol a base de maíz con el objetivo de reducir su dependencia de hidrocarburos que generan bióxido de carbono al quemarse. Según un reportaje en 2007 por “The Economist”, George Bush, Presidente de los EUA pretende reducir el consumo de petróleo en un 20% durante la próxima década, sustituyéndolo principalmente por etanol lo que implicaría una producción de 130 mil millones de litros, principalmente de la destilación del maíz.

En varios estados de EUA, los productores de etanol reciben un subsidio federal de alrededor de 13.3 centavos por litro, circunstancia que requerirá cada vez una mayor proporción del maíz producido en este país. La producción de etanol en EUA se ha acelerado desde 2005, superando la de Brasil, que utiliza la caña de azúcar como base.

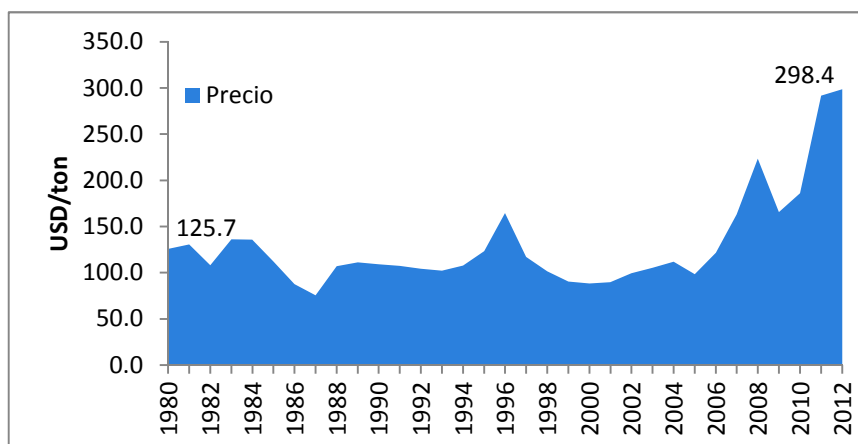
En 2010 EUA utilizó el 35% de su producción de maíz para producir etanol (Cuadro 1.2), lo que ha ocasionado una disminución en sus exportaciones de maíz, reducción de sus reservas y como consecuencia, una tendencia al alza de los precios internacionales del grano, debido al gran peso que posee este país en el mercado internacional del maíz. Así, de un precio de 88.2 dólares en 2000, a 298.4 dólares por tonelada métrica en 2012 (Fig. 1.2).

Cuadro 1. 2. Producción de maíz en EUA y su uso para etanol (millones de toneladas)

Año	Producción	Uso para Etanol	%
	Mton	Mton	Mton
1980	169	0.9	0.5
1985	225	6.9	3.1
1990	202	8.9	4.4
1995	188	10.2	5.3
2000	252	16.0	6.4
2005	268	40.7	14.4
2010	316	119.4	35.5

Fuente: Earth Policy Institute

Figura 1. 2. Precios del maíz amarillo No. 2



Fuente: FMI

1.2.1. Países con mayor superficie cosechada de maíz

EUA cosecha la mayor superficie del cultivo del grano, cerca de 34 Mhas que representa una quinta parte de la superficie mundial cosechada del cultivo de maíz, la cual ha incrementado notablemente en los últimos años a costa de otros cultivos como el algodón y la soya.

Cuadro 1. 3. Países con mayor superficie cosechada de maíz (millones de has

Posición	País	Superficie	%
1	EUA	34.0	20.0
2	China	33.7	19.8
3	Brasil	13.2	8.0
4	India	7.3	4.3
5	México	6.1	3.6
6	Nigeria	6.0	3.5
7	Indonesia	3.9	2.3
8	Argentina	3.8	2.2
9	Ucrania	3.5	2.1
10	Filipinas	2.5	1.5
11	Sudáfrica	2.4	1.4
12	Kenia	2.1	1.3
	Otros	52.0	30.5
Total		170.4	100

Fuente: FAOSTAT

China se posiciona como el segundo, cosechando otra quinta parte, Brasil, India y México le siguen cosechando el 7.8%, 4.3% y 3.6% respectivamente, completando el grupo de los cinco países con mayor superficie cosechada del importante cultivo de maíz (Cuadro 1.3).

1.2.2. Principales productores

EUA es mayor productor de maíz aportando el 35.5% de la producción mundial en 2011 y es el segundo en cuanto a sus rendimientos con 9.24 ton/ha, aunque apenas tres años atrás representó más del 40%. Sus políticas en el sector agrícola son determinantes, así su política sobre etanol es una de las causas principales del aumento internacional del precio del maíz, ya que de

utilizar el 5% de su producción en 1995, pasó a utilizar más del 35% en 2010, lo que ha generado una menor oferta disponible para el ganado: principal uso en éste país, por lo que es previsible una menor producción de carne.

China aunque ha aumentado considerablemente su producción de maíz hasta ser el segundo productor mundial con un 22% y 5.7 ton/ha, en 2006 tuvo una balanza negativa de 2Mton, cuando un año atrás había exportado unos 3.6 Mton del grano. El gran crecimiento de su clase media ha demandado mayores cantidades de carne, por lo que en adelante es probable que sea cada vez un mayor importador de maíz, que es utilizado principalmente para la alimentación del ganado en este país.

Cuadro 1. 4. Mayores productores de maíz y sus rendimientos

No.	País	Producción Mton	%	Rendimiento Ton/ha	Posición Por rend.
1	USA	313.9	35.5	9.2	2
2	China	192.9	21.8	5.7	5
3	Brasil	55.7	6.3	4.2	10
4	Argentina	23.8	2.7	6.6	5
5	Ucrania	22.8	2.6	6.4	4
6	India	21.6	2.4	3.0	11
7	México	17.6	2	2.9	12
8	Indonesia	17.6	2	4.6	7
9	Francia	15.7	1.8	10.2	1
10	Rumania	11.72	1.3	4.5	8
11	Canadá	10.7	1.2	8.9	3
12	Sudáfrica	10.4	1.2	4.4	9
	Otros	174.3	19.7		
	Total	883.5	100		

Fuente: FAOSTAT

Brasil y Argentina se han mantenido como el tercer y cuarto país más importante, aportando con el 6.3% y 2.7% de la producción mundial; países que han visto el acercamiento de Ucrania con el 2.6% pues éste último ha dado un impulso importante a su sector agropecuario.

México por su parte, aunque ocupa el séptimo lugar como productor, tuvo que importar más de 9 Mton en 2012 para satisfacer su consumo interno pues las 2.9 ton/ha que obtiene lo ubica en último lugar en rendimiento entre los doce países que más maíz producen en el mundo.

El resto de los países de la lista excepto Indonesia, presentan sobreproducción del grano, por lo que disponen de excedentes para colocar en el mercado mundial y ser importantes exportadores.

1.2.3. Países con mayor consumo

Según el reporte de la FAO, en el 2009, EUA consumió alrededor del 35% del maíz consumido en el mundo, el cual satisface internamente pues su producción rebasa en un 20% a su demanda interna. China por su parte consume un 19%, sin embargo en términos relativos su consumo no es importante debido a su gran población de 1300 millones de habitantes. Éstos dos países consumen cerca del 55% del maíz en el mundo por lo que sus políticas de consumo interno impactan de manera importante el mercado exterior (Cuadro 1.5).

Cuadro 1. 5. Principales consumidores de maíz (millones de ton)

No.	País	Consumo	%	Piensos	Agroindustria	Alimentación	Otros
1	USA	283	35.4	131.1	138.3	3.9	8.8
2	China	152.9	19.1	1.04.5	4.3	9.2	14.9
3	Brasil	44	5.5	33.6	0.06	4.7	5.5
4	México	28.6	3.6	9.2	1.4	13.5	4.4
5	Indonesia	18	2.3	4.5	0	9.1	4.3
6	Japón	15.9	2	12.5	1.9	1.4	0
7	India	14	1.8	4.1	0	6.2	3.7
8	Egipto	13.1	1.6	6.8	0.1	4.9	1.2
9	Canadá	11.3	1.4	8.9	1.2	0.7	0.6
10	Italia	10.6	1.2	9.5	0.47	0.24	0.4
11	Francia	9.8	1.3	7.7	0.8	0.8	0.5
12	Sudáfrica	9.6	1.2	3.8	0.1	5.2	0.6
	Otros	189.2	23.7				

Fuente: FAOSTAT

En cuanto al destino, México resalta de manera importante ya que cerca de 50% de su consumo lo hace vía consumo humano; Indonesia, India, Sudáfrica y Egipto también destinan una porción importante de su consumo interno al consumo de sus habitantes, aunque en menor grado.

La mayor parte del consumo de maíz entre los principales consumidores es vía la alimentación animal, principalmente para el ganado porcino, bovino y avícola. Estados Unidos destina la mayor parte de su consumo a la alimentación del ganado, mismo que es exportado a otros países como un producto de valor agregado; también destaca en éste país su uso agroindustrial para la elaboración de alimentos. Esto nos lleva a pensar que tiene como fin el aumento del valor agregado y el mercado externo. La producción de etanol ha adquirido relevancia en éste país en los últimos años, repercutiendo de manera importante en los precios internacionales del maíz al dedicar una parte importante de su producción del grano a la producción del biocombustible.

1.2.4. Principales exportadores

Por los reportes de la FAO, sólo alrededor del 12% de la producción mundial de maíz se comercia en el mercado internacional y en 2010, sólo cuatro países aportaron el 80% de las exportaciones del grano (Cuadro 1.6). EUA acapara cerca del 50% del mercado exportable, el cual representa un 16% de su producción; país que ha disminuido sus exportaciones pues en 2006 exportó unos 57.9 Mton que representaron un 20% el su producción.

Argentina y Francia enfrentan la competencia de Brasil y Ucrania, ya que estos últimos han impulsado de manera importante su sector agropecuario en los últimos años lo que ha ampliado su participación en el mercado internacional del grano.

Cuadro 1. 6. Principales exportadores de maíz (millones de ton

No.	País	Exportaciones	%
1	EUA	45.9	41.9
2	Argentina	15.8	14.4
3	Brasil	9.5	8.7
4	Ucrania	7.8	7.1
5	Francia	6.2	5.7
6	India	4	3.6
7	Hungría	3.6	3.3
8	Sudáfrica	2.6	2.4
9	Rumania	2.3	2.1
10	Serbia	1.6	1.5
11	Paraguay	1.3	1.2
12	Canadá	1.1	1.0
	Otros	7.9	7.2
	Total	109.6	100

Fuente: FAOSTAT

Las exportaciones concentradas en pocas naciones sobre todo en los primeros cuatro, hacen del mercado internacional del maíz pueda alterarse de manera importante ante cualquier cambio de política interna en éstos importantes exportadores del grano, lo que conlleva a una mayor vulnerabilidad de la seguridad alimentaria de los países que recurren al mercado internacional para satisfacer su propia demanda, y de manera especial la vulnerabilidad de un país como México que importa una considerable cantidad de maíz para alimentar a su población, y en este marco, el Estado mexicano debe tomar acciones encaminadas a fortalecer su seguridad alimentaria por la importancia que tiene este grano para la gran mayoría de sus ciudadanos: proveedor de la mayor fuente de calorías, sobre todo para los que tienen menos posibilidades económicas, dado que la tortilla es la base de su alimentación.

1.2.5. Principales importadores

Es evidente que a diferencia de los pocos exportadores (cuatro cubren el 80%) de maíz, muchos países tienen la necesidad de recurrir al mercado internacional para cubrir su déficit interno del grano; aunque de todos modos los seis principales importadores acaparan cerca del 50% del grano comercializado en el mercado exterior (Cuadro 1.7), donde Japón viene siendo el principal importador desde hace ya varios años acaparando actualmente el 15% de las importaciones mundiales de maíz; sin embargo esta situación al igual que en Corea del Sur y Taiwán no resulta alarmante pues su gran desarrollo tecnológico les permite sustituir sus importaciones de granos básicos por la exportación de tecnología avanzada, por lo que esta situación es sustentable a largo plazo.

Cuadro 1. 7. Principales importadores de maíz (millones de ton)

No.	País	Importaciones	%
1	Japón	15.28	14.1
2	México	9.48	8.8
3	Corea del Sur	7.76	7.2
4	Egipto	7.05	6.5
5	España	4.82	4.5
6	Taiwán	4.15	3.8
7	Irán	3.64	3.4
8	Países Bajos	3.48	3.2
9	Indonesia	3.21	3.0
10	Argelia	3.15	2.9
11	Malasia	2.68	2.5
12	Colombia	2.82	2.6
	Otros	40.58	37.5
	Total	108.1	100

Fuente: FAOSTAT

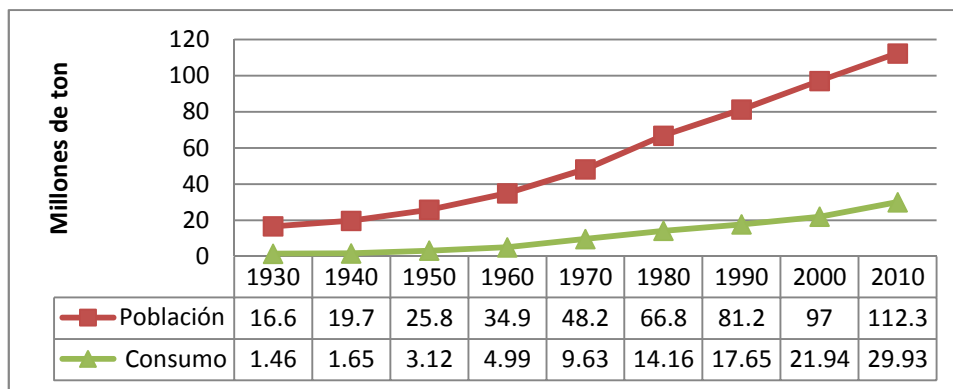
Para países como México, Egipto e Irán si son preocupantes dichas importaciones pues a diferencia del caso de Japón y otros países, su déficit del grano no es sustentable a largo plazo ya que carecen del alto desarrollo

tecnológico de esas naciones, lo que les impide equilibrar su balanza comercial, por lo menos en el corto y mediano plazo.

1.3. SITUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y CONSUMO NACIONAL DE MAÍZ

México ocupa actualmente el séptimo lugar mundial como productor de maíz cuando apenas en 2006 ocupaba el cuarto, contrastando con países como Argentina y Ucrania que han dado mayor impulso a su sector agrícola dando como resultado el haber rebasado en pocos años a México como productores en importancia. En cuanto a rendimientos su situación empeora con respecto a los rendimientos obtenidos por los mayores productores de maíz pues ocupa el séptimo lugar como productor en importancia pero ocupa el doceavo entre los doce productores más importantes del mundo.

Figura 1. 3. Producción y consumo de maíz en México



Fuente: Revista Econotecnia Agrícola, SARH, sept. 1981. SIAP-SAGARPA.

En la Figura 1.3 se observa que el consumo de maíz se incrementa conforme la población aumenta. En el lapso de 80 años la población pasó de 16.6 millones en 1930 a 112.3 millones de habitantes en 2010, lo que representó un incremento del 677%. En este periodo la población creció a un ritmo de 2.4%

anual, la producción de maíz a 3.6% y el consumo a 3.8%, por lo que en la última década las importaciones de maíz han aumentado significativamente a fin poder cubrir la demanda interna que además del consumo humano, el uso pecuario e industrial vienen a constituir una competencia directa al uso habitual.

1.3.1. Superficie nacional destinada al cultivo del maíz

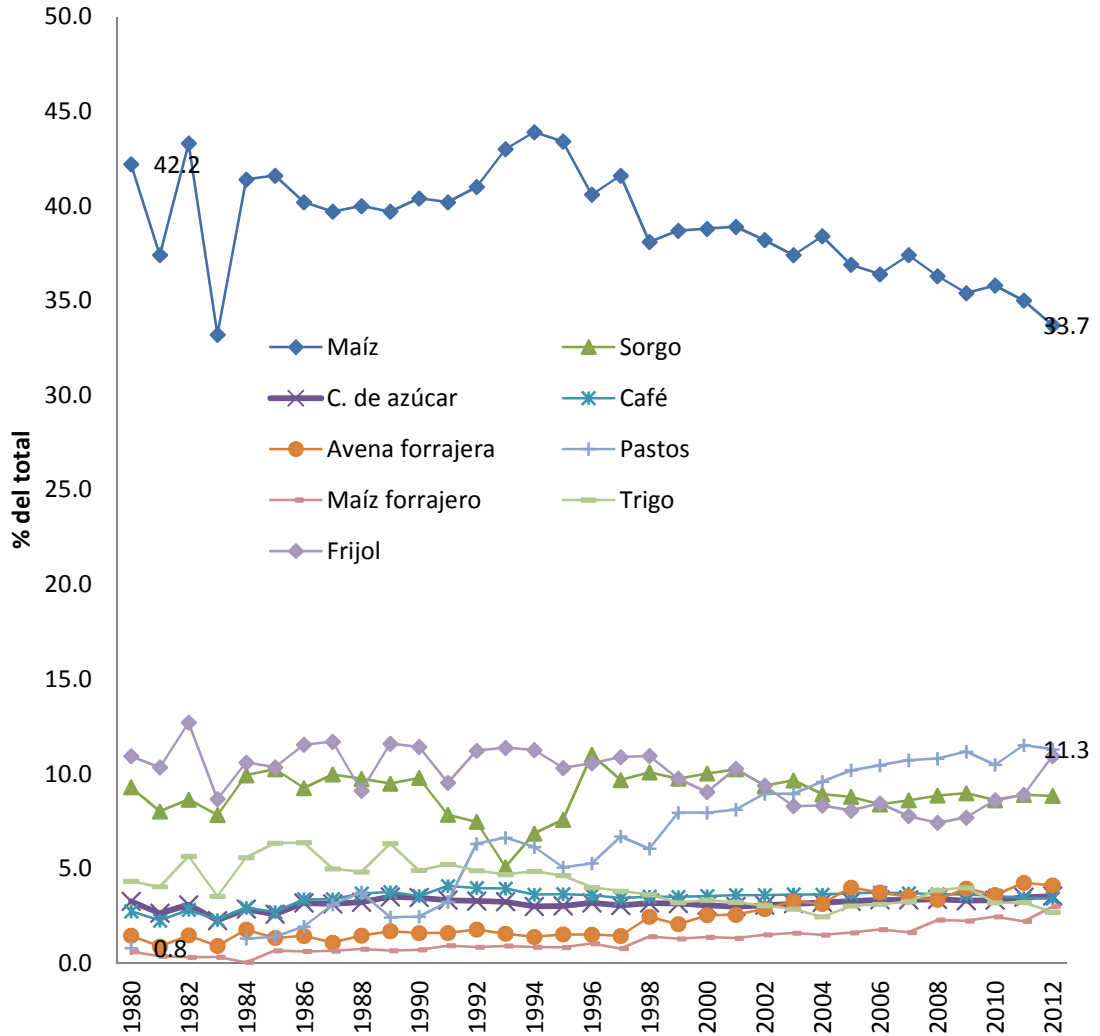
México es uno de los países más diversos del mundo y el cultivo del maíz ha estado estrechamente ligado a la gran diversidad ecológica de las diferentes regiones del país al grado de que hoy en día se sigue produciendo maíz a lo largo y ancho de todo México, en las condiciones más variadas del mundo: desde el árido norte hasta el trópico húmedo o desde el nivel del mar hasta los tres mil metros sobre el nivel del mar. Podemos identificar las grandes producciones comerciales de Sinaloa y Jalisco con un uso intensivo de insumos hasta pasar por toda una gama de variantes intermedias para llegar a su cultivo tradicional desde tiempos inmemoriales después de todo, México es la cuna del maíz donde se domesticó, se seleccionó y mejoró para extenderse posteriormente a todo el mundo.

El maíz es el alimento básico de la gran mayoría de los mexicanos que cobra mayor relevancia en las zonas urbanas y rurales más pobres del país donde se consume de manera esporádica la carne y otros alimentos de origen animal, donde el grano aporta más de la mitad de las calorías y proteínas de su dieta diaria.

Actualmente, la superficie destinada al cultivo del maíz sigue siendo la más importante en el país, ésta se ha reducido en términos relativos pues de destinar el 42.2% de la superficie agrícola nacional en 1980, pasó a ocupar el 33.7% en 2012; o sea que retrocedió 8.5% en términos absolutos, mientras que el cultivo del frijol retrocedió 3.1%, el sorgo 0.45% y el trigo 1.6%. Contrastando con otros cultivos pues en el mismo periodo, la caña de azúcar avanzó 0.3%, el café 0.7%, la vena forrajera 2.7%, los pastos 10.5% y el maíz forrajero 2.4%, cultivos que al año 2012 conforman la lista de los ocho primeros en cuanto al

porcentaje de la superficie agrícola nacional que se destina para su cultivo (Fig. 1.4).

Figura 1. 4. Superficie destinada a los nueve cultivos más importantes en el país



Fuente: SIAP-SAGARPA

Cabe mencionar que en 1980, el trigo ocupaba el cuarto lugar con el 4.3% de la superficie agrícola nacional, mientras que el cártamo ocupaba el séptimo con el 2.4% y el algodón hueso el octavo con el 2%; actualmente ocupan el noveno, quinceavo y decimoséptimo lugar con el 2.7%, 0.8% y 0.7% respectivamente; en pocas palabras, hubo un viraje muy importante en la vocación del área

agrícola nacional: se han desplazado granos básicos para incorporar cultivos para forraje.

1.3.2. Producción nacional

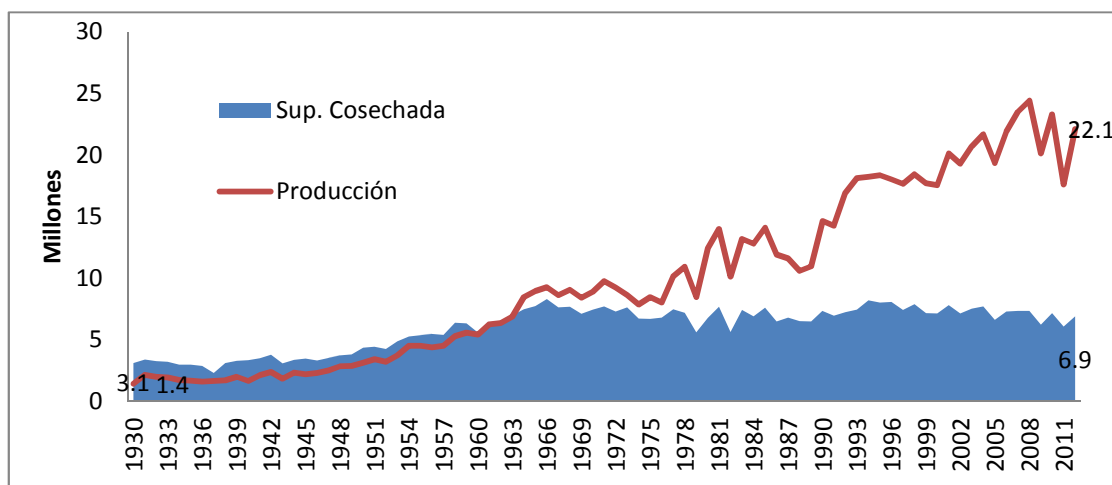
En México el maíz adquiere una mayor relevancia económica ya que actualmente representa el 12% del PIB primario (agricultura, ganadería, forestal y pecuario), sin considerar el valor agregado que genera a lo largo de su cadena productiva. La importancia del grano en la economía mexicana radica en que hay más de 3 millones de productores de maíz, que representan el 13% de la población total y el 60% de los productores agrícolas del país. En 2012, el valor de la producción agrícola de maíz representó el 22% del total contra 23% en 1980: su valor sigue siendo muy importante.

En la Figura 1.5, se observa un crecimiento de la producción de 1930 a principios de 1960, la cual se debió principalmente al crecimiento de la superficie cosechada y de mediados de 1960 hasta nuestros días, el crecimiento se ha debido fundamentalmente al crecimiento de los rendimientos obtenidos, pues la superficie cosechada se ha mantenido desde entonces entre 7 y 8 millones de has.

De 1940 a 1955 la producción de maíz se debió al aumento de la superficie cosechada y al aumento de la productividad debido a la creación de grandes obras de riego.

De 1955 a 1966 se intensifica la aplicación de la “revolución verde” y su paquete tecnológico, hay aumentos de la superficie cosechada; aumentos que se detienen en 1966, por lo que de 1967 a 1976 la producción de maíz no registra variaciones importantes.

Figura 1. 5. Producción de maíz y superficie cosechada 1930-2011



Fuente: Revista Econotecnia Agrícola, septiembre 1983, SARH, 1930-1980. SIAP-SAGARPA, 1981-2012

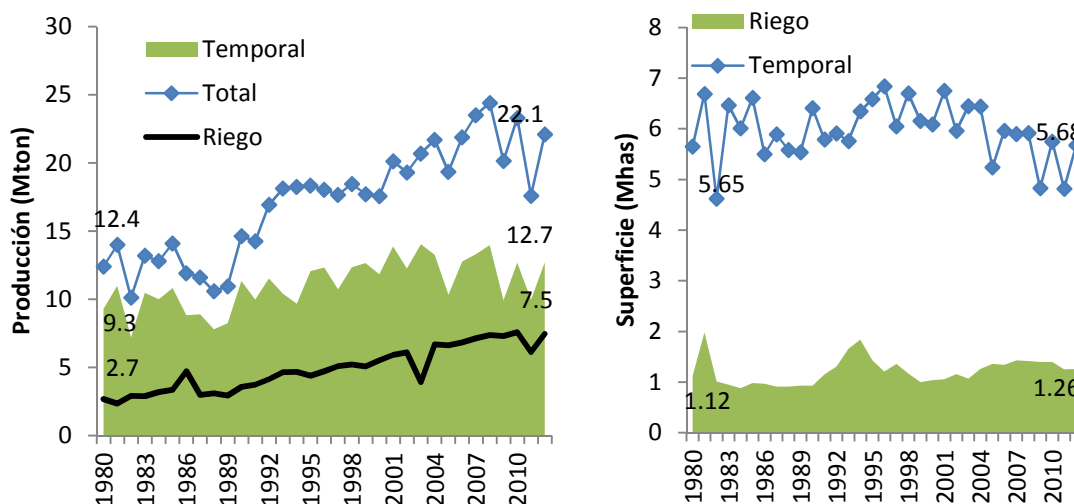
De 1977 a 1985 el incremento de la producción de maíz coincide con la puesta en marcha del Sistema Alimentario Mexicano (SAM), que da un impulso importante al sector agrícola de país a partir de los ingresos extraordinarios que el gobierno dispuso provenientes de las exportaciones petroleras, sin embargo a la caída de los precios internacionales del petróleo a mediados de 1981, se tuvo que abandonar el SAM, conllevando a la desaparición de varios programas de apoyo en la SARH (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos), por lo que la producción sufrió un desplome.

De 1990 a 1994 el crecimiento de la producción fue impulsado principalmente por el aumento de la superficie regada, ya que la producción de soya y trigo en el noroeste del país principalmente en Sinaloa dejó de ser rentable por lo en éstos años se incrementó significativamente la superficie de riego y consecuentemente los rendimientos de maíz.

A partir de 1995 la producción de riego tuvo un desplome debido a la gran crisis de 1994 que atravesó el país, que provocó una disminución brusca del precio del maíz, que en términos reales disminuyó un 30%. Nótese que la crisis no influyó en la producción de temporal, pues la mayoría de los productores es

para su autoconsumo o para el mercado local, al que los precios internacionales poco influyen en cuando a si deben o no seguir sembrando maíz, lo que contribuyó a que se mantuviera por lo menos estable la producción del importantísimo grano.

Figura 1. 6. Producción de maíz en temporal y riego



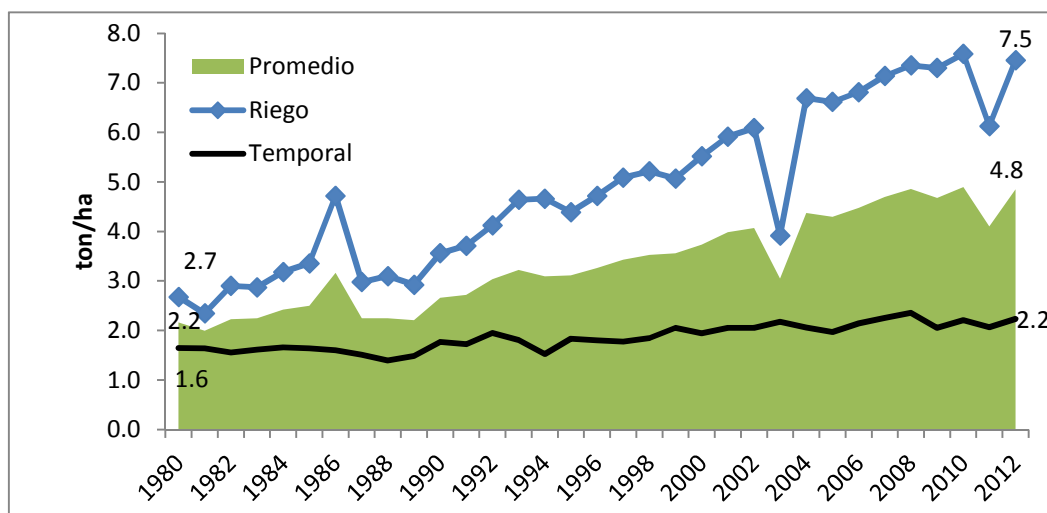
Fuente: SIAP-SAGARPA

Desde 2001, la relación precio costo de la producción de maíz ha mejorado ligeramente, por lo que la producción bajo riego se ha incrementado debido a la mejora de los rendimientos tanto en riego como en temporal.

Los rendimientos de maíz tanto en riego como en temporal han aumentado. De 1980 a 2011 la tasa media anual de crecimiento fue de 3.5% para la superficie bajo riego y de 1.0% para la superficie de temporal; tres veces y media, inferior a la de riego (Fig. 1.7).

Cabe señalar que los rendimientos tanto de temporal como de riego son inferiores a los obtenidos en países como Francia y EUA que obtienen unas 10 toneladas por hectárea, y aun éstos están lejos de los observados en países como Israel y Kuwait, que según la FAO logran rendimientos de 25 y 21 toneladas por hectárea, por lo que en principio en la superficie bajo riego no tendrían porque no lograrse rendimientos por demás superiores a los observados en el cultivo del maíz en México.

Figura 1. 7. Rendimientos de maíz en riego y temporal



Fuente: SIAP-SAGARPA

1.3.3. Consumo nacional

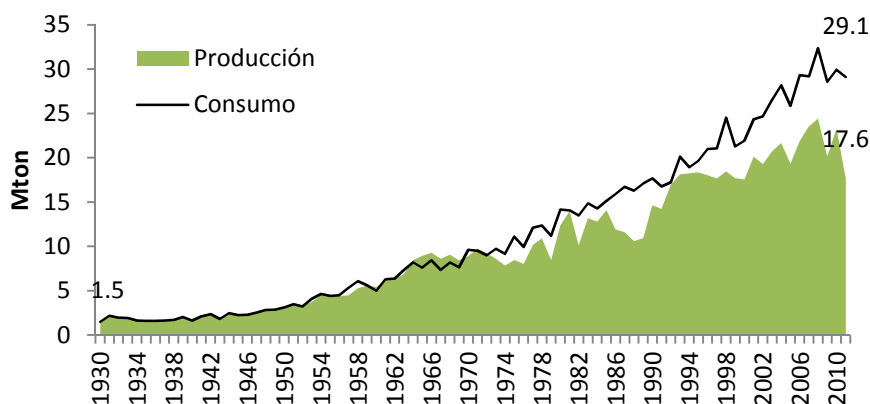
En el periodo de 80 años, el consumo de maíz creció más de 2 000%, contra un 677% de la población, es decir; el consumo creció el triple con respecto a la población en este lapso. Debido a que la producción creció a una tasa media anual del 3.6%, inferior a la tasa de consumo de 3.8%, hubo que importar 9.2 Mton para poder satisfacer la demanda nacional de cerca de 30 Mton que requiere actualmente el país.

El uso habitual ha dado un giro importante, pues en la década de 1930 su uso fue casi en su totalidad para el consumo humano, mientras que en la actualidad un 48% es para el consumo humano, 32% para uso pecuario y 20% para otros usos (agroindustria, semillas y mermas).

Desde mediados de 1970, el consumo superó la producción de maíz en México, por lo que cada día somos más dependientes de las importaciones del grano para poder cubrir la demanda interna (Fig. 1.8).

En el año 2011 fue un año particularmente malo para la producción de maíz pues se produjeron 17.6 Mton, ocasionado en gran medida por factores

Figura 1. 8. Producción y consumo de maíz en México 1930-2011

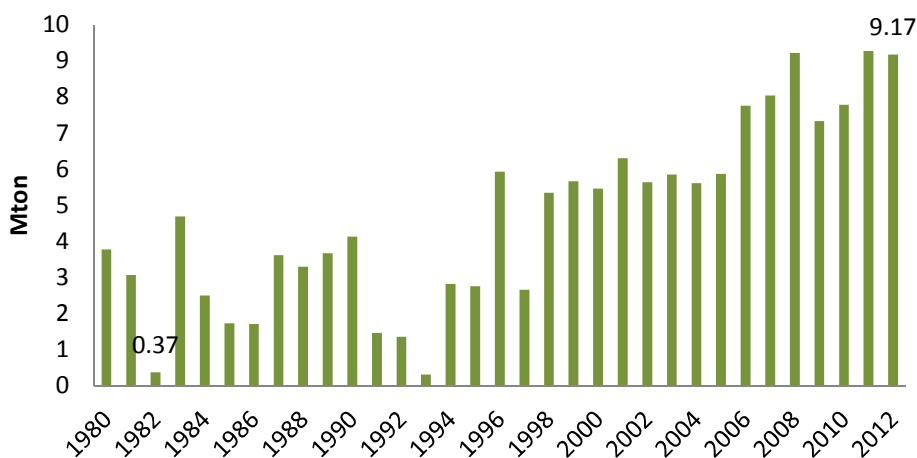


Fuente: Revista Econotecnia Agrícola, sep. 1983, SARH:1930-1979, FAOSTAT: 1980-2011

de tipo ambiental: la combinación de sequías y helados a lo ancho del país mermaron la producción nacional de maíz, ya que un año antes, se produjeron 23.3 Mton. En 2012 se recuperó la producción del grano, pues se produjeron 22.1 Mton en el país.

Como se ha mencionado, en la última década la producción de maíz ha mejorado gracias a los mayores rendimientos obtenidos tanto en riego (6.15 ton/ha), como en temporal (2.07 ton/ha); sin embargo éstos no han sido suficientes por lo que de exportar 1.25 Mton en 1967, pasamos a importar 3.78 Mton en 1980. Así, las importaciones han venido creciendo significativamente como se puede observar en la Figura 1.8. Después de iniciado el SAM, solamente se importaron 0.37 Mton en 1982, pero en el siguiente año se importaron 4.69 Mton y en 1990 4.13 Mton. En los tres años siguientes se importaron en promedio 1 Mton, como consecuencia de la puesta en marcha del Programa Nacional de Modernización del Campo (Procampo), pero en 1998 se alcanzaron 5.34 y en 2012 se importaron 9.17 Mton (Fig. 1.9).

Figura 1. 9. Importaciones de maíz en México: 1980-2012



Fuente: FAOSTAT 1980-2009, SIAP-SAGARPA: 2010-2012

1.3.4. Precios internos

Los precios reales del maíz presentan una clara tendencia a la baja, a lo que los campesinos han respondido aumentando los rendimientos de su producción para paliar los efectos de los precios sobre sus ingresos.

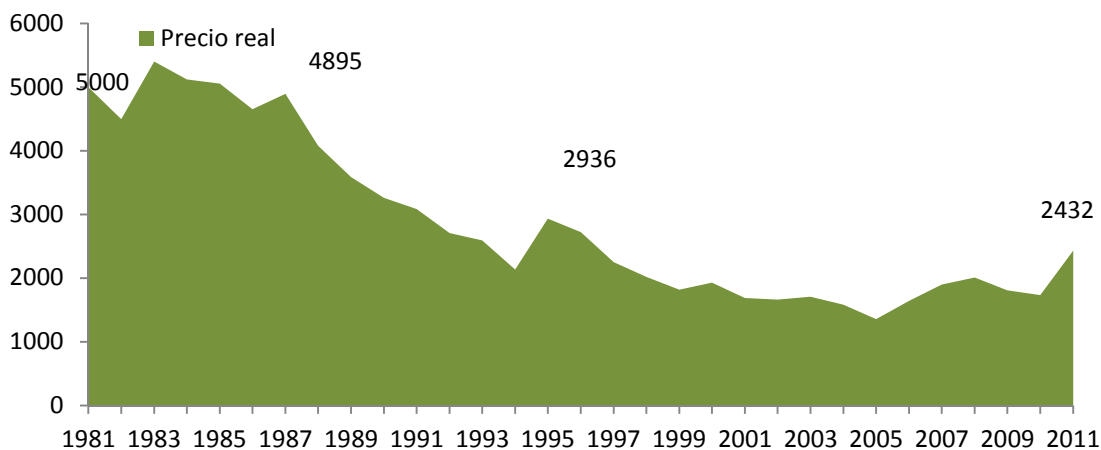
Puyana y Romero (2008), aclaran que a pesar de la sequía en que no haya subido el precio interno, es un argumento que vincula directamente las cotizaciones domésticas con las internacionales: el mercado de valores de Chicago. Sin embargo, los precios internacionales están influidos entre otros factores por las políticas de apoyo y fomento de los Estados Unidos, Japón y la Unión Europea³.

Dado los grandes volúmenes que manejan las grandes transnacionales, éstas imponen precios internacionales que no corresponden necesariamente a los costos reales, sino en pos de una ganancia mucho mayor, situación que aprovecharon Minsa y Maseca en 2007 en el caso de la producción sinaloense de maíz.

³ Puyana y Romero (2008), p. 99.

El precio real del maíz⁴ en México pasó de 5 000 pesos por tonelada en 1981, a 2 432 en 2011, es decir; una pérdida de alrededor del 50% en el lapso mencionado. Los precios de 1987 y 1995 respondieron a los ajustes monetarios debido a las crisis que sufrió el país por esos años; en el año 2011 repuntó el precio real debido en gran medida a la baja producción del grano en el país.

Figura 1. 10. Precios reales (pesos de dic. 1993) del maíz en México: 1980-2011



Fuente: FAOSTAT, Banxico.

⁴ La corrección se hizo de acuerdo al INPP del sector primario (agricultura, silvicultura y pesca) con petróleo.

CAPÍTULO 2. EL SECTOR AGRÍCOLA EN MÉXICO EN EL SIGLO

XX

A la consolidación del Estado mexicano después de la Revolución Mexicana, los campesinos mexicanos vieron sobre todo en el periodo presidencial del Gral. Lázaro Cárdenas, la implementación de la Reforma Agraria, que contemplaba muchas de sus demandas como lo fue la tenencia de la tierra. El estado desde entonces, intervino de manera importante en el sector agrícola para que el campo produjera alimentos baratos requeridos por la población y las materias primas que la industria nacional requería para su eventual desarrollo, al mismo tiempo fue visto como un sector que debía proveer de las divisas necesarias para la industrialización nacional. El campo nacional fue subordinado a los requerimientos del sector urbano y la industria en detrimento del sector.

En el proceso, el Gobierno destinó grandes inversiones para desarrollar el sector sobre todo a través de la llamada Revolución Verde, un paquete tecnológico que requería de ciertas condiciones por lo que termino por implementarse sólo en algunas zonas del país, el norte para lo cual se construyeron grandes obras de riego y las zonas de temporal adecuadas sobre todo en el bajío, que terminó por segmentar al campesino nacional caracterizado sobre todo por lado los productores comerciales y “productivos” (altamente subsidiados por el Estado) y por el otro, los productores de subsistencia e improductivos (escasamente subsidiados por el Estado).

Pero desde la firma del GATT (Acuerdo General sobre Aranceles Aduaneros y Comercio) en 1986, el Estado se ha retirado del sector agrícola nacional dejando a las fuerzas del mercado realizar y cubrir las acciones que antes realizaba, política que desde entonces ha seguido el Estado mexicano creyendo

que las fuerzas del mercado resolverán por si solas las grandes deficiencias del sector.

El campesino nacional sabe que aunque no sea rentable la siembra de maíz, debe seguir cultivándolo como una estrategia para asegurar su propia supervivencia que no dependa de las fuerzas depredadoras del libre mercado.

2.1. Un breve recuento de la Reforma Agraria en México

La producción agrícola durante la época del porfiriato se sustentó hasta ese momento en las grandes haciendas y en su compleja relación con la explotación tradicional de la tierra. A la consolidación del Estado mexicano posrevolucionario, el artículo 27 de la Constitución fue el marco legal para la explotación de la tierra y el agua en México. Al aprobarse el artículo 27 surgen dos formas de propiedad agraria: el ejido y la pequeña propiedad, desapareciendo la propiedad latifundista de la tierra.

No es sino hasta el periodo cardenista que la reforma agraria adquiere un giro radical en la política agraria, ya que cambio la estructura agraria de la tierra entregando la mitad de la tierra cultivable a los campesinos bajo el régimen de posesión ejidal. En 1940 los ejidos poseían unos 7 de los 14.8 millones de hectáreas de tierras de labor existentes en el país.

A partir de 1940 se interrumpe el proceso de la reforma agraria canalizándose los estímulos oficiales hacia una agricultura con bases empresariales, buscando su industrialización. La agricultura empresarial requirió de métodos intensivos de producción mediante el uso intensivo de maquinaria, fertilizantes químicos, herbicidas, insecticidas, etc. La demanda de estos insumos elevó los costos de producción dejando imposibilitados a los pequeños productores que disponían de pequeñas parcelas, muchas veces tierra de temporal de baja calidad.

De 1940 a 1965 la agricultura experimentó un acelerado proceso de modernización y ritmos elevados de producción, alcanzando incluso la ansiada

autosuficiencia alimentaria nacional con excedentes agrícolas que se canalizaron a la exportación.

En el periodo 1940-1955 la agricultura nacional baso su elevado ritmo de producción a través de la ampliación de la superficie cultivable, aumento de la productividad, estimulación por la creación de grandes obras de riego y los consiguientes aumentos en la superficie irrigada.

De 1955 a 1966 se intensificó la producción agropecuaria a través de la introducción de semillas mejoradas, fertilizantes químicos, pesticidas y maquinaria agrícola.

En 1967 la producción agrícola fue siete veces la producción de 1940 y los incrementos logrados en el periodo fueron superiores a los aumentos de la población permitiendo una notable expansión de las exportaciones de productos primarios (café, algodón, henequén, cacao, jitomate, etc.) generando durante los primeros años de la posguerra y a raíz de la coyuntura especulativa creada por la guerra de Corea, una entrada importante de divisas que financiaron las importaciones de los insumos agrícolas que requería la industrialización nacional.

Desde finales de la década de los sesenta la agricultura nacional empezó a sufrir los efectos de una crisis profunda en el sector que llega hasta nuestros días. El modelo capitalista del agro mexicano mostro su fracaso al concentrar de manera importante los recursos: tierra, agua, créditos, insumos agrícolas, etc., en una minoría de productores capitalistas llevando al campo mexicano a enfrentar una de las trasformaciones más profundas y drásticas en su historia contemporánea.

Ésta crisis se manifiesta de manera muy importante en la pérdida de la autosuficiencia alimentaria lo que ha implicado una dependencia de granos provenientes del mercado internacional, fenómeno que se convierte en un problema económico, social y político.

A partir de 1966 el sector agrícola decreció agudizándose a principios de los años setenta llevando al país a temer por su autosuficiencia alimentaria.

De 1978 a 1981 se configuró el Sistema Alimentario Mexicano (SAM) a partir de los ingresos extraordinarios de los que dispuso el estado provenientes de las exportaciones petroleras, apoyando la distribución y comercialización masiva de alimentos básicos, sobre todo cereales y oleaginosas con el propósito de volver a conseguir la autosuficiencia alimentaria de granos básicos, reactivar la agricultura incluyendo la de temporal, crear empleos y ensanchar el mercado interno.

El SAM implicaba una transferencia considerable de recursos a través de subsidios en insumos y servicios básicos, lo que implicó un costo financiero elevado y a la caída a mediados de 1981 de los precios internacionales del petróleo, el SAM tuvo que abandonarse por la caída de ingresos en el sector público.

En los años ochenta se enfrentó una crisis económica generalizada dando lugar a los programas de ajuste estructural y estabilización económica, implicando la liberación del sector agropecuario conllevando a una reducción del papel del Estado mexicano para el apoyo del desarrollo económico sectorial; la apertura comercial externa, plasmada en el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN).

Al iniciar la “reformas estructurales” a mediados de los años ochenta se desecharon muchas de las políticas agrícolas anteriores, entre ellas el desmantelamiento de muchas instituciones que protegían a los productores agrícolas quedándose éstos en condiciones más precarias para enfrentar la apertura comercial.

En 1940 se abandonó el proyecto cardenista que basaba el desarrollo del país en el sector agropecuario por el proyecto industrializador, subordinando al sector a las necesidades de crecimiento del sector industrial jugando ahora un doble papel: proveer de alimentos a la población urbana y materias primas

baratas a la industria y, en segundo término proporcionar al país las divisas para sufragar la importación de insumos y bienes de capital que la industria necesitaba y que no podía financiar por sí misma. Estas políticas crearon dos sectores a la vez en el agro mexicano: uno de gran escala y alta productividad, beneficiado por estímulos otorgados a la industria sustitutiva (arroz, algodón, sorgo) y otro de baja productividad, orientado al mercado interno compuesto por pequeños productores muchos de los cuáles apenas alcanzan a cubrir sus necesidades de autoconsumo.

De 1940 a 1965, la producción agrícola creció alrededor del 6%. En este periodo el gobierno favoreció la agricultura comercial dejando de lado la tradicional, creando en gran medida la dualidad de la agricultura mexicana al orientar de manera sesgada las políticas macroeconómicas y de inversión pública al financiamiento de grandes obras de riego e innovaciones tecnológicas implantadas en esos años.

La inversión pública realizada en el sector agrícola favoreció las áreas de riego que propició una mayor desigualdad en las zonas rurales, un rezago sectorial y su declive en el PIB que pasó de representar el 7.1% del PIB total en 1970 a sólo 5.1% en 1982 (Romero (2002), p. 51), descenso de la productividad del sector agropecuario que se acentuó en los sectores orientados al mercado interno y al suministro de alimentos básicos.

De 1967 a 1980 el sector agropecuario creció al 2.3%, tasa menor a la del crecimiento demográfico.

Desde mediados de los ochenta se acordaron las llamadas “reformas estructurales”, desechando muchas políticas anteriores; reduciendo el financiamiento al campo: se redujeron los subsidios al productor y al consumidor, se eliminó el sistema de precios de garantía y se inició el proceso de apertura comercial.

La eliminación, reducción y privatización de las instituciones oficiales que dotaban al campo de financiamiento, entrega de insumos, asistencia técnica,

investigación y administración de la comercialización ha llevado al sector a un vacío institucional que ha sido llenado de manera parcial por las instituciones privadas que se han limitado de manera importante a la modernización de los pequeños propietarios.

A la firma del TLCAN, el sector agropecuario estaba (y hasta la fecha) marcado por una dualidad, que implica por un lado un sector de alta productividad, debido en gran medida al sesgo muy marcado por el gobierno mexicano en favor de la agricultura comercial extensiva sobre todo en zonas de riego y por el otro lado el sector tradicional, como el caso del cultivo del maíz de forma tradicional, que no alcanza la productividad del resto de la economía mexicana.

Se esperaba un aumento de la productividad del sector agropecuario al abrirlo a la competencia externa. Ésta resultaría de los cambios en el uso de la tierra, capital y de mano de obra, los cuáles se trasladarían de las actividades en las que el país no es competitivo hacia aquellas en las que si lo es: se elevarían las exportaciones de frutas y hortalizas y las importaciones de cereales. Habría pues sectores beneficiados y perjudicados. Es decir, por acción de los precios y en condiciones de un mercado perfecto se estimularía una mayor producción de frutas y hortalizas y menor producción de básicos y oleaginosas: los productores de frutas y hortalizas serían beneficiados con la apertura, los vendedores netos de granos y oleaginosas serían perjudicados y habría una ganancia en el bienestar de todos los consumidores.

2.2. Clasificación de los productores nacionales

El 90% de las unidades de producción poseen una superficie menor a 20 hectáreas⁵ y ésta condición es catalogada como una desventaja respecto a nuestros competidores (EUA y Canadá, principalmente) por muchos especialistas; sin embargo, la pequeña y mediana propiedad resultan ser más productivas, generan más empleo y demandan menos capital con respecto a las grandes explotaciones (Puyana y Romero, 2008; Gómez, 2011; *et al*) Y la

⁵ INEGI: Censo agropecuario 2007.

prevalencia de las grandes explotaciones a pesar de estas ventajas comparativas de la pequeña propiedad, se explica por las imperfecciones del mercado, características de la agricultura y por los subsidios que reciben las grandes explotaciones (Binswanger y Deininger, 1995)⁶

El tamaño óptimo de la explotación agropecuaria, dependiendo de la calidad de tierra y el tipo de cultivo oscila entre las cinco y 15 hectáreas (Tomich *et al*, 1995)⁷. Por lo que aplicando las estrategias adecuadas en lugar de ser una fábrica de desigualdad y pobreza, el sector agrícola nacional puede convertirse en fuente de empleo y bienestar social, con una mayor redistribución del ingreso.

Las políticas aperturistas sobre todo el desmantelamiento del aparato agropecuario, han producido tres tipos de productor en el país que pueden clasificarse como sigue: productores de autoconsumo, transicional y empresarial (Cuadro 2.1).

Los *productores de autoconsumo o de subsistencia* se caracterizan por ser productores donde prevalece el minifundio que generan una cantidad de ingresos igual o inferiores a las necesidades básicas requeridas por su familia: alimentación, vestido, salud, educación, vivienda y reproducción de sus medios de producción; los cuales representan el 74% de los productores nacionales, que poseen en su mayoría tierras de temporal dedicadas en gran medida al cultivo de maíz y frijol. Éste tipo de productores poseen rara asistencia gubernamental.

Los *productores de transición* son aquellos que poseen unidades de producción que generan ingresos superiores a los requerimientos básicos señalados arriba, éstos representan el 18% de los productores, ubicados principalmente en zonas aptas para la agricultura de riego y de temporal. Orientan su producción tanto para el autoconsumo como para el mercado local, con una mayor diversificación

⁶ Citados por Puyana y Romero, 2008, p. 208.

⁷ Citado por Puyana y Romero, 2008, p. 209

de cultivos y actividades agropecuarias. Éste tipo de productores posee una mayor asistencia gubernamental.

Cuadro 2.1. Tipo de productores nacionales

Productores	%	Tecnología	Mercado
Autoconsumo	74	Baja	Local
Transición	18	Media	Regional
Empresarial	6	Alta	Nal. e internacional

Fuente: INEGI. VIII Censo agrícola, ganadero y forestal. 2007

Finalmente los *productores de tipo empresarial* con modernas unidades de producción, con sistemas de riego y acceso al crédito, en donde el paquete tecnológico es aplicado a gran escala lo que les ha permitido generar la mayor oferta de hortalizas y frutas gracias a los grades vínculos con las grandes industrias y cadenas de distribución. Éstos productores representan el 6% de los productores nacionales.

2.3. El fracaso de la revolución verde

Desde a mediados del siglo XX se propuso la adopción de semillas híbridas que poseían información genética de alto rendimiento susceptibles de ser cultivadas de forma mecanizada mediante el uso de fertilizantes químicos, pesticidas, maquinaria agrícola y otros insumos. Ésta nueva forma de producción sería conocida posteriormente como la *revolución verde*.

Con el apoyo de la fundación Rockefeller se inició el programa de investigaciones que dieron lugar a la revolución verde. La Secretaría de Agricultura empezó a distribuir híbridos en 1948 con el objetivo de obtener un mayor rendimiento con una visión de mercado y una lógica productivista.

La producción de maíz con los nuevos paquetes tecnológicos fue apoyada con una serie de medidas y programas como la producción oficial de semillas,

otorgamiento de créditos gubernamentales accesibles, la producción nacional de fertilizantes, el sistema de acopio (EIMSA-ANDSA-Conasupo), precios de garantía, control de importaciones de maíz, la instalación en México del Centro Internacional de Mejoramiento del Maíz y Trigo (CIMMYT) a finales de los sesenta, etc., dando como resultado inmediato un aumento hasta del 100 por ciento en los rendimientos, pero que después de una década empezaron a menguar.

Estos paquetes entre otros componentes requerían de un contenido de humedad por lo que éstas técnicas se orientaron a las áreas de riego, sobre todo en el noroeste, bajío y zonas de temporal favorables en Jalisco y Veracruz. A partir de la década de los sesenta, algunas de esas prácticas junto con los apoyos oficiales otorgados se extendieron a la milpa en tierras de temporal. Durante los setenta y ochenta el uso de fertilizantes y pesticidas se difundió a casi todos los sistemas de milpa de todo el país.

El proceso continuo de selección y procesos endogámicos para generar nuevas variedades de híbridos de alto rendimiento erosionaron muchos caracteres de rusticidad y resistencia a plagas y enfermedades, por lo que las nuevas técnicas contemplaban el uso de pesticidas para que la producción fuera rentable.

La revolución verde en todos los sistemas maiceros incluso los de temporal, cumplió inicialmente su objetivo de incrementar la producción por unidad de superficie, pero después de más de 60 años ha conducido a un panorama marcado por el constante deterioro de los recursos naturales como la erosión genética marcada por los sistemas intensivos de selección basados únicamente en caracteres de alto rendimiento. La erosión de los suelos debido al uso intensivo de maquinaria agrícola, ya que había que eliminar la vegetación que estorbaba para llevar a cabo las labores mecanizables; la compactación de los suelos ha sido otra secuela del uso de maquinaria que inhibe el desarrollo adecuado del sistema radicular de la planta. La pérdida de fertilidad del suelo por exceso de sales debido al uso de fertilizantes químicos y a las políticas para desalentar la rotación de cultivos, los descansos cortos y la asociación de

cultivos. La contaminación del agua, suelo, aire, alimentos y de los consumidores debido al uso continuo e indiscriminado de pesticidas que han reducido al mínimo las condiciones de vida de la micro flora y micro fauna que habita el suelo, así como graves repercusiones en la salud humana, en particular la de los jornaleros encargados de aplicar tales sustancias, muchas veces sin protección alguna. El incremento de plagas y enfermedades, por el uso de pesticidas que ha producido organismos mutantes resistentes, así como de la siembra continúa de monocultivos que favorecen la producción exponencial de plagas y enfermedades. La mayor dependencia del exterior por la adquisición de insumos y maquinaria.

Entre los efectos negativos cabe mencionar el abandono y pérdida de los sistemas de producción tradicionales que muchas de la veces los labriegos de hoy carecen de la sabiduría antigua que se basaba en conocimientos adquiridos por milenios que permitía un aprovechamiento sustentable adecuado y amigable con el medio ambiente.

Sólo el sector más pudiente de los agricultores ha podido obtener los beneficios prometidos, pero el impacto negativo y destructivo sobre el entorno que ha dejado a seis década la llamada revolución verde, la han hecho insostenible.

2.4. Los transgénicos

En la búsqueda de mayores rendimientos a base de una homogenización y de las “ventajas comparativas” de los cultivos y en el marco de un deterioro ambiental auspiciado por la llamada revolución verde, se ha llegado a la conclusión de la no sustentabilidad ecológica de una agricultura que entre otras, ha utilizado de manera indiscriminada los pesticidas. La ingeniería genética propone como alternativa la utilización de las llamadas semillas transgénicas: aparece la biotecnología como una continuación de la revolución verde.

Los *transgénicos* pueden definirse como organismos modificados genéticamente por lo incorporación de uno o más genes que no heredaron de sus progenitores. Hace apenas unas décadas los textos de biología aseguraban que sólo era

posible la cruce entre individuos de la misma especie, pero Watson y Crick en 1953, dieron a conocer el modelo del ADN, por lo que se llegó a la conclusión de que la diferencia de un hombre y de un caballo o de cualquier planta es solamente la distribución y frecuencia de nucleótidos (código genético). Esto implica que todos los seres vivos poseemos el mismo material genético y lo que nos diferencia es la secuencia y el número de bases nitrogenadas (alfabeto del código genético), por lo que en teoría puede lograrse cualquier tipo de cruzamiento y recombinación genética.

Los nuevos organismos genéticamente modificados (OGMS) que la ingeniería genética produce en laboratorios con el objetivo de aumentar rendimientos, bajar costos de producción mediante la incorporación de resistencias a plagas y enfermedades, resistencia a heladas, sequías y la obtención de productos que respondan a las exigencias del mercado, obedecen a una misma lógica de la revolución verde que pretende ser una panacea para acabar con el hambre del mundo.

En la actualidad se tienen genotipos de maíz que sintetizan proteínas tóxicas para algunos insectos, ósea; maíces que llevan incorporado su propio insecticida en su código genético.

En la actualidad no hay suficientes evidencias de las posibles repercusiones sobre el medio ambiente al liberar transgénicos, ni de los posibles riesgos que pueda conllevar su consumo en la salud humana y animal.

El impacto que puede conllevar el uso de transgénicos sobre la biodiversidad del maíz original ha sido señalado por científicos y grupos ecologistas⁸. El impacto en los sistemas agrícolas maiceros de temporal apenas ha comenzado a medirse al descubrirse maíces criollos contaminados con genes de maíz transgénico en la sierra norte de Oaxaca. Abel Muñoz estima en más de 15 mil variedades de maíz local o criollos, adaptados a casi todos los ecosistemas de México y Mesoamérica. Sin embargo, está permitido el ingreso a México de

⁸ El maíz es una planta de polinización abierta, por lo que el flujo genético de variedades sembradas en la cercanía resulta muy fácil.

grandes cantidades de maíz transgénico procedente de Estados Unidos sin saber las posibles consecuencias a largo plazo.

La panacea que representó la revolución verde para erradicar el hambre en el mundo no fue tal y a la larga fue contraproducente y, ahora la ingeniería genética nos plantea el uso de organismos genéticamente modificados como la nueva solución la cual se debe tomar con precaución, por los riesgos que podría representar el uso y consumo de maíces transgénicos en México, país de origen del maíz y poseedor de la mayor biodiversidad de ésta especie.

2.5. Hacia una agricultura sustentable

Al término del año 2012 la población mundial ronda los 7 000 millones de habitantes por lo que la presión que enfrentan los recursos naturales en conjunto ha llegado a un punto alarmante. La llamada “revolución verde” generó un superávit en la producción mundial de granos, generado a través de millonarias inversiones en la agricultura sobre todo en los países desarrollados, proceso que además de generar grandes volúmenes de alimentos, contribuyó también a la erosión y compactación del suelo agrícola, la contaminación del agua, la aparición de plagas y malezas resistentes a los pesticidas, a los problemas de salinidad en los suelos, entre otros problemas.

México por supuesto no ha quedado ajeno a los graves problemas dejados por la implementación de tecnologías agrícolas depredadoras en mayor o menor medida en su sistema dual de agricultura, aunque sólo alrededor del 20% de su superficie agrícola son utilizadas éstas tecnologías a gran escala, el resto sobre todo en la de temporal también se ha visto afectada por la utilización parcial de los paquetes tecnológicos involucrados con la revolución verde. En medio de la insostenibilidad de la tecnología utilizada ya desde hace seis décadas es claro y evidente que se debe migrar hacia un desarrollo económico que revierta el proceso de degradación ambiental, en particular hacia una *agricultura sustentable* que satisfaga las necesidades agroalimentarias de las generaciones actuales,

sin comprometer la capacidad de las generaciones venideras para satisfacer sus propias necesidades, según la definición de agricultura sustentable hecha por la reunión de la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo de la ONU en 1986.

El modelo agrícola convencional, que ha venido aplicándose requiere de más capital financiero y de mayores cantidades de insumos químicos para mantener estables sus rendimientos, factores que complican más sus sostenibilidad desde un punto de vista económico, pues el estado no posee tal capacidad financiera o al menos no posee la voluntad política necesaria para aplicar tales recursos financieros al sector agropecuario, y posee una dependencia de insumos del extranjero a tal grado que se debe de tratar de aplicar una política de sustitución de insumos, es decir, insumos biológicos por agroquímicos, los cuáles reducen de manera importante los costos en la producción agropecuaria.

El desarrollo de una agricultura sustentable apropiada permitirá sostener la producción a largo plazo, mejorar la calidad de vida de los participantes y la preservación del medio ambiente, entre otros beneficios.

El sector rural y la agricultura en México se encuentran sumidos en una crisis estructural desde hace ya varias décadas, profundizada con la incorporación de México al Acuerdo General sobre Aranceles Aduaneros y Comercio (GATT, por sus siglas en inglés) en 1986 y su continuación en su actual heredera, la Organización Mundial de Comercio (OMC), hasta la firma del TLC, negociación realizada por el gobierno salinista en medio de una extrema desigualdad y asimetría económica que inserto al país de una manera acelerada a una corriente aperturista comercial encabezada por Estados Unidos.

Para el sector agrícola y alimentario, la situación resultó por demás desastrosa (salvo el caso relativo de las frutas y hortalizas) por lo que el TLC si bien no es el origen de la crisis del campo mexicano, sí lo es de su profundización a partir de su puesta en marcha en 1994.

Nuestra economía agrícola acentúa sus condiciones de franca desventaja en relación a los granos básicos: maíz y frijol, que son los alimentos más importantes para el país por ser la fuente medular de la dieta básica de los mexicanos, lo que ha generado una gran dependencia alimentaria, económica y tecnológica con graves daños a la planta productiva nacional. Ésta situación ha creado tales condiciones, también ha creado las condiciones para la construcción de un modelo agrícola alternativo que puede ser sostenible a escala nacional.

El nuevo modelo de producción debe tomar en cuenta las condiciones socioeconómicas, culturales y ecológicas particulares del país, elementos que no fueron tomados en cuenta con el modelo extensivo. Por ejemplo, Espinoza⁹ afirma que se requiere de al menos una variedad de maíz por cada cinco mil hectáreas, lo que nos da un requerimiento de al menos 1800 variedades de maíz para cubrir los ocho millones de hectáreas que actualmente se cultivan de maíz en el país, semillas que deben ser variedades mejoradas de acorde a las condiciones climáticas y culturales de cada zona.

Así que con el sólo hecho de dotar de la semilla adecuada a los productores de maíz, los rendimientos se elevarían considerablemente. En 1999, se estimó un aumento del orden de 800 kg/ha en la superficie donde se aplicó el programa kilo x kilo por parte de PRONASE (Productora Nacional de Semillas), institución que fue prácticamente clausurada en 2002.

Junto con el gran deterioro ambiental, ha surgido una conciencia colectiva cada vez más extendida sobre la necesidad de preservar la naturaleza y cuidar el planeta tierra, y para revertir los efectos negativos dejados por la aplicación de décadas de agroquímicos, numerosas organizaciones mexicanas han impulsado técnicas agroecológicas para el cultivo de alimentos orgánicos con un manejo sustentable de los recursos naturales; que deben sistematizarse y compartirse lo ancho y largo del país, como ya lo están haciendo otros países

⁹ "Importancia del uso de semilla de variedades mejoradas y nativas de maíz en México". En: Seefoó (2008:233).

con sus respectivas particularidades como Cuba, que al derrumbe de los países socialistas de Europa del Este y de la URSS, también colapso su modelo agrícola caracterizado hasta ese entonces por el uso a gran escala de grandes cantidades de insumos industrializados que crearon una enorme crisis económica, ecológica y social a inicios de los noventa que obligó en gran medida a la creación de un movimiento agrícola sostenible y de implementación a escala nacional, que continúan adaptando a sus condiciones particulares.

Los mismos Estados Unidos están migrando de manera paulatina hacia un nuevo modelo agrícola cada vez más amigable con el medio ambiente y México, no debe quedarse atrás en la búsqueda de un nuevo modelo que le permita superar su gran dependencia alimentaria, en particular la de maíz y frijol, por ser alimentos demasiados sensibles para la gran mayoría de los mexicanos.

Las técnicas agroecológicas en torno al maíz que han sido documentadas suelen combinar las prácticas ancestrales (heredadas sobre todo de culturas prehispánicas) con innovaciones tecnológicas ambientalmente sanas que combaten el agotamiento, la erosión y la contaminación del suelo. En México muchos campesinos siguen manejando una gran variedad de agro sistemas tradicionales como la “milpa”, que les permite sembrar en asociación de al menos dos variedades distintas en un mismo predio de manera armónica (maíz y frijol, son las asociaciones más comunes), que les ha permitido el uso racional de los recursos naturales a través del tiempo. El conocimiento de las estrategias para su manejo ha sido retenido por las poblaciones locales desde tiempos prehispánicos, técnicas en las que han incorporado nuevos conocimientos y experiencias hasta nuestros días. Condiciones que permiten la implementación de un modelo agrícola que no sólo enfatice en integrar al sector rural al proceso de modernización exclusivamente como productores agrícolas como se hizo en el periodo desarrollista a mediados del siglo XX, si no como un modelo que tome en cuenta las condiciones socioeconómicas, culturales y ecológicas del país, con la posibilidad de brindar una vida digna en el campo a millones de

familias campesinas con la consiguiente recuperación de la soberanía alimentaria nacional.

2.6. Importancia de la autosuficiencia alimentaria

Se dice que un país alcanza su *autosuficiencia alimentaria* cuando su nivel de producción nacional satisface las necesidades alimentarias de su población, tanto en cantidad como en calidad. Ésta debe ser considerada como uno de los elementos básicos para la seguridad nacional, ya que al tener la capacidad de producir los alimentos que su población necesita, de acuerdo a sus tradiciones alimenticias, garantiza en gran medida su soberanía y seguridad nacional al no requerir un suministro de alimentos procedentes del extranjero.

Los países industrializados fomentan políticas en el sector agropecuario y sus exportaciones, como un instrumento clave para su seguridad alimentaria, la generación de empleo y la preservación de su cultura nacional. Países como Japón, Estados Unidos y la Unión Europea toman como elemento prioritario políticas en el sector a lo largo del tiempo para preservar el empleo y el ingreso rural.

Diversos estudios dan cuenta de los enormes beneficios que trae consigo el fomento del sector agrícola en determinada nación, Villa (2011:23) señala que un crecimiento industrial del 4%, en 20 años los ingresos de los más pobres (dos primeros quintiles) se incrementará en 2.5 veces. En cambio, con el mismo crecimiento en la agricultura, se aumentarían 3.5 veces.

Una nación que es autosuficiente permite el ahorro de divisas, por lo que muchas veces se cataloga como una “prioridad nacional”. Sus críticos enfatizan las pérdidas de bienestar provocadas al no permitir el libre mercado y la pérdida de eficacia del sector provocando precios internos superiores a los del mercado internacional, sin embargo hacen caso omiso a las políticas de apoyo vía subsidios (dumping) y demás inferencias que distorsionan el libre mercado internacional que generan condiciones de competencia desleal. Al respecto,

Wise¹⁰ (2008:160) señala que el precio del maíz que Estados Unidos exporta a México es aproximadamente 20% menor al costo de producción real.

A inicios de 2007 en México se evidencio de manera dramática tales distorsiones del libre mercado y la falacia económica de que es mejor comprar maíz que producirlo, dadas sus desventajas comparativas. En enero de ese año, el precio de la tortilla tuvo un precio de diez pesos o más, contra seis que costaba un día anterior a lo que el Gobierno de la República respondió que no tenía ninguna injerencia en la regulación de los precios del maíz y la tortilla, que ante una lógica del libre mercado, el Estado no debe intervenir si no que las propias fuerzas internas del mercado son las que regulan el precio del producto lo que obviamente no ocurrió en éste caso.

La Cámara Nacional de la Industria de la Transformación (Canacintra) afirmó que el problema del desabasto y aumento del precio de la tortilla fue el nuevo destino de la producción maicera de Estados Unidos: la producción de etanol como bioenergético.

El gobernador del Banco de México, Guillermo Ortiz declaró que el problema de la tortilla era la especulación y el acaparamiento. A la firma del TLCAN, el Estado dejó de intervenir en el control de los precios del maíz y la tortilla, por lo que Cargill, Maseca y Minsa tomaron el control al convertirse en industrializadores y acaparadores del maíz local e importado, lo que les da la capacidad de controlar la oferta y la demanda. Minsa y Maseca compraron la cosecha de Sinaloa, el mayor productor maíz del país a 1 450 pesos la tonelada y la estuvieron vendiendo en 3 500, como afirmó Campos Encinas, presidente del Consejo Estatal de Producción de Maíz de Sinaloa. Hernández Navarro estimó que esos grandes acaparadores tenían almacenadas alrededor de un millón de toneladas del grano.

En una lógica de libre mercado se clama por la importación de maíz, pues en México resulta más barato comprarlo que producirlo, claman los defensores de

10

ésta lógica, pero no reconocen la complejidad del fenómeno, que impacta de manera especial a la sociedad mexicana. Pasaron los años sesenta en los que México fue autosuficiente alimentariamente e incluso fue exportador de maíz a Estados Unidos a inicios de los cuarenta.

El Estado debe repensar las políticas que han y siguen desalentando la producción de maíz, en los que el modelo productivista ha olvidado al pequeño productor sustentable, que es el productor de básicos y que representa el 70 por ciento de la superficie agrícola nacional, cuyo potencial, según el Instituto de Investigaciones Agrícolas y Forestales (Inifap) es de 40 millones de toneladas, producción que rebasaría con mucho la demanda de unos 30 millones de toneladas que requiere actualmente el país.

Desde su origen mesoamericano, el maíz se extendió a todas partes del mundo. Por la superficie cultivada, es hoy el segundo producto agrícola después del trigo y primero en cuanto al volumen cosechado. Se cosechan cerca de 160 millones de hectáreas (Mhas), con una producción mundial que supera las 850 millones de toneladas (Mton); además de suministrar elementos nutritivos a los seres humanos y a los animales, es utilizado como una materia prima básica en la industria de la transformación, ya que después del petróleo, el maíz es el producto natural que más usos posee.

CAPÍTULO 3. ECONOMETRÍA Y REGRESIÓN LINEAL

Introducción

El análisis de la demanda del maíz en México se realizará por medio de la regresión lineal multivariada por lo que se llevará a cabo un repaso de la teoría que sustenta esta técnica, empezando por la regresión lineal simple (una sola variable independiente) y posteriormente su generalización a n variables independientes.

En este capítulo se analizarán las posibles estructuras de dependencia que mejor puedan expresar a una variable dependiente Y en función de una variable independiente X . El análisis de regresión es una técnica estadística útil para investigar y modelar la relación entre variables. Nos concentraremos en la regresión lineal, es decir; consideraremos una estructura de dependencia en forma de línea recta entre las variables X y Y .

3.1. LA ECONOMETRÍA Y LA TEORÍA ECONÓMICA

El significado literal o de diccionario de la palabra *econometría* es el de *medición económica*, sin embargo varios autores definen a la econometría como una amalgama de la teoría económica, la economía matemática y la estadística con el propósito de dar contenido empírico a los fenómenos económicos.

La palabra *modelo* es sinónimo de “representación simplificada de la realidad” como por ejemplo un modelo mental (representación no explícita o exteriorizada), el modelo verbal (descripción del modelo en lenguaje común), el modelo físico (representación por medio de objetos), el modelo matemático (descripción por medio de lenguaje matemático), etc., los cuáles tratan de

describir fenómenos de manera simplificada sin perder de vista lo básico y fundamental.

Un *modelo económico* es una representación simplificada en términos matemáticos de un conjunto de relaciones económicas con una característica en común. Se han desarrollado modelos específicos de sistemas reales concretos basados en la teoría económica: los modelos econométricos.

Un modelo económico no se puede considerar econométrico ya que poseen ciertas diferencias de las que se mencionan algunas a continuación¹¹:

- Un modelo econométrico requiere de una especificación estadística más precisa de las variables que lo componen.
- Un modelo econométrico implica medida de datos estadísticos tomados de la realidad para verificarlos, si es el caso, con la propia teoría.
- Un modelo econométrico siempre toma una forma funcional definida, mientras que uno económico puede prescindir de ésta.
- El carácter aleatorio del modelo econométrico se evita en el modelo económico.
- Por lo general los modelos econométricos establecen relaciones inciertas entre las variables mientras que los económicos se proponen como relaciones exactas.

Así, un *modelo econométrico* tiene que especificarse por medio de un sistema de relaciones matemáticas como el siguiente:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \dots + \beta_k X_{ki} + e_i, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Se dice especificado cuando se han establecido con precisión las variables ($Y_i, X_{1i}, \dots, X_{ki}, e_i$), los parámetros ($\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$) y la función que relaciona a las diferentes variables, además incluye datos estadísticos, es decir; las observaciones de cada una de las variables económicas del modelo.

¹¹ Mochón (2006).

Cuando se obtienen (estiman) los valores de los parámetros en las ecuaciones se establecen relaciones entre las variables económicas bajo el supuesto de que los parámetros son constantes, es decir; son fijos en todo el periodo en el que se observaron las variables. Esto se conoce como *estructura económica* o simplemente estructura, la cual debe ser contrastada según las etapas del modelo antes de tomarse como válida.

3.1.1. Etapas para la elaboración de un modelo econométrico

- 1) **Especificación.** En ésta etapa debe de expresarse la teoría económica con lenguaje matemático, por lo que la teoría económica es la base que sirve como guía en esta etapa. Debe decidirse qué variable o variables pueden resultar relevantes para explicar un determinado fenómeno de acuerdo a las condiciones específicas del fenómeno.

Para que el modelo quede especificado completamente (pase de un modelo matemático a un modelo econométrico) deben establecerse hipótesis sobre el comportamiento de las variables aleatorias con base en la estadística, así como de los demás elementos del modelo.

Finalmente es necesario disponer de los datos apropiados relacionados con las variables del modelo.

- 2) **Estimación.** Consiste en la obtención de los valores numéricos de los coeficientes del modelo a través de un método de estimación apropiado, donde deben tenerse en cuenta las implicaciones de ésta elección sobre las propiedades estadísticas de los estimadores. En este trabajo nos limitaremos al método de mínimos cuadrados ordinarios.

- 3) **Validación.** Algunos autores subdividen esta etapa en verificación y predicción. En esta etapa se evalúan los resultados obtenidos sobre la base de criterios económicos, estadísticos y econométricos.

Los criterios económicos tratan de comprobar a priori si las estimaciones de los parámetros del modelo tienen signos y magnitudes esperados, es decir; si satisfacen las restricciones impuestas por la teoría económica. Si los

coeficientes estimados no satisfacen tales restricciones, el modelo debe ser revisado.

Desde la estadística debe examinarse, 1) la variación de la variable a explicar ante cambios de las variables explicativas y, 2) la dispersión o amplitud de cada coeficiente estimado alrededor del verdadero parámetro, lo cual se logra mediante pruebas de hipótesis. En este caso se tendrán en cuenta los criterios estadísticos para realizar las pruebas necesarias para ver si el modelo satisface las suposiciones del modelo de regresión lineal básico.

En ésta etapa también se evaluará la capacidad predictiva del modelo mediante el contraste empírico del modelo frente al contraste estadístico: resultados de la realidad versus resultados previstos por el modelo, lo que permitirá aceptar o rechazar en definitiva el modelo estimado. Una manera sería reservar uno o dos datos (primeros o últimos) de las observaciones de las variables (no tomarlas en cuenta para la estimación) y realizar la predicción y comprobar si los valores predichos por el modelo “conducen” con los valores empíricos.

3.1.2. Fines de la econometría

La econometría es una ciencia que trata de satisfacer la curiosidad del ser humano por conocer de antemano lo que sucederá en el futuro, que lo sitúen en una situación más favorable ante eventos futuros. La previsión o pronóstico de variables económicas fue en sus inicios la finalidad principal de la econometría, actualmente además de la previsión, se utiliza con fines de realizar un análisis estructural o la evaluación de políticas, principalmente. Un estudio econométrico puede contener uno o más propósitos.

1) **Análisis estructural.** Puede entenderse como el uso de un modelo econométrico para efectuar mediciones cuantitativas de relaciones económicas. Esto, puede responder preguntas como ¿Qué tan sensible es la variable estudiada ante variaciones en otras variables (relacionadas)? El

análisis estructural comprende el propósito científico de la econometría, al estudiar los fenómenos del mundo real mediante la medición cuantitativa, la prueba y la validación de las relaciones económicas. Cuando las hipótesis teóricas y los resultados de la estimación coinciden, se dice que el modelo confirma de manera empírica la teoría económica.

2) **Previsión.** El pronóstico es uno de los principales objetivos de la econometría, a través de un modelo econométrico para determinar anticipadamente los valores de variables fuera de la muestra de datos. Con frecuencia los pronósticos son utilizados para tomar decisiones anticipadas en empresas o gobiernos. La confianza del pronóstico en general depende de:

- El horizonte del pronóstico
- La constancia de los parámetros estimados a lo largo del horizonte
- La calidad de las estimaciones
- La calidad del modelo y en particular, que esté especificado adecuadamente

Un análisis de previsión es fundamental en cualquier estudio de política económica empresarial o gubernamental.

3) **Evaluación de políticas.** Se refiere a la toma de decisiones entre un conjunto de alternativas. Un enfoque muy utilizado consiste en el uso de un modelo econométrico para simular los efectos de diferentes políticas, o de la misma en condiciones diferentes. Así, la econometría facilita la evaluación y posibles resultados que conllevará la toma de ciertas políticas entre una gama de posibles alternativas.

3.1.3. Definición de demanda

La teoría económica define a la *demanda* como la relación entre el precio y la cantidad demandada. Un agente demanda un producto cuando lo desea y además posee los recursos necesarios para tener acceso a él. Es común escuchar en los diferentes medios informativos la palabra demanda para

referirse al deseo de compra, por lo que reducen su significado al de cantidad (demandada). La demanda siempre es una relación de precios y cantidades por lo (s) que el comprador decide comprar determinado (s) producto (s).

La *ley de la demanda* dice que al aumentar el precio de un producto, disminuirá la cantidad demandada, y lo contrario ocurrirá cuando se reduzca el precio. La curva de demanda (Fig. 3.1) se ha construido suponiendo que todos los demás factores que intervienen en la función de demanda permanecen constantes. Alteraciones en estos factores distintos del precio, originarán desplazamientos de la curva de demanda. Así, cuando la curva de demanda se desplaza hacia el origen de ordenadas se dice que se ha producido una *disminución de la demanda*, cuando se aleja del origen de ordenadas se dice que se ha producido un *incremento de la demanda*. En el siguiente apartado se mencionarán algunos de los principales factores que originan los desplazamientos de la curva de demanda.

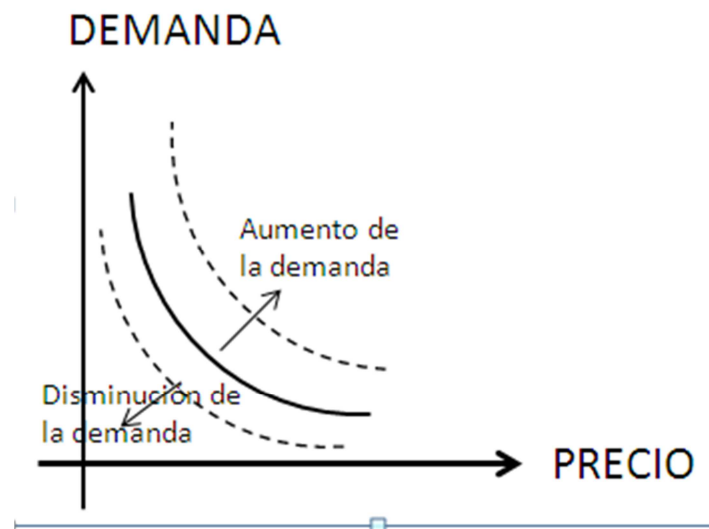


Figura 3. 1. Curva de la demanda

3.1.4. Principales variables que explican la demanda de un producto

A continuación, se identificarán las principales variables que según la teoría económica deben de explicar la demanda de un producto o servicio.

El precio del producto. El precio de un producto (bien, servicio, idea) se determina cuando compradores y vendedores se ponen de acuerdo sobre la cantidad de dinero a intercambiar por ese producto. La teoría económica nos dice que el precio coordina las decisiones de los productores y consumidores en el mercado. Precios bajos estimulan el consumo y desaniman la producción, mientras que precios altos tienden a reducir el consumo y estimulan la producción. La teoría no siempre se cumple debido a las distorsiones que puedan existir en el mercado de productos.

El tamaño del mercado. El número de consumidores incidirá de manera importante sobre la demanda de un producto. Por ejemplo, la demanda de maíz en países del área de Mesoamérica, se esperaría que sea sensiblemente mayor en un país de la zona que posea el doble de población con respecto a otro país de la misma zona, debido a que poseen hábitos alimenticios similares con respecto al consumo de maíz.

El ingreso de los consumidores. Cuando la renta o el ingreso de los consumidores aumenta, éstos podrán consumir más productos a un determinado precio, por lo que la curva de demanda se alejará del origen; en caso contrario cuando el ingreso disminuya cabrá esperar que al mismo precio, los consumidores demanden una menor cantidad.

El precio de los bienes relacionados. El impacto que tendrá un mayor o menor precio de un producto no solo impactará la cantidad demandada de ese producto, si no que impactará la curva de demanda de otros productos. Por ejemplo, un aumento del precio del maíz amarillo seguramente impactara de manera negativa (desplazamiento hacia el origen) la curva de demanda de los

piensos a base de maíz, pero al mismo tiempo tendrá un impacto contrario en la curva de demanda de los piensos a base de sorgo.

Los gustos de los consumidores. Los gustos, preferencias y actitudes de los consumidores ocasionan desplazamientos en la curva de demanda de un producto. La demanda de la mayoría de los productos está muy influida por factores vinculados a las creencias, valores y comportamientos de la moda.

Las preferencias de los consumidores se pueden alterar simplemente a través del paso del tiempo, o por campañas publicitarias dirigidas a alterar los patrones de consumo. Gran parte de las técnicas publicitarias están dirigidas a influir los gustos de los consumidores para que éstos tiendan a disminuir o incrementar el consumo de determinado producto, según sea el objetivo.

El precio de los bienes sustitutos. La demanda de un producto tiende a incrementar como respuesta al incremento en el precio de un producto sustituto. El incremento sostenido en los precios de los fertilizantes químicos puede contribuir en gran medida al aumento de la demanda de fertilizantes de tipo orgánico.

Las expectativas. La demanda de ciertos productos, como los básicos puede ser influida por las expectativas relacionadas con su abasto normal. La suspensión del servicio periódico de agua potable debido a reparaciones en la red pública, puede conllevar a una mayor demanda al restablecimiento del servicio y virtual normalización, debido a un mayor almacenamiento por parte de los consumidores como medida precautoria.

Los factores anteriores que tienden a explicar en gran medida la demanda de cierto producto, no son los únicos; también pueden influir otros como: las perspectivas de ingresos futuros, los hábitos de compra de los conocidos, el crédito al consumidor, la tasa de interés bancario, entre otros. Factores que no serán considerados en éste trabajo por considerar que nos son relevantes para explicar la demanda de maíz en México.

3.2. LA REGRESIÓN LINEAL SIMPLE

3.2.1. El ajuste por mínimos cuadrados

Cuando existe una relación funcional entre dos variables, la expresión que relaciona dos variables X y Y , puede ser de muchos tipos. Supóngase que se tienen n pares de puntos (X_i, Y_i) , $i=1,2,\dots,n$, que se encuentran aproximadamente sobre una recta. Deseamos obtener la ecuación de la recta $Y=a+bX+e$ que mejor se aproxime a los datos en el sentido de los mínimos cuadrados.

$$\hat{Y} = \hat{a} + \hat{b}X \quad (3.2.1)$$

Los parámetros a estimar son a y b . El parámetro a es la ordenada al origen y b es la pendiente de la recta de regresión.

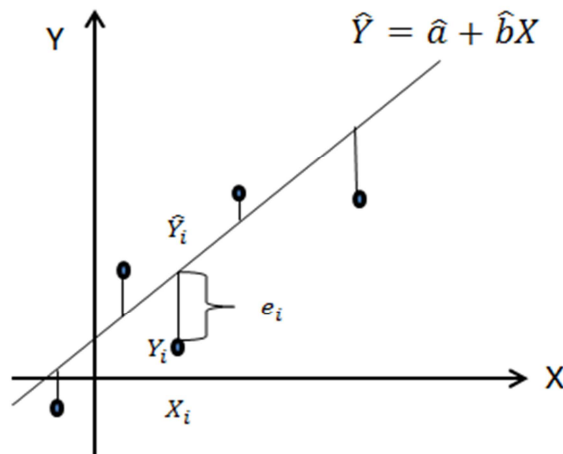


Figura 3. 2. Ajuste por medio de mínimos cuadrados

Definición 3.1. A la expresión (3.2.1) se le denomina **variable ajustada, teórica o predicha** por el modelo de regresión, que toma valores $\hat{Y}_i = \hat{a} + \hat{b}X_i$, $i = 1, 2, \dots, n$. Se define el **error o residuo de la regresión** como la diferencia entre la variable dependiente Y y la variable ajustada \hat{Y} , o sea

$$e = Y - \hat{Y}$$

Cuyos valores (residuos) son $e_i = Y_i - \hat{Y}_i$, $i = 1, 2, \dots, n$.

Se pueden resumir los elementos que se tienen en el problema de regresión como sigue:

- Variable independiente (v.i), exógena o explicativa: $X = \{X_i\}, i = 1, 2, \dots, n$
- Variable dependiente (v.d), endógena o a explicar: $Y = \{Y_i\}, i = 1, 2, \dots, n$
- Variable ajustada, teórica o predicha por el modelo:

$$\hat{Y} = \hat{a} + \hat{b}X$$

Con valores $\hat{Y}_i = \hat{a} + \hat{b}X_i, i = 1, 2, \dots, n$ (una vez estimados a y b mediante mínimos cuadrados)

- Variable residuo o error del modelo:

$$e = Y - \hat{Y}$$

Con valores $e_i = Y_i - \hat{Y}_i, i = 1, 2, \dots, n$, que es la diferencia entre los valores reales y los valores teóricos o predichos por el modelo

3.2.2. Supuestos del modelo clásico de regresión

Existen varios métodos o criterios de ajuste para la estimar los parámetros de una función (lineal en este caso), pero nos centraremos en el criterio de mínimos cuadrados ampliamente utilizado en estadística, el cual requiere de antemano de los siguientes supuestos:

1. El modelo de regresión lineal es lineal en los parámetros. Es decir,

$$Y_i = a + bX_i + e_i$$

Donde los parámetros (a y b) deben ser lineales. La variable dependiente Y y el regresor X pueden o no ser lineales. Por lo que si existen productos, cocientes u otras operaciones entre los parámetros distintos de la suma, entonces el modelo no será lineal con respecto a los parámetros.

En la Tabla 3.1 se presentan algunos modelos no lineales con las correspondientes transformaciones que los convierten en lineales.

Modelo no lineal	Trasformaciones	Modelo lineal $Y'_i = a_0 + b_0 X'_i + e_i$
$Y = ae^{bX} + e$	$Y' = \log Y, X' = X$	$a_0 = \log a, b_0 = b$
$Y = aX^b + e$	$Y' = \log Y, X' = \log X$	$a_0 = \log a, b_0 = b$
$Y = \frac{1}{a + bX} + e$	$Y' = \frac{1}{Y}, X' = X$	$a_0 = a, b_0 = b$
$Y = a + b\sqrt{X} + e$	$Y' = Y, X' = \sqrt{X}$	$a_0 = a, b_0 = b$

Tabla 3. 1. Modelos no lineales y sus transformaciones

- La variable regresora X es considerada no estocástica (no es variable aleatoria). Los valores que toma X son fijos en el modelo.
- El valor medio de la perturbación estocástica es igual a cero. Es decir:

$$E(e_i|X_i) = 0$$

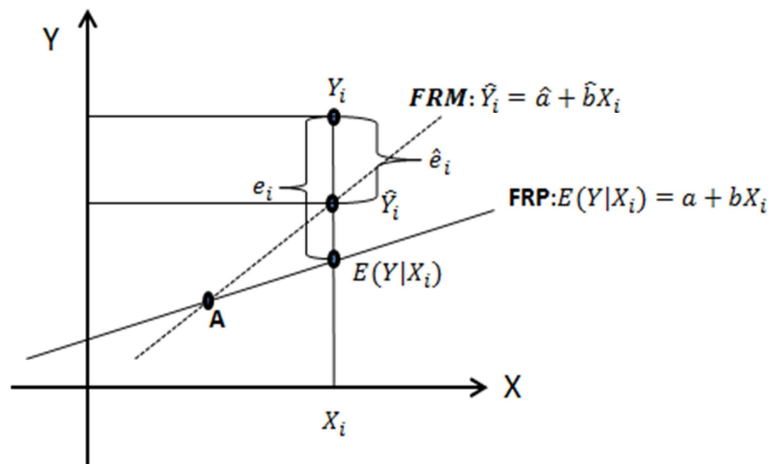


Figura 3. 3. Función de regresión poblacional (FRP) versus función de regresión muestral (FRM)

De la Figura 3.3, nótese que

$$Y_i = E(e_i|X_i) + e_i = a + bX_i + e_i$$

$$Y_i = \hat{Y}_i + \hat{e}_i = \hat{a} + \hat{b}X_i + \hat{e}_i$$

Tomando esperanza condicional tenemos:

$$\begin{aligned} E(Y_i|X_i) &= E(Y|X_i) + E(e_i|X_i) \\ &= E(Y|X_i) + 0 \text{ por el supuesto 3} \end{aligned} \tag{3.2.2}$$

$$=a + bX_i$$

4. Supuesto de *Homoscedasticidad* (homo=igual, cedasticidad=varianza) o igual varianza. Dado el valor de X , la varianza (o dispersión) de e_i es la misma para todas las observaciones. Es decir;

$$\begin{aligned} \text{var}(e_i|X_i) &= E[(e_i - E(e_i))]^2 \\ &= E[e_i^2] \quad \text{por el supuesto 3} \\ &= \sigma^2 \quad \text{por suposición} \end{aligned}$$

Si la varianza condicional de la población Y varía con X , se dice que existe heteroscedasticidad o varianza desigual. Es decir,

$$\text{var}(e_i|X_i) = \sigma_i^2$$

Nótese que el subíndice en σ^2 indica que la varianza de la población Y ya no es constante.

5. La perturbación estocástica tiene una distribución normal. En símbolos,

$$e_i \sim N(0, \sigma^2)$$

6. Los errores son icorrelacionados. Las variables aleatorias e_i y e_j son estadísticamente independientes, es decir; que para todo $i \neq j$ se tiene que:

$$\begin{aligned} \text{cov}(e_i, e_j) &= E[e_i - E(e_i)][e_j - E(e_j)] \\ &= E[e_i e_j] \quad \text{por el supuesto 3} \\ &= 0 \quad \text{por suposición} \end{aligned}$$

7. El número de observaciones n debe ser mayor que el número de parámetros a estimar. Alternativamente, el número de observaciones n debe ser mayor que el número de variables explicativas.

3.2.3. Ajuste de la recta por el método de mínimos cuadrados

Definición 3.2. El ajuste de los mínimos cuadrados consiste en hacer mínima la suma de los cuadrados de las distancias entre los valores observados y los valores ajustados, teóricos o predichos por el modelo de regresión.

Calculemos \hat{a} y \hat{b} haciendo mínima la suma de los cuadrados de los residuos (ver Fig. 3.2). La función a minimizar es¹²:

$$f(\hat{a}, \hat{b}) = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2 = \sum (Y_i - \hat{a} - \hat{b}X_i)^2$$

Para obtener los valores de \hat{a} y \hat{b} que minimicen la función anterior, calculamos las derivadas parciales respecto de \hat{a} y \hat{b} , igualamos a cero y resolvemos el sistema. Así,

$$\frac{\partial f}{\partial \hat{a}} = -2\sum (Y_i - \hat{a} - \hat{b}X_i) = 0$$

$$\frac{\partial f}{\partial \hat{b}} = -2\sum (Y_i - \hat{a} - \hat{b}X_i)X_i = 0$$

o sea:

$$\sum (Y_i - \hat{a} - \hat{b}X_i) = 0$$

$$\sum (Y_i - \hat{a} - \hat{b}X_i)X_i = 0$$

Desarrollando el sistema anterior obtenemos el llamado **sistema de ecuaciones normales**:

$$\sum Y_i = n\hat{a} - \hat{b}\sum X_i$$

$$\sum X_i Y_i = \hat{a}\sum X_i + \hat{b}\sum X_i^2$$

Así tenemos:

$$\bar{Y} = \hat{a} + \hat{b}\bar{X}$$

$$\frac{\sum X_i Y_i}{n} = \hat{a}\bar{X} + \hat{b}\frac{\sum X_i^2}{n}$$

Donde $\bar{Y} = \sum Y_i/n$, $\bar{X} = \sum X_i/n$ la media muestral de Y y X respectivamente.

Finalmente resolviendo el sistema anterior para \hat{a} y \hat{b} obtenemos:

$$\hat{a} = \bar{Y} - \hat{b}\bar{X} \tag{3.2.3}$$

¹² Se omitirá el subíndice i en la sumatoria entendiéndose que i correrá desde 1 hasta n .

$$\hat{b} = \frac{\sum X_i Y_i - n\bar{X}\bar{Y}}{\sum X_i^2 - n\bar{X}^2} \quad (3.2.4)$$

Por lo tanto, la ecuación de regresión es:

$$\hat{Y} = \hat{a} + \hat{b}X \quad (3.2.5)$$

Donde \hat{a} y \hat{b} son los estimadores puntuales de a y b respectivamente.

Tomando en cuenta que $\sum X_i = n\bar{X}$, obsérvese lo siguiente:

$$\begin{aligned} \sum X_i^2 - n\bar{X}^2 &= \sum X_i^2 - \frac{1}{n}(\sum X_i)^2 = \sum X_i^2 - \frac{2}{n}(\sum X_i)^2 + \frac{1}{n}(\sum X_i)^2 \\ &= \sum X_i^2 - 2\sum X_i\bar{X} + n\bar{X}^2 = \sum (X_i^2 - 2X_i\bar{X} + \bar{X}^2) \\ &= \sum (X_i - \bar{X})^2 \end{aligned} \quad (3.2.6)$$

$$\begin{aligned} \sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}) &= \sum X_i Y_i - \bar{Y}\sum X_i - \bar{X}\sum Y_i + \sum \bar{X}\bar{Y} \\ &= \sum X_i Y_i - \bar{Y}n\bar{X} - \bar{X}n\bar{Y} + n\bar{X}\bar{Y} \\ &= \sum X_i Y_i - n\bar{X}\bar{Y} \end{aligned} \quad (3.2.7)$$

Denotemos a S_{XX} y S_{XY} como sigue:

$$S_{XX} = \sum (X_i - \bar{X})^2 = \sum X_i^2 - n\bar{X}^2 \quad (3.2.8)$$

$$S_{XY} = \sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}) = \sum X_i Y_i - n\bar{X}\bar{Y} \quad (3.2.9)$$

Así, (3.2.4) queda como:

$$\hat{b} = \frac{\sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum (X_i - \bar{X})^2} = \frac{S_{XY}}{S_{XX}}, \quad S_{XX} > 0 \quad (3.2.4)$$

Para futuras demostraciones conviene observar lo siguiente:

$$\hat{b} = \frac{\sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{S_{XX}} = \frac{\sum Y_i(X_i - \bar{X}) - \bar{Y}\sum (X_i - \bar{X})}{S_{XX}}$$

Pero

$$\sum (X_i - \bar{X}) = n\sum \frac{X_i}{n} - n\bar{X} = n\bar{X} - n\bar{X} = 0$$

O sea

$$\sum(X_i - \bar{X}) = 0 \quad (3.2.10)$$

Por lo tanto

$$\hat{b} = \frac{\sum(X_i - \bar{X})Y_i}{S_{XX}} = \sum C_i Y_i, \quad C_i = \frac{\sum(X_i - \bar{X})}{S_{XX}} \quad (3.2.4)$$

Teorema 3.2. (Teorema de Gauss-Markov). Dados los supuestos del modelo clásico de regresión lineal, los estimadores de mínimos cuadrados, dentro de la clase de estimadores lineales insesgados, tiene varianza mínima, es decir; que los mejores estimadores lineales insesgados (MELI). Por lo que es común decir que los estimadores por mínimos cuadrados son *estimadores lineales insesgados óptimos*¹³.

3.2.4. Prueba de hipótesis para b

Comentarios generales

En estadística, la hipótesis propuesta o hipótesis sometida al análisis se conoce como **hipótesis nula** y se denota como H_0 . La hipótesis nula debe probarse contra la **hipótesis alterna** denotada por H_a , la cual expresa por ejemplo que b es diferente de uno. La hipótesis alterna puede ser *simple* o *compuesta*¹⁴. Por ejemplo, $H_1: b = 1$ es simple, pero $H_1: b \neq 1$ es una hipótesis compuesta. El objetivo de éstas pruebas es tener un método que permita decidir la validez de una hipótesis dada.

La idea central de la metodología para realizar las pruebas de hipótesis es usar un “*estadístico de prueba*”, que tenga una distribución conocida. La decisión de aceptar o rechazar H_0 se toma sobre la base del valor del estadístico prueba en la muestra.

¹³ Para la demostración del teorema de Gauss-Markov ver: Econometría, 1981, Gujarati, Mc Graw-Hill, p.p. 58-60.

¹⁴ Una hipótesis estadística es *simple* si específica el valor (es) preciso del parámetro (s) o una distribución; de no ser así, es una hipótesis *compuesta*. Por ejemplo, si afirmamos que $H_1: \mu_X = 12$ ó $\sigma = 1.5$, es simple, pero si $H_1: \mu_X > 12$ ó $\sigma > 2$ es compuesta, en virtud de que la σ no tiene un valor específico.

En resumen podemos realizar pruebas o contrastes de hipótesis para b de la siguiente manera:

Sea el estadístico de prueba

$$T = \frac{(\hat{b} - b^*)\sqrt{S_{XX}}}{S} \quad (3.2.11)$$

Donde

$$S^2 = \frac{\sum e_i^2}{n-2} = \frac{S_{YY} - \hat{b}^2 S_{XX}}{n-2} \text{ y } b^* \text{ es un número específico de } b. \quad (3.2.12)$$

El cual sigue una distribución t de Student con $n-2$ g de l, por lo que se cumple:

$$P(-t_{(\alpha/2, n-2)} \leq T \leq t_{(\alpha/2, n-2)}) = 1 - \alpha \quad (3.2.13)$$

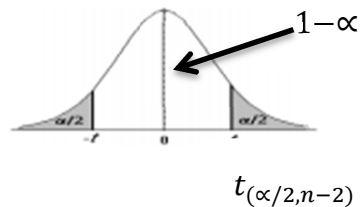


Figura 3. 4 Distribución t de Student

Sustituyendo (3.2.12) en (3.2.13) y despejando para \hat{b} tenemos

$$P\left(b^* - t_{(\alpha/2, n-2)} \frac{S}{\sqrt{S_{XX}}} \leq \hat{b} \leq b^* + t_{(\alpha/2, n-2)} \frac{S}{\sqrt{S_{XX}}}\right) = 1 - \alpha \quad (3.2.14)$$

Donde $t_{(\alpha/2, n-2)}$ es el valor obtenido de la tabla t-Student con $n-2$ g de l (grados de libertad), para un nivel de significancia de $(1 - \alpha)\%$ (el área bajo la curva en la distribución t de Student debe ser igual a $1 - \alpha$).

Sea b^* un valor específico de b y T el estadístico de prueba (estimador) definido por (3.2.11), entonces tenemos las siguientes situaciones:

- I. Para contrastar la hipótesis nula $H_0: b = b^*$ contra la hipótesis alternativa $H_a: b > b^*$, la regla será rechazar H_0 si $T > t_\alpha$, donde t_α es el valor de t obtenido de la tabla t para un nivel de significancia de α y $n-2$ g de l.
- II. Para contrastar la hipótesis nula $H_0: b = b^*$ contra la hipótesis alternativa $H_a: b < b^*$, la regla será rechazar H_0 si $T < -t_\alpha$.
- III. Para contrastar la hipótesis nula $H_0: b = b^*$ contra la hipótesis alternativa $H_a: b \neq b^*$, que quiere decir que b es mayor o menor que b^* ; la regla será rechazar H_0 si $|T| > t_{\alpha/2}$ lo que es equivalente a que se cumpla $T > t_{\alpha/2}$ ó $T < -t_{\alpha/2}$

Caso particular: significancia de la regresión

a) Si se tiene

$$H_0: b = 0$$

$$H_a: b \neq 0$$

(3.2.11) queda como

$$T = \frac{\hat{b}\sqrt{S_{XX}}}{S}$$

Rechazar la hipótesis nula H_0 indica que la variable exógena es significativa en el modelo, es decir; la variable exógena ayuda a explicar las variaciones de la variable endógena. Cuando H_0 se rechaza, se dice que la variable exógena es *estadísticamente significativa*. No rechazar H_0 significa que hay una relación lineal entre la variable exógena y la variable endógena.

b) Si se tiene

$$H_0: b = 1$$

$$H_a: b \neq 1$$

Rechazar H_0 significa que no existe una relación uno a uno (lineal) entre las variables endógena y exógena. No rechazar H_0 indica que hay una relación uno

a uno entre las variables, es decir; un incremento de la variable exógena genera el mismo incremento en la variable endógena.

3.2.5. Prueba de hipótesis para a

Sea a^* un valor específico de a y T el estadístico de prueba definido por

$$T = \frac{(\hat{a} - a^*)}{S \sqrt{\frac{1}{n} - \frac{\bar{X}^2}{S_{XX}}}} \quad (3.2.15)$$

Los puntos I, II y III válidos para (3.2.11), también son válidos para el estadístico de prueba definido por (3.2.15).

Caso particular

Si se tiene

$$H_0: a = 0$$

$$H_a: a \neq 0$$

(3.2.15) queda

$$T = \frac{\hat{a}}{S \sqrt{\frac{1}{n} - \frac{\bar{X}^2}{S_{XX}}}}$$

Rechazar H_0 significa que la ordenada al origen a es significativa en el modelo.

No rechazar H_0 significa que a es *irrelevante en el modelo*.

3.2.6. Intervalo de confianza para una predicción (Y_0)

Una aplicación de la regresión consiste en “predecir” o “hacer augurios” sobre la variable dependiente correspondiente a un valor de interés fijo de la variable independiente X , digamos X_0 , que es el punto de la línea de regresión poblacional (ver Fig. 3.3), es decir

$$E(Y|X_0) = \mu_{Y|X_0} = a + bX_0$$

Y como los estimadores puntuales \hat{a} y \hat{b} son MELI de a y b respectivamente, entonces

$$\hat{Y}_0 = \hat{a} + \hat{b}X_0 \quad (3.2.16)$$

Donde \hat{Y}_0 = estimador de $E(Y|X_0)$. Puede probarse que este predictor puntual es MELI, lo que nos lleva a plantear dos puntos de predicción distintos:

1. Se puede estimar la esperanza condicional $E(Y|X_0)$, es decir; el valor promedio de la variable dependiente cuando se fija en X_0 la v.i X .
2. Se puede estimar el verdadero valor de Y correspondiente a X_0 .

Por otro lado, de la Fig. 3.3 tenemos

$$Y_i = a + bX_i + e_i$$

De donde

$$Y_0 = a + bX_0 + e_0 \quad (3.2.17)$$

Donde Y_0 denota el valor individual de Y correspondiente a un valor dado de X , en este caso X_0 .

La siguiente variable definida por:

$$t = \frac{Y_0 - \hat{Y}_0}{d.e(Y_0)} = \frac{Y_0 - (\hat{a} + \hat{b}X_0)}{S \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(X_0 - \bar{X})^2}{S_{XX}}}}$$

Sigue una distribución t , por lo que podemos construir intervalos de confianza del $(1 - \alpha)100\%$ para el verdadero valor de la variable dependiente en X_0 , los cuales podrán inferirse a partir de

$$\begin{aligned} P\left(\hat{Y}_0 - t_{(\alpha/2, n-2)}d.e(Y_0) \leq Y_0 \leq \hat{Y}_0 + t_{(\alpha/2, n-2)}d.e(Y_0)\right) \\ = 1 - \alpha \end{aligned} \quad (3.2.18)$$

3.2.7. El coeficiente de determinación r^2

El coeficiente de determinación r^2 (caso de dos variables) o R^2 (regresión múltiple) es una medida que en resumen nos dice que tanto se ajusta la línea de regresión muestral a los datos.

Se define r^2 como

$$\begin{aligned} r^2 &= \frac{SSR}{SST} = \frac{\sum(\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum(Y_i - \bar{Y})^2} = 1 - \frac{\sum e_i^2}{\sum(Y_i - \bar{Y})^2} \\ &= \frac{\hat{b}^2 S_{XX}}{S_{YY}} \end{aligned} \tag{3.2.19}$$

A r^2 se le conoce como *coeficiente de determinación* (muestral) y es un estadístico que mide el *porcentaje de variación total en Y* explicado por el modelo lineal, por lo que es ampliamente utilizado como una medida de bondad del ajuste de una línea de regresión.

Observaciones

1. Si $r^2 = 0$ entonces $\sum(\hat{Y}_i - \bar{Y})^2 = 0$, o sea que $\hat{Y}_i = \bar{Y}$ lo que significa que las variaciones en Y no son explicadas por las variaciones en X.
2. Si $r^2 = 1$ entonces $\sum(Y_i - \bar{Y})^2 = \sum(\hat{Y}_i - \bar{Y})^2$ y por lo tanto $Y_i = \hat{Y}_i$, lo que significa que todos los puntos observados caen en la línea de regresión, por lo que el ajuste sería perfecto.

3.2.8. El coeficiente de correlación muestral r

El *coeficiente de correlación muestral* denotado por r , es una medida del grado de asociación lineal entre las variables X y Y, y se define como

$$r = \sqrt{r^2} = \hat{b} \sqrt{\frac{S_{XX}}{S_{YY}}} \tag{3.2.20}$$

La relación anterior muestra la relación estrecha entre el coeficiente de correlación muestral y la pendiente de la línea de regresión. Sin embargo, proporciona información distinta. Es claro que $r > 0$ si $\hat{b} > 0$ y que $r < 0$ si $\hat{b} < 0$, además r es un estimador puntual del coeficiente de correlación poblacional ρ , definido por

$$\rho = \frac{\text{cov}(X, Y)}{\sigma_X \sigma_Y}, -1 \leq \rho \leq 1$$

Por lo que r posee algunas propiedades que a continuación se mencionan:

1. $|r| = 1$, indica una relación lineal perfecta.
2. $|r| > 0.8$, indica una relación lineal fuerte.
3. $0.5 < |r| < 0.8$, indica una relación lineal moderada.
4. $0 < |r| < 0.5$, indica una relación lineal muy débil.
5. $r = 0$, indica una relación lineal inexistente entre las variables.

3.2.9. Análisis de varianza (ANOVA): utilidad del modelo

El análisis de varianza (ANOVA por sus siglas en inglés) es otra prueba de la hipótesis nula $H_0: b = 0$ frente a la alternativa $H_a: b \neq 0$. Ya se vio antes ésta prueba utilizando la distribución t-Student, ahora el objetivo es utilizar la distribución F para analizar la bondad o calidad del ajuste de la línea de regresión estimada, es decir; determinar si la variable independiente X influye linealmente sobre la variable dependiente Y.

En el siguiente capítulo se mostrará que cuando existe más de una variable independiente, sólo se podrá usar la prueba F para analizar si existe una relación global significativa entre las variables.

Para determinar si la variable independiente influye linealmente sobre la variable dependiente, se realiza la siguiente prueba:

H_0 : el modelo lineal es significativo

H_a : el modelo lineal no es significativo

El estadístico de prueba es

$$F = \frac{SSR}{S^2}$$

La regla es rechazar H_0 si $F \geq f_{(1, n-2)}$, donde SSR tiene un g de l y SSE tiene n-2 g de l. Los cálculos para encontrar F se resumen a continuación:

Función de variación	Suma de los Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrados medios	F
REGRESIÓN	SSR	1	SSR	$F = \frac{SSR}{S^2}$
ERROR	SSE	n-2	$\frac{SSE}{n-2} = S^2$	
TOTAL	SST	n-1		

Tabla 3.2. Tabla ANOVA (tabla análisis de varianza)

En resumen, cuando rechazamos H_0 se concluye que existe una cantidad significativa de la variable dependiente que puede ser explicada por el modelo planteado, es decir; *el modelo es significativo* y la variabilidad de la variable independiente ayuda a explicar la variabilidad de la variable dependiente. Si no se rechaza H_0 , se concluye que los datos no reflejan evidencia suficiente que apoye el modelo postrado.

3.3. LA REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE

Introducción

Cuando interviene más de una variable exógena en el modelo de regresión entonces hablamos de un *modelo de regresión lineal múltiple*. En este capítulo se explicará el ajuste y el análisis de tales modelos. Los resultados son extensiones de los que se obtuvieron para la regresión lineal simple (una sola variable explicativa) por lo que se verán pocos conceptos nuevos salvo la

notación matricial, que proporciona un método condensado para manejar modelos de regresión con cualquier número de variables.

Supongamos que tenemos k-variables explicativas X_1, X_2, \dots, X_k y una variable a explicar Y. Como en el caso anterior, el interés será determinar el valor esperado de la variable dependiente, condicionado al valor fijo que tomarán todas las variables independientes. Se usará la notación $E[Y|X_1, X_2, \dots, X_k]$ para representar el valor esperado de la variable dependiente dado que las variables independientes toman los valores (fijos) X_1, X_2, \dots, X_k respectivamente. El supuesto de linealidad implicará que la esperanza condicional sea de la siguiente forma

$$E[Y|X_1, X_2, \dots, X_k] = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_k X_k \quad (3.3.1)$$

Donde los parámetros $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$ serán estimados a partir de los datos.

3.3.1. El modelo de regresión lineal múltiple

Definición. Se define la variable aleatoria ε_i como la diferencia entre la v.a Y_i y su valor esperado dadas las variables independientes, es decir

$$\varepsilon_i = Y_i - E[Y|X_1, X_2, \dots, X_k], i = 1, 2, \dots, n$$

Si despejamos Y_i obtenemos el modelo de regresión lineal múltiple:

$$\text{FRP: } Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \dots + \beta_k X_{ki} + e_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3.3.2)$$

Donde:

Y_i = i-ésima observación

β_0 = la ordenada al origen

β_j = coeficiente (pendiente) parcial de la j-ésima variable independiente,
 $j=1, 2, \dots, k$

n = tamaño de la población

La FRP (3.3.2) debe de interpretarse como la media o valor esperado de Y (en muestras repetidas) dados los valores fijos de X_1, X_2, \dots, X_k , es decir; $E[Y|X_1, X_2, \dots, X_k]$.

La ecuación (3.3.2) es una expresión obtenida del siguiente conjunto de n ecuaciones simultáneas:

$$\begin{aligned} Y_1 &= \beta_0 + \beta_1 X_{11} + \beta_2 X_{21} + \dots + \beta_k X_{k1} + e_1 \\ Y_2 &= \beta_0 + \beta_1 X_{12} + \beta_2 X_{22} + \dots + \beta_k X_{k2} + e_2 \\ &\vdots \\ Y_n &= \beta_0 + \beta_1 X_{1n} + \beta_2 X_{2n} + \dots + \beta_k X_{kn} + e_n \end{aligned}$$

El sistema anterior puede escribirse en forma matricial como.

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1k} \\ 1 & X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 1 & X_{n1} & X_{n2} & \dots & X_{nk} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \vdots \\ e_n \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{Y}_{n \times 1} = \mathbf{X}_{n \times k} \mathbf{B}_{k \times 1} + \boldsymbol{\epsilon}_{n \times 1}$$

Dónde:

$\mathbf{Y}_{n \times 1}$ = vector columna de las n observaciones de la variable dependiente.

$\mathbf{X}_{n \times k}$ = matriz con n observaciones de las k variables independientes.

$\mathbf{B}_{k \times 1}$ = vector columna de los parámetros desconocidos $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$

$\boldsymbol{\epsilon}_{n \times 1}$ = vector columna de las n perturbaciones estocásticas

Cuando no exista confusión sobre las dimensiones de la matriz \mathbf{X} y de los vectores \mathbf{Y} , \mathbf{B} y $\boldsymbol{\epsilon}$, el sistema se escribe sólo como:

$$\mathbf{Y} = \mathbf{XB} + \boldsymbol{\epsilon} \tag{3.3.3}$$

3.3.2. Supuestos del modelo clásico de regresión lineal múltiple

1. El adjetivo lineal se refiere a que el modelo es lineal en los parámetros.
2. Las variables independientes X_1, X_2, \dots, X_k , son variables no estocásticas, o sea que no son variables aleatorias y toman valores fijos en el modelo.
3. $E(e_i) = 0$, para todo $i = 1, 2, \dots, n$. Es decir (en notación matricial):

$$E(\epsilon) = E \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \vdots \\ e_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E(e_1) \\ E(e_2) \\ \vdots \\ E(e_n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} = \bar{\mathbf{0}}$$

$$E(\epsilon) = \bar{\mathbf{0}}$$

4. $var(e_i) = \sigma^2$, para todo $i = 1, 2, \dots, n$ (supuesto de homoscedasticidad).
5. $cov(e_i, e_j) = 0$, para todo $i \neq j$.

Los puntos 4 y 5 se pueden resumir como sigue:

$$var - cov(\epsilon) = E \left[(\epsilon - E(\epsilon))(\epsilon - E(\epsilon))' \right]$$

$$= E \left\{ \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \vdots \\ e_n \end{bmatrix}_{n \times 1} \quad [e_1 \ e_2 \ e_n]_{1 \times n} \right\} = E \begin{bmatrix} e_1^2 & e_1 e_2 & \cdots & e_1 e_n \\ e_2 e_1 & e_2^2 & \cdots & e_2 e_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ e_n e_1 & e_n e_2 & \cdots & e_n^2 \end{bmatrix}_{n \times n}$$

$$= \begin{bmatrix} \sigma^2 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \sigma^2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \sigma^2 \end{bmatrix}_{n \times n} = \sigma^2 \mathbf{I}_n \quad (3.3.4)$$

Por lo tanto $var - cov(\epsilon) = \sigma^2 \mathbf{I}_n$ donde \mathbf{I}_n es la matriz identidad $n \times n$.

6. El vector ϵ tiene una distribución normal multivariada, es decir; $\epsilon \sim N(\bar{\mathbf{0}}, \sigma^2 \mathbf{I}_n)$.

3.3.3. Estimación del vector β por mínimos cuadrados ordinarios (MCO)

De (3.3.3) tenemos

$$\epsilon = Y - XB$$

luego

$$\begin{aligned} f(\beta) &= \epsilon' \epsilon = (Y - X\beta)'(Y - X\beta) \\ &= (Y' - \beta' X')(Y - X\beta) \text{ pues } (X\beta)' = \beta' X \\ &= Y'Y - Y'X\beta - \beta' X'Y + \beta' X'X\beta \\ &= Y'Y - 2\beta' X'Y + \beta' X'X\beta \text{ pues } Y'X\beta = (Y'X\beta)' \text{ ya que } Y'X\beta \text{ es} \\ &\text{un escalar} \end{aligned}$$

Para estimar el vector β por el método de MCO tenemos que minimizar $f(\beta)$. Así, derivando de manera parcial con respecto a β tenemos:

$$\frac{\partial f}{\partial \beta} = -2 \frac{\partial}{\partial \beta} [B' X' Y] + \frac{\partial}{\partial \beta} [B' X' X \beta] \quad (3.3.5)$$

Pero

$$\begin{aligned} B' X' Y &= [\beta_0 \ \beta_1 \ \dots \ \beta_k] \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ X_{11} & X_{21} & X_{31} & \dots & X_{n1} \\ X_{12} & X_{22} & X_{32} & \dots & X_{n2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ X_{1k} & X_{2k} & X_{3k} & \dots & X_{nk} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix} \\ &= [\beta_0 \ \beta_1 \ \dots \ \beta_k] \begin{bmatrix} \sum Y_i \\ \sum X_{i1} Y_i \\ \sum X_{i2} Y_i \\ \vdots \\ \sum X_{ik} Y_i \end{bmatrix} = \beta_0 \sum Y_i + \beta_1 \sum X_{i1} Y_i + \dots + \beta_k \sum X_{ik} Y_i \end{aligned}$$

Luego

$$\frac{\partial}{\partial \beta} [\mathbf{B}'\mathbf{X}'\mathbf{Y}] = \begin{bmatrix} \frac{\partial \mathbf{B}'\mathbf{X}'\mathbf{Y}}{\partial \beta_0} \\ \frac{\partial \mathbf{B}'\mathbf{X}'\mathbf{Y}}{\partial \beta_1} \\ \vdots \\ \frac{\partial \mathbf{B}'\mathbf{X}'\mathbf{Y}}{\partial \beta_k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum Y_i \\ \sum X_{i1}Y_i \\ \sum X_{i2}Y_i \\ \vdots \\ \sum X_{ik}Y_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & \cdots & 1 \\ X_{11} & X_{21} & X_{31} & \cdots & X_{n1} \\ X_{12} & X_{22} & X_{32} & \cdots & X_{n2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{1k} & X_{2k} & X_{3k} & \cdots & X_{nk} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix} = \mathbf{X}'\mathbf{Y}$$

Por lo tanto

$$\frac{\partial}{\partial \beta} [\mathbf{B}'\mathbf{X}'\mathbf{Y}] = \mathbf{X}'\mathbf{Y} \quad (3.3.6)$$

De manera similar se puede probar que

$$\frac{\partial}{\partial \beta} [\mathbf{B}'\mathbf{X}'\mathbf{X}\beta] = 2\mathbf{X}'\mathbf{X}\beta \quad (3.3.7)$$

Así, sustituyendo (3.3.6) y (3.3.7) en (3.3.5) e igualando a cero se tiene

$$-2\mathbf{X}'\mathbf{Y} + 2\mathbf{X}'\mathbf{X}\beta = 0$$

Luego

$$\mathbf{X}'\mathbf{X}\beta = \mathbf{X}'\mathbf{Y}$$

En caso de que $\mathbf{X}'\mathbf{X}$ sea invertible (no singular) entonces

$$\hat{\beta} = (\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}\mathbf{X}'\mathbf{Y}, \quad \text{con } \hat{\beta} = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_0 \\ \hat{\beta}_1 \\ \vdots \\ \hat{\beta}_k \end{bmatrix} \quad (3.3.8)$$

Por lo que el modelo ajustado queda

$$\hat{Y} = \mathbf{X}\hat{\beta} \quad (3.3.9)$$

3.3.4. Prueba de hipótesis para β_j

El estadístico dado por (3.2.11), es utilizado para determinar si cada una de las variables independientes influyen de manera significativa sobre el valor esperado de la variable dependiente Y .

Si se tiene

$$H_0: \beta_j = 0, j = 0, 1, 2, \dots, k$$

$$H_a: \beta_j \neq 0$$

El estadístico de prueba T queda

$$T = \frac{\hat{\beta}_j}{\hat{\sigma}_{\hat{\beta}_j}} = \frac{\hat{\beta}_j}{S\sqrt{C_{jj}}}$$

Si $T \geq t_{(\alpha/2, n-(k+1))}$ se rechaza H_0 .

Si se rechaza H_0 , significa que la variable X_j ayuda a explicar las variaciones de Y (dejando el resto de las variables fijas).

Si no se rechaza H_0 , significa que la variable X_j no ayuda a explicar las variaciones de Y ; por lo que será candidata a ser eliminada del modelo.

3.3.5. Prueba de hipótesis global (ANOVA)

Ésta prueba utiliza el estadístico F para determinar si existe una relación lineal significativa entre la variable dependiente Y y las variables independientes X_1, X_2, \dots, X_k . Si se tiene

$$H_0: \beta_0 = \beta_1 = \dots = \beta_k = 0$$

$$H_a: \text{al menos un } \beta_j \neq 0$$

Si se rechaza H_0 , indicará que al menos una de las variables es significativa para el modelo, en caso contrario; indicará que el modelo no es significativo.

Puede darse el caso de que en la prueba global por lo menos una sea significativa, pero en la prueba individual las variables no sean significativas. En

este caso, es posible que el modelo posea problemas de multicolinealidad (falta de independencia entre las variables independientes).

Los cálculos para computar el estadístico de prueba F se resumen en la siguiente tabla ANOVA.

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrados medios	F
Modelo de regresión	$SSR = \hat{\beta}'X'Y - n\bar{Y}^2$	K	$\frac{SSR}{k}$	$F = \frac{SSR}{k} \frac{1}{S^2}$
Errores residuales	$SSE = Y'Y - \hat{\beta}'X'Y$	n-k-1	$S^2 = \frac{SSE}{n-k-1}$	
TOTAL	$SST = Y'Y - n\bar{Y}^2$	n-1		

Tabla 3. 3. Tabla ANOVA

La regla es rechazar H_0 si $F > f_{(\alpha, k, n-k-1)}$ donde:

α = nivel de significancia

k = grados de libertad del numerador

$n - k - 1$ = grados de libertad del denominador.

3.3.6. El coeficiente de determinación múltiple R^2

Si definimos

SSR^* = suma de cuadrados explicada por las variables independientes del modelo reducido.

SSE^* = suma de cuadrados del error del modelo reducido.

SSR = suma de los cuadrados totales del modelo completo.

El coeficiente de determinación múltiple R^2 se define como: $R^2 = \frac{SSR}{SST}$ en forma

matricial $R^2 = \frac{\hat{\beta}X'Y - n\bar{Y}^2}{Y'Y - n\bar{Y}^2}$

Recordemos que $SST = SSR + SSE$, luego $SSR = SST - SSE$, es decir

$$SSR = \hat{\beta}X'Y - n\bar{Y}^2 - Y'Y + \hat{\beta}X'Y = \hat{\beta}X'Y - n\bar{Y}^2$$

Por lo tanto

$$\begin{aligned} R^2 &= \frac{SST - SSE}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST} \\ &= 1 - \frac{Y'Y - \hat{\beta}X'Y}{Y'Y - n\bar{Y}^2} \end{aligned} \tag{3.3.10}$$

El valor de R^2 aumenta conforme crece el número de variables independientes aumenta, por lo que se recurre a R^2_α .

CAPÍTULO 4. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO PARA EXPLICAR LA DEMANDA DE MAÍZ EN MÉXICO Y SU PRONÓSTICO PARA EL AÑO 2025

INTRODUCCIÓN

Para construir nuestro modelo que explique la demanda de maíz en México, se identificarán las posibles variables de acuerdo a la teoría económica; se hará el acopio de la información y estimarán cuatro modelos, que en el caso simple; son de la siguiente forma:

Nombre	Forma	Trasformación
Lineal	$Y = a + bX$	
LIN-LOG	$Y = a + \log(X) + \varepsilon$	$X^* = \log(X)$
LOG-LIN	$Y = ab^X e^\varepsilon$	$Y^* = \log(Y), a^* = \log(a), b^* = \log(b)$
LOG-LOG	$Y = aX^b e^\varepsilon$	$Y^* = \log(Y), a^* = \log(a), X^* = \log(X)$

De los cuatro, se tomara el mejor modelo, de acuerdo al R^2 , R^2 ajustado, y a los criterios de Akaike y de Schwartz, que posteriormente se validará y presentara.

Para realizar el pronóstico de la demanda de maíz en México, se hará uso de la variable TMERCADO representada por el tamaño de la población en México, la cual es una variable ampliamente estudiada, incluso existe un organismo gubernamental, el CONAPO (Consejo Nacional de Población); en el que una de sus prioridades es el estudio demográfico de México.

Las proyecciones de la población en todo el mundo han sido un tema ampliamente estudiado, por lo que creemos que realizar el pronóstico de la demanda de maíz en México a partir de las proyecciones demográficas dadas por el CONAPO es una buena idea que nos ayudará a obtener un buen pronóstico de la demanda nacional de maíz para el año 2025.

4.1. ESPECIFICACIÓN DEL MODELO PARA EXPLICAR LA DEMANDA DE MAÍZ EN MÉXICO

Recordemos que *especificación* se refiere al hecho de expresar una teoría económica en términos matemáticos, por lo que empezaremos por definir las variables (factores) principales que se considerarán para formular nuestro modelo econométrico, en este caso, un modelo de regresión lineal múltiple.

El precio nacional e internacional del maíz. La ley de la demanda nos dice que al aumentar el precio del producto disminuirá la cantidad demandada del mismo, y lo contrario ocurrirá al bajar el precio; la teoría económica nos indica que el precio del maíz es el principal indicador que explicaría la demanda de maíz en cualquier parte del mundo, sin embargo en un país como México donde el maíz corresponde a un producto básico y necesario para la supervivencia de millones de mexicanos, podría no ser la principal variable; en todo caso es una variable importante por lo que a su vez, consideraremos dos variables: el precio nacional y el precio internacional, pues será de gran importancia conocer si los precios internacionales del grano impactan la demanda nacional del mismo.

El tamaño del mercado. La teoría económica señala que el tamaño del mercado es otra variable importante para explicar la demanda de un producto; en este caso es claro que el tamaño de la población es otra variable importante que explica la demanda de maíz en México pues todos sus habitantes

consumen maíz en alguna medida; recordemos que uno de cada cuatro productos del supermercado contiene algún derivado de maíz.

El consumo de carne y huevo. Autores como Villa y otros consideran que a mayor ingreso de los consumidores, mayor consumo de carne y sus derivados. Al no existir datos anuales del ingreso de los mexicanos, creemos que el incluir el consumo de carne y huevo, se toma en cuenta el ingreso de los mexicanos, aunque hay que mencionar que el solo aumento del consumo de carne y huevo aumenta la curva de la demanda de los granos con los que se alimenta al ganado para producir carne y huevo; en este caso el uso del maíz en nuestro país se utiliza de manera muy importante para la alimentación del ganado: se requieren siete kilos de maíz para producir un kilo de carne. El aumento de la demanda de maíz no necesariamente significa demanda para el consumo humano, que aunque es importante en términos relativos para nuestro país, también lo es la demanda para su consumo en otros ramos: pecuario e industrial principalmente.

El uso de maíz para producir etanol. La teoría económica nos indica que el precio de los bienes relacionados es otra variable que puede explicar la demanda de un producto, en este caso se considera el uso de maíz en Estados Unidos para la producción de etanol, ya que aunque en nuestro país no se utiliza el grano para la producción del mismo, recordemos que nuestras importaciones provienen fundamentalmente de esa nación por lo que sus políticas relacionadas con el vital grano impactan de manera importante a nuestro país. El uso del grano por parte de Estados Unidos para producir etanol impacta de manera importante la disponibilidad de las reservas internacionales del grano ya que ese país es el principal productor y exportador a nivel mundial como se vio en el capítulo 2.

El precio del sorgo. En México, el sorgo es utilizado ampliamente como sustituto de maíz, principalmente para alimentar al ganado por lo que creemos que esta variable podría explicar la demanda de maíz en México. Al aumentar el precio del sorgo se esperarían un aumento en la demanda del maíz, que es lo

que la teoría económica nos indica. Aunque es probable el uso de otros productos como sustitutos de maíz en el país, sólo se considera el precio del sorgo por los volúmenes manejados como sustituto de maíz en México.

El uso humano, el uso pecuario y otros usos. La teoría económica nos indica que los gustos o preferencias de los consumidores pueden ser alterados simplemente por el paso del tiempo, por medio de campañas publicitarias para cambiar las preferencias de los consumidores, entre otras causas. Se incluirán tres variables para medir el impacto que tiene el tipo de uso que se le da al maíz en nuestro país: el uso humano (alimento), el uso pecuario y otros usos (industrial, mermas, semilla y otros), con las cuales intentaremos medir el cambio en los gustos de los consumidores.

La importación y la producción nacional de maíz. Finalmente incluiremos dos variables: la producción nacional de maíz y las importaciones nacionales de maíz. Al aumentar la producción nacional de maíz seguramente aumentara el consumo nacional al existir una mayor disponibilidad del grano, ya que sus múltiples usos lo convierten en una materia prima un muchas ramas de la industria; de igual manera consideraremos las importaciones, que aumentan o complementan la disponibilidad nacional del grano.

Aunque es posible incluir otras variables, sólo incluiremos los mencionados arriba, pues otras variables mencionadas por la teoría económica como las expectativas, el crédito al consumidor, las perspectivas de ingresos futuros, la tasa de interés bancaria, los hábitos de compra de los conocidos, etc., creemos que son poco importantes para explicar la demanda de maíz en México por ser inexistentes o muy reducidas (el crédito al consumo) y otros casi constantes (perspectivas, los hábitos de compra, etc.) y en todo caso de poco impacto debido a que el maíz es un producto básico para la alimentación de la gran mayoría de los mexicanos.

Así, el modelo propuesto para explicar la demanda de maíz en México queda como sigue.

$$\begin{aligned}
Demanda = & c + \beta_1 DCYH + \beta_2 IMAIZ + \beta_3 PINTERNACIONAL \\
& + \beta_4 PRECIO + \beta_5 PRODUCCION + \beta_6 PSORGO \\
& + \beta_7 TMERCADO \\
& + \beta_8 UETANOL + \beta_9 UHUMANO \\
& + \beta_{10} UPECUARIO + \beta_{11} OUSOS + e
\end{aligned}
\tag{4.1}$$

Donde

DEMANDA = Demanda de maíz en México

c = Ordenada al origen

β_i = Coeficientes de las variables explicativas, $i = 1, \dots, 11$

DCYH = Demanda de carne y huevo en México

IMAIZ = Importaciones de maíz en México

PINTERNACIONAL = Precio internacional del maíz

PRECIO = Precio nacional del maíz

PRODUCCION = Producción nacional de maíz

PSORGO = Producción de sorgo nacional

TMERCADO = Tamaño del mercado mexicano

UETANOL = Uso de maíz para producir etanol

UHUMANO = Uso humano de la demanda nacional del maíz

UPECUARIO = Uso pecuario de la demanda nacional de maíz

OUSOS = Otros usos del maíz en México

e = Término error aleatorio

4.2. ACOPIO DE LA INFORMACIÓN

Para nuestro estudio se tomara el periodo 1981-2011, debido a que desde el abandono del SAM (Sistema Alimentario Mexicano), en 1981, último programa exitoso que logro en gran medida la anhelada autosuficiencia alimentaria, se ha seguido un nuevo modelo caracterizado por el adelgazamiento del Estado mexicano y la liberación total (2008) del sector agropecuario, plasmada a la firma del GATT (Acuerdo General sobre Aranceles Aduaneros y Comercio) en 1986 y culminando a la firma de Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), en 1994; por lo que será importante estudiar las variables que explican la demanda nacional del grano desde entonces. No se tomaron los datos de 2012 y 2013 debido a la falta de datos, pues la FAO (Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, mi mayor fuente), sólo maneja datos al 2011 en unos casos y otros hasta el año 2009; por lo que tuve que estimar los años faltantes o consultar otras fuentes.

Se explicara la fuente de los datos de cada variable, así como una definición más amplia de cada una de las mismas.

DEMANDA = demanda (consumo) nacional de maíz, se refiere a la demanda nacional (en millones de toneladas), demandada por los diversos sectores. Los datos se obtuvieron de la FAO.

DCYH = demanda de carne y huevo (en millones de toneladas), se refiere a la demanda nacional de carne y huevo. Los datos fueron tomados de la FAO, en los que se incluye la carne de caballo, de caprino, de conejo, de ovino, de pato, de pavo, de pollo, de cerdo y de vacuno.

IMAIZ = importaciones de maíz, se refiere a las importaciones anuales en millones de toneladas, realizadas por el país. Los datos de 1981-2009 se tomaron de la FAO, y los de 2010 y 2011 se obtuvieron de la SAGARPA.

PINTER = precio internacional, se refiere al precio internacional por tonelada, en dólares de EUA; dado por el FMI.

Los datos obtenidos y que serán utilizados para nuestro modelo son mostrados por la siguiente tabla.

AÑO	DEM.	DCYH	IMAIZ	OUSO	PINT	PREC	PROD	PSOR	TMER	UETA	UHUM	UPEC
1981	14.06	3.396	3.07	2.813	130.6	7	13.99	4.0	70.318	2.2	8.517	2.727
1982	13.49	3.538	0.37	3.200	108.1	9	10.12	7.0	71.789	3.6	8.697	1.595
1983	14.86	3.784	4.69	2.958	136.0	20	13.19	12.0	73.223	4.1	9.069	2.830
1984	14.28	3.781	2.50	2.007	135.8	34	12.79	24.0	74.673	5.9	9.276	3.000
1985	15.12	3.779	1.73	2.384	112.3	53	14.10	34.0	76.185	6.9	9.733	3.000
1986	15.91	4.057	1.71	2.713	87.8	94	11.91	82.0	77.741	7.4	10.197	3.000
1987	16.72	4.008	3.62	2.865	75.5	234	11.61	153.0	79.359	7.1	10.358	3.500
1988	16.28	4.031	3.30	2.863	107.0	391	10.59	331.0	81.010	7.3	10.919	2.500
1989	17.08	3.724	3.67	3.060	111.4	468	10.95	296.0	82.666	8.2	11.021	3.003
1990	17.65	3.811	4.13	3.356	109.3	609	14.64	341.0	81.250	8.9	10.706	3.588
1991	16.77	4.182	1.46	3.294	107.5	707	14.25	430.0	85.924	10.1	11.069	2.400
1992	17.23	4.309	1.36	3.590	104.2	761	16.93	439.0	87.523	10.8	10.878	2.760
1993	20.13	4.534	0.31	3.604	102.0	768	18.13	428.0	89.110	11.6	11.027	5.500
1994	18.92	4.790	2.82	3.600	107.8	656	18.24	407.0	90.691	13.5	10.979	4.336
1995	19.65	5.041	2.76	3.634	123.5	1092	18.35	942.0	91.158	10.1	11.719	4.299
1996	21.00	4.920	5.93	3.687	164.5	1435	18.03	1141.1	93.858	10.9	11.926	5.390
1997	21.05	5.235	2.66	4.530	117.2	1358	17.66	981.8	95.441	12.4	11.916	4.606
1998	24.51	5.596	5.34	4.164	101.6	1446	18.45	1018.3	97.002	13.2	12.370	7.975
1999	21.28	5.954	5.66	3.705	90.3	1455	17.71	779.1	98.514	14.4	12.490	5.088
2000	21.94	6.252	5.46	3.814	88.2	1508	17.56	1051.5	97.483	16.0	12.752	5.375
2001	24.34	6.529	6.30	4.085	89.6	1451	20.13	991.0	101.330	18.0	13.009	7.247
2002	24.68	6.729	5.64	3.133	99.3	1501	19.30	1194.6	102.634	25.3	13.007	8.539
2003	26.47	6.745	5.85	3.341	105.2	1618	20.70	1296.9	103.903	29.7	12.985	10.140
2004	28.17	7.111	5.61	5.708	111.8	1679	21.69	1328.9	105.176	33.6	13.045	9.417
2005	25.86	7.347	5.87	4.592	98.4	1578	19.34	1196.0	103.263	40.7	12.818	8.452
2006	29.34	7.691	7.75	5.701	121.6	2011	21.89	1565.2	107.835	53.8	13.141	10.494
2007	29.19	7.838	8.04	5.632	163.3	2442	23.51	1924.2	109.221	77.5	13.214	10.349
2008	32.35	7.969	9.22	5.852	223.2	2817	24.41	2310.8	110.627	93.4	13.709	12.795
2009	28.58	8.089	7.33	5.838	165.5	2802	20.14	2159.2	112.033	114.3	13.498	9.240
2010	29.95	8.210	7.78	5.995	186.0	2817	23.30	2269.8	112.337	119.4	14.624	11.916
2011	29.10	8.460	9.27	5.767	291.8	4078	17.60	3450.6	115.332	127.0	14.852	12.014

Tabla 4. 1. Datos a utilizar en los modelos.

PRECIO = precio, se refiere el precio medio rural pagado en México, es decir; el precio que recibe el productor mexicano de maíz en pesos mexicanos, sin intermediario alguno. Los datos fueron tomados de la FAO.

PRODUCCION = producción en millones de toneladas, se refiere a la producción nacional de maíz. Los datos fueron tomados de la FAO.

PSORGO = precio del sorgo, se refiere al precio medio rural pagado al productor nacional de sorgo en pesos mexicanos. Los datos fueron tomados de la FAO para el periodo 1981-2009, y de la SAGARPA los años 2010 y 2011.

TMERCADO = tamaño del mercado (en millones), se refiere al número de habitantes en México. Los datos fueron tomados del INEGI para los años 1990, 1995, 1990, 1995, 2000, 2005 y 2010; 2011 tomado de la página de internet de index mundi la cual es una estimación de la Oficina del Censo de EUA y el resto de los datos fueron tomados de la FAO.

UETANOL = uso de maíz para la producción de etanol (millones de toneladas), se refiere al uso de maíz en Estados Unidos para la producción de etanol. Los datos fueron tomados del Earth Policy Institute.

UHUMANO = uso humano (en millones de toneladas), se refiere al uso del maíz para la alimentación humana, es decir; su consumo sin industrializar o con poca industrialización (tortilla, masa, tamales, etc.). Los datos fueron tomados de la FAO para el periodo 1981-2009, y de la SAGARPA los años 2010 y 2011.

UPECUARIO = uso pecuario (en millones de toneladas), se refiere al uso del grano en México para la alimentación del ganado. Los datos fueron tomados de la FAO para el periodo 1981-2009, y de la SAGARPA los años 2010 y 2011.

OUSOS = otros usos (millones de toneladas), se refiere a los usos que se le da a la demanda nacional de maíz por parte de sus consumidores sin incluir el uso humano y pecuario, que incluye las mermas, el uso para semilla y el uso industrial, principalmente, además de otros usos que pueda contener que son en menor medida. Los datos fueron tomados de la FAO para el periodo 1981-2009 y de la SAGARPA los años 2010 y 2011.

4.3. ESTIMACIÓN

Para hacer estimaciones en nuestro modelo, se usará el paquete de software conocido como Eviews, ampliamente utilizado en estadística y uno de los más populares por su versatilidad.

Primero se realizará la estimación por medio de cuatro modelos lineales: el modelo lineal, el LIN-LOG, el LOG-LIN y el LOG-LOG, es decir, no se aplicará logaritmo a ninguna variable, luego se aplicará logaritmo a las variables independientes, luego se aplicará logaritmo a la variable dependiente y finalmente se aplicará logaritmo tanto a la variable dependiente como a las variables independientes. Se tomará el modelo que mejor explique la demanda de maíz en México.

La salida de Eviews para el modelo lineal está dada por la Tabla 4.1, en la que se observa que al 95% (p-valores menores que 0.05), sólo cuatro parámetros son significantes en el modelo lineal: IMAIZ, OUSOS, TMERCADO Y UPECUARIO. El R^2 y el R^2 ajustado son del 0.99 (muy alto), por lo que la variabilidad explicada es alta.

Dependent Variable: DEMANDA
 Method: Least Squares
 Date: 01/20/14 Time: 18:11
 Sample: 1981 2011
 Included observations: 31

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-2.109528	4.259716	-0.495227	0.6261
DCYH	-0.452964	0.382755	-1.183430	0.2512
IMAIZ	0.197067	0.086352	2.282146	0.0342
PINTER	-0.010383	0.008208	-1.264989	0.2212
PRECIO	-0.001360	0.001142	-1.191019	0.2483
PRODUCCION	0.037855	0.067704	0.559124	0.5826
PSORGO	0.001165	0.001475	0.789615	0.4395
TMERCADO	0.181429	0.073282	2.475751	0.0229
UETANOL	-0.002175	0.008250	-0.263691	0.7949
UHUMANO	0.017285	0.341705	0.050583	0.9602
UPECUARIO	0.903984	0.107360	8.420088	0.0000
OUSOS	1.019891	0.189840	5.372371	0.0000
R-squared	0.995914	Mean dependent var	21.48258	
Adjusted R-squared	0.993548	S.D. dependent var	5.652248	
S.E. of regression	0.454004	Akaike info criterion	1.543223	
Sum squared resid	3.916271	Schwarz criterion	2.098315	
Log likelihood	-11.91996	Hannan-Quinn criter.	1.724169	
F-statistic	420.9918	Durbin-Watson stat	1.700979	
Prob(F-statistic)	0.000000			

Tabla 4.2. Modelo lineal

La salida de Eviews para el modelo LIN-LOG está dada por la tabla 4.2, en la que se observa que al 95%, sólo tres parámetros son significantes en el modelo: LOGUETANOL, LOGPECUARIO Y LOGOUSOS. El R^2 y el R^2 ajustado son del 0.98 (muy alto), por lo que la variabilidad explicada es alta.

Dependent Variable: DEMANDA
 Method: Least Squares
 Date: 01/19/14 Time: 19:34
 Sample: 1981 2011
 Included observations: 31

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	8.162402	72.32188	0.112862	0.9113
LOGDCYH	3.013728	4.273947	0.705139	0.4893
LOGIMAIZ	-0.025010	0.292885	-0.085393	0.9328
LOGPINTER	0.665787	1.032502	0.644829	0.5267
LOGPRECIO	-1.955878	1.394836	-1.402228	0.1770
LOGPRODUCCION	-0.609846	1.722872	-0.353970	0.7273
LOGPSORGO	0.315412	0.546843	0.576787	0.5709
LOGTMERCADO	-10.78624	14.56216	-0.740703	0.4679
LOGUETANOL	1.134687	0.626798	1.810292	0.0861
LOGUHUMANO	-0.384448	8.548210	-0.044974	0.9646
LOGUPECUARIO	5.173725	0.953196	5.427769	0.0000
LOGOUSOS	4.198813	1.148127	3.657097	0.0017
R-squared	0.987383	Mean dependent var	21.48258	
Adjusted R-squared	0.980079	S.D. dependent var	5.652248	
S.E. of regression	0.797767	Akaike info criterion	2.670644	
Sum squared resid	12.09220	Schwarz criterion	3.225736	
Log likelihood	-29.39498	Hannan-Quinn criter.	2.851590	
F-statistic	135.1777	Durbin-Watson stat	1.910164	
Prob(F-statistic)	0.000000			

Tabla 4.3. Modelo LIN-LOG

La salida de Eviews para el modelo LOG-LIN está dada por la Tabla 4.3, en la que se observa que al 95%, siete parámetros son significantes en el modelo: C, DCYH, IMAIZ, TMERCADO, UPECUARIO Y OUSOS. El R^2 y el R^2 ajustado son del 0.99 (muy alto), por lo que la variabilidad explicada es alta.

Dependent Variable: LOGDEMANDA
 Method: Least Squares
 Date: 01/19/14 Time: 19:35
 Sample: 1981 2011
 Included observations: 31

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	1.768510	0.194105	9.111105	0.0000
DCYH	-0.047777	0.017441	-2.739335	0.0130
IMAIZ	0.010375	0.003935	2.636636	0.0163
PINTER	-0.000869	0.000374	-2.323072	0.0314
PRECIO	-5.04E-05	5.20E-05	-0.969119	0.3447
PRODUCCION	0.003242	0.003085	1.050802	0.3065
PSORGO	7.73E-05	6.72E-05	1.149873	0.2645
TMERCADO	0.011665	0.003339	3.493132	0.0024
UETANOL	-0.000379	0.000376	-1.008880	0.3257
UHUMANO	0.007490	0.015571	0.481001	0.6360
UPECUARIO	0.036027	0.004892	7.364157	0.0000
OUSOS	0.037854	0.008651	4.375936	0.0003
R-squared	0.996117	Mean dependent var	3.033605	
Adjusted R-squared	0.993869	S.D. dependent var	0.264221	
S.E. of regression	0.020688	Akaike info criterion	-4.633895	
Sum squared resid	0.008132	Schwarz criterion	-4.078803	
Log likelihood	83.82537	Hannan-Quinn criter.	-4.452949	
F-statistic	443.1421	Durbin-Watson stat	2.265632	
Prob(F-statistic)	0.000000			

Tabla 4.4. Modelo LOG-LIN

La salida de Eviews para el modelo LOG-LOG está dada por la Tabla 4.4, en la que se observa que al 95%, sólo dos parámetros son significantes en el modelo lineal: LOGPECUARIO Y LOGOUSOS. El R^2 y el R^2 ajustado son del 0.99 (muy alto), por lo que la variabilidad explicada es alta.

Dependent Variable: LOGDEMANDA
 Method: Least Squares
 Date: 01/19/14 Time: 19:36
 Sample: 1981 2011
 Included observations: 31

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	1.833644	2.193564	0.835920	0.4136
LOGDCYH	0.085212	0.129631	0.657341	0.5188
LOGIMAIZ	-0.000836	0.008883	-0.094117	0.9260
LOGPINTER	0.001120	0.031316	0.035759	0.9718
LOGPRECIO	-0.079935	0.042306	-1.889450	0.0742
LOGPRODUCCION	-0.025501	0.052256	-0.488003	0.6311
LOGPSORGO	0.028479	0.016586	1.717047	0.1022
LOGTMERCADO	-0.182480	0.441679	-0.413151	0.6841
LOGUETANOL	0.021635	0.019011	1.137998	0.2693
LOGUHUMANO	-0.052542	0.259272	-0.202652	0.8416
LOGUPECUARIO	0.241690	0.028911	8.359791	0.0000
LOGOUSOS	0.172211	0.034823	4.945282	0.0001
R-squared	0.994689	Mean dependent var	3.033605	
Adjusted R-squared	0.991614	S.D. dependent var	0.264221	
S.E. of regression	0.024197	Akaike info criterion	-4.320554	
Sum squared resid	0.011124	Schwarz criterion	-3.765462	
Log likelihood	78.96859	Hannan-Quinn criter.	-4.139608	
F-statistic	323.4725	Durbin-Watson stat	1.722341	
Prob(F-statistic)	0.000000			

Tabla 4. 5. Modelo LOG-LOG

En resumen, se tiene la siguiente tabla.

Modelo	Parámetros significativos al 95%	R^2 y R^2 ajustada
Lineal	IMAIZ, TMERCADO, UPECUARIO	0.99 y 0.99
LIN-LOG	LOGUETANOL, LOGPECUARIO, LOGOUSOS	0.98 y 0.98
LOG-LIN	C, DCYH, IMAI, PINTER, TMERCADO, UPECUARIO, OUSOS	0.99 y 0.99
LOG-LOG	LOGPECUARIO, LOGOUSOS	0.99 y 0.99

Al volver a realizar la regresión únicamente con los parámetros significativos al 95% se obtuvieron las siguientes salidas.

Dependent Variable: DEMANDA
 Method: Least Squares
 Date: 01/20/14 Time: 19:40
 Sample: 1981 2011
 Included observations: 31

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
IMAIZ	0.033791	0.091019	0.371257	0.7133
TMERCADO	0.144868	0.006976	20.76674	0.0000
UPECUARIO	0.873846	0.076294	11.45367	0.0000
OUSOS	0.665141	0.197840	3.362014	0.0023
R-squared	0.989326	Mean dependent var	21.48258	
Adjusted R-squared	0.988140	S.D. dependent var	5.652248	
S.E. of regression	0.615542	Akaike info criterion	1.987285	
Sum squared resid	10.23007	Schwarz criterion	2.172316	
Log likelihood	-26.80292	Hannan-Quinn criter.	2.047601	
Durbin-Watson stat	0.678388			

Tabla 4. 6. Modelo lineal con cuatro parámetros

Dependent Variable: DEMANDA
 Method: Least Squares
 Date: 01/21/14 Time: 15:20
 Sample: 1981 2011
 Included observations: 31

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LOGUETANOL	3.563868	0.467479	7.623593	0.0000
LOGUPECUARIO	0.727223	0.206505	3.521571	0.0015
LOGOUSOS	4.064395	1.877229	2.165104	0.0391
R-squared	0.931793	Mean dependent var	21.48258	
Adjusted R-squared	0.926921	S.D. dependent var	5.652248	
S.E. of regression	1.527983	Akaike info criterion	3.777540	
Sum squared resid	65.37249	Schwarz criterion	3.916313	
Log likelihood	-55.55187	Hannan-Quinn criter.	3.822776	
Durbin-Watson stat	1.138415			

Tabla 4. 7. Modelo in-Log con tres parámetros

Dependent Variable: LOGDEMANDA
 Method: Least Squares
 Date: 01/20/14 Time: 18:52
 Sample: 1981 2011
 Included observations: 31

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	1.752725	0.063666	27.52991	0.0000
DCYH	-0.055790	0.012354	-4.515886	0.0001
IMAIZ	0.010366	0.003343	3.100553	0.0049
PINTER	-0.000858	0.000117	-7.306644	0.0000
TMERCADO	0.013691	0.001170	11.69815	0.0000
UPECUARIO	0.039989	0.003931	10.17235	0.0000
OUSOS	0.034907	0.007415	4.707306	0.0001
R-squared	0.995148	Mean dependent var	3.033605	
Adjusted R-squared	0.993935	S.D. dependent var	0.264221	
S.E. of regression	0.020577	Akaike info criterion	-4.733610	
Sum squared resid	0.010162	Schwarz criterion	-4.409806	
Log likelihood	80.37095	Hannan-Quinn criter.	-4.628058	
F-statistic	820.4079	Durbin-Watson stat	2.233533	
Prob(F-statistic)	0.000000			

Tabla 4. 8. Modelo Log-Lin con siete parámetros

Dependent Variable: LOGDEMANDA
 Method: Least Squares
 Date: 01/21/14 Time: 15:24
 Sample: 1981 2011
 Included observations: 31

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LOGUPECUARIO	0.309567	0.005239	59.09346	0.0000
LOGOUSOS	0.293883	0.033104	8.877477	0.0000
R-squared	0.976916	Mean dependent var	3.033605	
Adjusted R-squared	0.976120	S.D. dependent var	0.264221	
S.E. of regression	0.040831	Akaike info criterion	-3.496419	
Sum squared resid	0.048347	Schwarz criterion	-3.403904	
Log likelihood	56.19450	Hannan-Quinn criter.	-3.466262	
Durbin-Watson stat	0.997791			

Tabla 4. 9. Modelo Log-Log con dos parámetros

Observemos que al realizar la regresión del modelo lineal, el parámetro de IMAIZ ya no resultó significativo al 95%, por lo que se vuelve a realizar la regresión del modelo lineal únicamente con tres parámetros, la cual se ilustra en la siguiente tabla.

Dependent Variable: DEMANDA
 Method: Least Squares
 Date: 01/21/14 Time: 15:34
 Sample: 1981 2011
 Included observations: 31

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
TMERCADO	0.145075	0.006846	21.19185	0.0000
UPECUARIO	0.893536	0.053994	16.54896	0.0000
OUSOS	0.669215	0.194470	3.441223	0.0018
R-squared	0.989272	Mean dependent var	21.48258	
Adjusted R-squared	0.988506	S.D. dependent var	5.652248	
S.E. of regression	0.605991	Akaike info criterion	1.927861	
Sum squared resid	10.28229	Schwarz criterion	2.066634	
Log likelihood	-26.88185	Hannan-Quinn criter.	1.973098	
Durbin-Watson stat	0.658703			

Tabla 4. 10. Modelo lineal con tres parámetros.

Con sus respectivos parámetros significativos al 95%, se obtiene el siguiente resumen, dado por la siguiente tabla.

Modelo	Parámetros significativos al 95%	R^2 y R^2 ajustado	Criterio de Akaike y Schwarz
Lineal	TMERCADO, UPECUARIO	0.98 y 0.98	1.92 y 2.06
LIN-LOG	LOGUETANOL, LOGPECUARIO, LOGOUSOS	0.93 y 0.92	3.77 y 3.91
LOG-LIN	C, DCYH, IMAI, INTER, TMERCADO, UPECUARIO, OUSOS	0.99 y 0.99	-4.73 y -4.40
LOG-LOG	LOGPECUARIO, LOGOUSOS	0.97 y 0.97	-3.49 y -3.40

Tabla 4. 11. Resumen de los cuatro modelos simplificados.

De acuerdo a la tabla anterior, el modelo LOG-LIN es el mejor modelo pues posee un R^2 y R^2 ajustado de 0.99 y 0.99 respectivamente, que son mayores a los obtenidos con los otros modelos. Asimismo, los estadísticos de AIC de Akaike y SC de Schwarz, permiten seleccionar el modelo ajustado con mejor capacidad explicativa aquel que presente menor valor para éstos estadísticos, y vemos que el modelo Log-in resultó con valores de -4.73 y -4.40 en éstos estadísticos respectivamente, por lo que se tomara como el mejor modelo de acuerdo a estos criterios el modelo Log-in para explicar la de manda de maíz en México, de acuerdo a los datos que se tienen.

Así, el modelo elegido tiene la siguiente forma:

$$\begin{aligned} \text{LOGDEMANDA} &= 1.75273 - 0.05579 * \text{DCYH} + 0.01037 * \text{MAIZ} \\ &- 0.00086 * \text{PINTER} + 0.01369 * \text{TMERCADO} \\ &+ 0.039999 * \text{UPECUARIO} + 0.0349 * \text{OUSOS} \end{aligned} \quad (4.2)$$

4.4. VALIDACIÓN DEL MODELO

Para validar nuestro modelo se procederá a verificar los supuestos más relevantes del modelo clásico de regresión lineal por MCO (mínimos cuadrados ordinarios).

En la Figura 4.1 se observa una estructura de los residuos versus el índice del tiempo de manera aleatoria, aparentemente presenta una estructura libre de tendencia, por lo que se pueden descartar problemas de autocorrelación. Por otro lado, el estadístico de Durbin Watson dado por la Tabla 2.7 tiene un valor de 2.23, el cual no está demasiado alejado de 2, lo que indica ausencia de posibles problemas de autocorrelación.

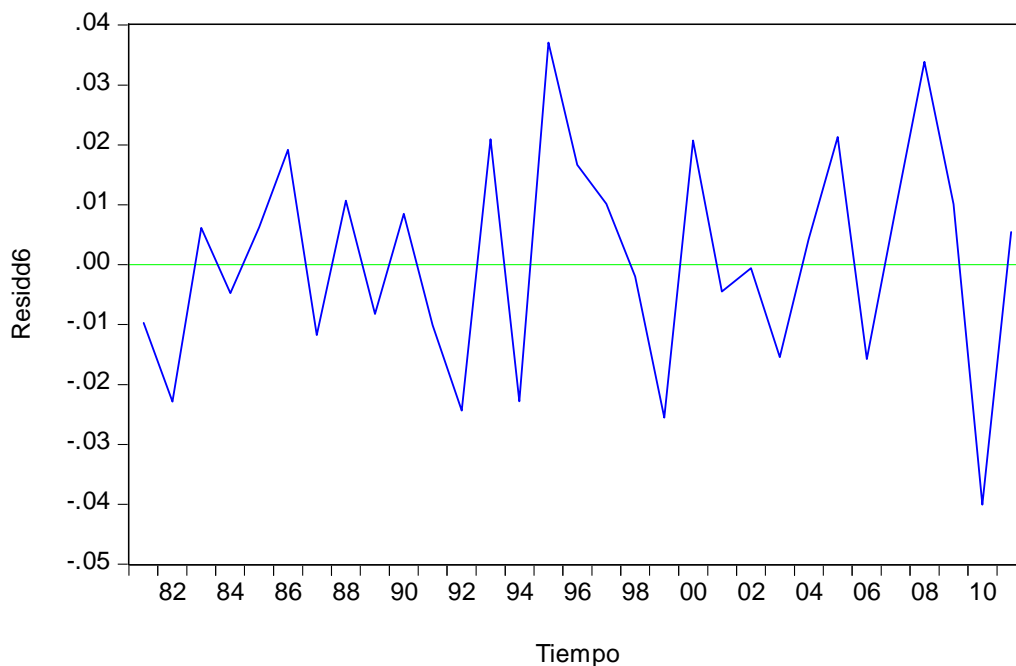


Figura 4. 1. Residuos versus el tiempo

Para comprobar gráficamente la ausencia de heteroscedasticidad (igual varianza), y no linealidad, representamos de la Figura 4.2 a la Figura 4.7, los residuos contra las variables independientes del modelo. En ellas, se observa que todos los gráficos presentan una estructura aleatoria de sus puntos, lo que indica ausencia de problemas de heteroscedasticidad y no linealidad.

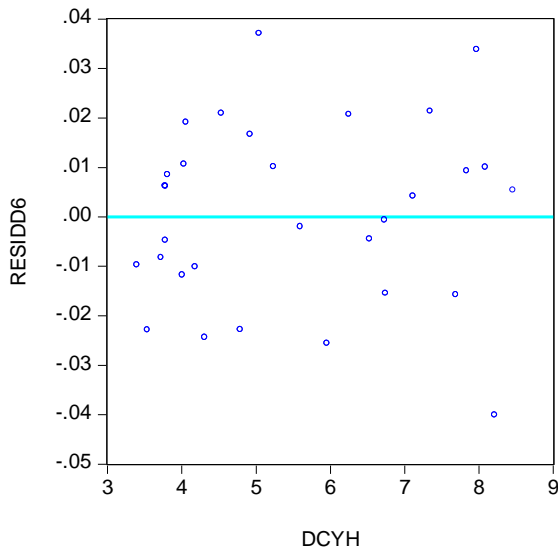


Figura 4. 2

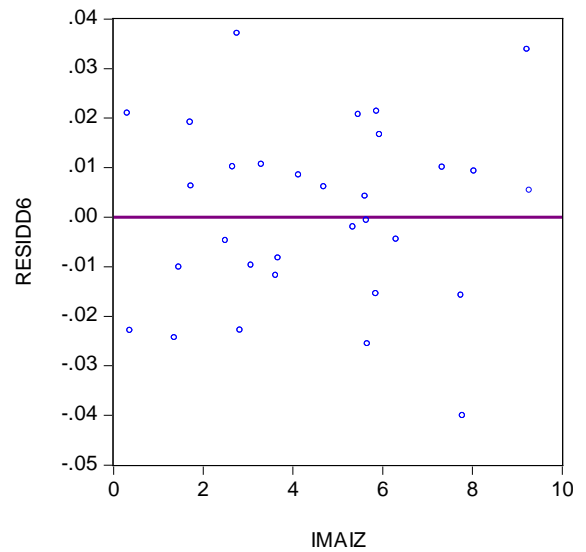


Figura 4. 3

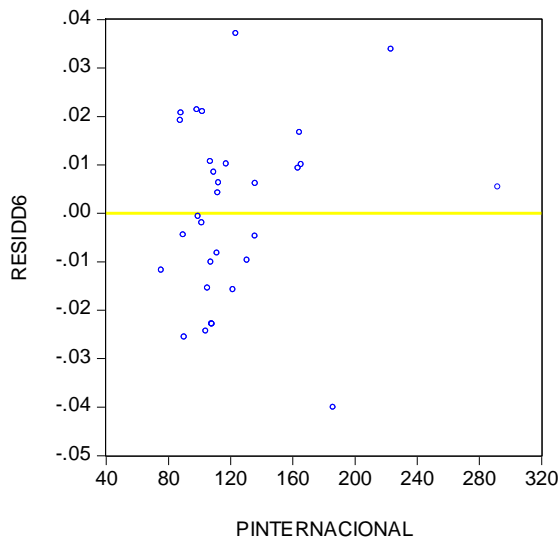


Figura 4. 4

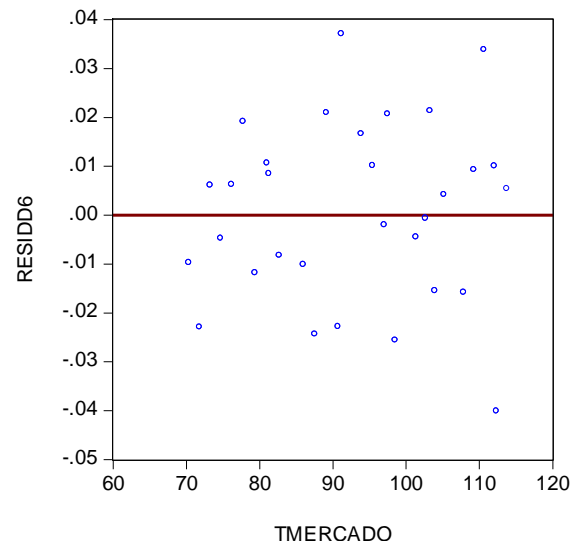


Figura 4. 5

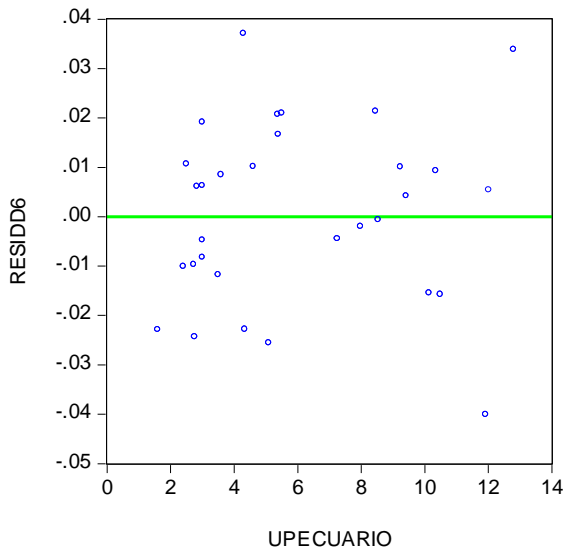


Figura 4. 6

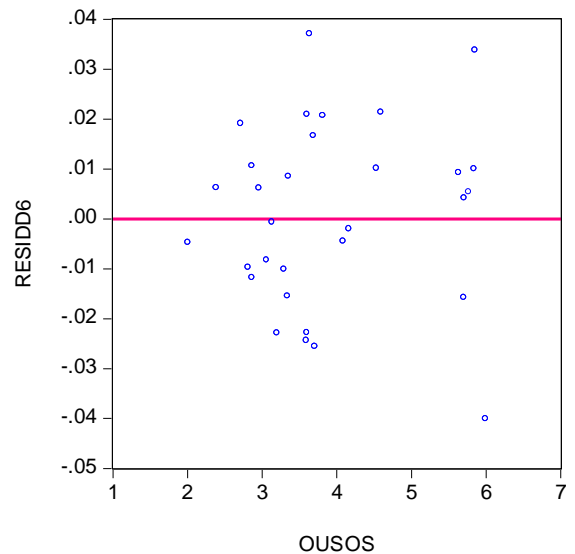


Figura 4. 7

También se puede presentar los residuos contra los valores predichos para analizar la heteroscedasticidad y la autocorrelación. En la Figura 4.8, se observa una estructura aleatoria de los puntos por lo que se puede descartar una vez más problemas de autocorrelación y problemas de heteroscedasticidad, aunque ésta última; existen varias pruebas formales para descartar la heteroscedasticidad, aquí utilizaremos el contraste de White. Eviews permite realizar el contraste de White, la salida en Eviews está dada por la Tabla 4.12.

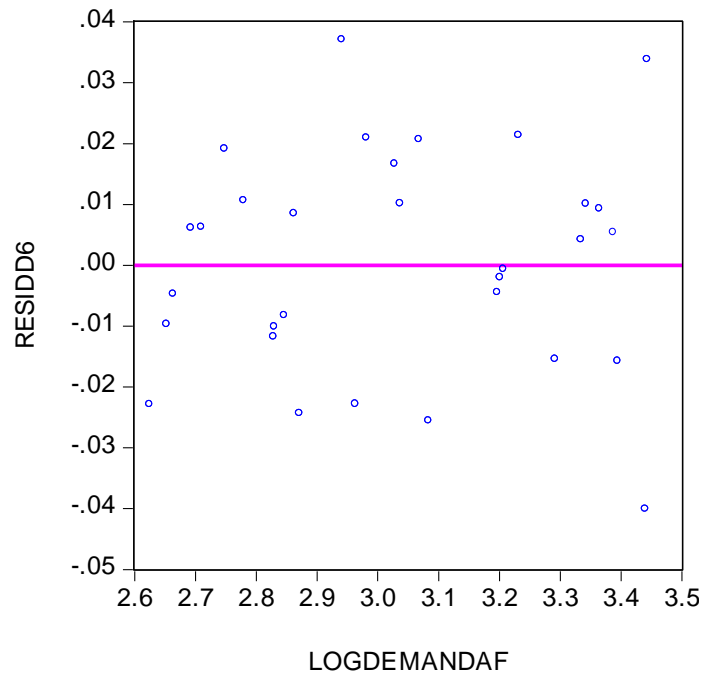


Figura 4. 8. Residuos contra valores pronosticados.

Heteroskedasticity Test: White

F-statistic	0.761329	Prob. F(6,24)	0.6072
Obs*R-squared	4.956854	Prob. Chi-Square(6)	0.5494
Scaled explained SS	2.164139	Prob. Chi-Square(6)	0.9040

Test Equation:

Dependent Variable: RESID^2

Method: Least Squares

Date: 01/23/14 Time: 15:13

Sample: 1981 2011

Included observations: 31

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	4.10E-05	0.000589	0.069720	0.9450
DCYH^2	-2.69E-06	2.10E-05	-0.127886	0.8993
IMAIZ^2	-1.04E-05	9.61E-06	-1.078193	0.2917
PINTER^2	5.44E-09	7.62E-09	0.714514	0.4818
TMERCADO^2	1.94E-08	1.18E-07	0.163789	0.8713
UPECUARIO^2	4.64E-06	5.15E-06	0.900129	0.3770
OUSOS^2	1.00E-05	1.75E-05	0.572765	0.5721

R-squared	0.159899	Mean dependent var	0.000328
Adjusted R-squared	-0.050127	S.D. dependent var	0.000402
S.E. of regression	0.000412	Akaike info criterion	-12.55468
Sum squared resid	4.08E-06	Schwarz criterion	-12.23087
Log likelihood	201.5975	Hannan-Quinn criter.	-12.44913
F-statistic	0.761329	Durbin-Watson stat	2.260299
Prob(F-statistic)	0.607201		

Tabla 4. 12. El contraste de White para la heteroscedasticidad.

Vemos que los p-valores de la F y de los términos cruzados son mayores que 0.05, lo que nos lleva a rechazar formalmente la presencia de heteroscedasticidad.

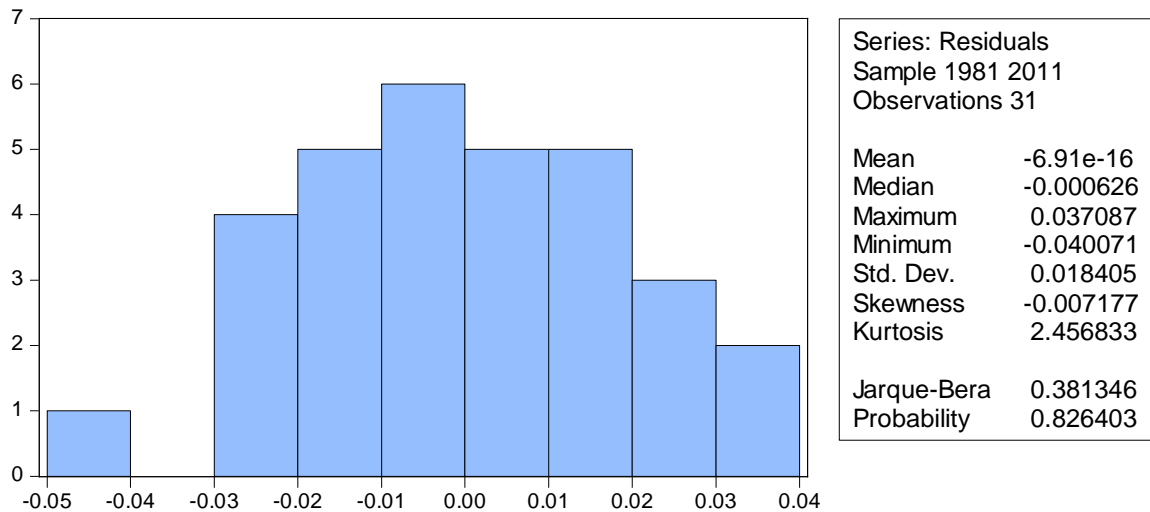


Figura 4. 9. Prueba Jarque-Bera con Eviews.

Para probar la normalidad de los residuos, observemos que en la Figura 4.9 se ve que el histograma de los residuos presenta aproximadamente una forma de tipo normal. El contraste formal de Jarque-Bera acepta formalmente la normalidad de los residuos (p-valor mayor que 0.05).

4.5. PRESENTACIÓN DEL MODELO FINAL

El modelo propuesto inicialmente (Ecuación 4.1), contenía doce parámetros, de los cuales sólo a siete parámetros resultaron significativos al 95%, de acuerdo al modelo LOG-LIN que tiene la siguiente forma:

$$DEMANDA = C \beta_1^{DCYH} \beta_2^{IMAZ} \beta_3^{PINTER} \beta_4^{TMERCADO} \beta_5^{UPECUARIO} \beta_6^{OUSOS}$$

Al aplicar logaritmo a ambos lado quedó:

LOGDEMANDA

$$= \log(C) + \log(\beta_1) DCYH + \log(\beta_2) IMAIZ + \log(\beta_3) PINTER + \log(\beta_4) TMERCADO + \log(\beta_5) PECUARIO + \log(\beta_6) OUSOS \quad (4.3)$$

Así, el modelo que finalmente se estimó fue:

$$LOGDEMANDA = C^* + \beta_1^* DCYH + \beta_2^* IMAIZ + \beta_3^* PINTER + \beta_4^* TMERCADO + \beta_5^* PECUARIO + \beta_6^* OUSOS \quad (4.3)$$

Donde

$$LOGDEMANDA = \log(DEMANDA)$$

$$C^* = \log(C)$$

$$\beta_i^* = \log(\beta_i), \text{ con } i = 1, \dots, 6.$$

El cual fue estimado por el método de MCO, resultando:

$$LOGDEMANDA = 1.75272 - 0.05579 DCYH + 0.01037 IMAIZ - 0.00086 PINTER + 0.01369 TMERCADO + 0.03999 UPECUARIO + 0.03491 OUSOS \quad (4.4)$$

Aplicando la función exponencial en ambos lados obtenemos la función de demanda estimada para nuestro modelo.

$$DEMANDA = (5.79)(0.946)^{DCYH} (1.01)^{IMAIZ} (0.999)^{PINTER} (1.014)^{TMERCADO} (1.041)^{UPECUARIO} (1.035)^{OUSOS} \quad (4.5)$$

4.6. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

Nuestra función estimada nos dice que la demanda de maíz en México es directamente proporcional a las importaciones de maíz, al tamaño del mercado (número de habitantes), a su uso pecuario y con otros usos (semilla, industria, mermas y otros), e inversamente proporcional a la demanda de carne y huevo en el país y al precio internacional ($\hat{\beta}_1 < 1$ y $\hat{\beta}_2 < 1$).

Al aumentar las importaciones de maíz, mayor será la demanda (manteniendo constantes las demás variables).

Que las importaciones aumenten la demanda y no al revés, parece contradecir el sentido común; pues uno pensaría que al no ser autosuficientes en maíz, la demanda tendría que cubrirse con importaciones lo que conlleva finalmente año con año al aumento de las importaciones como resultado de la menor capacidad de los productores nacionales de satisfacer la demanda interna de maíz; sin embargo, sus amplias posibilidades y su gran versatilidad combinados con precios por debajo de su costo real (20% menor), terminaran por demandar el exceso de oferta nacional del grano (uno de cada cuatro productos en el supermercado contiene algún derivado de maíz).

La demanda aumentará conforme el número de habitantes en el país tienda a crecer. El consumo per cápita paso de 200 kg en 1981 a 252 kg por persona en 2011¹⁵.

Conforme aumenta el uso pecuario del maíz en el país, se incrementa la demanda nacional del grano.

A mayor demanda por parte los otros usos a que se le da a la demanda de maíz en México (uso industrial principalmente), mayor será la demanda nacional del grano.

Mientras aumente la demanda de carne y huevo en el país menor será la demanda nacional de maíz, lo cual se debe de tomar con cuidado pues

¹⁵ Idem.

impactará en una menor oferta nacional del vital grano, alimento básico en mayor parte de los habitantes en el país, sobre todo la clase baja que es la mayoría.

A mayor aumento del precio internacional de maíz, menor será la demanda nacional de maíz, lo cual aunque su impacto es relativamente menor, debe tenerse muy en cuenta pues el aumento mundial de los precios internacionales en el mercado de granos, sobre todo desde que EUA empezó a utilizar el maíz para producir etanol, parecen poner fin a los precios baratos de los granos en el mercado internacional.

El precio (medio rural) nacional, no resultó relevante para explicar la demanda nacional de maíz, contrario al precio internacional (la bolsa de Chicago), que resultó relevante por lo que mi resultado concuerda con Puyana y Romero (2008), Gómez (2011), *et al* en el sentido de que los precios nacionales son dictados por el mercado internacional.

4.7. PRONÓSTICO DE LA DEMANDA DE MAÍZ EN MÉXICO PARA EL AÑO 2025

Para realizar el pronóstico de la demanda de maíz en México se utilizará la regresión lineal simple donde intervendrán sólo dos variables: la DEMANDA (variable dependiente) y el TMERCADO (variable independiente), esta última representada por el tamaño de la población en México. Los datos para estimar el modelo lineal, serán los mismos del modelo anterior (Tabla 4.1), para la variable TMERCADO y los datos que serán utilizados para realizar nuestro pronóstico serán los datos estimados por el CONAPO en 2011 (Tabla A.6), que comprenderá el periodo 2012-2025. Así pues, estimemos los parámetros del siguiente modelo:

$$DEMANDA = a + bTMERCADO + e \quad (4.5)$$

En la Tabla 4.13 se resume la salida dada por Eviews para los cuatro modelos en donde nuevamente el modelo LOG-LIN resultó ser el mejor modelo de acuerdo a los criterios de la R^2 , R^2 ajustado, al criterio de Akaike y al criterio de Schwarz.

Modelo	R^2 y R^2 ajustado	Criterio de Akaike y Schwarz
Lineal	0.94 y 0.93	3.58 y 3.67
LIN-LOG	0.92 y 0.91	3.85 y 3.94
LOG-LIN	0.96 y 0.96	-3.01 y -2.92
LOG-LOG	0.95 y 0.95	-2.84 y -2.74

Tabla 4. 13. Resumen de la salida en Eviews para los cuatro modelos.

Así, el modelo estimado tiene la siguiente forma:

$$LOGDEMANDA = a^* + b^*TMERCADO \quad (4.6)$$

Donde

$$LOGDEMANDA = \log(DEMANDA)$$

$$b^* = \log(b)$$

El estadístico de Durbin Watson (Fig. A.1), tiene un valor muy cercano a 2 (2.06) por lo que se pueden descartar los problemas de autocorrelación al 95% para este modelo. El contraste de White (Tabla 4.12), rechaza la presencia de heteroscedasistidad pues se observaron p-valores de la F (0.23) y de los términos cruzados (0.22) mayores que 0.05, los que nos permite rechazar formalmente la presencia de heteroscedasticidad al 95%.

Heteroskedasticity Test: White

F-statistic	1.513694	Prob. F(2,28)	0.2376
Obs*R-squared	3.024716	Prob. Chi-Square(2)	0.2204
Scaled explained SS	1.762811	Prob. Chi-Square(2)	0.4142

Test Equation:
 Dependent Variable: RESID^2
 Method: Least Squares
 Date: 02/09/14 Time: 19:14
 Sample: 1981 2011
 Included observations: 31

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.003467	0.028279	0.122618	0.9033
TMERCADO^2	8.63E-07	3.35E-06	0.257573	0.7986
TMERCADO	-9.18E-05	0.000621	-0.147918	0.8835
R-squared	0.097571	Mean dependent var	0.002535	
Adjusted R-squared	0.033112	S.D. dependent var	0.002974	
S.E. of regression	0.002925	Akaike info criterion	-8.739397	
Sum squared resid	0.000240	Schwarz criterion	-8.600624	
Log likelihood	138.4606	Hannan-Quinn criter.	-8.694160	
F-statistic	1.513694	Durbin-Watson stat	1.790850	
Prob(F-statistic)	0.237563			

Tabla 4. 14. El contraste de White para la heteroscedasticidad.

En la Figura 4.9 se muestra el contraste de Jarque-Bera, en la que se aprecia que los coeficientes de asimetría y curtosis residual están prácticamente en la frontera del intervalo [-2 y 2] para poder aceptar con alguna duda la normalidad, circunstancia que también muestra el histograma. El contraste formal de Jarque-Bera acepta formalmente la normalidad de los residuos (p-valor mayor que 0.05).

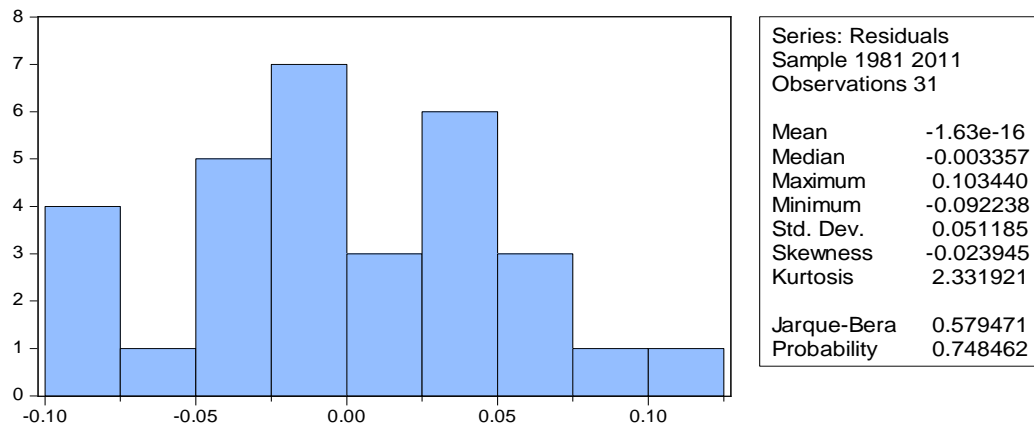


Figura 4. 10. Prueba Jarque-Bera con Eviews.

Una vez realizadas las pruebas más importantes para validar el modelo tendemos a realizar nuestro pronóstico con el modelo obtenido:

$$\text{LOGDEMANDA} = 1.25936399827 + 0.0191070199923 * \text{TMERCADO} \quad (4.7)$$

Por lo que aplicando la función exponencial en ambos lados a (4.6) queda:

$$\text{DEMANDA} = (3.523)(1.019)^{\text{TMERCADO}} \quad (4.7)$$

Los datos de la variable TMERCADO a utilizar, para realizar nuestro pronóstico serán los datos estimados por el CONAPO, para el periodo 2012-2030; que corresponden a las estimaciones del tamaño de la población en México para el periodo considerado.

En la Figura 4.11 se observa que al año 2025, la demanda nacional de maíz, de acuerdo a nuestro modelo, será de 44.4 Mton dada una población de 132.6 millones de habitantes.

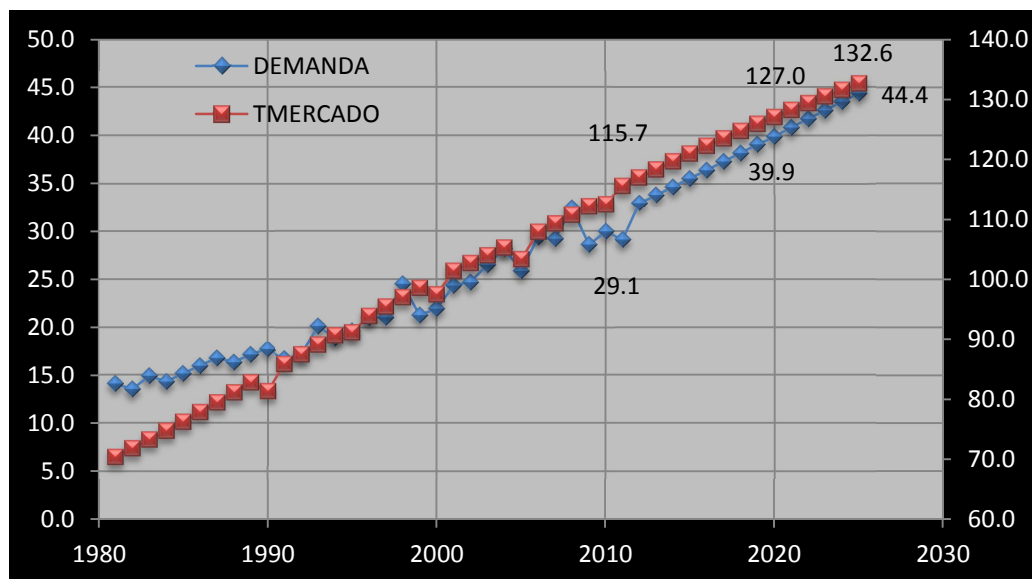


Figura 4. 11. Pronóstico de la demanda.

Así, por ejemplo para el año 2020, la USDA¹⁶ (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos), estima que México importará unos 19.4 Mton de granos básicos, de las cuales unos 15 Mton corresponderán a importaciones de maíz. Por otro lado, la SAGARPA¹⁷ estima para ese año un consumo de 36.4 Mton y una producción de 25.6 Mton de maíz, por lo que el país estaría importando unos 10.8 Mton para satisfacer su demanda interna del grano. Sin embargo, mis estimaciones indican que México demandará para el año 2020 unos 40 Mton, por lo que si sumamos las estimaciones de la SAGARPA respecto a la producción en ese año y las importaciones estimadas por la USDA nos da precisamente alrededor de 40 Mton (40.6). Dado que en año 2012 el país produjo 22.1 Mton de maíz, los 25.6 Mton estimadas por la SAGARPA se me hacen una buena estimación pues de seguir el aumento de la producción a una tasa media anual de 2.4% observada en el periodo 1981-2012, se producirían en el país unos 29 Mton de maíz. Razón por la estaría de acuerdo con mi

¹⁶ USDA. "USDA Agricultural Projections to 2020". Febrero de 2013.

¹⁷ SAGARPA. "Perspectivas de largo plazo del sector agropecuario de México 2011-2020". Junio de 2011.

estimación de 40 Mton para el año 2020, más que la realizada por la SAGARPA.

CONCLUSIONES

En el análisis realizado de la demanda de maíz en México, el modelo con el ajuste, entre los cuatro modelos analizados: el Lineal, el LIN-LOG, el LOG-LIN y el LOG-LOG, de acuerdo a los criterios de Akaike, Schwarz, R^2 y R_a^2 es el modelo de tipo LOG-LIN.

Con un índice de confianza del 95%, las variables identificadas y que explican la demanda de maíz en México en el periodo (1981-2011) son: la demanda de carne y huevo, las importaciones de maíz, el precio internacional del maíz, el tamaño del mercado (población total), el uso pecuario del maíz y otros usos (industrial, mermas y semillas); en contraste, las variables que resultaron irrelevantes fueron: el precio nacional interno (precio medio rural), la producción nacional de maíz, el precio nacional del sorgo, el uso de maíz para etanol (Estados Unidos) y el uso (consumo) humano del maíz.

La demanda nacional de maíz es directamente proporcional a las importaciones de maíz, al tamaño del mercado, al uso pecuario y a otros usos (industria, mermas y semillas).

La demanda nacional de maíz es inversamente proporcional a la demanda de carne y huevo y al precio internacional.

De acuerdo al pronóstico realizado, se espera una demanda nacional de maíz para el año 2020 de 39.9 Mton y de 44.4 Mton para el año 2025, dada una población de 127 y de 132.6 millones de habitantes, respectivamente.

De seguir con las políticas actuales, México estará importando unos 15 Mton para el año 2020, lo cual pondrá en mayor riesgo la seguridad alimentaria nacional al depender en mayor medida del exterior para satisfacer su demanda interna del vital grano, situación que se agrava pues ha terminado la época de

los precios bajos en el mercado internacional de granos; premisa (importante) sobre la cual se basa el actual modelo de política hacia el sector agrícola.

Los precios nacionales son dictados por los precios internacionales (la bolsa de Chicago).

El Estado debe aplicar una política nacional hacia la producción de maíz, ya que de ella depende la alimentación y el ingreso de 40 millones de mexicanos (Ávila, Puyana y Romero: 2008), como un medio que brinde una vida digna a los pobladores del sector rural, en el que los productores de maíz representan el 55% de la población.

La pobreza y la redistribución del ingreso, se podrían combatir con mayor eficacia al impulsar el sector agrícola nacional¹⁸ y recordar que contrario a lo que se piensa, las unidades pequeñas de producción son más productivas, generan más empleo y demandan menos capital (Puyana y Romero, 2008; Gómez, 2011; *et al*).

Se debe reactivar una institución como Conasupo que regulaba los precios, el abasto y la distribución de maíz y la tortilla, pues las distorsiones del mercado hacen que los productores de maíz se ven indefensos ante las pocas empresas (acaparadoras) que intervienen en las actividades que antes desarrollaba Conasupo.

Es imposible que los productores nacionales equiparen el precio internacional (la bolsa de Chicago), pues Estados Unidos exporta maíz un 20% inferior al costo de producción. En el marco del TLCAN, el Estado Mexicano puede y tiene el derecho (Wise: 2008), de imponer aranceles compensatorios a las importaciones de maíz provenientes de Estados Unidos, debido a los subsidios desproporcionados que su socio del TLCAN da a sus productores.

¹⁸ Un crecimiento del 4% en la industria incrementará en 2.5 veces los ingresos de los dos primeros quintiles en 20 años, mientras que un crecimiento similar en el la agricultura lo incrementaría en 3.5 veces (Vila: 2011).

El Estado debe reactivar una instancia como Pronase (Productora Nacional de Semillas), para dotar de semillas nativas y mejoradas *in situ*, que respondan a los requerimientos agroecológicos y culturales de cada región, que impulsen los sistemas tradicionales del cultivo del maíz, pues según Espinoza, *et al* 2008, la semilla de maíz es responsable del 60% del rendimiento de cada cosecha.

El Estado Mexicano debe declarar al maíz como un recurso estratégico y de seguridad nacional, con el fin de sacar su sometimiento a las leyes del mercado y de aplicar un conjunto alternativo de políticas que respalden el sector productivo nacional de maíz.

El trabajo realizado cumplió su objetivo, se identificaron las variables que explican la demanda de maíz en México en el periodo 1981-2011, se realizó el pronóstico de la demanda nacional de maíz para el año 2025, se identificaron políticas que de ser tomadas en cuenta, pueden conllevar al país a alcanzar su autosuficiencia del importante grano: el maíz.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alberti Manzanares, Pilar., Pérez Olvera, Ma. Antonia., Tello García, Enriqueta (coordinadores). (2010). "Desarrollo rural en México: Gestión de los recursos naturales, integración comunitaria y género". Colegio de Posgraduados. Plaza y Valdés.
2. Appendini, Kirsten., Torres-Mazuera, Gabriela (editoras). (2008). "¿Ruralidad sin agricultura? El Colegio de México.
3. Escalante Membrillo, María Isabel. (2005). "Pronósticos mediante análisis de regresión". Tesis de maestría. DEPFI-UNAM.
4. Esteva, Gustavo., Marielle, Catherine (coordinadores). (2003). "Sin maíz no hay país". Conaculta. México.
5. Cisneros Castro, Magdalena Alejandra. (2004) "Pronósticos de la matrícula escolar en México en el nivel superior para el año 2020". Tesis de maestría. DEPFI-UNAM.
6. Escalante, Roberto. Galindo, Luis Miguel. Catalán, Horacio. (2009)." Una visión global de las tendencias de la agricultura, los montes y la pesca en América Latina y el Caribe (2008)". F.E.-UNAM.
7. Flores Verduzco, Juan José (3003). "Integración económica al TLCAN y participación estatal en el sistema de innovación tecnológica en granos y oleaginosas en México". IIE-UNAM. Plaza y Valdés.
8. Gascón, Jordi., Montagut, Xavier (coordinadores). (2010). "¿Cambio de rumbo en la políticas agrarias latinoamericanas?: Estado, movimientos sociales campesinos y soberanía alimentaria". Icaria Editorial. Barcelona.
9. Gómez Espinoza, José Antonio. (2011). "Maíz axis mundi: Maíz y sustentabilidad". UAEM. Juan Pablos Editor.

10. González Jácome, Alba. (2011). "Un viaje en el tiempo con los agricultores mexicanos". Universidad Iberoamericana. Ciudad de México.
11. González Rosas, Javier. (2011). "Teoría de un método para estimar el máximo y el mínimo del crecimiento poblacional en México". En: "La situación demográfica de México 2011". CONAPO. México.
12. Gujarati, Damodar N. (1981). "Econometría básica". Mc Graw Hill.
13. Heyne, Paul. (2005). "Conceptos de economía: El mundo según los economistas". 8va. Ed. Pearson Educación, S.A.
14. Mochón Morcillo, Francisco. (2006). "Principios de economía". 3ra. Ed. Mc Graw Hill.
15. Olmedo Carranza, Bernardo. (2009). "Crisis en el campo mexicano". IIE-UNAM.
16. Pérez López, César (2007). "Econometría básica: Técnicas y herramientas". Pearson Prentice Hall.
17. Pérez Ramírez, Fredy O. Fernández Castaño, Horacio. (2009). "Econometría: Conceptos Básicos". ECCCOE Ediciones.
18. Pérez, Cesar. (2007). "Econometría básica: Técnicas y Herramientas". Pearson Prentice Hall.
19. Puricelli, Sonia. (2010). "El movimiento: El campo no aguanta más: Auge, contradicciones y declive (México 2002-2004)". Plaza y Valdés.
20. Puyana, Alicia; Romero, José. (2008). "Diez años del TLCAN: Las experiencias del sector agropecuario mexicano". FLACSO-Colmex.
21. Quintana Romero, Luis., Mendoza González, Miguel Ángel. (2008). "Econometría básica: Modelos y aplicaciones a la economía mexicana. FES-Acatlán. UNAM. Plaza y Valdés.
22. Quitero Soto, María Luisa. (2007). "Contexto nacional e internacional del sector agropecuario: Limitantes y perspectivas". Miguel Ángel Porrúa.
23. Romero Polanco, Emilio. (2002). "Un siglo de agricultura en México". IIE-UNAM. Textos breves de economía.

24. Ross, Sheldon M. (2005). "Introducción a la estadística". Editorial Reverte.
25. Rosseti, José Paschoal. (2002). "Introducción a la economía". 3ra. Ed. Alfaomega.
26. Rubio, Blanca (coordinadora). (2004). "El sector agropecuario mexicano frente al nuevo milenio". Plaza y Valdés.
27. Sánchez Albarrán, Armando (coordinador). (2007). "El campo no aguanta más". UAM-Azcapotzalco. Miguel Ángel Porrúa.
28. Seefoó Luján, J. Luis (coordinador). (2008). "Desde los colores del maíz: Una agenda para el campo mexicano". Vol. I. El Colegio de Michoacán.
29. Torregosa, María Luisa. (2009). "Agua y riego: Desregulación de la agricultura en México". FLACSO-Colmex.
30. Villa Issa, Manuel R. (2011). "¿Qué hacemos con el campo mexicano?" Edit. Bba.
31. Vizcarra Bordi, Ivonne (coordinadora). (2009). "Balance y perspectivas del campo mexicano: A más de una década del TLCAN y del movimiento zapatista". Tomo I. Efectos y defectos de las políticas. Juan Pablos Editor.

Otros

1. "Consumos aparentes de productos agrícolas 1925-1882". Econotecnia Agrícola (revista). Septiembre, 1983. Volumen VII, No. 9. SARH. México.
2. INEGI. Anuario estadístico. Varios años.
3. Polan, Lacki. "Agricultores, abran los ojos: no se dediquen a la etapa pobre del agro negocio". Agro síntesis (revista). Abril 30, 2011. Editorial Agro Síntesis. México, D.F.
4. "Proyecciones de la población 2010-2050". CONAPO.
5. "Perspectiva de largo plazo del sector agropecuario de México 2011-2020". SAGARPA. Junio de 2011.

<http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/SAGARPA/Perspectivas-Largo-Plazo-2011-2020.pdf>

6. Quintana S., Víctor M. "Maíz, vacíos de poder e inseguridad humana". Periódico "La Jornada". Viernes 6 de dic. De 2013.
7. "USDA Agricultural Projections to 2020". USDA. Febrero de 2013.
<http://www.ers.usda.gov/Briefing/Baseline>

Páginas de internet

- 1.- www.faoestat.com
- 2.- www.siap.gob.mx
- 3.- www.infoserca.gob.mx
- 4.- <http://www.fmi.org/>
- 5.- www.earth-policy.org
- 6.- www.indexmundi.com

ANEXOS

HERRAMIENTAS DE EViews

Creación de una base de datos

Abrir Eviews

Pulsar: ***File/New/Workfile***

Al abrirse la ventana, escribir fecha de inicio y fin, o el tamaño de la muestra, si no hay fechas. En este último caso, seleccionar ***Unstructured/Undated***, y escribir, por ejemplo 30. Luego pulsar **OK**. Aparece una segunda ventana: ***Workfile: UNTITLED***, con dos íconos: **C** y **resid**. Pulsar ***Quick/Empty Group (Edit Series)***.

Al aparecer la hoja de cálculo, introducir los datos. Al final dar el nombre apropiado a las variables, pulsando en los nombres dados por defecto: **SER01**, **SER02**, etc. Posteriormente, pulsar **FILE/SAVE AS**. Para dar nombre, por ejemplo: **demanda**. **/CLOSE**. Luego aparecerá una pregunta: **Delete...** pulsar **YES**. Ahora aparecerán en pantalla las variables con sus respectivos íconos.

Formulación y estimación del modelo

Cuando ya se han introducido los datos y aparecen los respectivos íconos de las variables, se pueden analizar por separado o en grupo. Hay que seleccionar un ícono o más, pulsar en: **VIEW/** y seleccionar las distintas posibilidades de análisis. Para terminar pulsar en **X**.

Estimación del modelo

Pulsar: **QUICK/ESTIMATE EQUATION**. Al aparecer una ventana de diálogo, teclear la ecuación o modelo a estimar, separando los nombres de las variables

con un espacio y escribiendo C para los modelos con término constante (ordenada al origen).

Ej.: DEMANDA C TMERCADO PRECIO

Aceptar el método: LS-Least Squares (mínimos cuadrados) y aceptar. Luego pulsar OK. Aparecen los resultados. En caso de querer guardarlo, pulsar en Name y teclear el nombre, por ejemplo: demanda de maíz. Aparecerá demanda de maíz con su ícono.

¿Cómo graficar?

Gráfico de una variable: **QUICK/GRAPH/** colocar el nombre, por ejemplo **TMERCADO/** y elegir el tipo de gráfica.

Gráfico de varias variables: **QUICK/GRAPH/** teclear os nombres, por ejemplo: **DEMANDA TMERCADO PRECIO/** y elegir el tipo de gráfica.

¿Cómo generar variables a partir de las existentes?

Si se quiere generar por ejemplo, la variable LOGDEMANDA, es decir; la variable que posea los logaritmos de la variable DEMANDA, pulsar: **Object/Generate Series.../LOGDEMANDA=log (DEMANDA).**

Contraste **Jarque-Bera (normalidad):** *View* → *Residual Diagnostics* → *Histogram-Normality Test*

Contraste de **White de heteroscedasticidad:** *View* → *Residual Diagnostics* → *Heteroskedasticity Tests...* → Test type: White

DETECCIÓN DE LA AUTOCORRELACIÓN

Para detectar la autocorrelación suele comenzarse con el análisis de los gráficos de los residuos versus el índice del tiempo, que debe presentar una estructura aleatoria libre de tendencia. Aparte del análisis gráfico debe

realizarse alguna prueba formal de autocorrelación como el contraste con el estadístico de Durbin Watson.

Estadístico DW de Durbin-Watson

Consideremos el estadístico definido de la siguiente manera:

$$DW = \frac{\sum_{t=2}^T (\hat{u}_t - \hat{u}_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^T \hat{u}_t^2} \cong 2(1 - p) \Rightarrow \begin{cases} DW \cong 2 & \text{si } p = 0 \\ DW \cong 0 & \text{si } p = 1 \\ DW \cong 4 & \text{si } p = -1 \end{cases}$$

Con estadístico DW se toma de manera no muy rigurosa que si DW vale 0 hay autocorrelación perfecta positiva, se DW se aproxima a 2 no hay autocorrelación y si DW se aproxima a 4 hay autocorrelación perfecta negativa. Pero como DW se encuentra tabulado, y según el intervalo en el que caiga su valor, se acepta o se rechaza la hipótesis de autocorrelación. En la tabla de DW se elige se elige la columna relativa a k (número de regresores en el modelo) y la relativa a T (tamaño muestral), lo que nos da valores d_L y d_U . Entonces se tiene que:

- $DW < d_L \Rightarrow$ se rechaza $p = 0$ y se acepta $p > 0$
- $DW > 4 - d_L \Rightarrow$ se rechaza $p = 0$ y se acepta $p < 0$
- $d_U < DW < 4 - d_U \Rightarrow$ se acepta $p = 0$
- $4 - d_U < DW < 4 - d_L$ ó $d_L < DW < d_U \Rightarrow$ indeterminación

Autocorrelación positiva	?	No autocorrelación	?	Autocorrelación negativa
d_L	d_U	$4 - d_U$	$4 - d_L$	

El estadístico de Durbin Watson no debe utilizarse para modelos que introducen retardos en la variable dependiente ni para modelos sin término constante.

DETECCIÓN DE LA HETEROSCEDASTICIDAD

Para analizar la heteroscedasticidad de un modelo suele comenzarse por el análisis gráfico de los residuos, siendo esenciales las gráficas de los residuos (a poder, ser estandarizados) respecto de las variables independientes y de la variable dependiente predicha, que deben de presentar una estructura libre de tendencia. El gráfico de los residuos contra cada una de las variables independientes, permite detectar como variable más culpable de heteroscedasticidad aquella cuyo gráfico se separa más de la aleatoriedad.

Aparte del análisis gráfico se debe realizar algún contraste formal de heteroscedasticidad como el de White.

Contraste de White

Se efectúa una regresión de los cuadrados de los residuos MCO sobre todas las variables independientes del modelo, sus cuadrados y sus productos cruzados de dos en dos. La homoscedasticidad se acepta si la F permite aceptar la nulidad conjunta de todos los parámetros salvo la constante.

NORMALIDAD RESIDUAL

Una de las hipótesis más importantes a cumplir en el modelo de regresión múltiple es el de la normalidad de los residuos. Para probar la normalidad de los residuos de la regresión, existen contrastes específicos para comprobar el ajuste de un conjunto de datos a una distribución normal, como por ejemplo el contraste de normalidad de asimetría, curtosis y Jarque-Bera.

COMO SELECCIONAR EL MEJOR MODELO DE REGRESIÓN

Al ajustar un modelo de regresión pueden aparecer problemas de diferentes tipos, por lo que existen criterios que permiten elegir el mejor modelo de acuerdo a determinadas variables y a un conjunto de datos.

Aparte del *criterio de regresión hacia adelante*, que va incluyendo variables en el modelo hasta obtener un ajuste ideal y el *criterio de regresión hacia atrás*, que empieza incluyendo todas las variables en el modelo y va eliminando las adecuadas hasta obtener el ajuste óptimo, los estadísticos AIC de Akaike y SC de Schwarz permiten seleccionar el modelo ajustado con *mejor capacidad explicativa*, aquel que presente menor valor para estos estadísticos. Su definición es la siguiente:

$$AIC = -\frac{2l}{T} + \frac{2(K+1)}{T}$$

$$SC = -\frac{2l}{T} + \frac{(K+1)\log(T)}{T}$$

$$l = -\frac{T}{2} (1 + \log(2\pi)) + \log \frac{e'e}{T}$$

Donde K es el número de variables independientes del modelo (sin incluir el término constante), T es el tamaño de la muestra y e es el error del modelo.

Salida de Eviews para los cuatro modelos (DEMANDA= a + b*TMERCADO + e)

Dependent Variable: DEMANDA
 Method: Least Squares
 Date: 02/09/14 Time: 09:27
 Sample: 1981 2011
 Included observations: 31

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-16.03690	1.770086	-9.0599	0.0000
TMERCADO	0.404052	0.018868	21.41422	0.0000
R-squared	0.940521	Mean dependent	21.48258	
Adjusted R-squared	0.938470	S.D. dependent v	5.652248	
S.E. of regression	1.402051	Akaike info criteri	3.576090	
Sum squared resid	57.00665	Schwarz criterion	3.668605	
Log likelihood	-53.42940	Hannan-Quinn cri	3.606248	
F-statistic	458.5690	Durbin-Watson st	1.533032	
Prob(F-statistic)	0.000000			

Tabla A. 1. Modelo lineal

Dependent Variable: DEMANDA
 Method: Least Squares
 Date: 02/09/14 Time: 11:36
 Sample: 1981 2011
 Included observations: 31

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-143.2882	8.911429	-16.07915	0.0000
LOGTMERCADO	36.44979	1.970309	18.49953	0.0000
R-squared	0.921882	Mean dependent var	21.48258	
Adjusted R-squared	0.919188	S.D. dependent var	5.652248	
S.E. of regression	1.606789	Akaike info criterion	3.848693	
Sum squared resid	74.87131	Schwarz criterion	3.941208	
Log likelihood	-57.65474	Hannan-Quinn criter.	3.878851	
F-statistic	342.2327	Durbin-Watson stat	1.191058	
Prob(F-statistic)	0.000000			

Tabla A. 2. Modelo LIN-LOG

Dependent Variable: LOGDEMANDA
 Method: Least Squares
 Date: 02/09/14 Time: 10:59
 Sample: 1981 2011
 Included observations: 31

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	1.259364	0.065726	19.16075	0.0000
TMERCADO	0.019107	0.000701	27.27179	0.0000
R-squared	0.962472	Mean dependent var	3.033605	
Adjusted R-squared	0.961178	S.D. dependent var	0.264221	
S.E. of regression	0.052060	Akaike info criterion	-3.010480	
Sum squared resid	0.078599	Schwarz criterion	-2.917965	
Log likelihood	48.66244	Hannan-Quinn criter.	-2.980322	
F-statistic	743.7506	Durbin-Watson stat	2.063042	
Prob(F-statistic)	0.000000			

Tabla A. 3. Modelo LOG-LIN

Dependent Variable: LOGDEMANDA
 Method: Least Squares
 Date: 02/09/14 Time: 11:23
 Sample: 1981 2011
 Included observations: 31

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-4.807477	0.314847	-15.26927	0.0000
LOGTMERCADO	1.734566	0.069612	24.91753	0.0000
R-squared	0.955377	Mean dependent var	3.033605	
Adjusted R-squared	0.953838	S.D. dependent var	0.264221	
S.E. of regression	0.056769	Akaike info criterion	-2.837316	
Sum squared resid	0.093458	Schwarz criterion	-2.744801	
Log likelihood	45.97840	Hannan-Quinn criter.	-2.807159	
F-statistic	620.8832	Durbin-Watson stat	1.762796	
Prob(F-statistic)	0.000000			

Tabla A. 4. Modelo LOG-LOG

AÑO	TMERCADO	DEMANDAF	Intervalo de confianza del 95%	
			Límite inf	Límite sup
2012	117.1	33.0	31.8	34.2
2013	118.4	33.8	32.6	35.1
2014	119.7	34.7	33.4	36.0
2015	121.0	35.6	34.3	36.9
2016	122.3	36.4	35.1	37.8
2017	123.5	37.3	35.9	38.7
2018	124.7	38.2	36.8	39.7
2019	125.9	39.1	37.6	40.6
2020	127.0	39.9	38.4	41.4
2021	128.2	40.8	39.3	42.4
2022	129.4	41.7	40.1	43.3
2023	130.5	42.6	41.0	44.3
2024	131.5	43.5	41.8	45.2
2025	132.6	44.4	42.7	46.1

Tabla A. 5. Pronóstico de la demanda de maíz y sus intervalos de confianza del 95%.